

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **DIAGNÓSTICO HIDRO-AMBIENTAL DE SISTEMAS LAGUNARES DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

*Rodrigo Amado Garcia Silva<sup>1</sup>; Daniel Maia Ramos<sup>2</sup>; Roberta Caldas Salcedo Reis<sup>3</sup> & Augusto dos Santos Rosa<sup>4</sup>*

**Abstract:** Lagoon systems are common elements of the coastal stripe of Rio de Janeiro located between Barra da Tijuca Beach and Cabo Frio. In all these bodies of water, environmental problems are observed, to a greater or lesser extent, such as siltation, channel obstruction, stagnation and little water renewal rates, which sometimes leads to eutrophication, fish mortality, unsuitable bathing water quality and, eventually, flooding of surrounding urban areas during heavy rains. Although these are not uncommon phenomena for lentic bodies of water, this pattern is sometimes intensified due to human occupation around the lagoons and poor management of these environments. This work presents alternatives for increasing water renewal in the following lagoon systems: Piratininga-Itaipu, Maricá-Guarapina, Saquarema and Araruama. The proposed solutions consist mainly of opening new maritime connections, restoring existing tidal inlets or even clearing and dredging of obstructed regions. Such interventions were analyzed via computational modeling and proved to be effective, significantly increasing water renewal rates and reducing water ages in the analyzed water bodies.

**Resumo:** Sistemas lagunares são elementos marcantes da região costeira fluminense situada entre a Praia da Barra da Tijuca e o Cabo Frio. Em todos esses corpos de água se observam, em maior ou menor grau, problemas ambientais como assoreamento, obstrução de trechos já naturalmente estrangulados, estagnação e pouca renovação de suas águas, o que por vezes acarreta eutrofização, mortandade de peixes, águas impróprias para banho e, eventualmente, extravasamento com inundação de áreas urbanas circunvizinhas durante grandes chuvas. Embora estes não sejam fenômenos incomuns para corpos de água lênticos, este padrão por vezes é intensificado em virtude da ocupação humana às margens das lagoas e dá má gestão destes ambientes. Este trabalho apresenta alternativas para aumento de renovação de águas nos seguintes sistemas lagunares: Piratininga-Itaipu, Maricá-Guarapina, Saquarema e Araruama. As soluções propostas consistem principalmente em abertura de novas conexões marítimas, recuperação de canais de maré existentes ou ainda desobstrução de estrangulamentos. Tais intervenções foram analisadas via modelagem computacional e mostraram-se efetivas, aumentando significativamente as taxas de renovação de águas e reduzindo as idades das águas nos corpos de água analisados.

**Palavras-Chave** – Sistemas Lagunares; Lagunas Costeiras; Engenharia Costeira.

### **INTRODUÇÃO**

Ao longo da costa do estado do Rio de Janeiro é comum a presença de sistemas lagunares. Este trecho do litoral brasileiro apresenta marés com amplitude pouco maior que meio metro, o que o caracteriza como um litoral de micromarés. A pequena variação da maré faz com que a zona de

1) Afiliação: Times New Roman, 8 pt com endereço completo, fone, fax e e-mail

arrebentação de ondas varie em uma faixa estreita e favoreça a formação de cordões arenosos, que, ao longo do tempo, iniciam a formação de lagoas costeiras.

A região situada entre a entrada da Baía de Guanabara e o Cabo Frio apresenta uma sequência de lagunas e sistemas lagunares (Figura 1), a saber: Sistema Lagunar Piratininga - Itaipu, Sistema Lagunar Maricá - Guarapina, Lagoa de Saquarema e a Lagoa de Araruama. Todos esses sistemas lagunares apresentam, em maior ou menor grau, problemas ambientais como assoreamento, obstrução de canais de maré (e.g. Figura 2), estagnação e pouca renovação de suas águas, o que por vezes acarreta eutrofização, mortandade de peixes e águas impróprias para banho. Embora estes não sejam fenômenos incomuns para corpos de água lênticos, este padrão por vezes é intensificado em virtude da ocupação humana às margens das lagoas. Em várias das lagunas fluminenses é comum observar lançamento de efluentes domésticos (Schuindt, 2018), perda de espelho d'água e obstrução de trechos já naturalmente estrangulados. Durante eventos de chuvas torrenciais prolongadas, por vezes ocorre o extravasamento de algumas lagunas e a inundação da região urbana como entorno, como ocorreu no município de Maricá em 2016, conforme detalha Barrocas *et. al* (2019). Situações como esta podem vir a ser mais recorrentes, considerando o possível cenário de elevação do nível médio do mar em virtude de mudanças climáticas.

Este trabalho apresenta uma compilação de soluções propostas para estes sistemas lagunares, de modo intensificar a circulação hidrodinâmica e, consequentemente, a renovação de águas. As propostas consistem principalmente em desobstrução de trechos estrangulados, dragagem e estabilização de canais de maré existentes, ou ainda abertura e estabilização de novas conexões marítimas.

Figura 1 – Sistemas lagunares analisados. Fonte: Googlemaps.



## ÁREA DE ESTUDO

### Sistema Lagunar Piratininga-Itaipu

A Região Oceânica do município de Niterói conta com um intenso aumento da sua população e consequente urbanização nos últimos anos. Com cinco praias (Camboinhas, Sossego, Piratininga, Itaipu e Itacoatiara) e duas lagunas costeiras (Piratininga e Itaipu), interligadas pelo Canal de Camboatá (2,15 Km de extensão, 9,50 m de largura e 0,40 m de profundidade, sendo esses valores médios), que acompanham o seu crescimento e sofrem constantemente com os processos de urbanização, modificando assim características locais. O Canal de Itaipu, faz a ligação da Laguna de Itaipu com o mar, o Túnel do Tibau, que liga o mar com Laguna de Piratininga e o Canal do Camboatá que comunica as duas lagunas entre si, conforme esquematiza a Figura 2.

Em 2008, a SERLA (Secretaria Estadual de Rios e Lagoas) executou o projeto de escavação de um túnel no costão rochoso de Piratininga (Túnel do Tibau), uma tentativa de aumentar o fluxo resultante de água do mar com a Laguna de Piratininga. O objetivo da obra era aumentar a circulação

e a taxa de renovação do sistema, mas as instalações encontram-se sem manutenção, com desabamento de rochas dentro e na foz do túnel (PMN, 2018). Nos últimos anos, houve recorrentes episódios de interrupção parcial do fluxo pelo túnel, com posteriores tentativas de restabelecimento do mesmo por parte da prefeitura. Esse fluxo interrompido vem comprometendo a qualidade da água na região.

Figura 2 – À esquerda, Sistema Lagunar Piratininga-Itaipu, com destaque para suas conexões marítimas e a conexão entre as duas Lagoas. À direita, Canal de Itaipu. Adaptado de Reis (2025).



### Sistema Lagunar Maricá-Guarapina

O Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina, localizado no município de Maricá, no litoral do estado do Rio de Janeiro (Figura 4), representa um importante conjunto de ecossistemas costeiros, composto por quatro lagoas interconectadas: Maricá, Barra, Padre e Guarapina. Apesar de sua extensa área, essas lagoas são caracterizadas por profundidades rasas e margens de baixo declive, o que as torna particularmente vulneráveis a processos de alagamento em períodos de chuvas intensas (Silvestre *et al.*, 2016).

A dinâmica hidrológica do sistema é fortemente influenciada por fatores meteorológicos e oceanográficos, como o regime de precipitação, os ventos predominantes e as oscilações de maré (Kjerfve *et al.*, 1990). A única ligação permanente e significativa entre o sistema lagunar e o oceano se dá por meio do Canal de Ponta Negra, localizado na extremidade oeste da Lagoa de Guarapina. Esse canal, estreito e relativamente raso, limita a troca de água com o mar, dificultando a renovação de águas no interior das lagoas. O outro canal existente, o canal da costa, localizado na outra extremidade do sistema, praticamente não permite trocas de água com o mar, devido à sua embocadura obstruída, por ser longo, estreito e por estar obstruído em diversos trechos.

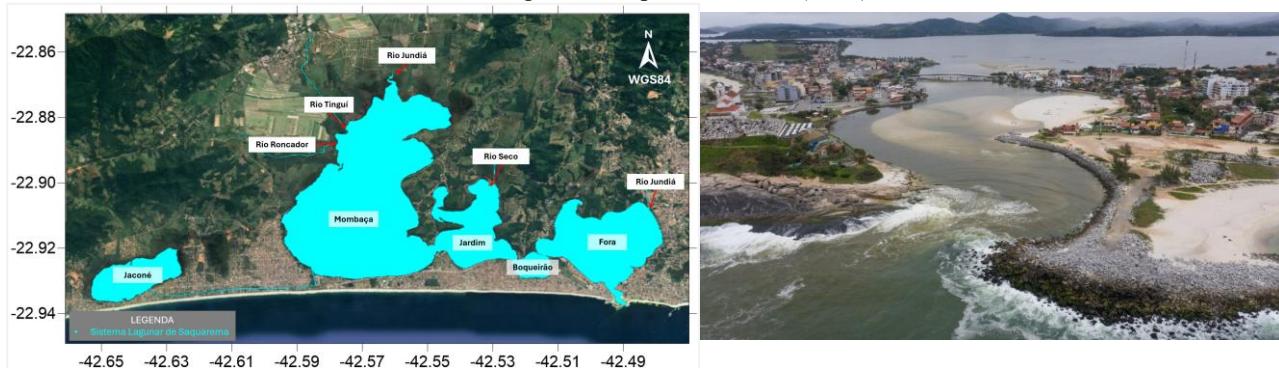
Figura 4 – Sistema Lagunar Maricá-Guarapina, com localização de suas conexões marítimas.



### Sistema Lagunar de Saquarema

O Sistema Lagunar de Saquarema, também chamado simplesmente de Lagoa de Saquarema, localizado no município homônimo na Região dos Lagos do estado do Rio de Janeiro, é um exemplo notável de um ambiente vulnerável à degradação. Composto por diversas lagoas interligadas por estreitas conexões e um único canal que conecta o sistema ao oceano, essa região enfrenta problemas como o assoreamento do Canal da Barra Franca, em virtude do transporte litorâneo, ocupação urbana desordenada e qualidade inadequada das águas afluentes. Tais fatores resultam em uma baixa taxa de renovação das águas, comprometendo a sustentabilidade ecológica e o potencial de uso desse sistema.

Figura 3 – À esquerda, Sistema Lagunar de Saquarema. À direita, o Canal da Barra Franca, única conexão marítima do sistema lagunar. Adaptado de Rosa (2025).



### Lagoa de Araruama

Localizada na Região dos Lagos, a Lagoa de Araruama (Figura 4) constitui um dos ecossistemas lagunares mais importantes do estado do Rio de Janeiro, destacando-se pela singularidade ecológica e por sua importância social, econômica e cultural. Abrangendo os municípios de Araruama, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Iguaba Grande e São Pedro da Aldeia, é considerada a maior laguna hipersalina em ambiente costeiro do mundo, com cerca de 220 km<sup>2</sup> de superfície e uma profundidade média de 2,5 metros. Sua bacia hidrográfica é caracterizada por clima semiárido, baixa pluviosidade e alta evaporação, Moreira (2001). Possui apenas uma conexão permanente com o mar: o Canal de Itajuru, localizado no município de Cabo Frio, o que condiciona fortemente sua dinâmica hidrossedimentológica, além da qualidade e salinidade de suas águas.

Figura 4 – À esquerda, canal de maré proposto para a região oeste da Lagoa de Araruama, apresentada ao centro. À direita, o Canal de Itajuru, única conexão marítima atual do sistema lagunar. Adaptado de Silva et. al (2020).



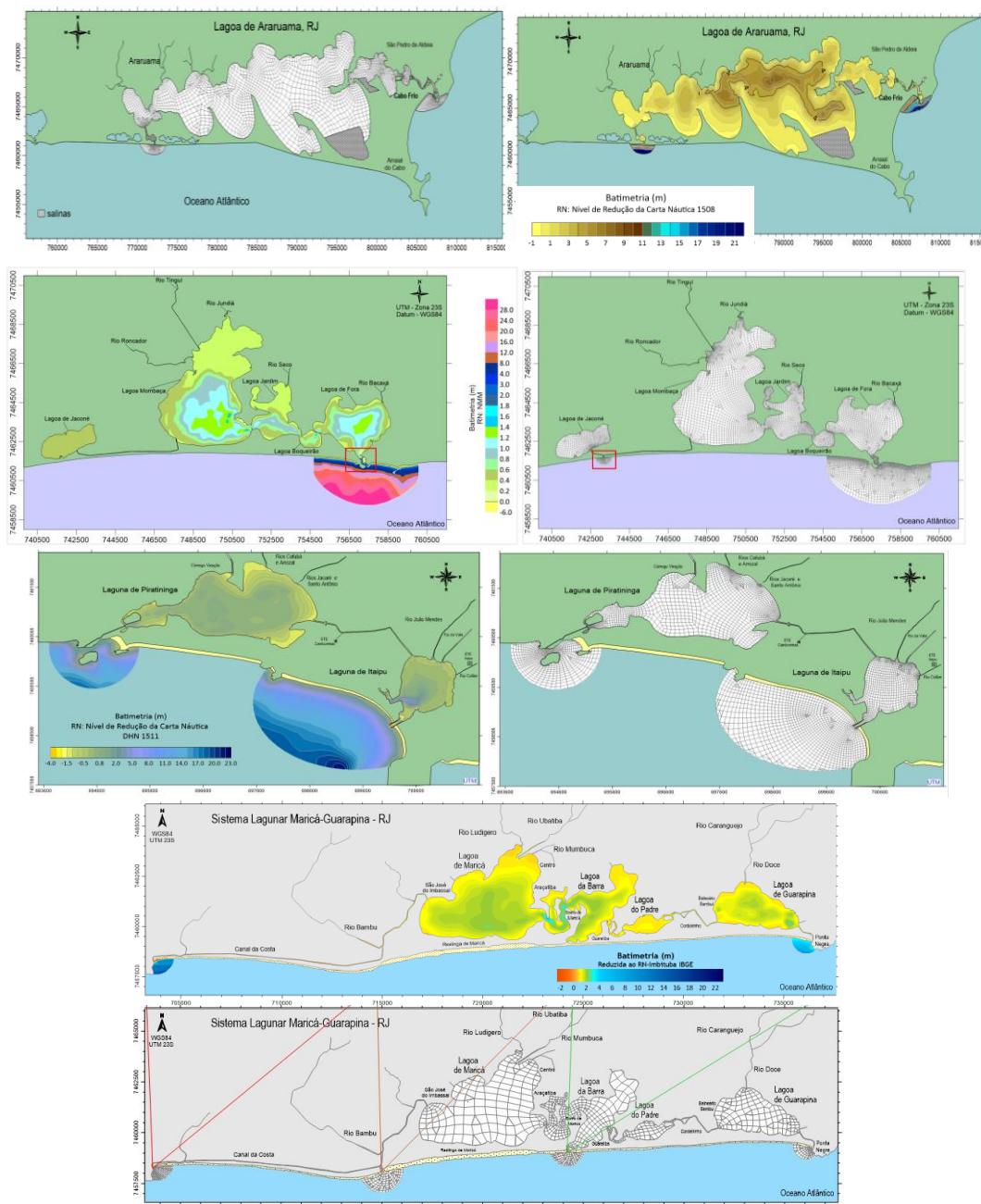
Este sistema lagunar é caracterizado por episódios recorrentes de eutrofização, resultantes do aporte excessivo de nutrientes associado à baixa taxa de renovação de suas águas. Uma alternativa para intensificar a circulação hidrodinâmica e, consequentemente, promover uma maior renovação das massas d'água da Lagoa de Araruama, seria a abertura de uma nova conexão com o mar em sua porção oeste, cf. Silva & Rosman (2016). Esta intervenção poderia potencializar a ação da marcante

persistência dos ventos de nordeste, que promovem o empilhamento de água na extremidade oeste da laguna, conforme demonstrado por Cunha (2003) e Gava (2008). A implantação do novo canal de maré, conjugada ao regime dominante dos ventos, tenderia a estabelecer uma circulação residual efetiva no sentido leste-oeste, favorecendo a exportação do excesso de nutrientes acumulados. A nova ligação com o mar foi referida como Canal Oeste, cuja embocadura se situaria na Praia Seca.

## MÉTODOS

A Figura 5 apresenta as cotas batimétricas e as malhas de discretização espacial adotada para os corpos de água estudados.

Figura 5 - Cotas batimétricas e malhas de discretização espacial utilizadas para os sistemas lagunares estudados.



Desenvolveram-se modelos hidrodinâmicos, além de modelos eulerianos de taxas de renovação e de idade da água, considerando a situação atual e as situações projetadas, considerando desobstruções de canais de maré existentes e abertura de novas conexões marítimas, para fins de aumento de renovação de águas. Os modelos executados foram desenvolvidos com o sistema de modelagem computacional SisBaHiA – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (<http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/>). Dada a pequena profundidade das lagunas costeiras analisadas, foram executados modelos hidrodinâmicos bidimensionais médios na vertical (2DH). Todos os dados ambientais utilizados estão disponíveis em Silva & Rosman (2016), Barrocas et. al (2019), Silva et. al. (2020), Reis (2025) e Rosa (2025).

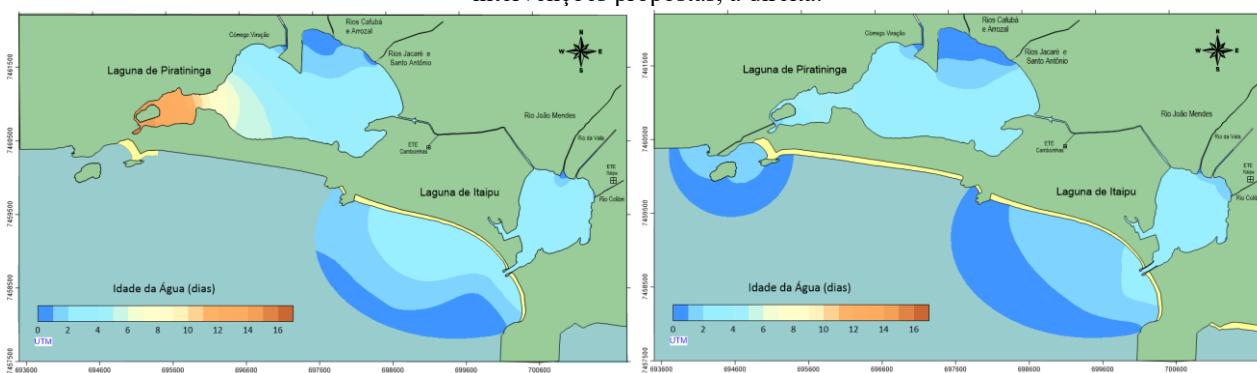
## RESULTADOS

### Sistema Lagunar Piratininga-Itaipu

A renovação de águas do sistema lagunar Piratininga-Itaipu é fortemente influenciada pela integridade estrutural e operacional dos seus canais de comunicação e do Túnel do Tibau. As simulações demonstraram que, na configuração atual do sistema, a região oeste da Laguna de Piratininga apresenta uma clara tendência à estagnação hídrica, resultado diretamente relacionado à restrição de fluxo no Canal de Camboatá e ao papel limitado do túnel, mesmo quando desobstruído.

Os cenários mais eficientes em termos de renovação incluíram tanto o Túnel do Tibau desobstruído quanto os canais dragados, alcançando taxas de renovação significativamente superiores às condições atuais. Esses resultados evidenciam que a conectividade hidrodinâmica entre as lagunas é fundamental para garantir a funcionalidade do sistema como um todo. A Figura 6 apresenta isolinhas de idade da água no cenário atual, com o Túnel do Tibau obstruído, e no cenário de projeto, com todas as intervenções propostas. Nota-se que para o extremo oeste da Lagoa de Piratininga, onde ocorre um bolsão de água mais antiga, o túnel cumpre o importante papel de reduzir a idade da água. Na região leste, a renovação de água ocorre principalmente em função dos afluentes, o que reforça a importância da manutenção da qualidade das águas destes rios.

Figura 6 – Isolinhas de idade da água no Sistema Lagunar Piratininga-Itaipu para a situação atual, à esquerda, e com as intervenções propostas, à direita.



Conforme detalhado por Reis (2025), a dragagem do Canais de Itaipu e de Camboatá apresentou-se como uma intervenção com alto potencial para melhorar o equilíbrio hídrico e a circulação hidrodinâmica do sistema lagunar. Em especial, a dragagem do Canal de Camboatá foi a única medida que demonstrou efetiva capacidade de mitigar os problemas de renovação na Laguna de Piratininga, promovendo maior conectividade entre as lagunas e com o oceano. No entanto, a simulação indicou que a dragagem proposta pode levar à exposição do fundo nas regiões marginais da Laguna de Piratininga, o que representa risco de impactos ambientais e sociais, como o surgimento

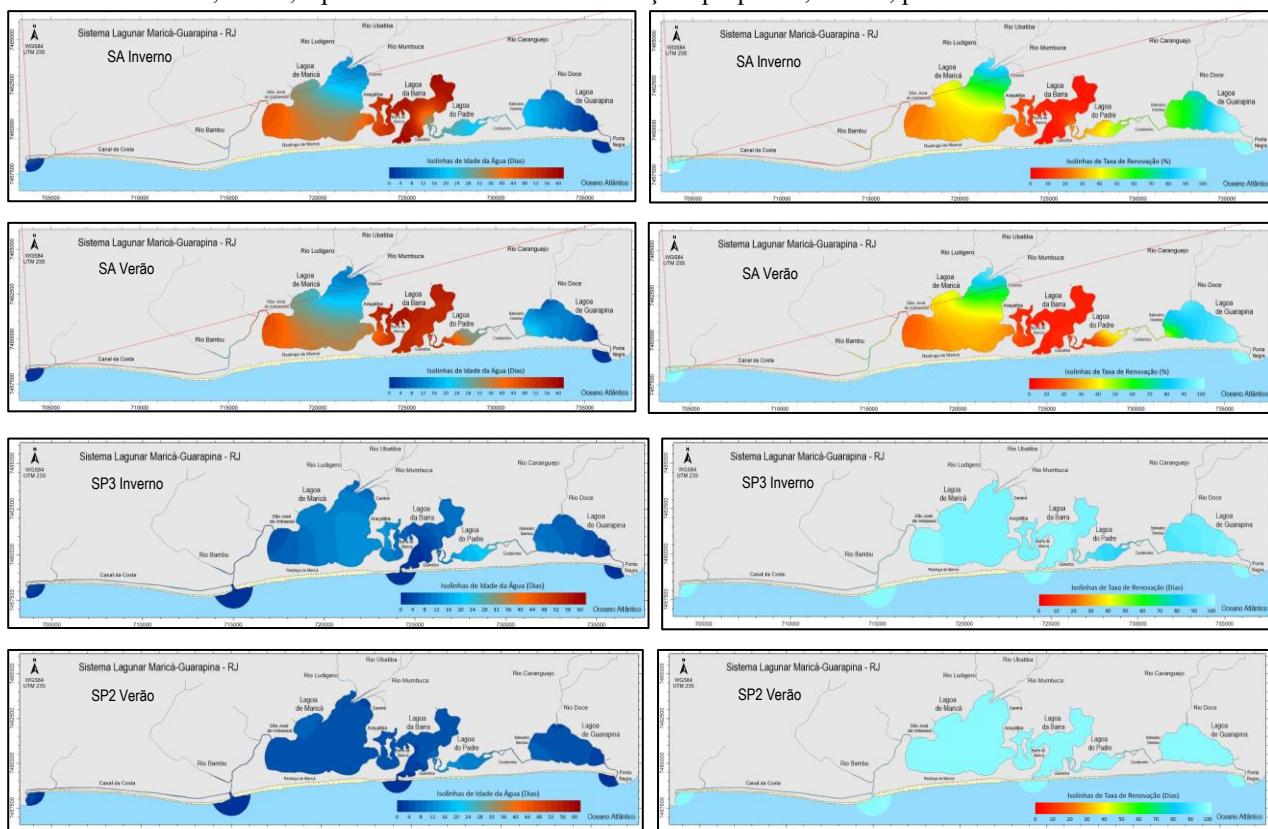
de odores desagradáveis em áreas urbanizadas próximas. Diante disso, recomenda-se avaliar a possibilidade de uma dragagem com volume reduzido, que mantenha os benefícios hidrodinâmicos sem comprometer a integridade das bordas da laguna. Já a dragagem isolada do Canal de Itaipu apresentou impacto limitado, com melhorias restritas à própria Laguna de Itaipu, sem influência significativa sobre a dinâmica da Laguna de Piratininga.

### Sistema Lagunar Maricá-Guarapina

As análises de idade e taxas de renovação de água no Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina evidenciaram a forte influência das conexões com o mar na dinâmica de renovação hídrica do sistema. Os cenários simulados demonstraram que, na situação atual, extensas áreas da lagoa permanecem em condições de estagnação, com tempos de residência elevados e renovação limitada, especialmente nas lagoas da Barra e do Padre, que são mais interiorizadas e distantes da única conexão permanente com o oceano.

Conforme se observa na Figura 6, o melhor desempenho foi observado no cenário que considera desobstrução e dragagem do Canal da Costa, abertura do Canal da Barra e manutenção do Canal de Ponta Negra, adicionando ainda uma nova conexão no meio do canal da costa. Este cenário proporcionou uma renovação quase completa do sistema, com idades da água próximas de zero e taxas de renovação próximas de 100% em praticamente toda a extensão lagunar. Essa condição otimizada aponta para uma situação hidrodinâmica ideal, na qual os processos de troca com o oceano ocorrem de forma contínua e eficiente, promovendo benefícios significativos tanto para o controle de processos eutróficos quanto para a saúde ecológica da lagoa.

Figura 6 – Isolinhas de idade e taxas de renovação de águas no Sistema Lagunar Maricá-Guarapina para a situação atual, acima, e para o cenário com as intervenções propostas, abaixo, para verão e inverno.

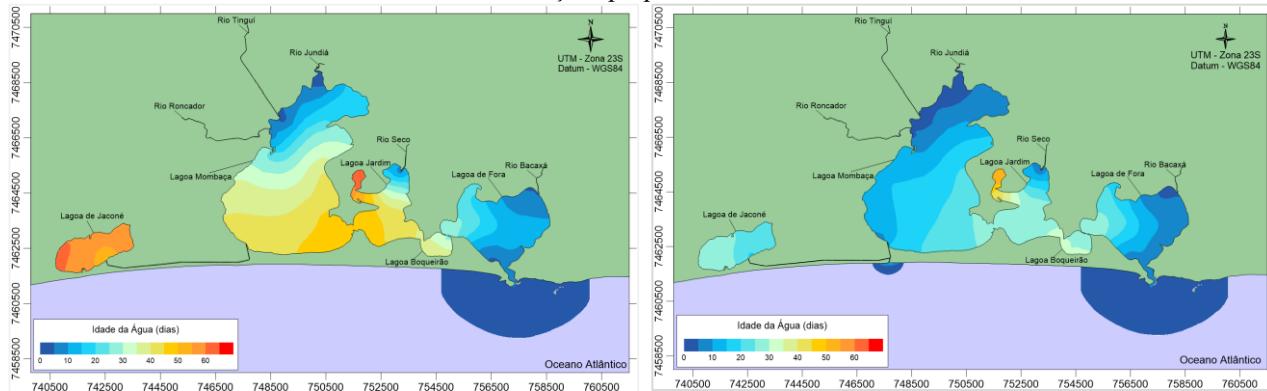


Portanto, os resultados obtidos reforçam a importância de se considerar, no planejamento e na gestão ambiental do Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina, intervenções que ampliem e estabilizem as ligações com o mar. Tais medidas representam uma estratégia eficaz para a mitigação da degradação ambiental, com potencial para reverter o atual quadro de estagnação e promover a recuperação funcional de um dos mais relevantes ecossistemas lagunares da região costeira fluminense.

### Sistema Lagunar de Saquarema

A análise da situação atual revelou que o Sistema Lagunar de Saquarema sofre com uma renovação de água insuficiente, especialmente em lagoas mais afastadas da conexão com o oceano, como as Lagoas de Jaconé, Mombaça e Jardim. A baixa circulação é agravada pelo assoreamento do canal da Barra Franca devido ao transporte litorâneo de sedimentos, pela construção fora dos padrões de projeto do guia-corrente, além de um alto estrangulamento entre seus canais de ligação, fatores que limitam significativamente a entrada de água marinha e a remoção de massas d'água estagnadas. Destaca-se aqui a necessidade de atenção para a Lagoa Jaconé, que apresenta massas de água com idade superior a 50 dias, com alguns pontos superando a faixa dos 60 dias, como na região do extremo oeste deste corpo d'água. Como se observa na Figura 7, a desobstrução do Canal da Barra Franca, concomitantemente à abertura de nova ligação com o mar no canal que conecta a Lagoa de Jaconé à Lagoa Mombaça, são alternativas que aumentam a renovação de águas e reduzem significativamente a idade da água no sistema lagunar como um todo.

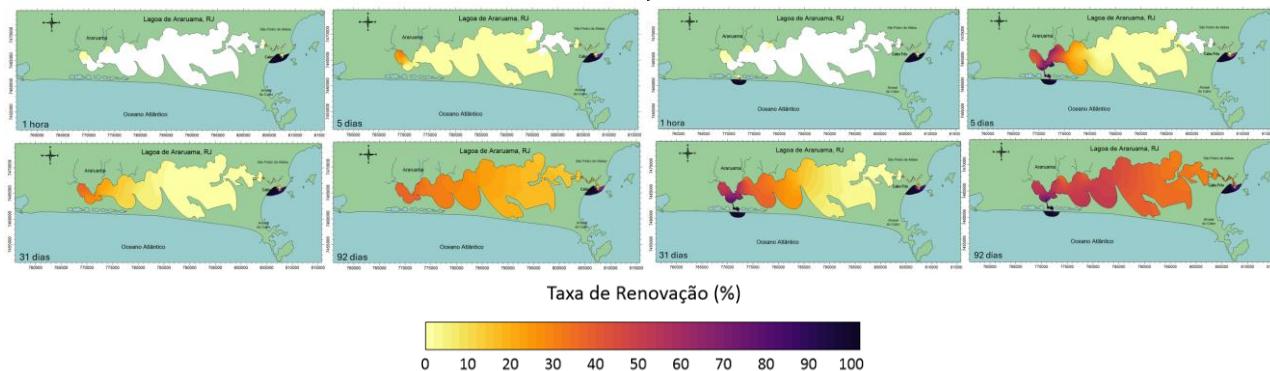
Figura 7 – Isolinhas de idade da água no Sistema Lagunar de Saquarema para a situação atual, à esquerda, e com as intervenções propostas, à direita.



### Lagoa de Araruama

No que diz respeito à Lagoa de Araruama, os resultados obtidos através da modelagem computacional indicaram que, com condições típicas de verão, isto é, durante a prevalência de ventos de nordeste, a abertura do Canal Oeste promoveu sensível incremento na renovação de águas, especialmente nas áreas central e oeste da laguna, tradicionalmente mais afetadas por processos de estagnação, cf. Figura 8. Uma análise complementar realizada, mesmo sob condições desfavoráveis de vento, representadas pelos ventos predominantes de sudoeste durante o período de inverno, a abertura de um segundo canal na região da Praia Seca contribui também para a melhoria na renovação das massas d'água da Lagoa de Araruama, embora em menor grau que no verão.

Figura 8 – Isolinhas de idade da água no Sistema Lagunar de Saquarema para a situação atual, à esquerda, e com as intervenções propostas, à direita.



Apesar da melhoria observada na renovação de águas, é imprescindível destacar que a abertura de um novo canal de ligação com o mar demandaria uma análise aprofundada sobre os efeitos na salinidade do sistema. A Lagoa de Araruama possui um caráter hipersalino marcante, e modificações no equilíbrio salino podem gerar impactos significativos na biota, nos usos econômicos locais e na dinâmica ecológica do ambiente lagunar.

## CONCLUSÕES

Este trabalho analisou intervenções em diferentes sistemas lagunares do estado do Rio de Janeiro, com vistas ao aumento de renovação de águas nos mesmos. Todos os corpos de água analisados apresentam episódios eventuais de eutrofização e depleção de oxigênio dissolvido, fenômenos que costumam acarretar mortandade de peixes. As intervenções propostas consistiram em abertura de novas conexões marítimas ou recuperação de conexões existentes. Como resultado, a maior troca de massas de água com o mar elevou as taxas de renovação de águas e reduziu as idades das águas. Além disso, tais intervenções podem ainda atuar na attenuação de cheias durante a ocorrência de chuvas extremas, efeito esperado em virtude das mudanças climáticas.

A abertura de novos canais de maré, embora benéfica para a qualidade das águas dos sistemas lagunares, é uma intervenção que demanda estudos adicionais e medidas. É necessário, por exemplo, avaliar a estabilidade hidrossedimentológica do canal, isto é, sua capacidade de permanecer desobstruído naturalmente, sem necessidade de dragagem. Quando o canal for instável, pode ser necessária a implementação de guia-correntes para fixação da embocadura. É importante ressaltar que, de modo geral, grande parte dos canais de maré existentes nesse trecho do litoral fluminense são instáveis, em virtude do intenso transporte litorâneo gerado pelas ondas incidentes e por ser uma região de micromarés.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense e financiado pela FAPERJ – Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, Processo SEI E-26/200.239/2023.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROCAS, F. M.; PRADEL, A. B. F.; SILVA, Rodrigo A. G.; GALLO, M. N. (2019). **Abertura do Canal da Barra como medida de mitigação de cheias em Maricá-RJ.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – SBRH, XXIII, 2019, Foz do Iguaçu.
- CUNHA, A. C. B. (2003). Uma Análise do Sistema Lagunar de Araruama – RJ, com Enfoque Hidrodinâmico. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- GAVA, G.L. (2008). Avaliação de Renovação de Águas na Lagoa de Araruama – RJ, via Abertura de Canal com o Mar no Extremo Oeste. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- KJERFVE, B., KNOPPERS, B., MOREIRA, P., & TURCQ, B. (1990). **Hydrological regimes in Lagoa de Guarapina, a shallow Brazilian coastal lagoon.** Acta Limnologica Brasiliensia, 3, 931-949.
- MOREIRA, A. L. C. (2001). “Super crescimento de algas na Lagoa de Araruama: consequências, fatores tróficos e biogeoquímicos”. III Encontro Nacional da Cidadania pelas Águas- CREA-RJ.
- PMN, Prefeitura Municipal de Niterói, 2018. **Projeto Conceitual - Parque Orla Piratininga, Volume I e II.**
- REIS, R. C. S. (2025). Análise de Alternativas para Aumento da Renovação de Águas no Sistema Lagunar Piratininga-Itaipu – RJ. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense.
- ROSA, A. S. (2025). Alternativas para Aumento da Renovação de Águas no Sistema Lagunar de Saquarema - RJ. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense.
- SCHUINDT, R. M. A.; DACO, R. S.; Oliveira, M.A. (2018). Impactos na Lagoa de Araruama e percepção ambiental da comunidade da Praia do Siqueira, Cabo Frio (RJ). Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA). V. 13, n. 1, pp. 299-321.
- SILVA, R.A.G., ROSMAN, P.C.C. (2016). Viabilidade Hidro-Sedimentológica de um Canal de Maré Projetado no Oeste da Lagoa de Araruama- RJ. Braz. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 21, 25–35.
- SILVA, R.A.G.; GALLO, M. N.; ROSMAN, P.C.C.; NOGUEIRA, I. M. (2020). Tidal Inlet Short-Term Morphodynamics analysed trough the Tidal Prism – Longshore Sediment Transport Ratio Criterion, Geomorphology, 351, 106918.
- SILVESTRE, T. M.; COSTA, C. M. S.; MENDONÇA, B. A. F. (2023). **Diagnóstico geoambiental da Lagoa de Maricá como subsídio às formas de uso e ocupação do litoral do município de Maricá/RJ.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 24, n. 2, p. 401–419.