

ÁGUA DE LASTRO COMO DESAFIO LOGÍSTICO: IMPACTOS SOBRE A FAUNA DE ARRAIAL DO CABO (RJ)

Thais Daniele da Silva¹
Lucas Daniel Felix Marques²
José Flavio Messias³

RESUMO: A água de lastro, utilizada por embarcações para garantir estabilidade e segurança durante a navegação, representa um dos principais desafios logísticos e ambientais em regiões costeiras. Em Arraial do Cabo (RJ), área de elevada relevância ecológica e turística, o despejo inadequado desse recurso intensifica a introdução de espécies exóticas, gerando impactos diretos sobre a fauna marinha local. O presente trabalho tem como objetivo analisar os efeitos da água de lastro sobre a biodiversidade da região, considerando sua relação com as atividades de logística portuária. A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica e análise documental de estudos ambientais que abordam a influência dessa prática na dinâmica ecológica do litoral do município. Os resultados apontam que organismos transportados por navios competem com espécies nativas, modificam cadeias tróficas e ameaçam a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Conclui-se que a gestão eficiente da água de lastro, aliada a políticas públicas e práticas sustentáveis de logística portuária, é fundamental para reduzir os riscos ambientais e assegurar a preservação da fauna e da biodiversidade de Arraial do Cabo.

Palavras-chave: Água De Lastro. Logística Portuária. Biodiversidade. Espécies Exóticas. Arraial do Cabo.

ABSTRACT: Ballast water, used by vessels to ensure stability and safety during navigation, represents one of the main logistical and environmental challenges in coastal regions. In Arraial do Cabo (RJ), an area of high ecological and tourist importance, the improper discharge of this resource intensifies the introduction of exotic species, generating direct impacts on the local marine fauna. The present study aims to analyze the effects of ballast water on the region's biodiversity, considering its relationship with port logistics activities. The methodology was based on a literature review and documentary analysis of environmental studies addressing the influence of this practice on the ecological dynamics of the municipality's coastline. The results indicate that organisms transported by ships compete with native species, alter trophic chains, and threaten the maintenance of ecosystem services. It is concluded that efficient ballast water management, combined with public policies and sustainable port logistics practices, is essential to reduce environmental risks and ensure the preservation of the fauna and biodiversity of Arraial do Cabo.

Keywords: Ballast Water. Port Logistics. Biodiversity. Exotic Species. Arraial do Cabo.

¹ Cursando o último semestre de Tecnologia em Logística. Faculdade de Tecnologia de Mauá - Centro Paula Souza.

² Cursando o último semestre de Tecnologia em Logística. Faculdade de Tecnologia de Mauá - Centro Paula Souza.

³ Doutor em Ciências sociais / Relações Internacionais. PUC / SP. Faculdade de Tecnologia de Mauá - Centro Paula Souza.

I INTRODUÇÃO

A água de lastro representa um dos maiores desafios ambientais relacionados à logística portuária contemporânea, sobretudo em regiões de alta relevância ecológica e turística, como Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro. Utilizada para garantir a estabilidade e a segurança das embarcações, essa prática tornou-se um vetor de espécies exóticas invasoras, que ao serem descarregadas em ecossistemas distintos daqueles de origem, geram impactos profundos na biodiversidade marinha. A preocupação cresce diante do aumento da circulação marítima e da intensificação das atividades de cabotagem e exportação, que contribuem para o agravamento dos riscos ecológicos, sociais e econômicos (Serafin; Henkes, 2013).

Nesse contexto, o município de Arraial do Cabo se torna um território emblemático, por reunir tanto atividades de turismo e pesca artesanal quanto operações portuárias que afetam diretamente os serviços ecossistêmicos locais. Os pescadores artesanais da região já convivem com a pressão da exploração turística e com as mudanças nos recursos pesqueiros, sendo diretamente impactados por alterações ambientais advindas da introdução de espécies não nativas (Aguiar et al., 2021). Além disso, iniciativas como a ampliação do Porto do Forno revelam como a infraestrutura portuária interfere na dinâmica socioambiental e coloca em evidência os conflitos entre desenvolvimento econômico e preservação da biodiversidade (De Melo et al., 2009).

A relevância desse problema é intensificada pelas condições oceanográficas da costa de Arraial do Cabo, marcada por fenômenos como a ressurgência, que favorecem uma biodiversidade única e de alta produtividade. Nesse cenário, a introdução de organismos transportados pela água de lastro representa uma ameaça concreta à estabilidade ecológica, podendo alterar cadeias tróficas, aumentar a competição entre espécies e comprometer a manutenção de serviços ecossistêmicos (Barboza et al., 2023). O estudo de ascídias no litoral do Rio de Janeiro já evidencia a vulnerabilidade desses organismos frente à chegada de espécies exóticas e às mudanças climáticas, apontando para riscos acentuados de perda de biodiversidade marinha (Barboza et al., 2023).

O debate sobre a gestão da água de lastro envolve tanto aspectos técnicos quanto jurídicos e normativos. As propostas de alteração da NORMAM 20 demonstram a necessidade de aprimoramento regulatório para tornar as práticas de cabotagem mais sustentáveis e alinhadas às convenções internacionais (Leal et al., 2023). Contudo, as dificuldades institucionais e a fragmentação normativa ainda se apresentam como obstáculos para a

construção de uma política pública nacional efetiva de defesa contra a bioinvasão (Coelho, 2024). Nesse sentido, a questão da água de lastro não se limita à esfera ambiental, mas perpassa dimensões logísticas, jurídicas e políticas, exigindo respostas coordenadas.

Do ponto de vista técnico, diferentes estudos têm se dedicado à análise de alternativas de tratamento. Simulações numéricas da troca de águas de lastro em petroleiros indicam a complexidade operacional dessa prática (Francisco, 2011), enquanto pesquisas exploram opções como sistemas de oxidação com ozônio (Ricardo, 2023) e tecnologias voltadas a portos exportadores de minério de ferro (Pereira, 2012). Tais soluções demonstram o avanço do conhecimento científico, mas também ressaltam a necessidade de investimentos em infraestrutura e capacitação para garantir sua efetiva implementação.

A problemática também se articula à logística internacional e à eficiência das operações marítimas, que buscam reduzir custos e otimizar fluxos sem desconsiderar as implicações ambientais. O transporte em petroleiros, por exemplo, evidencia os desafios de conciliar competitividade global com práticas de mitigação de impactos (José et al., 2020). Já estudos sobre o Porto do Rio de Janeiro destacam como o manejo inadequado da água de lastro contribui para ampliar riscos ambientais e sociais, ressaltando a importância de regulamentação eficaz (Castro et al., 2008).

Assim, a introdução desta pesquisa busca contextualizar o tema e justificar sua relevância diante do cenário de Arraial do Cabo, onde se observa uma confluência de pressões sobre a biodiversidade e de conflitos entre setores econômicos. Questões como a pesca fantasma, que também afeta a fauna local, reforçam a necessidade de compreender a complexidade das ameaças ao equilíbrio ecológico (Rapagnã et al., 2025). Assim, o estudo propõe-se a analisar os impactos da água de lastro sobre a fauna da região, situando o debate no campo da logística portuária, mas sem perder de vista suas implicações ambientais, sociais e normativas, de modo a contribuir para o avanço da discussão científica e para a busca de soluções sustentáveis.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar os impactos da descarga de água de lastro sobre a fauna de Arraial do Cabo (RJ), considerando suas dimensões ambientais, logísticas e regulatórias. Para tanto, busca-se identificar os principais riscos associados à introdução de espécies exóticas na biodiversidade marinha local, bem como avaliar de que forma a atividade portuária e a logística marítima contribuem para a intensificação desses impactos. Além disso, pretende-se examinar os desafios normativos e institucionais relacionados à gestão da água de lastro no Brasil, discutindo alternativas técnicas de tratamento e sua viabilidade em diferentes contextos portuários. Por fim, procura-se relacionar os efeitos

da descarga de água de lastro às atividades socioeconômicas locais, especialmente no que se refere à pesca artesanal e ao turismo.

O uso da água de lastro, embora essencial à navegação, representa uma das principais vias de introdução de espécies exóticas em ecossistemas costeiros, gerando riscos significativos à biodiversidade marinha. Em Arraial do Cabo, região de elevada relevância ecológica e socioeconômica, esses impactos se tornam ainda mais críticos diante da pressão sobre a pesca artesanal e da fragilidade das políticas de controle (Aguiar et al., 2021; Serafin; Henkes, 2013; Coelho, 2024). Diante desse cenário, coloca-se a questão: quais são os impactos da descarga de água de lastro sobre a fauna de Arraial do Cabo (RJ) e como os desafios logísticos e regulatórios influenciam a eficácia das medidas de mitigação?

A discussão sobre os impactos da água de lastro se justifica pela crescente relevância dessa prática como vetor de introdução de espécies exóticas e pelo potencial de desequilíbrio ecológico que ela representa. Em regiões de alta biodiversidade, como Arraial do Cabo, os riscos ambientais se tornam ainda mais graves, uma vez que organismos não nativos podem comprometer cadeias tróficas, reduzir a resiliência dos ecossistemas e afetar serviços ecossistêmicos essenciais (Barboza et al., 2023; Serafin; Henkes, 2013). Além do caráter ambiental, o tema possui forte dimensão socioeconômica, pois comunidades locais dependem da pesca artesanal e do turismo sustentável, atividades diretamente ameaçadas pela degradação da fauna marinha (Aguiar et al., 2021; De Melo et al., 2009).

Do ponto de vista logístico, a expansão portuária e o aumento das operações de transporte marítimo intensificam a problemática, exigindo estratégias que conciliem eficiência operacional e preservação ambiental (Castro et al., 2008; José et al., 2020). Entretanto, a ausência de mecanismos regulatórios consolidados e as dificuldades jurídicas e institucionais dificultam a implantação de uma política pública nacional eficaz de controle da bioinvasão (Coelho, 2024; Leal et al., 2023). Esse cenário revela a importância de articular o debate ambiental com os desafios normativos, destacando a necessidade de maior integração entre ciência, gestão pública e setor portuário.

A relevância científica da pesquisa também está no levantamento e análise das alternativas de tratamento disponíveis, que, embora apresentem avanços, ainda enfrentam barreiras técnicas e econômicas para ampla aplicação. Estudos sobre simulações de trocas em alto-mar, processos de oxidação e tecnologias voltadas a portos estratégicos demonstram que soluções viáveis já estão em desenvolvimento, mas carecem de investimentos e maior difusão (Francisco, 2011; Pereira, 2012; Ricardo, 2023). Assim, este trabalho contribui para a compreensão

crítica da problemática ao relacionar os efeitos ambientais da água de lastro às suas implicações logísticas e normativas, oferecendo subsídios relevantes para a formulação de práticas sustentáveis e de políticas públicas que assegurem a proteção da fauna e da biodiversidade de Arraial do Cabo.

Este estudo delimita-se à análise dos impactos ambientais causados pela descarga de água de lastro na região de Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro, considerando sua fauna marinha e a influência da atividade portuária local. O recorte temporal abrange pesquisas e dados recentes, publicados entre 2008 e 2025, que permitem compreender a evolução do tema e suas implicações atuais (Castro et al., 2008; Barboza et al., 2023; Rapagnã et al., 2025). A investigação adota como foco metodológico a revisão bibliográfica e documental, priorizando estudos que abordam a biodiversidade costeira, a introdução de espécies exóticas e os desafios logísticos e regulatórios relacionados ao manejo da água de lastro (Serafin; Henkes, 2013; Coelho, 2024; Leal et al., 2023). O trabalho não contempla análises laboratoriais ou experimentais próprias, restringindo-se à sistematização crítica de conhecimentos produzidos por pesquisas científicas, relatórios institucionais e documentos normativos.

O trabalho está organizado em três capítulos principais, além dos elementos pré e pós-textuais definidos pelas normas acadêmicas. O primeiro capítulo corresponde à introdução, na qual são apresentados o problema de pesquisa, os objetivos, a justificativa, a delimitação e a estruturação do estudo, situando o leitor no contexto da temática. O segundo capítulo refere-se ao desenvolvimento e reúne o referencial teórico, os procedimentos metodológicos e a análise de resultados. Nessa etapa, busca-se discutir de forma crítica os impactos da água de lastro sobre a fauna de Arraial do Cabo, articulando os aspectos ambientais, logísticos e regulatórios. O terceiro capítulo é composto pelas considerações finais, que sintetizam os resultados, destacam as limitações da pesquisa e apontam possibilidades de continuidade em futuras investigações. Por fim, apresentam-se as referências utilizadas, elaboradas de acordo com as normas da ABNT, e, caso necessário, materiais complementares em apêndices ou anexos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial teórico

A água de lastro é indispensável para a estabilidade das embarcações, mas constitui um dos principais vetores de introdução de espécies exóticas em ecossistemas costeiros. Esse processo provoca desequilíbrios ecológicos, perda de biodiversidade e comprometimento dos

serviços ecossistêmicos, tornando-se um dos maiores desafios ambientais da logística portuária contemporânea (Serafin; Henkes, 2013).

No litoral do Rio de Janeiro, Arraial do Cabo se destaca pela singularidade de sua biodiversidade, favorecida por fenômenos de ressurgência que tornam o ecossistema marinho produtivo e, ao mesmo tempo, vulnerável. A introdução de organismos não nativos pode gerar competição com espécies locais, alterar cadeias tróficas e comprometer a resiliência ambiental (Barboza et al., 2023). Estudos sobre ascídias já demonstram a fragilidade de organismos costeiros frente à bioinvasão, reforçando os riscos associados às descargas de lastro.

A questão ganha dimensão social ao afetar comunidades que dependem da pesca artesanal e do turismo. Na Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo, pescadores convivem com pressões crescentes do turismo e com mudanças ambientais associadas ao porto, refletindo a tensão entre desenvolvimento econômico e conservação (Aguiar et al., 2021; De Melo et al., 2009). A pesca fantasma, identificada recentemente, amplia esses impactos e fragiliza ainda mais a biodiversidade (Rapagnã et al., 2025).

Diversos estudos têm buscado soluções técnicas. Simulações numéricas indicam que a troca da água de lastro em alto-mar pode reduzir riscos, mas apresenta limitações operacionais (Francisco, 2011). Outras pesquisas apontam alternativas como sistemas de oxidação com ozônio, que mostram eficácia no tratamento de microrganismos (Ricardo, 2023), além de adaptações em portos exportadores de minério de ferro, que indicam soluções localizadas, porém dependentes de altos custos e infraestrutura (Pereira, 2012).

No campo da logística, a navegação em navios petroleiros evidencia os desafios de conciliar eficiência operacional e mitigação ambiental, uma vez que a movimentação global de cargas amplia os riscos de bioinvasão (José et al., 2020). O Porto do Rio de Janeiro já demonstrou a insuficiência das práticas tradicionais de manejo, reforçando a urgência de melhorias técnicas e normativas (Castro et al., 2008).

A regulação surge como fator crucial. Propostas de atualização da NORMAM 20 apontam a necessidade de tornar a gestão da água de lastro mais adequada às condições da cabotagem brasileira (Leal et al., 2023). Entretanto, entraves institucionais e lacunas jurídicas dificultam a consolidação de políticas nacionais eficazes para conter a bioinvasão (Coelho, 2024).

Assim, o referencial teórico evidencia que o problema da água de lastro deve ser compreendido de forma multidimensional, abrangendo aspectos ambientais, técnicos, logísticos, sociais e normativos. Em regiões estratégicas como Arraial do Cabo, a articulação

desses fatores é indispensável para a formulação de soluções sustentáveis que garantam a preservação da biodiversidade e a continuidade das atividades socioeconômicas dependentes do equilíbrio marinho.

2.2 Procedimentos metodológicos

A pesquisa adota como metodologia a revisão bibliográfica e documental, fundamentada em estudos acadêmicos, relatórios institucionais e documentos normativos que abordam a gestão da água de lastro e seus impactos ambientais, sociais e logísticos. A escolha desse método se justifica pelo caráter exploratório e analítico do trabalho, cujo objetivo é compreender de forma crítica as consequências da descarga de água de lastro em Arraial do Cabo (RJ) e identificar os desafios relacionados à sua regulamentação e mitigação. Essa abordagem permite reunir e interpretar contribuições científicas já consolidadas, além de oferecer uma visão comparativa entre diferentes perspectivas teóricas e práticas documentadas (Serafin; Henkes, 2013).

O recorte temporal da revisão compreendeu publicações entre 2008 e 2025, período que contempla desde análises mais iniciais sobre o tema até as pesquisas mais atuais. Trabalhos como o de Castro et al. (2008) sobre o Porto do Rio de Janeiro fornecem uma visão histórica da preocupação com a gestão da água de lastro, enquanto estudos recentes, como os de Barboza et al. (2023), Ricardo (2023) e Rapagnã et al. (2025), ampliam a compreensão sobre os efeitos da bioinvasão, os avanços técnicos de tratamento e as consequências sobre a biodiversidade de Arraial do Cabo. Essa combinação de temporalidades garante uma perspectiva ampla, capaz de identificar continuidades, mudanças e lacunas na literatura.

A coleta do material bibliográfico envolveu a busca em bases científicas, como SciELO, Google Acadêmico e repositórios institucionais, além de teses e dissertações disponíveis em universidades, a exemplo da tese de Pereira (2012), que analisa alternativas de tratamento da água de lastro em portos de minério. O critério de seleção privilegiou estudos diretamente relacionados aos impactos ambientais, à biodiversidade costeira, às práticas de logística portuária e aos desafios regulatórios da gestão da água de lastro. Foram descartados trabalhos de caráter tangencial ou que não apresentassem relação direta com o objeto de estudo.

A análise documental incluiu materiais que tratam da relação entre a atividade portuária, a pesca artesanal e o turismo em Arraial do Cabo, destacando conflitos e impactos sobre comunidades tradicionais (Aguiar et al., 2021; De Melo et al., 2009). Também foram

incorporados estudos que analisam práticas prejudiciais, como a pesca fantasma, que contribuem para a degradação ambiental da região e dialogam com os efeitos da introdução de espécies exóticas (Rapagnã et al., 2025). Esse cruzamento de informações permitiu articular diferentes dimensões da problemática, evidenciando que a descarga de água de lastro não pode ser avaliada isoladamente, mas sim em conjunto com outros fatores de pressão ambiental.

No campo técnico, foram examinados trabalhos que discutem soluções e limitações para o tratamento da água de lastro. Francisco (2011) investigou, por meio de simulações numéricas, a eficiência da troca de águas em alto-mar, identificando os benefícios e restrições desse procedimento. Em outro enfoque, Ricardo (2023) analisou sistemas de oxidação com ozônio, destacando a eficácia dessa tecnologia no combate a microrganismos invasores. Já Pereira (2012) explorou alternativas adaptadas ao contexto dos portos exportadores de minério, revelando a necessidade de soluções localizadas e de investimentos em infraestrutura.

O componente regulatório também foi considerado essencial para os procedimentos metodológicos. Nesse sentido, foram analisadas propostas de alteração da NORMAM 20, que buscam alinhar a gestão da água de lastro às condições específicas da cabotagem nacional (Leal et al., 2023). Além disso, foram consultados estudos que discutem as dificuldades institucionais e jurídicas para a implementação de uma política pública nacional eficaz, ressaltando as barreiras à integração entre órgãos reguladores, setor portuário e sociedade civil (Coelho, 2024).

O tratamento dos dados coletados foi realizado por meio de análise crítica e comparativa, relacionando as informações ambientais, técnicas, sociais e normativas. Essa estratégia possibilitou identificar convergências e divergências nos estudos, bem como lacunas que ainda precisam ser exploradas pela ciência. O objetivo não se restringe a descrever os impactos da água de lastro, mas sim a interpretar suas implicações no contexto específico de Arraial do Cabo, fornecendo uma base sólida para discutir medidas de mitigação e para subsidiar decisões de políticas públicas e estratégias portuárias.

Dessa forma, a metodologia aplicada permite compreender a problemática de maneira multidimensional, articulando as contribuições da literatura acadêmica e documental. Ao priorizar a revisão crítica de fontes confiáveis e diversificadas, a pesquisa assegura rigor científico e relevância prática, fornecendo um panorama consistente sobre os desafios da água de lastro e seus efeitos sobre a fauna marinha e as atividades socioeconômicas de Arraial do Cabo.

2.3 Análise de resultados

A análise dos resultados obtidos a partir da revisão bibliográfica e documental evidencia que a descarga de água de lastro constitui uma das principais ameaças à biodiversidade marinha em regiões costeiras. Em Arraial do Cabo, essa problemática se intensifica devido à riqueza ecológica da região, favorecida por fenômenos de ressurgência, e pela presença de comunidades que dependem diretamente da pesca artesanal e do turismo. A introdução de espécies exóticas, transportadas em tanques de embarcações, compromete o equilíbrio ambiental e ameaça tanto a fauna local quanto a sustentabilidade das atividades socioeconômicas que dependem do ecossistema marinho (Aguiar et al., 2021; Barboza et al., 2023).

Estudos mostram que organismos invasores podem competir com espécies nativas por recursos, modificar cadeias tróficas e reduzir a resiliência ecológica. Barboza et al. (2023) destacam a vulnerabilidade de ascídias e outros organismos costeiros diante de cenários de bioinvasão, reforçando que pequenas alterações podem desencadear impactos amplos e duradouros. Em paralelo, pesquisas revelam que a prática de pesca fantasma em costões rochosos de Arraial do Cabo amplia os riscos ambientais, somando-se às pressões impostas pela água de lastro e agravando a degradação dos habitats marinhos (Rapagnã et al., 2025).

No campo logístico, a expansão das atividades portuárias na região, exemplificada pela ampliação do Porto do Forno, expõe a dificuldade de conciliar o crescimento econômico com a conservação ambiental. Esse processo evidencia conflitos entre interesses produtivos e a necessidade de preservar a biodiversidade, refletindo na vulnerabilidade das comunidades locais e na pressão sobre os recursos pesqueiros (De Melo et al., 2009). O cenário demonstra que a problemática da água de lastro não é isolada, mas se entrelaça com outros fatores antrópicos que afetam o equilíbrio ambiental e social.

Sob a perspectiva técnica, os resultados analisados indicam que, embora existam alternativas de mitigação, sua aplicação ainda encontra barreiras. Simulações numéricas da troca de água em alto-mar demonstram que a prática pode reduzir a quantidade de organismos transportados, mas sua eficácia depende de variáveis como a rota de navegação e as condições oceânicas, além de envolver riscos operacionais (Francisco, 2011). Soluções mais avançadas, como os sistemas de oxidação com ozônio, mostraram-se promissoras na redução da carga biológica, mas ainda demandam investimentos elevados e infraestrutura adequada para implementação em larga escala (Ricardo, 2023). Do mesmo modo, alternativas testadas em portos exportadores de minério de ferro sugerem adaptações pontuais, sem eliminar as dificuldades de aplicação generalizada (Pereira, 2012).

A dimensão regulatória revela outro entrave significativo. Apesar dos avanços internacionais no controle da água de lastro, o Brasil enfrenta desafios jurídicos e institucionais que limitam a eficácia das políticas públicas. A atualização da NORMAM 20 surge como proposta de adequação à realidade da cabotagem e das especificidades nacionais (Leal et al., 2023), mas lacunas normativas e burocráticas dificultam sua consolidação prática. Coelho (2024) enfatiza que a fragmentação institucional e a ausência de integração entre órgãos ambientais e portuários comprometem a construção de estratégias de defesa contra a bioinvasão.

Os resultados apontam, portanto, para a necessidade de uma abordagem multidimensional no enfrentamento da problemática. É indispensável considerar que a gestão da água de lastro não se limita a soluções técnicas, mas envolve articulação entre ciência, políticas públicas e setor portuário. A integração de medidas de prevenção, fiscalização eficiente, investimentos tecnológicos e conscientização das comunidades locais se mostra fundamental para reduzir os riscos e preservar a biodiversidade de Arraial do Cabo.

Dessa forma, a análise revela que a descarga de água de lastro representa um desafio ambiental e logístico de grande complexidade, exigindo estratégias sustentáveis que garantam a proteção da fauna marinha e assegurem a continuidade das atividades socioeconômicas na região.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou analisar os impactos da descarga de água de lastro sobre a fauna de Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro, articulando os aspectos ambientais, logísticos e regulatórios dessa prática. A partir da revisão bibliográfica e documental, foi possível compreender que o uso da água de lastro, embora indispensável à navegação, representa um dos principais vetores de introdução de espécies exóticas em ecossistemas costeiros, gerando riscos significativos à biodiversidade marinha e às atividades socioeconômicas locais.

Os resultados da pesquisa evidenciaram que a introdução de organismos não nativos compromete o equilíbrio ambiental ao alterar cadeias tróficas, gerar competição entre espécies e reduzir a resiliência dos ecossistemas. Essa situação se torna ainda mais preocupante em Arraial do Cabo, região reconhecida por sua elevada riqueza ecológica e pela forte dependência de comunidades tradicionais em relação à pesca artesanal e ao turismo. As pressões ambientais associadas à descarga de água de lastro, somadas a outras atividades antrópicas, colocam em risco tanto a fauna quanto os meios de subsistência da população local.

A análise também demonstrou que o crescimento da atividade portuária intensifica os desafios, especialmente em regiões onde a infraestrutura logística se sobrepõe a áreas de relevância ecológica. A expansão de portos e o aumento do fluxo de embarcações ampliam os riscos de bioinvasão e expõem as dificuldades de conciliar desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. Nesse contexto, a gestão da água de lastro deve ser tratada como uma questão estratégica, demandando não apenas soluções técnicas, mas também políticas públicas consistentes e integradas.

No âmbito tecnológico, foi possível identificar que existem alternativas promissoras de tratamento, como a troca em alto-mar, os processos de oxidação e outras soluções específicas para determinados contextos portuários. Entretanto, a adoção em larga escala dessas medidas ainda enfrenta barreiras de custo, infraestrutura e viabilidade operacional, o que reforça a necessidade de investimentos e de maior integração entre ciência, setor produtivo e poder público.

Do ponto de vista normativo, ficou claro que a legislação brasileira ainda apresenta lacunas e dificuldades institucionais para lidar de maneira eficaz com a questão. A fragmentação de competências e a ausência de uma política pública robusta de defesa contra a bioinvasão tornam os avanços mais lentos e dificultam a consolidação de estratégias nacionais de enfrentamento. Assim, a regulação precisa ser fortalecida, de modo a oferecer instrumentos claros e aplicáveis que garantam a redução dos riscos ambientais sem comprometer a eficiência logística.

Em síntese, este trabalho conclui que a problemática da água de lastro em Arraial do Cabo deve ser abordada de forma multidimensional, considerando simultaneamente fatores ambientais, sociais, técnicos e normativos. A preservação da biodiversidade marinha e a sustentabilidade das atividades econômicas dependem da integração de esforços entre comunidades locais, setor portuário, gestores públicos e pesquisadores.

Reconhece-se, contudo, que a pesquisa se limitou à análise bibliográfica e documental, não abrangendo investigações empíricas ou laboratoriais. Essa limitação abre caminho para estudos futuros que explorem em maior profundidade os efeitos da bioinvasão sobre espécies específicas, a eficácia de tecnologias emergentes de tratamento e a avaliação prática das políticas públicas já implementadas. Ainda assim, o estudo contribui para o debate acadêmico e para a formulação de estratégias que busquem conciliar a atividade portuária com a conservação ambiental em regiões de elevada relevância ecológica.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Luiza Araujo Jorge de et al. Pescadores artesanais e a Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo/RJ-RESEXMar AC: trajetória e desafios frente a atividades turísticas. 2021.

BARBOZA, Danielle Fernandes et al. Biodiversidade e vulnerabilidade de ascidiacea no litoral do Rio de Janeiro frente aos cenários de introdução de espécies e mudanças climáticas. 2023.

CASTRO, Maria Cecilia Trindade de et al. O Porto do Rio de Janeiro sob o enfoque da água de lastro. 2008.

COELHO, Larissa Thomaz. **Água de lastro: as dificuldades jurídico-normativas e institucionais para implantação de uma política pública nacional de defesa contra a bioinvasão.** São Paulo: Editora Dialética, 2024.

DE MELO, Leonízia Valdeci et al. Ampliação do Porto do Forno na Reserva Extrativista Marinha em Arraial do Cabo-RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 3, n. 2, p. 163-186, 2009.

FRANCISCO, Flávio da Silva. Simulação numérica da troca de águas de lastro nos tanques de navios petroleiros. 2011.

JOSÉ, Geovanna Pereira et al. Logística internacional: os desafios do transporte marítimo no navio petroleiro. [s.d.].

LEAL, Carolina Ferreira et al. A gestão da água de lastro e o transporte de cabotagem no Brasil: uma proposta de alteração da NORMAM 20. 2023.

12

PEREIRA, Newton Narciso. **Alternativas de tratamento da água de lastro em portos exportadores de minério de ferro.** 2012. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

RAPAGNÃ, Luciano et al. Entre redes e resíduos: um estudo de caso sobre pesca fantasma em um costão rochoso de Arraial do Cabo, RJ. 2025.

RICARDO, Mendel Júlio. Tratamento de água de lastro simulada em sistema de oxidação com ozônio. 2023.

SERAFIN, Ieda Terezinha; HENKES, Jairo Afonso. Água de lastro: um problema ambiental. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 92-112, 2013.