

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
*MODALIDADE PROFISSIONAL*

MODELAGEM HIDROLÓGICA COMO FERRAMENTA PARA GESTÃO  
DOS RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDO DE CASO APLICADO NA LAGOA  
DE IQUIPARI EM SÃO JOÃO DA BARRA/RJ

ALINE MENDONÇA SOARES

Macaé/RJ

2023

ALINE MENDONÇA SOARES

MODELAGEM HIDROLÓGICA COMO FERRAMENTA PARA GESTÃO  
DOS RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDO DE CASO APLICADO NA LAGOA  
DE IQUIPARI EM SÃO JOÃO DA BARRA/RJ.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador: Dr. Jader Lugon Junior.

Orientador: Dr. Vicente de Paulo Santos de Oliveira

Macaé/RJ

2023

**Dados Interbacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

S676m Soares, Aline Mendonça, 1987-.  
Modelagem hidrológica como ferramenta para gestão dos recursos hídricos: estudo de caso aplicado na lagoa de Iquipari em São João da Barra/RJ / Aline Mendonça Soares. — Macaé, RJ, 2023.  
xii, 48 p.: il. color.

Orientador: Jader Lugon Junior, 1962-.  
Coorientador: Vicente de Paulo Santos de Oliveira, 1965-.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2023.  
Inclui referências.  
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.  
Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.


1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Gestão ambiental. 3. Água – Qualidade – Lagoa de Iquipari (São João da Barra, RJ). 4. Meio ambiente – Lagoas (RJ). 5. Água – Poluição – Aspectos ambientais. I. Lugon Junior, Jader, 1962-, orient. II. Oliveira, Vicente de Paulo Santos de, 1965-, coorient. III. Título.

CDD 333.91 (23. ed.)

Dissertação intitulada **MODELAGEM HIDROLÓGICA COMO FERRAMENTA PARA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS – ESTUDO DE CASO APLICADO NA LAGOA DE IQUIPARI EM SÃO JOÃO DA BARRA/RJ**, elaborado por **Aline Mendonça Soares** e apresentado, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense – IFFluminense, na área concentração Gestão de Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.


Aprovado em: 03/08/2023

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **JADER LUGON JUNIOR**  
Data: 04/11/2023 10:56:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

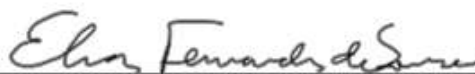
---

Jader Lugon Junior, Doutor em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), membro interno do Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador.

Documento assinado digitalmente  
 **VICENTE DE PAULO SANTOS DE OLIVEIRA**  
Data: 06/11/2023 09:21:23-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), membro interno do Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador.



---

Elias Fernandes de Sousa, Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Norte Fluminense (UENF) – Membro Externo.



**DEDICATÓRIA**

À Deus e toda minha família, com carinho dedico.

## AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus amigos e familiares, se estou aqui seguindo meu sonho em conquistar um título de Mestre, é devido a eles que me apoiaram em cada renúncia que foi necessária.

Aos meus colegas de turma.

Ao Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) pelo ensino público gratuito e de qualidade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA), pela dedicação, pelos conteúdos ministrados e pela contribuição para a minha formação profissional.

Aos professores Vicente de Paulo Santos de Oliveira e Jader Lugon Junior por terem aceitado o desafio desta orientação e pelas valiosas contribuições no desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os membros da banca examinadora, pelo interesse em participar deste trabalho, pela disponibilidade e dedicação ao conteúdo dele.

Aos funcionários do programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense, por todo empenho até aqui fornecido.

MUITO OBRIGADA!

**EPIÍGRAFE**

“Pesquisar é acordar para o mundo.”  
(Marcelo Lamy)



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Lagoa de Iquipari. (A) Barra da lagoa; (B) Porção intermediária da lagoa; (C) Porção intermediária da lagoa; (D) Porção Sul da lagoa. Fonte: Plano de Manejo RPPN Caruara.....	40
Figura 2: Margens da lagoa de Iquipari preservadas e as faixas de praia recobertas por formações de restinga herbáceo/arbustiva. Fonte: Plano de Manejo RPPN Caruara.....	41
Figura 3: Característica arenosa e terrenos com baixa amplitude topográfica (diferenças inferiores a 20 metros) da área da RPPM Caruara. Fonte: Plano de Manejo RPPN Caruara. ....	41
Figura 4: Campanha de coleta de solo em 3 pontos distintos da Lagoa de Iquipari. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	43
Figura 5: Mapa de Localização do ponto da coleta da Amostra 1, coordenadas geográficas UTM 290576.99,7594880.83, próximo a sede da Reserva da RPPN Caruara. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	43
Figura 6: Mapa de Localização do ponto da coleta da Amostra 2 e 3, coordenadas geográficas UTM 290936.460,7588128.780, próximo ao centro de visitantes do Porto do Açú. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	44
Figura 7: Gráfico de precipitação período 06 a 11 de março de 2021. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	46
Figura 8: Desenho esquemático do corte vertical , a esquerda simulação 1 e a direita, simulação2. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	47
Figura 9: Ilustração do corte vertical no eixo para os cenários simulados. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	47
Figura 10: Simulação 1 – Conteúdo de água no solo para o cenário simulados entre o período de 06 a 11 de março de 2021. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	48
Figura 11: Simulação 2 - Conteúdo de água no solo para o cenário simulado entre o período de 06 a 11 de março de 2021. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	48
Figura 12: Figuras estáticas para a comparação entre a Simulação 1 e a Simulação 2. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela com os parâmetros físicos do solo inseridos no módulo Rosetta – Software HYDRUS-1D. Fonte: Elaborado pelos autores.....	44
Tabela 2: Tabela com os parâmetros hidráulicos do solo obtidos através do módulo Rosetta – Software HYDRUS-1D. Fonte: Elaborado pelos autores. ....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- APA – Área de proteção Ambiental
- APPs - Áreas de preservação permanente
- CEVISPA - Centro de Visitantes do Porto do Açu
- CIRM - Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CLIPA - Complexo Logístico Industrial do Porto do Açu
- DNOS: Departamento Nacional de Obras e Saneamento
- DTM – *Digital Terrain Module*
- EIA – Estudo de Impacto Ambiental
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FUNDENOR - Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional
- GERCO - Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IFFluminense – Instituto Federal Fluminense
- INEA - Instituto Estadual do Ambiente
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- MARETEC - *Marine Environment and Technology Center*
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- MOHID – Water Modelling System
- ONU - Organização das Nações Unidas
- OpenFlows FLOOD – Software de Modelagem de Inundação Integrado
- PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente
- PPEA - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
- RPPN - Reserva particular do patrimônio natural
- TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
- RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
- UENF- Universidade Federal do Norte Fluminense
- UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
- UFV – Universidade Federal de Viçosa
- UTM - *Universal transversa de mercator*
- ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico

# **MODELAGEM HIDROLÓGICA COMO FERRAMENTA PARA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS – ESTUDO DE CASO APLICADO NA LAGOA DE IQUIPARI EM SÃO JOÃO DA BARRA/RJ.**

## **RESUMO**

Há tempos a lagoa de Iquipari vem sofrendo com processos de degradação, seja pelas aberturas irregulares e recorrentes de sua barra, seja pela ocupação irregular de sua Faixa Marginal de Proteção, ou até mesmo, pelo despejo de efluentes sem tratamento em suas águas. A modelagem computacional tem se mostrado uma excelente alternativa como ferramenta para a gestão e o monitoramento desses recursos ambientais, além das medidas não estruturais como as legislações pertinentes a preservação desses ecossistemas, subsidiando ações de planejamento hídricos eficientes para reduzir a vulnerabilidade da lagoa. Este trabalho tem por objetivo a realização de um estudo sobre a viabilidade da aplicação do uso do software MOHID e sua interface OpenFlow FLOOD, para modelar corpos lênticos, a partir de um estudo de caso da Lagoa de Iquipari. Para tal, o método incluirá uma revisão bibliográfica sobre as aplicabilidades da modelagem computacional, através da simulação hidrológica, como mecanismo de planejamento e manejo para as lagoas costeiras, analisando diversos cenários e estudos de caso já existente. Esse estudo inclui também uma revisão de literatura dos principais instrumentos legais para o gerenciamento de zonas costeiras e simulará uma modelagem hidrológica diretamente na área a ser estudada.

**Palavras-chave:** Modelagem Hidrológica. MOHID. OpenFlow FLOOD. Lagoas Costeiras. Legislação.

***HYDROLOGICAL MODELING AS A TOOL FOR WATER RESOURCES  
MANAGEMENT - CASE STUDY APPLIED TO THE IQUIPARI LAGOON  
IN SÃO JOÃO DA BARRA/RJ***

***ABSTRACT***

*Iquipari lagoon has long suffered from degradation processes, either by the irregular and recurrent opening of its Sand bar, or by the irregular occupation of its Marginal Protection Zone, or even by the discharge of untreated effluents into its waters. The computational modeling has shown to be an excellent alternative as a tool for the management and monitoring of these environmental resources, besides the non-structural measures such as the pertinent legislations to preserve these ecosystems, subsidizing efficient hydric planning actions to reduce the lagoon's vulnerability. The objective of this work is to conduct a study of the feasibility of using the MOHID software and its OpenFlow FLOOD interface to model lentic bodies, based on a case study of the Iquipari Lagoon. To this end, the method will include a literature review on the applicability of computer modeling, through hydrological simulation, as a planning and Themangement mechanism for coastal lagoons, analyzing various scenarios and existing case studies. This study also includes a literature review of the main legal instruments for coastal zone management and will simulate hydrological modeling directly in the area to be studied.*

***Keywords:*** *Hydrological Modeling. MOHID. OpenFlow FLOOD. Coastal Lagoons. Legislation.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 1.....</b>	<b>6</b>
1. <b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
2. <b>MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>11</b>
3. <b>REVISÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
4. <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>32</b>
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 2.....</b>	<b>36</b>
1. <b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>38</b>
2. <b>OBJETIVO .....</b>	<b>39</b>
3. <b>METODOLOGIA .....</b>	<b>40</b>
3.1 <b>Descrição da área estudada .....</b>	<b>40</b>
3.2 <b>Modelo de infiltração de água no solo .....</b>	<b>41</b>
3.3 <b>Amostragem do solo .....</b>	<b>42</b>
3.4 <b>Descrição do modelo MOHID .....</b>	<b>45</b>
4 <b>RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
5 <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>

## APRESENTAÇÃO

De acordo com Esteves (2011), lagoas Costeiras são ecossistemas aquáticos que fazem interface com as zonas costeiras, águas interiores e costeiras marinhas. As lagoas ocorrem ao longo da faixa litorânea brasileira e constitui um dos ecossistemas mais representativos do país. Na costa brasileira, destacam-se as lagoas de Mundaú, Manguaba e Roteiro (AL); Lagoa Feia, Araruama, Saquarema, Maricá e Sepetiba (RJ); Lagoa dos Patos, Mirim, Mangueira e Ira Mandai (RS) (MMA, 2010).

Grande parte das lagoas costeiras brasileiras está concentrada no estado do Rio de Janeiro e do Rio Grande do Sul (MMA, 2010). Esses ecossistemas estão entre os mais ameaçados em todo mundo por serem localizados próximos as regiões de ocupação urbana, ficando sujeito à poluição devido ao crescimento desordenado da região em que se encontra. Com intenso aumento de degradação devido as atividades antrópicas nesses ecossistemas, como aceleração de assoreamento da bacia, dragagens, lançamentos de efluentes, aterro das margens, aberturas de sua barra, essas intervenções estão constantemente provocando mudanças e alterações em suas paisagens naturais e causando uma série de impactos negativos (Ramos, 2019).

Dentre os impactos negativos a que estão sujeitas as lagoas costeiras, um dos mais expressivos consiste no lançamento de efluentes in natura. Esses efluentes podem ser de origem doméstica, industrial ou relacionados ao agronegócio. Como resultados destes lançamentos de esgotos irregulares nos corpos hídricos, o processo de eutrofização pode vir a ocorrer de maneira crítica e severa (Fonseca et al., 2020).

Como forma mitigadora e uma maneira de aliviar essa carga de matéria orgânica e ou de nutrientes, processos de abertura de barra de areia que separa a lagoa do mar podem vir a ser realizado. Porém tal prática provoca alterações drásticas na coluna d'água e no sedimento. Esse tipo de intervenção faz com que ocorra a exportação de nutrientes e matéria orgânica, com considerável redução da profundidade da coluna d'água, possibilitando a ocorrência de exposição do sedimento, além de um aumento da salinidade. Outro ponto relevante é que muitas vezes essas aberturas de barra ocorrem também por interesses econômicos, para atividade pesqueiras, visto que tal procedimento permite a entrada de organismo de origem marinha, como algumas espécies de peixes e camarões de grande interesse para o comércio pesqueiro. (Fonseca et al., 2020).

Os ambientes situados nas zonas costeiras têm sofrido cada vez mais pressão, sendo muito mais que apenas pontes de ligação entre os ecossistemas terrestres e marinhos. Eles são responsáveis por proporcionar alimentos, representar diversas espécies de animais, servem como área de lazer, fonte de matéria prima, abastecimento de água e para o despejo de dejetos industriais e domésticos, além de quando dessalinizadas, servem como fonte de água doce (Figuereido, 2015).

O Rio de Janeiro é o segundo estado do Brasil que mais apresenta lagoas costeiras. A região Norte Fluminense é notável a presença deste belo cenário, visto que ela possui mais de cinquenta desses corpos hídricos (Soffiati, 2013). As lagoas costeiras são importantes componentes da paisagem na região Norte Fluminense. Constituem-se em ricos ambientes nos quais ocorrem complexos processos ecológicos, além de terem papel importante como local de reprodução e proteção de espécies aquáticas e semi-aquáticas (Freesz et al., 2010). O município de São João da Barra possui quatro lagoas de maior destaque em seu território, sendo elas: Lagoa do Salgado, do Açú, de Grussaí e de Iquipari (Soffiati, 2013).

A cidade de São João da Barra é composta basicamente por comunidades rurais, pescadores, artesãos, pequenos comerciantes e atração de veraneio para turistas de regiões próximas que são atraídos pelo bom clima praiano, o município de São João da Barra, onde a lagoa objeto de estudo em questão está situada, sofre grandes impactos causados pelo homem advindo da agricultura, pecuária e ainda atualmente tem sido palco de um desenvolvimento regional impulsionado pela oferta de mão de obra, devido ao aporte de empreendimento como o Complexo Logístico Industrial do Porto do Açú – CLIPA (São João Da Barra, On line).

São João da Barra e região vem sofrendo impactos com a urbanização e especulação imobiliária e falhas em seu planejamento e ocupação urbana há tempos. Segundo Soffiati (2013), após obras de saneamento efetuadas entre 1930 e 1950, pelo DNOS, que instalou uma rede de canais de quase 1300 km para privilegiar a expansão agrícola local, as águas que antes eram escoadas para rios e lagoas começaram a seguir mais veloz para o mar, causando então a redução da vazão dos rios Grussaí, Iquipari e Iguaçu, transformando-os em lagoas costeiras e cerca de outras 150 lagoas foram dessecadas devido a tal obra de saneamento. A lagoa de Iquipari é uma das sobreviventes dessa obra.

Com intenso aumento de degradação devido as atividades antrópicas e a constante ameaça ao equilíbrio desse ecossistema da região e ainda arriscando as áreas que ainda se encontram preservadas, foi criada então a maior unidade de conservação privada do país, a RPPN Caruara, visando conciliar o desenvolvimento industrial com a conservação, preservação e a proteção desse ecossistema de restinga (RPPN, 2017).



Reconhecida de forma definitiva pela Portaria INEA/RJ/PRES nº 357, de 19 de julho de 2012, a unidade possui uma área de 3.844,73 hectares e se localiza no município de São João da Barra/RJ. Oficialmente, a RPPN Caruara tem área de 3.844,73 hectares, no registro atualizado do imóvel, mas a área protegida na propriedade em questão ultrapassa 4.000 hectares, quando somada a RPPN à faixa de praia, compondo uma única área contígua. Além de abrigar um dos principais fragmentos de restinga preservados do Norte do estado, dentro da RPPN estão as lagoas de Grussaí e Iquipari. A Lagoa de Iquipari encontra-se totalmente protegida, desde suas nascentes até a sua foz, na praia do Açú. Já a lagoa de Grussaí está parcialmente (RPPN, 2017).

A modelagem hidrodinâmica, que tem como base equações matemáticas, que demandam a utilização de ferramentas computacionais para processar os cálculos, pode vir a servir como excelente ferramenta para a gestão desses ecossistemas, permitindo avaliar e simular diversos cenários e desta forma, ter uma melhora em seu planejamento e manejo. Modelagens nas redes de drenagem, na bacia hidrográfica e na hidrodinâmica da lagoa, tendo base modelos matemáticos e hidráulicos contribuem para obtenção de uma reposta antecipada de um futuro problema (Canholi, 2015).

Portanto, o conhecimento antecipado de um futuro problema e seu monitoramento adequado é de suma importância para se estabelecer propostas de planejamento e possível mitigação de impactos ambientais e sócios econômicos, justificando então, a escolha da área de estudo devido a sua importância para o país.

Desta forma, essa pesquisa tem como objetivo analisar quais ferramentas podem ser usadas para a gestão da lagoa costeira, em especial a Lagoa de Iquipari, e assim contribuir para o plano de gerenciamento da unidade de conservação RPPN Caruara, visando mitigar impactos ambientais e possíveis prejuízos socioeconômicos.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- 1) Analisar as principais legislações aplicáveis no que tange ao gerenciamento de Zonas Costeiras;
- 2) Analisar a Modelagem Computacional como ferramenta de gestão para corpos hídricos.
- 3) Criar simulações para o processo de infiltração no entorno da lagoa costeira de Iquipari, utilizando o software MOHID (Water Modeling System).
- 4) Contribuir para a solução dos problemas locais ao estudar o processo de infiltração através da modelagem computacional na lagoa de Iquipari.

Desta forma, o presente trabalho está organizado da seguinte forma: Na presente seção (Seção 1 – APRESENTAÇÃO), constam descritos a contextualização da pesquisa, a justificativa, o problema, a hipótese e os objetivos. A seção 2 (ARTIGO CIENTÍFICO 1) descreve uma pesquisa com abordagem exploratório-descritiva realizada por meio de estudo bibliográfico (livros, sites oficiais e periódicos nacionais e internacionais) acerca dos principais instrumentos legais brasileiros, fazendo uma comparação com a legislação norte americana no que tange ao gerenciamento de zona costeira, onde se encontram as lagoas costeiras objeto de estudo em questão. A seção 3 (ARTIGO CIENTÍFICO 2) teve o objetivo de estudar o sistema de infiltração na área da lagoa de Iquipari em São João da Barra, Rio de Janeiro, por meio de um estudo de caso. Desta forma, foi feita uma simulação no MOHID Land através de uma análise de sensibilidade do fluxo de infiltração considerando dois cenários extremos, um cenário sendo a lagoa com nível inicial de água e com maré baixa e o segundo cenário, a lagoa com nível baixo de água e maré cheia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA APRESENTAÇÃO

- CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. [s.l.] Oficina de Textos, 2015.
- CRUZ, F. O. et al. **A saúde no Brasil em 2030: população e perfil sanitário - Vol. 2**. [s.l.] Saúde Brasil 2030, 2013.
- ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. 3 edições. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 790p.
- FIGUEIREDO, Carolina Pereira Sales. **Levantamento do processo histórico de ocupação urbana e os impactos da descaracterização da lagoa de Grussaí/ São João da Barra-RJ**. 2015. Xiii, 62f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2015.
- FONSECA, André Luiz dos Santos *et al.* Lagoas costeiras urbanas sujeitas a impactos antrópicos via aporte de efluentes: aspectos gerais e a concentração de metano na lagoa imboassica, macaé, rj. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 81-97, 16 abr. 2020. Essentia Editora. <http://dx.doi.org/10.19180/2177-4560.v14n12020p81-97>.
- FREESZ, N. P.; NOVELLI, R.; JUNIOR, L. S. A. C. (2010). **Dinâmica da avifauna da Lagoa do Açú**, Norte Fluminense, RJ. In: VII Congresso de Ecologia do Brasil, Anais...Caxambu. Disponível em:< <http://www.seb-ecologia.org.br/viiceb/resumos/175a.pdf>>
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. Brasília: MMA, 2010, 152 p. Disponível em: <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/2016/15Panorama%20da%20Conservao.pdf> Acessado em 03 ago. 2021.
- RAMOS, Verônica Ribeiro (2019). **Caracterização de Parâmetros de Qualidade da água das Lagoas de Grussaí, Iquipari, Açú e Salgada, São João da Barra - RJ**. 2019. xiv, 57f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Federal de Educação Tecnológica

de Campos, RJ, 2019.

ALLEN, Richard G. et al. Fao Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (org.). **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: Fao Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 2006. 322 p. (56). Disponível em: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>. Acesso em: 4 set. 2021.

RPPN Caruara. Porto do Açu, 2017. Disponível em: <<https://portodoacu.com.br/rppn-caruara/>>. Acesso em: 03 ago. 2021.

SÃO JOÃO DA BARRA. Prefeitura Municipal de São João da Barra, 2021. Disponível em: <<http://www.sjb.rj.gov.br/historico>>. Acesso em: 19 dez. 2021.

SOFFIATI, Arthur. **As lagoas do Norte Fluminense: contribuição à história de uma luta**. Campos dos Goytacazes: Essentia, 2013

## ARTIGO CIENTÍFICO 1

Artigo de Revisão Bibliográfica como requisito mínimo necessário para a qualificação que foi publicado no XIV Congresso Fluminense De Iniciação Científica E Tecnológica / VII Congresso Fluminense De Pós-Graduação - XIV CONFICT / VII CONPG.

### **GESTÃO AMBIENTAL DE LAGOAS COSTEIRAS: ANÁLISE DA NORMATIVA LEGAL NOS EUA E BRASIL**

Environmental Management of Coastal Lagoons: Analysis of legal regulations in the US and  
Brazil

Aline Mendonça Soares – IFFluminense/PPEA

Vinícius Vanderley Miguel da Silva – IFFluminense/PPEA

Augusto Eduardo Miranda Pinto – IFFluminense/PPEA

Vicente de Paulo S. de Oliveira – IFFluminense/PPEA

Jader Lugon Junior – IFFluminense/PPEA

### **RESUMO**

Os sistemas ambientais costeiros do Brasil contribuem para uma imensa variedade de ecossistemas além de abrigar uma diversidade de espécies de flora e fauna. Porém devido a sua localização junto a costa, onde é mais comum a ocupação urbana, esses ecossistemas estão mais vulneráveis a distúrbios provocados pelo homem, afetando diretamente a dinâmica natural e a produtividade dessas áreas. Portanto, visando a proteção ambiental dos ecossistemas lagunares, o presente trabalho tem por objetivo analisar os principais instrumentos legais brasileiros, fazendo uma comparação com a legislação norte americana no que tange ao gerenciamento de zona costeira, onde se encontram as lagoas costeiras objeto de estudo em questão. Busca-se também descrever o conceito de lagoas costeiras e tipologia para uma correta caracterização desse ecossistema. Realizou-se uma revisão narrativa da literatura de artigos científicos publicados em revistas indexadas, bem como em dissertações, teses e livros que abordassem o assunto proposto e a metodologia baseou-se em uma análise qualitativa. Observou-se critérios de licenciamento ambiental nas zonas costeiras, proteção ambiental desses ambientes e como se é feito o gerenciamento costeiro nesses territórios, bem como pesquisa bibliográfica na doutrina e legislação pertinente. Conclui-se que a legislação brasileira garante um meio ambiente ecologicamente equilibrado, conforme o direito previsto na constituição federal diferentemente dos EUA e embora existam diversos instrumentos legais, como Política de Recursos Hídricos, Código Florestal, Política Nacional de Meio Ambiente, entre outros, que

possam ser consultados para garantir a preservação e proteção desses ecossistemas tão importante, há uma falha na gestão integrada brasileira, pois as políticas de gerenciamento costeiro e de recursos hídricos são geridas por instituições diferentes, não sendo considerada a zona costeira como parte integrante da bacia hidrográfica.

**Palavras-Chaves:** Lagoas Costeiras, Zonas Costeira, Gerenciamento Costeiro, Legislação costeira.

## **ABSTRACT**

*The coastal environmental systems of Brazil contribute to an immense variety of ecosystems and are home to a diversity of species of flora and fauna. However, due to their location near the coast, where urban occupation is more common, these ecosystems are more vulnerable to disturbances caused by man, directly affecting the natural dynamics and productivity of these areas. Therefore, aiming at the environmental protection of lagoon ecosystems, this paper aims at analyzing the main Brazilian legal instruments, comparing with the North American legislation regarding coastal zone management, where the studied coastal lagoons are located. It also seeks to describe the concept of coastal lagoons and their typology for a correct characterization of this ecosystem. A narrative literature review was carried out of scientific articles published in indexed journals as well as dissertations, theses, and books that addressed the proposed subject, and the methodology was based on a qualitative analysis. We observed criteria for environmental licensing in coastal zones, environmental protection of these environments, and how coastal management is done in these territories, as well as bibliographic research on doctrine and pertinent legislation. We conclude that the Brazilian legislation guarantees an ecologically balanced environment, according to the right foreseen in the federal constitution, differently from the USA, and although there are several legal instruments, such as the Water Resources Policy, Forestry Code, National Environmental Policy, among others, that can be consulted to guarantee the preservation and protection of these very important ecosystems, there is a flaw in the Brazilian integrated management, because the policies for coastal management and water resources are managed by different institutions, and the coastal zone is not considered an integral part of the hydrographic basin.*

**Keywords:** *Coastal Lagoons, Coastal Zones, Coastal Management, Coastal legislation.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas ambientais costeiros do Brasil contribuem para uma imensa variedade de ecossistemas como recifes de corais, dunas, restingas, praias arenosas, costões rochosos, estuários, marismas, lagoas e manguezais, este último, considerado berçário natural para inúmeras espécies (MMA, 2010). Extremamente importante do ponto de vista ecológico e socioeconômico, esses ecossistemas têm inúmeras unidades de conservação estabelecidas no litoral para auxiliarem na preservação e proteção da biodiversidade (Raupp, 2020).

Tais ecossistemas além de abrigar uma diversidade de espécies de flora e fauna, também são responsáveis por uma gama de funções ecológicas, como prevenção de inundações, evitar a ocorrência de intrusão salina e erosão costeira, dentre outras funções ecológicas. Conferindo aos ambientes costeiros o estatuto de um dos principais objetivos de conservação ambiental visando à manutenção da biodiversidade (MMA, 2008). A importância desta área também se encontra no fato que 60% dos 475 milhões de habitantes da América Latina, vivem em estados costeiros assim como 60 das 77 maiores cidades são costeiras (Lemay, 1998)

Entre todos esses ecossistemas encontrados na zona costeira, as lagoas são consideradas os ecossistemas de imensa importância para o homem e eles vem atribuindo-lhes os mais diversos usos ao longo dos anos. Elas são instrumentos na manutenção de condições climáticas e hidrológicas, contribuindo para a estabilidade climática da região e fazendo a manutenção do lençol freático, também estão associadas ao desenvolvimento local e a qualidade de vida da população ao entorno. Atividades como pesca, lazer, extração de sal, coletas de macrófitas são atividades que potencializam o uso e a exploração de seus recursos (Ramos, 2019).

Phleger (1969) classifica as lagoas costeiras como extensões rasas de água, orientadas de maneira paralela à costa, podendo ser completamente ou parcialmente separadas do oceano por restingas, recife ou uma ilha barreira. Segundo Esteves (2011), devido a sua localização junto a costa, onde é mais comum a ocupação urbana, esses ecossistemas estão mais vulneráveis a distúrbios provocados pelo homem.

Afetando diretamente a dinâmica natural e a produtividade dessas áreas com cenários de grandes atividades econômicas e alta concentração populacional, esses ecossistemas vêm sofrendo com uma série de impactos ambientais negativos relacionados ao uso e ocupação desordenada, acentuando a demanda pela preservação e proteção. Para isso, precisa-se, portanto, seguir a teoria do desenvolvimento sustentável aliadas as políticas ambientais (Marchionatti *et al*, 2011).

Visando a proteção ambiental dos ecossistemas lagunares, este artigo tem por objetivo analisar os principais instrumentos legais brasileiros, fazendo uma comparação com a legislação norte americana.

Busca-se também descrever o conceito de lagoas costeiras e tipologia para uma correta caracterização desse ecossistema, contribuindo desta forma para à sua gestão.



## 2. MATERIAL E MÉTODO

A metodologia baseou-se em revisão teórica através da revisão narrativa da literatura de artigos científicos publicados em revistas indexadas, bem como em dissertações, teses e livros que abordassem os principais instrumentos legais brasileiros e americanos. A pesquisa é qualitativa, exploratória e de caráter descritivo.

Foi realizado um levantamento bibliográfico na base de dados do Periódicos da CAPES, através do acesso do IFFluminense, e no google acadêmico. Foram utilizadas as principais palavras-chave que auxiliaram na busca: *Law, costal zone*, Direito Ambiental, *costal zone management*, lagoas costeiras e gerenciamento costeiro integrado. Os artigos encontrados foram eliminados a partir do seguinte critério: primeiro pelo conteúdo do título, em seguida pelo resumo, e, por último, após a leitura do texto.

### 3. REVISÃO TEÓRICA

#### 3.1 Conceito e Tipologia das Lagoas Costeiras

Segundo Esteves (2011), o Brasil, embora não possam ser reconhecidas áreas de grande formação de sistema lacustre, como na Europa, pode-se agrupar os lagos brasileiros (muitos deles lagoas) em pelo menos 5 grupos bem distintos (Lagos amazônicos; Lagos do Pantanal Mato-Grossense; Lagos e Lagunas Costeiras; Lagos formados ao longo de rios de médio e grande porte e Lagos artificiais) e as Lagunas costeiras se encontra em um desses grupos. Para Esteves (2011), as lagoas costeiras podem ser definidas como sendo corpos d'água interiores sem comunicação direta com o mar.

Todos os sistemas de águas interiores originaram-se de uma diversidade de processos naturais e de um variado mecanismo de formação, que conseqüentemente irá variar de cada região e em cada era geológica. Classificando os lagos pela sua origem, podem ser de origem tectônica, vulcânica, movimentos do terreno, glaciação, lagos de solução, ação fluvial, por ação do vento, na costa, acumulação orgânica, construídos por organismos e através de impactos de meteoritos (Tundisi, 2008).

Desta forma, as lagunas costeiras encontram-se suas origens na costa e pode ocorrer através da deposição de material na costa, produzido em regiões onde existe baías ou reentrâncias. Quase sempre com uma separação insuficiente com o mar, alternando período de água doce e salobra. (Tundisi, 2008). A maioria das barreiras é gerada pela deposição de material do transporte litorâneo em áreas denominadas por micro marés ou elevadas energias de ondas (Pereira, 2020).

Por definição então temos as lagunas costeiras como corpos d'água localizadas na região costeira ou oceânica, localizadas paralelamente a linha da costa. São ambientes rasos, sendo geralmente mais compridas e largas e separadas dos oceanos por barreiras de diversos tipos, como cordões arenosos, ilhas barreiras, recifes biológicos e menos comum por rochas (Pereira, 2020).

Ocorrendo ao longo de toda costa brasileira, as lagoas costeiras se estendem do Nordeste até o Rio Grande do Sul, dos mais variados tamanhos, podem ser desde pequenas até ecossistemas de grandes dimensões como a lagoa dos Patos, lagoa Mirim e lagoa Mangueira no Estado do Rio Grande do Sul e as lagoas de Araruama, Saquarema e Maricá no Estado do Rio de Janeiro (Esteves, 2011).

Independentemente de sua origem, os corpos d'água costeiros e mesmo interiores são comumente chamados equivocadamente de lagoas, mas na realidade, a maioria são lagunas ou lagos costeiros. Porém vamos seguir a lógica de Esteves (2011), de manter o termo lagoa, devido a sua ampla aceitação.

A lagoas costeiras podem ser caracterizadas em função de diferentes aspectos tais como sua formação, hidro geomorfologia e o número de canais que a conectam com o mar, concentração de sais dissolvidos (salinidade) e em função de sua coloração.

Quanto aos principais processos formadores, existem Lagoas formadas pelo isolamento de Enseada marinha ou braços de mar, através de cordões de areia; Lagoas formadas pelo fechamento da desembocadura de rios por sedimento marinhos; Lagoas formadas pelo fechamento de desembocadura de rios por recifes de corais; Lagoas formadas pelo fechamento da desembocadura de rios por sedimentos fluviomarinho e Lagoas formadas nas depressões entre faixa de areia que constituem restingas (Esteves, 2011).

Aos processos formadores, pode-se dizer que a maioria são formadas por processos geomorfológicos principalmente por erosão e sedimentação, geralmente com águas salobras e claras. No Estado do Rio de Janeiro as lagoas costeiras mais conhecidas por essas características são as lagoas de Maricá, Saquarema e Araruama (Paula, 2015).

Quanto a sua configuração hidro geomorfológica e seus números de canais de acesso ao mar, temos lagunas afogadas, com um único canal de acesso ao mar, que em determinados momentos pode encontrar-se fechado, tornando a ligação com o mar intermitente; Lagunas restritas, com dois a três canais de ligação com o mar e Lagunas vazadas, delimitadas ou separadas do mar por um cordão de ilhas arenosas (Pereira, 2020).

Nas lagoas afogadas, os ventos são muito importantes para garantir a circulação e a mistura das águas, pode-se citar a Lagoa dos Patos no Rio Grande do Sul, como exemplo de uma lagoa afogada. Já nas lagoas restritas a circulação da água é dominada pela maré, pode-se citar como exemplo a lagoa do Términos no México e as Lagoas vazadas, como apresentam vários canais de comunicação, as marés são mais fortes que as ondas, a salinidade é comparável à do oceano adjacente, como por exemplo, pode ser citada a Lagoa de Wadden Zee, na Holanda (Paula, 2015).

Quanto a salinidade: A salinidade das lagunas é determinada pelo balanço entre as taxas de entrada e água doce, pela intrusão de água marinha e taxa de evaporação, de modo que as águas podem ser salobra, hipersalinas ou até mesmo doces como a dos rios que nelas deságuam (Pereira, 2020).

Quanto a coloração da água, de acordo com Esteves, 1998: águas claras e águas escuras. As águas claras são formadas por origens oceânicas e/ou rios que percorrem com baixa concentração de matéria orgânica solúvel. Já as águas escuras, em sua maioria têm origem dos lençõs freáticos de regiões arenosas ou de rios que percorrem terrenos com elevada concentração de matéria orgânica em decomposição (Esteves, 1998).

De modo geral as lagoas costeiras possuem pequena taxa de renovação de águas, com longo tempo de residência, são efêmeras na escala de tempo geológico e sua existência depende principalmente das flutuações do nível do mar. O estudo destes cenários é essencial para o equilíbrio desses sistemas (Paula, 2015).

### **3.2 Características gerais das Zonas Costeiras**

As lagoas costeiras são ecossistemas de transição que ocupam seu espaço geográfico dentro de zonas costeiras, fazendo interface entre zonas costeiras, águas interiores e costeiras marinhas. A Zona costeira brasileira, através da Lei nº 7.661/88 é definida como o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis e não renováveis, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre, que serão definidas pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Brasil, 1988).

Existem vários termos que podem ser usados como sinônimos para a linha de contato entre a terra e o mar, como, litoral, zona costeira, costa e orla marítima (Freitas, 2004). Porém, a expressão Zona Costeira que é utilizada na constituição federal e nas legislações que regulamentam seu uso, portanto esse será o termo utilizado neste trabalho.

Compreendendo uma faixa de 8.698 km de extensão e abrangendo 17 estados e cerca de 400 municípios, a zona costeira do país representa um enorme desafio para a gestão brasileira. Cerca de 25% da população brasileira vivem nesse território (MMA, 2008). Além de ter condições que atribuem à região um caráter único, com seu clima, vegetação, vida silvestres, solos que são exclusivos da região costeira, eles apresentam ecossistemas fortemente influenciados tanto pelo continente como pelo mar (Fusverk, 2002).

No Brasil, a Zona Costeira é constitucionalmente tutelada como patrimônio nacional brasileiro. Em 1988 a carta magna em seu inciso 4 do artigo 225 considerou a zona costeira, pela sua grande extensão e complexidade, um patrimônio nacional, juntamente com a Floresta

Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar e o Pantanal Mato-Grossense (Brasil, 1988). Édis Milaré<sup>1</sup> explica que a zona costeira é um ecossistema integrante da Mata Atlântica e não se constitui um bioma:

Trata-se de espaço considerado habitat de inúmeras espécies da flora e fauna ‘ameaçadas’ de extinção – muitas delas endêmicas, dotados de paisagens naturais extraordinárias. Um inestimável patrimônio que vem sofrendo permanente degradação desde o primeiro momento da colonização portuguesa, acentuada nas últimas décadas por conta de desmatamento e especulação imobiliária, além de insensibilidade, desídia e cumplicidade do poder público. Apresenta grandes variações na sua formação geológica, desde encostas cristalinas, a planície costeira e restingas. Devido a essa diferenciação de habitat, ela abriga muitas variedades de vegetais e animais. Em seu contorno localizam-se regiões com certa aridez, restingas, bancos de areia e lagunas, manguezais, matas paludosas e planícies arenosas. Em trechos intermitentes, principalmente nas serras, encontram-se remanescentes significativos da mata atlântica.

Neste ambiente onde a paisagem é regulada por dinâmicas peculiares e pela interrelação de seu interesse ecológico e socioeconômicos, a forte pressão por intensas e diferentes formas de uso do solo, a zona costeira pode ser considerada uma região de contrastes, constituindo-se num campo privilegiado e num desafio para o exercício de diferentes estratégias e gestão ambiental (Gruber *et al.*, 2003).

Segundo Gruber, Barboza e Nicolodi (2003), alguns órgãos internacionais, atendendo ao alerta da comunidade científica mundial, estão exigindo ações preventivas em face da possibilidade de esgotamento dos recursos nesses ambientes sensíveis e de imensurável importância, como a ONU - Organizações das Nações Unidas, OEA - Organizações dos Estados Americanos, COI - Comissão Oceanográfica Intergovernamental – UNESCO, SCOR - Comitê Científico para Pesquisas Oceânicas, visando contribuir com o gerenciamento das Zonas costeiras.

No Brasil, no esforço de equacionar alguns problemas nas zonas costeiras, a Gestão Integrada da Zona Costeira foi incorporada, antes mesmo da implementação da constituição federal, através do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (GERCO).

Formulado pela (CIRM) em 1987, com o propósito de lançar as bases para as ações de planejamento e gestão integrada, descentralizada Comissão Interministerial para os Recursos do Mar e participativa da zona costeira (Souza, 2009). De modo a colaborar com o aumento da qualidade de vida da população e garantir a proteção ambiental desse território.

---

<sup>1</sup> MILARÉ, Édis. **Direito do ambiente**. Ed 11. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2018. p. 1588.

### 3.3 Planos de gerenciamento costeiro brasileiro

No Brasil, existem diversas legislações e resoluções que visam a proteção do meio ambiente não só na zona costeira, bem como em todo o país. Porém visando a proteção em especial da zona costeira, foi promulgada a Lei 7.661/88, sendo esta, o documento base para sua proteção (Sodré, 2012).

O Plano de Gerenciamento Costeiro promulgado pela Lei 7.661/88, busca pela preservação e gerenciamento da zona costeira. Este plano foi instituído como parte integrante da Política Nacional para os Recursos do Mar – PNRM e da Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA. Pelo Decreto nº 74.557/74, posteriormente substituído pelo Decreto nº 3.939/01, que deu nova regulamentação ao tema, foi criada a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar que tem como principal responsabilidade preparar e implementar o plano (Sodré, 2012).

Segundo Granziera (2009), o planejamento de um espaço tão disputado para atividades econômicas e instalação de cidades, que possui um valor ambiental tão importante, naturalmente irá enfrentar situações de conflito e que talvez as zonas costeiras seja uma das regiões brasileiras cujo princípio do desenvolvimento sustentável encontre maiores dificuldades em ser aplicado.

O PNGC visa orientar o uso nacional dos recursos das zonas costeiras de maneira a colaborar para elevar a qualidade de vida da população e a proteção do patrimônio natural, histórico, étnico e cultural e prever o zoneamento de usos e as atividades na zona costeiras e a prioridade à conservação e proteção de alguns bens ambientais, e os sistemas lagunares estão entre eles, citado no artigo 3º, inciso primeiro da Lei nº 7.661/88. (Brasil, 1988):

Recursos naturais, renováveis e não renováveis; recifes, parcéis e bancos de algas; ilhas costeiras e oceânicas; sistemas fluviais, estuarinos e lagunares, baías e enseadas; praias; promontórios, costões e grutas marinhas; restingas e dunas; florestas litorâneas, manguezais e pradarias submersas.

O decreto 5.300, de 7 de dezembro de 2004, que regulamenta a Lei 7.661/88 foi editado delimitando a zona costeira e nele dispõe sobre as regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece ainda critérios de gestão da orla marítima. Neste decreto a zona costeira passou a abranger uma faixa marítima e uma faixa terrestre, com os seguintes limites:

I – Faixa marítima: espaço que se estende por doze milhas náuticas, medido a partir das linhas de base, compreendendo, dessa forma, a totalidade do mar territorial.

II – Faixa terrestre: espaço compreendido pelos limites dos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na zona costeira.

Este Decreto estabelece os diversos instrumentos que devem ser utilizados de forma integrada para a gestão da zona costeira, sendo o PNGC apenas um desses instrumentos, o qual aborda as diretrizes mais gerais nas diferentes esferas de atuação. Um outro instrumento é o PAF – Plano de Ação Federal da Zona Costeira, que contém o planejamento de ações estratégicas para a integração de políticas públicas incidentes na zona costeira, buscando responsabilidade compartilhadas de atuação e além destes supracitados. Assim como o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro - PEGC, ressaltando o processo participativo na esfera Estadual (Cavalcante, 2018).

No Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro – PEGC são desenvolvidos pelos colegiados costeiros, grupos de representação do Estado, Município e sociedade civil organizada, tendo como função debater os planos, programas e ações para a gestão Costeira, resultando então no processo participativo, aplicando as metas e diretrizes estabelecidas em escala local pelos planos dos municípios (Cavalcante, 2018). Porém ainda muitos Estados e Municípios encontram-se em fase embrionárias, sem ter ações para o gerenciamento Costeiro, arriscando a qualidade dessas áreas por persistir com atividades que geram impactos significativos (Andrade; Scherer, 2014).

A participação de estados e Municípios na elaboração de planos de gerenciamento é de grande relevância, pois eles são os que conhecem a realidade local. Seu envolvimento, auxiliará na eficácia e na aplicabilidade do plano (Silva, 2003). A falta ou a não conclusão do plano de gerenciamento costeiro, não dá direito ao poder público nem aos particulares a liberdade plena de uso e ocupação do solo na zona costeira, devendo obediência à legislação ambiental em vigor ao se autorizar a instalação, operação ou construção de empreendimentos ou obras em tais zonas assim como ao se aplicar as sanções legais (Machado, 2016).

Deste modo, outro aspecto importante a observar, são as regras específicas estabelecidas pela Lei nº 7.661/88 em seu artigo 4º, para o licenciamento ambiental. Faz-se necessário o licenciamento ambiental para parcelamento do solo, construção, instalação, funcionamento e ampliação de atividades, com alteração das características naturais da zona costeira, ficando condicionadas à apresentação de um Estudo de Impacto Ambiental - EIA e seu Relatório de Impacto Ambiental - RIMA. Portanto, atividades que provoquem a degradação dos ecossistemas, do patrimônio e de seus recursos naturais, gerará para o autor a obrigação de reparar o dano causado (Granziera, 2009).

Segundo Dantas (2017), há conflitos com a redação da lei nº 7.661/88 com o código florestal nº 12651/12 sobre a necessidade de elaboração de EIA e RIMA para o licenciamento ambiental em zonas costeiras. O art. 11-A do código florestal restringiu a apresentação desses documentos às situações apenas que apresentem potencial de causar significativos impactos ambientais, devendo prevalecer esta lei ainda que de caráter geral. De acordo com Dantas, não existe justificativa plausível para que qualquer obra ou atividade, simplesmente por estar em zona costeira, deva se submeter a realização de estudo de impacto ambiental, citando por exemplo, uma simples residência de veraneio ou construção de um bar. Para Dantas, apenas atividades que no máximo dependendo do porte, deverão se submeter a licenciamento ambiental.

Os licenciamentos serão de atribuição da União exclusivamente nos casos previstos em tipologia estabelecida por ato do Poder Executivo, portanto para os casos não previstos, o licenciamento poderá ficar a cargo do Estado ou Município a depender da situação. Porém casos os órgãos licenciadores não possuam capacidade técnica, atribuirá a função para o órgão superior supletivamente. A Lei complementar, número 140 de 2011, diz que o licenciamento deverá sempre ser realizado apenas por um único ente federativo. Já no tocante da fiscalização, esta é uma competência comum, em que todos os entes federativos têm o direito e o dever de fiscalizar as atividades e empreendimento potencialmente poluidores. Ressalta-se, portanto, a dificuldade para a determinação da competência para o licenciamento na zona costeira bem como sua fiscalização.

Segundo Granziera (2009), é nítido a complexidade que envolve a gestão das zonas costeiras, devido a interação entre vários setores distintos, com a necessidade de articulação institucional, entre Estados e Municípios com o objetivo de assegurar o equilíbrio ecológico.

### *3.3.1 Legislação federal brasileira pertinentes a proteção da zona costeira*

O Marco regulatório na gestão integrada e participativa da zona costeira e zona úmida é a Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA, criada em 1981, visando a qualidade ambiental e estabelece critérios e padrões de qualidade ambiental e determina normas relativas ao uso e manejo dos recursos naturais (Brasil, 1981).

A Lei 6938/1981 foi responsável pela criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente -SISNAMA, composto pelos órgãos e entidades consultivos, deliberativos ou executivos, da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental. Também criou o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA e definiu suas competências (Juras, 2012).



A Lei 6938/1981 define a expressão meio ambiente, no contexto jurídico brasileiro, em seu artigo 3º inciso I, como sendo “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas.” Para Milaré (2018), este conceito deve ser analisado em conjunto com o conceito de recursos ambientais, conforme consta desta forma no artigo 3º inciso V da mesma Lei federal, no qual abrangem a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora. A análise do conceito de meio ambiente combinado com os recursos ambientais realmente se faz necessária para que possam compreender quais são os elementos que integram o meio ambiente e que não haja equívoco de se entender que o meio ambiente seja constituído apenas dos elementos naturais como a água, o ar e o solo (Lorenzetti, 2002).

Na legislação infraconstitucional 6.938/81, em seu art. 4º inciso I, um dos seus objetivos é a “compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico”. O Zoneamento Ecológico-Econômico - ZEE é um dos instrumentos para atingir esse objetivo cujo seu processo de elaboração e implementação deverá buscar “a sustentabilidade ecológica, econômica e social, com vistas a compatibilizar o crescimento econômico e a proteção dos recursos naturais, em favor das presentes e futuras gerações” (Brasil, decreto 4.297/22). A proteção do meio ambiente e o crescimento econômico não são termos excludentes, e a resposta para compatibilização destes objetivos é o desenvolvimento sustentável (Dantas, 2017).

O ZEE objetiva viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a conservação ambiental. Deste modo Bruna e Philippi Júnior (2016, p. 14) afirmam, “é que se objetiva delimitar zonas ambientais, passando a considerar que usos e atividades podem ser nela inseridos, de modo que no total da ocupação, o desenvolvimento seja sustentável”. Deste modo, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, tem como objetivo “promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais”, em que o uso sustentável envolve a “exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável” (Brasil, 2000).

A proteção do meio ambiente ecologicamente equilibrado para as presentes e futuras gerações é um direito conquistado por todos garantido pela Constituição Federal de 1988, a fim de assegurar a efetividade desse direito a Constituição da República Federativa do Brasil impõe ao Poder Público, em seu art. 225, inciso I, III, entre outras obrigações, a de “definir, em todas

as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos”. Para regulamentar esse artigo foi publicada a Lei 9.985 de 2000, onde institui as unidades de Conservação da Natureza.

De acordo com Dantas (2012) a expressão ‘espaços territoriais especialmente protegidos’ deve ser interpretada de maneira mais ampla e não se limitar apenas às unidades de conservação. Abrangendo, entre outras modalidades, áreas de preservação permanente - APPs, reserva legal, Mata Atlântica e as unidades de conservação da natureza. Assim sendo espécies pertencentes ao gênero espaços territoriais ambientalmente protegidos.

O Sistema Nacional de Unidade de Conservação foi instituído pela lei nº 9.985/00, onde os critérios e normas para criação, implantação e gestão das unidades de conservação foram estabelecidos. A Lei prevê dois grupos de unidades de conservação: a de proteção integral, que visam a preservação da natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais e as de uso sustentável, que visam a compatibilização e a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais. Constituem unidades de proteção integral: estação ecológica - ESEC, reserva biológica - REBIO, parque nacional - PARNA, monumento natural - MONA e refúgio de vida silvestre - REVIS. O grupo de unidades de uso sustentável abrange: área de proteção ambiental - APA, área de relevante interesse ecológico - ARIE, floresta nacional - FLONA, reserva extrativista - RESEX, reserva de fauna - REFAU, reserva de desenvolvimento sustentável - RDS e reserva particular do patrimônio natural – RPPN (Brasil, 2000).

Entre os objetivos da lei supracitada, em seu art. Nº 4, o SNUC deve “contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais”; “promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais” e “promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento.

Conforme Milaré (2018), ao discorrer sobre esses objetivos, ressalta dois aspectos de noção mais corriqueira sobre as unidades de conservação, um: sobre o “rico conteúdo ecológico, que ultrapassa a visão de cobertura vegetal e da biodiversidade inerentes a uma área” e o outro sobre a importância atribuída ao “desenvolvimento sustentável, de caráter econômico social, processo esse em que se vislumbra a possibilidade de conjugar os interesses das populações locais com a integridade do patrimônio ambiental natural”. Sendo então o critério mais importante a sustentabilidade do espaço natural em si, de modo, a manter o equilíbrio ecológico situados nessas áreas.

No Brasil existem 102 unidades de conservação costeira e marinhas, sendo 38 unidades de proteção ambiental e 64 de uso sustentável, somando uma área total de 55.716 km<sup>2</sup>. Sendo

a APA a categoria mais comum encontradas nessas áreas, ocorrendo principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do país privilegiando o uso sustentável dos recursos naturais (MMA, 2019).

Em casos de licenciamento ambiental de empreendimentos que causem um impacto ambiental de grande significância a Lei 9.985/00, tratou em seu art. 36, a imposição de medida compensatória ao qual é destinada à implementação e manutenção das unidades de conservação de proteção integral (Raupp, 2020)

Ao se tratar de espaços territoriais especialmente protegidos em seu sentido mais amplo, fora das unidades de conservação, serão analisadas a seguir as modalidades desses espaços em área de preservação permanente, os demais não serão abordados pelo escopo do trabalho se referir ao meio ambiente em zonas costeiras, em especial as lagoas.

A Lei 12.651/12 que instituiu o novo código florestal definiu em seu art. 3º, inciso segundo, a Área de Preservação Permanente como: “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Percebe-se então que a intenção do legislador é de dispensar a existência de vegetação nativa no local, ou seja, é desnecessária a presença de floresta ou demais formas de vegetação para se caracterizar uma área de APP. Focando então na proteção do espaço territorial em si delimitado pelos parâmetros que estabelece a lei, sem considerar neste caso a qualidade da cobertura vegetal ou sua ocorrência no espaço protegido (Milaré, 2018).

As APPs podem ser agrupadas em 3 categorias a saber: protetora das águas, protetora das montanhas e protetora de ecossistemas determinados, além de cinco importantes características delineadas na Lei 12651/12: é uma área e não floresta, a APP não é uma área qualquer e sim uma área protegida, sua proteção se dá de forma permanente e não episódica, possui funções ambientais específicas e diferenciadas, a supressão indevida da vegetação na APP obriga o proprietário da área, possuidor ou ocupante, ou qualquer título, a recompor a vegetação (Machado, 2016).

Tendo como base a Lei acima, as áreas ao entorno de lagos e lagoas naturais conforme o Art. 4º é considerada Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para efeito desta lei, com as seguintes delimitações:

- I - As áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
  - a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte)

hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros; b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas.

Restingas e Manguezais são as APPs que ocorrem com mais frequência em áreas de zonas costeiras, sendo descritas pela Lei 12651/12 conforme abaixo:

XVI - restinga: depósito arenoso paralelo à linha da costa, de forma geralmente alongada, produzido por processos de sedimentação, onde se encontram diferentes comunidades que recebem influência marinha, com cobertura vegetal em mosaico, encontrada em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, este último mais interiorizado;

XIII - manguezal: ecossistema litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência fluviomarinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os Estados do Amapá e de Santa Catarina

Para Dantas (2012) e Milaré (2018), está claro que para ser considerada APP, a restinga precisa ter a função de fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues, referindo nesses casos à restingas geológicas, que tenham aspecto que particulariza suas características de maneira física, geológica e geomorfológica, onde a aparência de sua vegetação seja apenas um aspecto complementar. Já os manguezais são considerados APPs em toda sua extensão, uma vez que estes são considerados berçários da vida na zona costeira. Uma inovação em que a Lei 12.651/12 aborda e que foi muito bem-vinda, visto que o código florestal anterior não trazia os manguezais no rol de APPs, apenas vegetações situadas nas restingas estabilizadoras de mangues.

Outro instrumento legal significativo para aprimorar a gestão das lagoas costeiras é a gestão de Recursos hídricos quer é representado pela Lei 9.433/97. A legislação instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, e tem por fundamentos, entre outros, que “a água é um bem de domínio público e que a “água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico”. Entre seus instrumentos, destacam-se o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (Juras, 2012).

O modelo francês, atribuindo cobrança na adoção aos comitês de bacia e suas respectivas agências de água, serviu de norte para a implantação do modelo brasileiro. A instituição da cobrança dos recursos hídricos concretiza o princípio 16 da Declaração do Rio de Janeiro da conferência das Nações Unidas para o meio ambiente e desenvolvimento de 1992, onde descreve que as autoridades nacionais devem promover a internalização de custos

ambientais e uso de instrumentos econômicos e que o poluidor deve arcar com os custos da poluição (Scur *et al.*, 2020).

A cobrança pelo uso da água é fundamentada, então, no princípio do usuário-pagador e abrange também o princípio do poluidor-pagador, na medida em que o uso ou a poluição de um recurso hídrico, causa uma externalidade, um dano. Esta cobrança visa ao mesmo tempo reconhecer o valor econômico da água e dar ao usuário a dimensão real de seu valor, incentivando assim o uso racional e obtenção de recursos financeiros (Scur *et al.*, 2020).

De acordo com Granziera (2009), há uma falha na gestão integrada brasileira, pois as políticas de gerenciamento costeiro e de recursos hídricos são geridas por instituições diferentes, não sendo considerada a zona costeira como parte integrante da bacia hidrográfica. Desta forma, além dos planos e políticas diretamente ligados a estes temas existirão outros instrumentos legais que deverão ser desenvolvidos em consonância para a gestão das áreas costeiras, tais como a Política de Recursos Hídricos.

### *3.3.2 Resoluções e Portarias*

No Brasil, a qualidade da água superficial ou subterrânea que são destinadas ao consumo humano, direto ou indireto, deve atender a determinados padrões de qualidade e potabilidade, de modo a garantir que suas características físicas, químicas e biológicas estejam dentro dos padrões recomendados pela Organização Mundial da Saúde – OMS (Brasil, 2021). Os padrões de potabilidade são conferidos pela OMS através de portarias e a mais atual é portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021, que define os padrões de potabilidade e dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano (Brasil, 2021). Enquanto a Resolução do CONAMA nº 357 estabelece a qualidade de águas superficiais para os diferentes usos, ressaltando que essa resolução é um dos instrumentos da PNRH (CONAMA, 2005).

O CONAMA criado pela Política Nacional de Meio Ambiente estabelece alguns critérios e classes para o enquadramento dos corpos de água através de sua resolução nº 357/2005. Se tornando um instrumento de grande importância para nortear o controle dos órgãos ambientais e de gestão dos recursos hídricos de maneira a estabelecer a carga poluidora máxima que pode ser lançada no âmbito do licenciamento ambiental ou autorizando atividades ou empreendimento poluidor (Juras, 2012). Este instrumento visa assegurar às águas, qualidade compatível com usos mais exigentes a que forem destinadas, embora exista uma grande dificuldade em se aplicar este enquadramento, motivo pelo qual muitos corpos

classificados atualmente, de acordo com a CONAMA 357/2005, não apresentam as características de qualidade a eles associadas (Machado, 2019).

Para Milaré (2004) esse é um instrumento fortalecedor da integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, diretriz fundamental para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Dentre as diversas resoluções elaboradas pelo CONAMA, a resolução nº 274/2000 trata sobre os critérios de balneabilidade em águas brasileiras, sendo balneabilidade a medida das condições sanitárias das águas destinadas a recreação de contato primário. Esta resolução foi criada considerando que a saúde e o bem-estar humano podem ser afetados por tais condições (Brasil, 2000).

Esta resolução criada devido a necessidade de instrumento para avaliar a evolução da qualidade das águas em relação aos níveis estabelecidos para a balneabilidade, traz a classificação das águas em doces, salgadas e salobras. Essas águas são avaliadas nas categorias própria ou impróprias, sendo subdivididas em três: excelente, muito boa, satisfatória. Analisando uma série de parâmetros como coliformes fecais, *Escherichia coli*, Enterococos, floração entre outros através de amostragem. Considerando que a Política Nacional de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e o Plano de Gerenciamento Costeiro recomendam a adoção de sistemáticas de avaliação da qualidade ambiental das águas, o não cumprimento do disposto nesta resolução fica sujeito às sanções previstas nestas leis (Brasil, 2000).

### **3.4 Proteção das zonas Costeiras nos Estados Unidos comparado ao Brasil**

Os Estados Unidos da América, país tradicionalmente federalista e desenvolvimentista, possui uma extensa faixa litorânea, assim como o Brasil. Tem a sua proteção ambiental da zona costeira como tarefa da legislação federal CZMA - Coastal Zone Management Act e dos planos estaduais de gestão da costa - CMPs.

Ao congresso americano foi atribuída a competência para legislar sobre regras gerais de direito ambiental, assim, exercendo essa atribuição constitucional aprovou diversas leis de caráter protetivo ao meio ambiente, como a "National Environmental Policy Act (NEPA)", "Clean Air Act (CAA)", "Clean Water Act (CWA)", "Endangered Species Act (ESA)", "Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)", "Safe Drinking Water Act (SDWA)", e a "Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA)" e também criou a Lei de Gestão da Zona Costeira "Coastal Zone Management Act" - CZMA de 1972.

A atribuição do congresso americano para elaborar leis sobre direito ambiental, mesmo sobre recursos e propriedades que não pertencem ao governo federal, provém essencialmente da interpretação que a Suprema Corte atribuiu à "commerce clause" prevista no artigo I, seção 8, da Constituição dos EUA, que prevê que o "Congresso terá o poder de regular o comércio entre os diversos estados" (Gibbons, 1824). Tendo como base tal dispositivo, a Suprema Corte entendeu que o Congresso poderia legislar sobre assuntos internos que pudessem afetar os estados em geral, porém não aqueles que dissessem respeito a um estado em particular, sem afetar outros estados.

A estrutura legal é, de modo geral, bem-parecida, pois em ambos os países há leis gerais, como a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, e leis específicas, seja, no caso brasileiro, o Código Florestal ou a Política Nacional de Recursos Hídricos e, no caso dos Estados Unidos, a Lei do Ar Puro ou a Lei das Águas Puras (Benjamin, 2017).

A Lei federal de Gestão da Zona Costeira (CZMA – Coastal Zone Management Act) de 1972 nos Estados Unidos da América foi promulgada com o intuito de preservar, proteger, desenvolver e restaurar as zonas costeiras dos Estados Unidos (Garten, 2016). Machado (2016) sugere que a palavra “gerenciamento” pelo legislador brasileiro tenha sido inspirada no termo “management” dessa lei federal norte-americana, embora possuam significativas diferenças entre as duas leis em relação a seus conteúdos.

Analisando a legislação americana, esta não obriga os governos locais a determinadas práticas de proteção ambiental e tem o papel apenas de planejamento da ocupação da orla, ou seja, não proíbe ou permite certa atividade na zona costeira e sobre os Estados membros cabe a decisão de adotar ou não o plano de gerenciamento costeiro nacional, caso adotem, ganham significativos incentivos do governo federal para elaborarem um plano estadual que leve em consideração as características locais (Raupp, 2020). Diferentemente da legislação brasileira, onde o plano de gerenciamento costeiro é obrigatório para estados e municípios e define critérios de licenciamento ambiental para atividades na zona costeira.

O governo federal americano, desta forma, apenas tem a função de planejador nacional do uso da terra e permite as autoridades locais e estados os detalhes para permissões e proibições das diversas atividades a serem desenvolvidas na zona costeiras.

A Lei supracitada ainda, incentiva os Estados membros a desenvolverem programas do uso da terra, das águas litorâneas e orlas, de tal modo, a fornecer financiamento federal aos Estados para desenvolver e administrar os programas de gestão das zonas costeiras. A CZMA – ‘Coastal Zone Management Act’ não determina o conteúdo dos programas estaduais, por

outro lado, exige que eles adotem um sistema de prioridade para o uso da zona costeira, tendendo a desencorajar o desenvolvimento industrial (Raupp, 2020).

A CZMA é regulamentada pela agência federal National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, tendo como umas de suas ações conservar e gerir ecossistemas e recursos costeiros e marinhos. Ela está subordinada ao departamento de comércio dos EUA com o qual tem a missão de criar condições para o crescimento econômico e de oportunidades (NOAA, 2019), demonstrando o fato que a zona costeira ultrapassa o aspecto de proteção ambiental e está ligada também a preocupação com o desenvolvimento econômico sustentável. Apesar da principal preocupação da legislação CZMA - "Coastal Zone Management Act" ser com o desenvolvimento na zona costeira, a lei também lida com poluição aérea, aquática e terrestre. Ao lavrar a CZMA, o Congresso americano reconheceu a necessidade de relacionar o planejamento do ar, da terra e da água, no esforço de combater os impasses ambientais nas zonas costeiras (Garten, 2016).

Para alcançar os objetivos de combater os problemas relacionados ao meio ambiente nas zonas costeiras, a lei federal divide as responsabilidades com a proteção nessas áreas entre os governos locais, estaduais e o federal. A CZMA conta com a parceria entre os estados e o governo federal, e em troca oferece assistência financeira para aqueles que desenvolverem um plano de gerenciamento costeiro (Rychlak, 1991).

Os planos de gerenciamentos costeiros desenvolvidos pelos estados norte-americanos são chamados de "Coastal Management Plan" ou "CMP" e se trata de um plano projetado para abranger a proteção de recursos costeiros e prevenir a degradação ambiental dentro do estado. Para receber o incentivo federal, tais planos devem cumprir os padrões do CZMA, mesmo não sendo obrigados, tais incentivos convenceram a maioria dos estados a desenvolver seus CMP. Uma vez implementado, os CMPs contam com um sistema de licenças para controlar o desenvolvimento nas zonas costeiras, e qualquer atividade de impacto significativo deve obter autorizações necessárias, em grande parte de várias agências diferentes e em vários níveis do governo, cabendo a essas licenças assegurar que a proposta não cause dano ambiental além do permitido no CMP. Caso algum estado não cumpra com os padrões nacionais, há a possibilidade de o governo federal reter a verba concedida ao estado (Rychlak, 1991).

Resumindo, para que um plano estadual de gerenciamento costeiro seja aprovado e cumprido se faz necessário que os governos locais e agências de toda a área próximo à orla sejam participativas e cooperem. Os legisladores da CZMA admitem que para tal lei ser bem-sucedida ela precisa ser implantada em nível local, visto que a maior parte do uso da terra é de uso do município.



Segundo Rychlak (1991), essas normas permitem que os estados desenvolvam planos que diferem muito uns dos outros, mas todos os estados devem levar em consideração o interesse nacional, bem como planos locais, regionais e interestaduais afetados pelo programa. O objetivo desta consideração é alcançar o espírito de equilíbrio equitativo entre os interesses estaduais e nacionais da lei.

Desta forma, tal política ressalta a importância de os estados consultarem, coordenarem e darem consideração adequada às agências federais na implementação de seus programas de gestão. Os estados são encorajados a fornecer às agências federais a oportunidade de participar e considerar opiniões de agências federais. Embora, Isso não significa que um estado deva cumprir esses pontos de vista (Rychlak, 1991).

Portanto, os estados devem considerar os interesses federais ao redigir seus CMPs e o governo federal deve considerar as preocupações estaduais e locais, pois as atividades são realizadas ou aprovadas, conforme exigido pelo requisito de consistência de CZMA. Assim, o CZMA contempla claramente a necessidade de integração e coordenação entre as várias entidades governamentais (Rychlak, 1991).

Cada um dos 50 estados americanos possui uma constituição escrita e três ramos: executivo, legislativo e judiciário, sendo a constituição federal considerada a lei suprema do país (“Supreme law of the land”). A constituição federal dos EUA autoriza e restringe o exercício da autoridade governamental e protege direitos fundamentais, porém, nada fala sobre garantir a proteção ao meio ambiente ecologicamente equilibrado (Raupp, 2020).

Em outras palavras, quando os EUA se originou a partir da união de 13 colônias para a criação de um estado único, teve que ceder parte de sua autonomia ao governo federal ficando o restante para o campo da autonomia dos estados, e embora, a constituição federal nada comente a respeito da proteção do meio ambiente, quase metade das constituições dos estados norte-americanos tem algum tipo de previsão da esfera ambiental, como preservação, sustentabilidade, redução da poluição, mudanças climáticas, direito a um ambiente de qualidade, entre outros (Raupp, 2020).

De acordo com a explicação de May (2011), as constituições estaduais tratam das preocupações ambientais de várias maneiras, algumas expressam uma política geral de preservação de áreas naturais e controle da poluição, fazendo com que cada estado faça uma legislação direcionada à proteção dos recursos naturais especialmente importante para aquele estado em particular. Criticando então, a falta de interpretação substantiva de tais previsões constitucionais sem a capacidade de impor uma obrigação de proteção ao meio ambiente.

Nos Estados Unidos, não existe uma proteção constitucional ao meio ambiente como é garantida na constituição brasileira, o que se encontra na Constituição americana é um vasto e rigoroso tratamento do direito de propriedade privada. Não há uma palavra sobre deveres do Estado, sobre a aplicabilidade de direitos implícitos em relação a terceiros, enfim, é uma Constituição em que os direitos e obrigações operam entre indivíduos e Estado (Benjamin, 2017). Ou seja, há uma ausência total da proteção ao meio ambiente em âmbito federal.

Ao tratar de licenciamento, tanto no Brasil como nos Estados Unidos, se utiliza o sistema das várias licenças. Existe uma licença ambiental, no caso dos Estados Unidos, para ar, outra para água, outra para atividades que afetem wetlands (áreas úmidas), resíduos tóxicos e perigosos etc. No caso do Brasil, ocorre a mesma coisa, porém a licença para a parte do controle da poluição é uma só, e a licença para justificar ou, de certa maneira, legitimar atividades que afetem a natureza, na maioria dos Estados, também é única. Como regra, teríamos duas licenças ambientais no Brasil, nos Estados Unidos, esse número de licenças é muito maior (Benjamin, 2017).

A respeito de curiosidade, o licenciamento ambiental é uma invenção norte-americana. Não havia licenciamento ambiental em outros países antes dos Estados Unidos ampliarem ou trazerem este conceito de licenciamento do direito administrativo e aplicarem esta noção especificamente na área do meio ambiente. No que tange o estudo prévio de impacto ambiental, neste contexto do licenciamento, ele foi uma das maiores contribuições do direito norte-americano para o direito brasileiro. Segundo Benjamin (2017), apesar deste instituto ser criação do Direito Norte-Americano, ele foi profundamente transformado pelo Direito Comparado.

De acordo com Benjamin (2017), isso ocorre porque o estudo prévio de impacto ambiental é exigido para empreendimentos que possam ter impacto significativo no meio ambiente e que sejam decorrência de uma ação estatal. Vale dizer, como regra, não se exige o estudo de impacto ambiental para as atividades e os projetos exclusivamente privados. Já no Brasil ele é exigido de qualquer empreendimento, público ou privado, não excluindo nem sequer as atividades militares, enquanto nos Estados Unidos, as atividades militares são expressamente excluídas.

No caso do Brasil, esse tipo de estudo tem caráter substantivo e não meramente procedimental como nos Estados Unidos. Ou seja, para o Brasil, o estudo de impacto ambiental é uma ferramenta que não vai apenas orientar a decisão administrativa, mas é uma ferramenta que vai determinar a decisão administrativa. Através do estudo prévio de impacto ambiental elaborado por uma equipe interdisciplinar, o órgão público, que irá tomar a decisão, ficará bem-

informado sobre o quadro geral dos impactos do empreendimento avaliado e terá de se limitar à melhor solução apontado pelo estudo de impacto ambiental. Já nos EUA, o órgão público que irá decidir pode ir de forma contrária a tal estudo (Benjamin, 2017).

Diante disso, a lei ambiental brasileira, no que concerne o licenciamento ambiental e ao estudo prévio de impacto ambiental, mostra-se bastante restritiva ao relacioná-las também à possibilidade de se erguerem construções em áreas sensíveis ecologicamente como as localizadas em zonas costeiras, desta forma, surgindo o inevitável embate entre desenvolvimento econômico e a preservação ambiental (Raupp, 2020).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Zonas Costeiras fornecem valiosos serviços ecossistêmicos e são economicamente produtivas, seja em países em desenvolvimentos ou desenvolvidos. O problema surge quando o crescimento econômico ocorre às custas do uso irresponsável de seus recursos naturais. Por isso em países com o litoral extenso é preciso compatibilizar o desenvolvimento econômico com a proteção do meio ambiente.

O crescimento acelerado e a ocupação desordenada têm como consequência a poluição de mananciais, sistemas lagunares, por depósito de lixo ou despejo irregular de esgoto, invasão de ecossistemas protegidos por lei, entre outros problemas ambientais. Desta forma instrumentos legais, planos e projetos desenvolvidos tendem a trazer resultados positivos em direção ao gerenciamento dos usos das zonas costeiras.

A legislação ambiental brasileira é bastante restritiva no que tange por exemplo, construções em áreas ecologicamente sensíveis, o que acaba gerando um conflito entre o desenvolvimento e a preservação ambiental. É imprescindível uma melhor articulação entre todos os órgãos e instituições envolvidas com a gestão costeiras para que se alcancem melhores resultados, bem como da agilidade na sua resolução, visto que um prolongamento de uma ação danosa, agrava em muito na dificuldade da recuperação daquele ambiente.

Outro fator de grande relevância na legislação brasileira é a de garantir um meio ambiente ecologicamente equilibrado, conforme o direito previsto na constituição federal, diferentemente dos Estados Unidos da América que não prevê tal ação e reforça a ideia de que a proteção ambiental não deve interferir na propriedade privada, e caso aconteça, deve ser antecedida de uma justa compensação para o proprietário da propriedade privada. No âmbito dos estados norte-americanos, cada estado tem a sua autonomia e por mais que quase metade das constituições estaduais disponha sobre algum tipo de preservação e proteção ambiental, as normas em geral não impõe uma obrigação efetiva da proteção do meio ambiente

No Brasil é fundamental a participação popular e dos municípios para uma melhor caracterização local e capacidade de reforçar as ações implementadas pelo Estado, porém muitos municípios ainda não possuem seus planos de gerenciamento costeiro, deixando a proteção ambiental desses ambientes vulneráveis. De certo, podemos usar de exemplo a legislação dos Estados Unidos da América que fornece incentivos para a criação de planos costeiros, e caso não seja seguido os padrões na lei federal, tais verbas sejam cortadas.

Tendo como o pressuposto acima, embora existam diversos instrumentos legais, como Política de Recursos Hídricos, Código Florestal, Política Nacional de Meio Ambiente, entre outros, que possam ser consultados para garantir a preservação e proteção desses ecossistemas tão importante, há uma falha na gestão integrada brasileira, pois as políticas de gerenciamento costeiro e de recursos hídricos são geridas por instituições diferentes, não sendo considerada a zona costeira como parte integrante da bacia hidrográfica.

Com essa pesquisa pode-se notar que uma vantagem observada no arcabouço brasileiro é a proteção ambiental garantida constitucionalmente, já no modelo estadunidense, não há proteção constitucional ao ambiente, o que existe são legislações esparsas e regulamentações estaduais, tendo uma ausência da proteção ao meio ambiente em âmbito federal.

Contudo, destaca-se que ambos os países, a estrutura legal é bem parecida, em ambos há leis gerais que visam a proteção ao meio ambiente. Outro ponto observado é que tanto nos EUA como no Brasil, existem planos de gerenciamento costeiros e um regime de licenciamento ambiental nessas áreas consideradas mais sensíveis ecologicamente.

Conclui-se que o objetivo deste estudo foi alcançado considerando a sua abordagem generalista, alguns pontos devem ser objeto de maior aprofundamento futuro, como o fato de analisar mais detalhadamente o sistema legislativo estadunidense, pois ele é muito complexo ante a regulamentação ambiental em todos os níveis federativos, dificultando trazer neste atual estudo uma abordagem mais detalhada das vantagens e desvantagens entre ambos os sistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Jaqueline; SCHERER, Marinez Eymael Garcia. Decálogo da gestão costeira para Santa Catarina: avaliando a estrutura estadual para o desenvolvimento do programa estadual de gerenciamento costeiro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 29, p. 139-154, 30 abr. 2014. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v29i0.31405>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/31405>. Acesso em: 13 out. 2021.

BENJAMIN, Antônio Herman (2017). Direito Ambiental no Brasil e nos Estados Unidos. Revista da Faculdade de Direito, volume I nº 22. Sem paginação. **Disponível em:** <<https://seer.ufrgs.br/revfacdir/article/view/72683>>. Acesso em: 12 out. 2021. doi:<https://doi.org/10.22456/0104-6594.72683>.

BRASIL. **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL de 05 de outubro de 1988**. (Publicada no Diário Oficial da União de 06 de outubro de 1988).

BRASIL. **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente**. Brasília: 31.08.1981

BRASIL. **Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências**. Brasília: D.O.U. de 16.5.1988.

BRUNA, Gilda Collet; PHILIPPI JÚNIOR., Arlindo. Políticas Públicas e Sustentabilidade no Meio Urbano. PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo; FREITAS, Vladimir Passos de; SPÍNOLA, Ana Luíza Silva (Ed). **Direito ambiental e sustentabilidade**. Barueri, SP: Manole, 2016. p. 14.

CAVALCANTE, J. da S. I.; ALOUFA, M. A. I. **Gerenciamento costeiro integrado no Brasil: uma análise qualitativa do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro / Coastal management integrated in Brazil: a qualitative analysis of national coastal management plan**. DRd - Desenvolvimento Regional em debate, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 89–107, 2018. DOI: 10.24302/drd.v8i2.1815. Disponível em: <http://www.periodicos.unc.br/index.php/drd/article/view/1815>. Acesso em: 11 ago. 2021.

DANTAS, Marcelo Buzaglo (2012). **Direito ambiental de conflitos: O direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e os casos de colisão com outros direitos fundamentais**. Tese (Doutorado em Direito) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC-SP, São Paulo.

DANTAS, Marcelo Buzaglo. **Direito ambiental de conflitos: O direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e os casos de colisão com outros direitos fundamentais**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2017.

Estados Unidos da América. **The Constitution of the United States**. Disponível em: <http://constitutionus.com>. Acesso em: 25 set. 2021.

ESTEVEVES, F. A.; **Fundamentos de Limnologia**. 826p, 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

ESTEVEVES, F.A.; ISHIL, I.H. & CAMARGO, A.F.M. **Pesquisas limnológicas em 14 Lagoas do Estado do Rio de Janeiro**. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R.& TURCQ, B. (Orgs.) Restingas: Origem, Estrutura, Processos. CEUFF, Niterói, 1984. 441- 452p. 1998.

FREITAS, Mariana Almeida Passos et al. **Zona Costeira e Meio Ambiente: Aspectos Jurídicos**. Curitiba, 2004, 194 f. Dissertação de Mestrado – Departamento de Direito, Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

FUSVERK, Renata Cristiane. **Diagnostico ambiental e proposta de otimização e planejamento subsidiários ao programa de gerenciamento costeiro integrado da bacia hidrográfica do rio ratones, ilha de Santa Catarina (SC, Brasil)**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Area de Concentração Gestão Ambiental. Florianópolis, 2002.

GARTEN, Lindsay. **The Coastal Zone Management Act: A Mixed Success**. Consilience: The Journal of Sustainable Development. Vol. 16, Iss. 1, Pp. 1-13. 2016.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito Ambiental**. São Paulo: Atlas, 2009.

GRUBER, N. L. S.; BARBOZA, E. G.; NICOLODI, J. L. **Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para gestão integrada da zona costeira**. Gravel, Porto Alegre, n. 1, p. 81-89, jan.2003.

JURAS, Ilidia da Ascensão Garrido Martins. **Ecosystemas costeiros e marinhos: ameaças e legislação nacional aplicável**. Ed. Câmara dos deputados. Brasília, 2012.

LEMAY, M. **Coastal and Marine Management on the Caribbean and South America Coastal Zone**. Banco Inter-Americano de Desenvolvimento BID. Washington, D.C. No. ENV – 121. 1998.

LORENZETTI, Ricardo Luiz. 6º Congresso Internacional de Direito Ambiental – **10 anos de ECO-92: o direito e o desenvolvimento sustentável – teoria geral do dano ambiental moral**. Revista de Direito Ambiental. São Paulo, v. 28, ano 7, out. – dez 2002.

MACHADO, E.S.; KNAPIK, H.G.; BITENCOURT, C.C.A. **Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, nº. 2, p. 261-269. 2019. Disponível em: Acesso em: 15 ago. 2021.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito ambiental brasileiro**. 24 Ed. São Paulo: Malheiros, 2016.

MARCHIONATTI, Angela Cristina et al. **Direito Ambiental e a tutela das zonas costeiras**. 2011. Disponível em: [https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/Publicacoes/JOPEC/2011/Artigos/DIREITO\\_AMBIENTAL\\_E\\_A\\_TUTELA\\_DAS\\_ZONAS\\_COSTEIRAS\\_BRASILEIRAS.pdf](https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/Publicacoes/JOPEC/2011/Artigos/DIREITO_AMBIENTAL_E_A_TUTELA_DAS_ZONAS_COSTEIRAS_BRASILEIRAS.pdf) Acesso em: 15 ago. 2021.

MARTINHO, HMG, Conte CP. **Princípios Constitucionais do direito ambiental brasileiro e bens ambientais**. Atas de Saúde Ambiental. 2015, dez; 3. 64-79.

MAY, James R: **Principles of constitutional Environmental Law**. Chicago: American Bar Association Publishing, 2011.

MILARÉ, Édís. **Direito do Ambiente**. 11ª ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2018.

MILARÉ, Édís. **Direito do Ambiente**. 3ª. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2004.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Macro diagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**. Brasília: MMA, 2008. 242 p.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. Brasília: MMA, 2010, 152 p. Disponível em: <https://www.terrabilis.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/2016/15Panorama%20da%20Conservao.pdf> Acessado em 03 ago. 2021.

NOAA. **Our Mission and vision**. Disponível em: <https://www.noaa.gov/our-mission-and-vision>. Acesso em: 19 ago. 2021.

PAULA, Larissa Santos de. **Caracterização geoquímica da lagoa de Carabepus, RJ**. Dissertação (Mestrado). — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2015.

PEREIRA, Renato Crespo. GOMES, Abílio Soares. **Ecologia Marinha**. 690p. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2020.

PHLEGER, F.B. 1969. “**Some general features of coastal lagoons**”. In: Lagunas Costeras, um Simposio. Ed. A. Ayala-Castañares. Universidade Autonoma de México, DF.

RAMOS, Verônica Ribeiro (2019). **Caracterização de Parâmetros de Qualidade da água das Lagoas de Grussaí, Iquipari, Açú e Salgada, São João da Barra - RJ**. 2019. xiv, 57f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, RJ, 2019.

RAUPP, Daniel. **O Direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e a possibilidade de ocupação da zona costeira mediante desenvolvimento sustentável**. 2020. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência Jurídica, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2020. Disponível em: <https://www.univali.br/Lists/TrabalhosMestrado/Attachments/2711/DDISSERTA%C3%87%C3%83O%20DANIEL%20RAUPP%20-%20TOTAL.pdf>. Acesso em: 24 set. 2021.

RYCHLAK, Ronald J. **Coastal zone management and the search for integration**. 40 DePaul L. Rev. 981. Summer, 1991.

SCUR, L., GIMENES, J. R, BURGEL, C. F. **Biodiversidade, recursos hídricos e direito ambiental**. 2. Ed. Educus, Caxias do SUL, 2020.

SILVA, José Afonso da. **Direito ambiental constitucional**. 4. Ed. São Paulo: Malheiros, 2003.

SODRÉ, M.G. **O zoneamento ecológico-econômico e zoneamento costeiro: algumas polêmicas jurídicas**. In: GRANZIERA, M. L. M.; GONÇALVES, A. (Orgs.). Os problemas da zona costeira no Brasil e no mundo. Santos: Editora Universitária Leopoldianum, 2012.

SOUZA, C. R. de G. **A erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009.

SCHERER, M; SANCHES, M; NEGREIROS, D. H. **Gestão das zonas costeiras e as políticas públicas no Brasil: Um diagnóstico**. In: BARRAGÁN MUÑOZ, J. M. (coord). Manejo Costeiro Integrado y Política Pública em Iberoamérica: Necesidad de Cambio. Cádiz: Red IBERMAR (CYTED), 2010, p. 15-40.



TUNDISI, José Galizia. TAKAKO, Matsumura. **Liminologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

## ARTIGO CIENTÍFICO 2

Artigo completo aprovado e apresentado no 12º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade – SIGABI 2023.

### **Estudo de Sensibilidade de infiltração na proximidade de uma Lagoa Costeira**

Infiltration Sensitivity Study in the proximity of a Coastal Lagoon

Aline Mendonça Soares - IFFluminense/PPEA

Jader Lugon Junior – IFFluminense/PPEA

Vicente de Paulo S. de Oliveira – IFFluminense/PPEA

Elias Fernandes de Sousa – UENF

#### **RESUMO**

Este trabalho teve o objetivo de estudar o sistema de infiltração na área da lagoa de Iquipari em São João da Barra, Rio de Janeiro, por meio de um estudo de caso. Desta forma, foi realizada uma análise de sensibilidade do fluxo de infiltração considerando dois cenários extremos, um cenário sendo a lagoa com nível inicial de água e com maré baixa e o segundo cenário, a lagoa com nível baixo de água e maré cheia. Foi utilizada a plataforma MOHID contando com a interface do software OpenFlows FLOOD para elaborar esses dois cenários distintos, possuindo as mesmas características de solo, com diferentes níveis de água nas simulações utilizando o arquivo “runoff 1.dat” e “runoff 2.dat”, ambos os cenários tiveram um polígono criado para definir a lagoa sendo escavado 1m da topografia natural do terreno, para estimar a sua profundidade. Nas avaliações, as simulações consideraram a topografia natural do terreno utilizando-se dados de altimetria obtidas a partir do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Na primeira avaliação, impôs a cota zero (0,00m) na região do oceano para representar o terreno sem a contribuição da maré e a lagoa por sua vez com um valor de coluna d’água inicial. E para a segunda avaliação, foi colocado cota um metro e meio (1,50m) na região do oceano, representando o terreno com maré (maré alta) e a lagoa vazia. Com estes dois cenários, pretendeu-se avaliar as condições extremas visando identificar a dinâmica da água no terreno. Foi possível avaliar a resposta do modelo para esses dois cenários distintos e verificar que nesta área há uma movimentação de água aflorando do fundo do solo para a superfície, que ocorre de forma lentamente e que existe uma contribuição freática para o equilíbrio do nível da lagoa.

**Palavras-chaves:** Modelagem Computacional, OpenFlows FLOOD, Infiltração, Lagoa.

## ***ABSTRACT***

The aim of this work was to study the infiltration system in the Iquipari lagoon area in São João da Barra, Rio de Janeiro, by means of a case study. A sensitivity analysis of the infiltration flow was carried out considering two extreme scenarios, one scenario being the lagoon with an initial water level and a low tide and the second scenario, the lagoon with a low water level and a high tide. The MOHID platform was used with the OpenFlows FLOOD software interface to develop these two different scenarios, with the same soil characteristics and different water levels in the simulations using the "runoff 1.dat" and "runoff 2.dat" files. Both scenarios had a polygon created to define the lagoon, with 1m of the natural topography of the land being excavated to estimate its depth. In the evaluations, the simulations considered the natural topography of the land using altimetry data obtained from the TOPODATA project of the National Institute for Space Research (INPE). In the first evaluation, the zero elevation (0.00m) in the ocean region was used to represent the land without the contribution of the tide and the lagoon with an initial water column value. And for the second evaluation, a level of one and a half meters (1.50m) was placed in the ocean area, representing the land with a tide (high tide) and the lagoon empty. With these two scenarios, the aim was to evaluate the extreme conditions in order to identify the dynamics of the water on the ground. It was possible to evaluate the model's response to these two different scenarios and verify that in this area there is a movement of water from the bottom of the ground to the surface, which occurs slowly and that there is a phreatic contribution to the equilibrium of the lagoon level.

**Keywords:** Computational Modelling, OpenFlows FLOOD, Infiltration, Lagoon.

## 1. INTRODUÇÃO

O elevado processo de urbanização leva ao desequilíbrio dos componentes do ciclo hidrológico, como por exemplo diminuição da evapotranspiração, da infiltração e da recarga natural dos aquíferos (Liu et al., 2019). Segundo St-Hilaire et al. (2016), tal processo acaba gerando problemas urbanos indesejados como inundações, aumento da temperatura, degradação das águas dos recursos hídricos, entre outros. Diante disso, o manejo das águas pluviais com uso de tecnologias tem se tornado essencial para o controle e no favorecimento de fenômenos naturais como a infiltração e o armazenamento de águas pluviais.

Nesse contexto, a preservação dos recursos hídricos tem se tornado um assunto de grande pauta para a sociedade contemporânea. No Brasil há um arcabouço bem completo no que tange a preocupação com esse assunto e pode ser evidenciado na Lei 9433/97 que vem disciplinar os usos das águas no país e as resoluções CONAMA, como por exemplo a 01/86 e a 357/2005. O monitoramento e diagnóstico dos recursos hídricos é um dos instrumentos de controle previstos na legislação brasileira e os modelos matemáticos podem ser ferramentas úteis e eficazes para auxiliar a preservação dos recursos hídricos.

Por exemplo, simulação de processos hidrológicos como a infiltração com técnicas relacionada à resolução temporal dos dados meteorológicos e às propriedades hidrodinâmicas do meio poroso, podem interferir na precisão de estimativas. Uma análise de sensibilidade pode ser uma alternativa fundamental para entender a contribuição individual de cada parâmetro hidrodinâmico nos processos hidrológicos (Brunetti et al., 2018). Os resultados dessa análise podem vir a guiar futuras pesquisas para estimar um determinado parâmetro com maior precisão e fornecer o conhecimento de qual parâmetro deve ser colocado como variável de decisão nos períodos de calibração e validação do modelo (Silva et al., 2019).

Para Pionosi et al. (2016), análises de sensibilidade, em modelagens, estão sendo cada vez mais utilizadas para atender diversos propósitos, seja para calibração do modelo, diagnóstico, avaliação ou para análise de incerteza. Desse modo, uma análise de sensibilidade de um modelo hidrológico permite avaliar a influência que determinados parâmetros hidrológicos têm na saída do modelo.

Os modelos baseados na solução numérica da equação de Richards são os mais utilizados para estimar os processos de transferência de água no solo (Brunetti et al., 2016). Baseiam-se na simultaneidade das propriedades de retenção e condução de água no solo, expressas pelas curvas de retenção e de condutividade hidráulica, respectivamente.

O MOHID é um exemplo de modelagem computacional para realizar simulações matemáticas e ele tem sido usado em vários estuários portugueses para simular processos de transporte, dinâmica sedimentar e qualidade da água (Trancoso et al., 2019).

## **2. OBJETIVO**

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o processo de infiltração na área da Lagoa de Iquipari e seu entorno no Município de São João da Barra, Rio de Janeiro.

Para isso, tem-se os objetivos específicos: Avaliar a resposta do modelo simulando a dinâmica da água no solo em dois cenários na Lagoa de Iquipari, sendo a) Simulação 1 – Lagoa com volume de água inicial e maré baixa e b) Simulação 2 – Lagoa com baixo nível de água e maré cheia.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição da área estudada

O estudo de caso foi aplicado na bacia de Iquipari, situada na cidade de São João da Barra, no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Localizada na região Norte Fluminense, a lagoa de Iquipari localiza-se entre a latitude de 21°44'20'' e 21°48'12'' S, e longitude de 41°01'34'' e 41°02'04'' W. Apresenta área superficial de aproximadamente 1,4 km<sup>2</sup> e tem em seu entorno áreas de pastagem e vegetação nativa (restinga). Sua extensão é aproximadamente de 16 km e está separada do mar por uma estreita faixa de areia.

A lagoa de Iquipari situa-se no 5º distrito do município de São João da Barra conhecido como Pipeiras. É classificada como uma lagoa de restinga e tem sua origem atrelada ao resquício de um antigo braço do Rio Paraíba do Sul e é o principal corpo d'água da Bacia do Iquipari (Soffiati, 2013). Sua nascente até sua foz, encontra-se protegida dentro da Unidade de Conservação RPPN Caruara.



*Figura 1: Lagoa de Iquipari. (A) Barra da lagoa; (B) Porção intermediária da lagoa; (C) Porção intermediária da lagoa; (D) Porção Sul da lagoa. Fonte: Plano de Manejo RPPN Caruara.*

O município de São João da Barra está inserido na bacia hidrográfica do baixo Paraíba do Sul e Itabapoana e compõe a Região Hidrográfica IX (IBGE). O município conta com uma população de 32,747 residentes, sendo que no distrito de Pipeiras possuem um total de 5,574 moradores.

De acordo com a classificação climática de Köppen, São João da Barra e a área da RPPN Caruara são classificados como clima Tropical Seco, com temperaturas médias anuais variando entre 23 e 25 °C., precipitação média anual entre 800 e 1000 mm e vegetação natural classificada como floresta subcaducifólia, caducifólia, caducifólia/caatinga hipoxerófila e restinga.

A característica mais evidente do uso e cobertura do solo municipal é a expressiva presença das áreas de restinga, distribuindo-se longitudinalmente ao município e entremeando-se aos cordões arenosos. As margens da lagoa de Iquipari e as faixas de praia são recobertas por

formações de restingas herbáceo/arbustiva, com cobertura vegetal predominante rasteira (gramíneas e herbáceas) e de acordo com o EMBRAPA (2006), a classe de solo características de restingas é o Espadossolo.



*Figura 2: Margens da lagoa de Iquipari preservadas e as faixas de praia recobertas por formações de restinga herbáceo/arbustiva. Fonte: Plano de Manejo RPPN Caruara.*

A reserva RPPN Caruara se localiza sobre a cobertura sedimentar cenozoica, na área do entorno podem ser observados vastos depósitos colúvio-aluvionares de idade quaternária, também há presença de depósitos relacionados à zona costeira, depósito marinho e Fúlvio Marinho.



*Figura 3: Característica arenosa e terrenos com baixa amplitude topográfica (diferenças inferiores a 20 metros) da área da RPPM Caruara. Fonte: Plano de Manejo RPPN Caruara.*

### **3.2 Modelo de infiltração de água no solo**

A infiltração é o processo hidrológico pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do solo, movendo-se para baixo em direção ao lençol freático. Para ocorrer a infiltração são necessários vários fatores como, disponibilidade de água para infiltração, constituição do solo e declividade, cobertura vegetal e o teor de umidade do solo. São duas grandezas principais que computam a infiltração no solo, capacidade, geralmente expressa em mm/h e velocidade de infiltração, que depende da permeabilidade do solo e do gradiente horizontal hidráulico (Fragoso, 2009).

A equação de Richards é utilizada para calcular o movimento da água infiltrada no meio poroso:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( K(\theta) \left( \frac{\partial h}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \right) \right) - S(h) \quad (8)$$

onde  $q$  é o conteúdo volumétrico de água ( $L^3L^{-3}$ ),  $x_i$  representa as direções  $xyz$  (-),  $K$  é a direção condutividade hidráulica ( $LT^{-1}$ ), e  $S$  é o termo sumidouro que representa a absorção de água pela raiz ( $L^3L^{-3} T^{-1}$ ).

Já as propriedades hidráulicas do solo são descritas usando as relações funcionais de Van Genuchten (1976) e Mualem (1976):

$$S_e(h) = \frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \quad (9)$$

$$K(h) = K_{sat} S_e^l \left( 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right)^2 \quad (10)$$

Onde  $S_e$  é a saturação efetiva ( $L^3L^{-3}$ ),  $\theta_r$  e  $\theta_s$  são os teores de água no solo residual e saturada, respectivamente ( $L^3L^{-3}$ ),  $K_{sat}$  é a condutividade hidráulica saturada ( $LT^{-1}$ ), ( $L^{-1}$ ) e  $\eta$  (adimensional) são forma de parâmetros empíricos,  $m = 1 - 1/\eta$ , e  $l$  é um parâmetro de conectividade/tortuosidade do poro (adimensional).

### 3.3 Amostragem do solo

Na primeira avaliação foi feita a simulação considerando a topografia natural do terreno utilizando-se dados de altimetria obtidas a partir do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com a cota zero (0,00m) na região do oceano para representar o terreno sem a contribuição da maré e a lagoa por sua vez com um valor coluna d'água inicial. E para a segunda avaliação, foi colocado cota de um metro e meio (1,50m) na região do oceano, representando o terreno com maré (maré alta) e a lagoa vazia, com a ideia de avaliar as condições extremas para identificar as maiores taxas de infiltração do terreno.

Com o objetivo de modelar o processo de infiltração na região estudada de acordo com a característica do solo, foi realizada uma campanha de coleta de material de 3 pontos diferentes, identificadas como amostra 1 (ponto vermelho), amostra 2 e 3 (pontos azuis), com uma distância aproximada de 6672,10m entre eles. Após coleta, as amostras foram enviadas para análise na FUNDENOR, laboratório credenciado pela EMBRAPA localizado no município de Campos dos Goytacazes.





Figura 4: Campanha de coleta de solo em 3 pontos distintos da Lagoa de Iquipari. Fonte: Elaborado pelos autores.

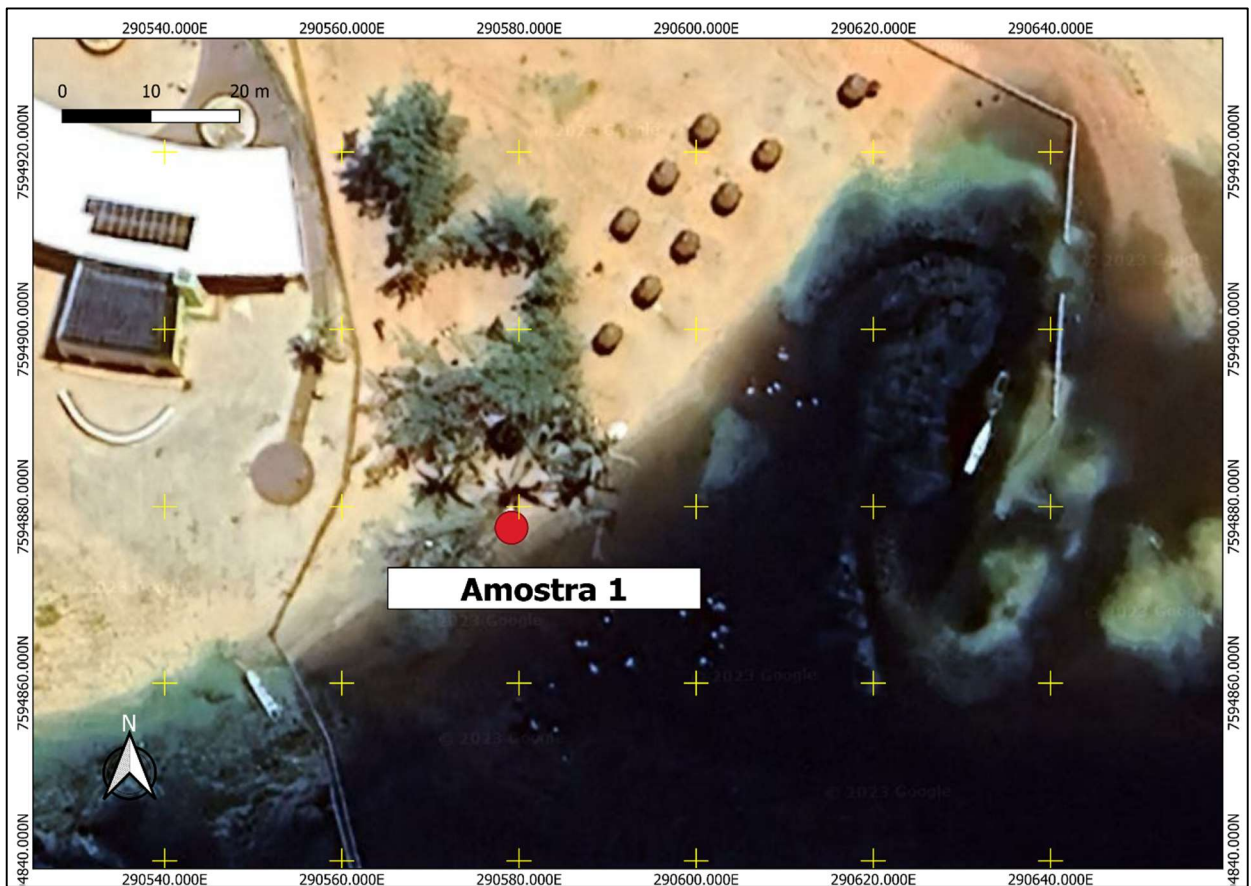


Figura 5: Mapa de Localização do ponto da coleta da Amostra 1, coordenadas geográficas UTM 290576.99, 7594880.83, próximo a sede da Reserva da RPPN Caruara. Fonte: Elaborado pelos autores.

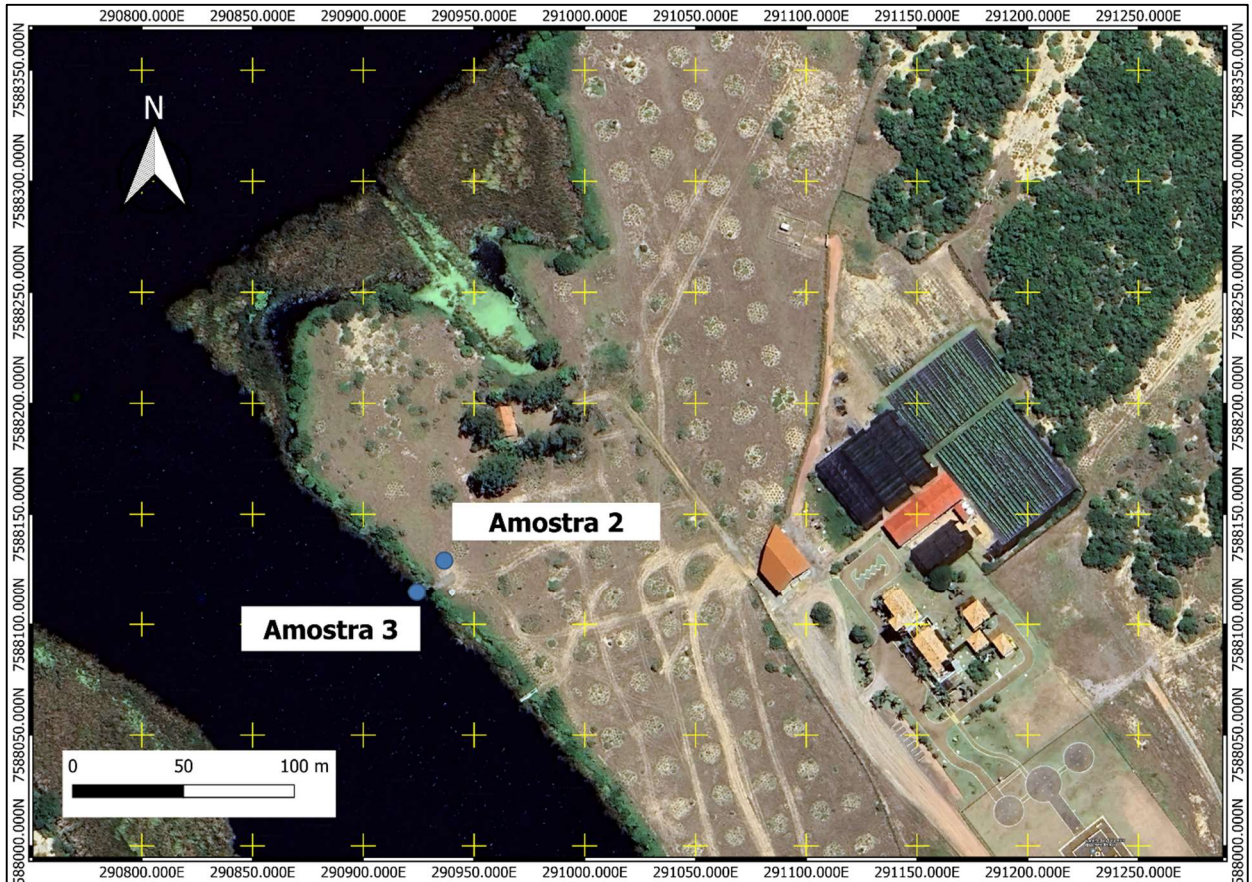


Figura 6: Mapa de Localização do ponto da coleta da Amostra 2 e 3, coordenadas geográficas UTM 290936.460,7588128.780, próximo ao centro de visitantes do Porto do Açú. Fonte: Elaborado pelos autores.

Após o resultado da análise, as propriedades físicas do solo foram introduzidas ao módulo Rosetta (um algoritmo que calcula os parâmetros de retenção de água no solo) – utilizando o modelo HYDRUS-1D para a estimativa dos parâmetros hidráulicos do solo (Handbook60++, 2023). Os valores encontrados foram adicionados ao arquivo de “Porous Media.dat”.

Tabela 1: Tabela com os parâmetros físicos do solo inseridos no módulo Rosetta – Software HYDRUS-1D. Fonte: Elaborado pelos autores.

Areia	Silte	Argila
99.1	0.8	0.1
99.1	0.5	0.4
99.3	0.6	0.1

Tabela 2: Tabela com os parâmetros hidráulicos do solo obtidos através do módulo Rosetta – Software HYDRUS-1D. Fonte: Elaborado pelos autores.

teta_r	teta_s	Alfa (1/cm)	n_fit	k_sat (cm/d)
0.04883262988806 162	0.36167830291569 575	0.035689704292518 165	4.103.184.004.188.2 80	13.969.853.000.254. 800
0.04925073972506 321	0.36145392455580 14	0.035460113100436 03	40.788.691.945.094. 600	13.749.326.419.706. 800
0.04886528351304 525	0.36147066434760 206	0.035755568021906 29	4.148.480.829.708.2 80	14.282.377.822.219. 200

Onde  $teta_r$  e  $teta_s$  são conteúdo de água no solo residual e saturado,  $\alpha$  (1/cm) está relacionada com o inverso da entrada de sucção de ar;  $n_{fit}$  é uma medida da distribuição de tamanho de poros e o  $K_{sat}$  é a condutividade hidráulica saturada.

### 3.4 Descrição do modelo MOHID

Foi utilizada a plataforma MOHID contando com a interface do software OpenFlows FLOOD® para elaborar dois cenários com diferentes níveis de água. Um polígono para definir a Lagoa foi feito e a cota de altitude representada no modelo digital do terreno foi escavada 1m para representar profundidade da Lagoa de Iquipari.

MOHID é abreviação para Modelo Hidrodinâmico, é um sistema de modelagem integrado mantido e desenvolvido pela MARETEC da Universidade de Lisboa. Uma ferramenta de modelagem integrada capaz de simular processos físicos e biogeoquímicos tanto na coluna d'água quanto nos sedimentos, e é capaz de simular o acoplamento entre esses dois domínios e o último com a atmosfera. MOHID Water Modeling System é um sistema modular de modelagem de água de volumes finitos escrito em ANSI FORTRAN 95 usando um objeto filosofia de programação orientada, integrando diversos modelos numéricos e suportando interfaces gráficas de usuário que gerenciam todo o pré e pós-processamento (MOHID, 2008).

A plataforma MOHID é oferecida com um código aberto livre e pode ser acessado através de um repositório online, esta plataforma possui diversos recursos computacionais para modelar a hidrodinâmica, a hidrologia, o transporte de substâncias etc. Uma de sua interface foi desenvolvida pela Bentley sendo denominada OpenFlows FLOOD. Tratando mais especificamente do MOHID-Land, este simula o ciclo da água considerando quatro meios: atmosfera, meio poroso, superfície do solo e rede fluvial. A atmosfera não é simulada de uma forma objetiva, porém fornece dados necessários para estabelecer condições de contorno de superfície que podem ser variantes no espaço e no tempo (Oliveira, 2020).

MOHID-Land é um modelo de base física que simula as interações entre os diferentes meios contínuo solo-água-atmosfera. Os processos fundamentais que afetam o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica são formulados em escalas tempo e espaço, sendo a área de estudo discretizada por uma grade cuja resolução é selecionada pelo modelador. Os processos são então calculados para cada célula dessa grade.

No MOHID-Land, a relação entre as condutividades hidráulicas horizontais e verticais é definida por um fator ( $f_h = K_{hor}/K_{ver}$ ) que pode ser ajustado pelo usuário. O modelo usa a equação de Richards em todo o domínio de subsuperfície e simula fluxos saturados e insaturados usando a mesma grade. Uma célula é considerada saturada quando a umidade estiver acima de um valor limite (por exemplo, 98%) definido pelo usuário. Quando uma célula atinge a saturação, o modelo usa a condutividade saturada para calcular o fluxo e a pressão torna-se hidrostática, corrigida pelo atrito. Este procedimento facilita a implementação do modelo e simplifica seu uso em escala anual. A penalidade é o passo de tempo que durante o

período de molhagem deve ser mais curto para garantir a estabilidade. A restrição é minimizada usando computação paralela. O fluxo das águas entre o meio poroso e a rede de drenagem também são impulsionados pelo gradiente de pressão na interface desses dois meios.

Os dois cenários simulados adotaram um período de precipitação do dia 06 ao dia 11 do mês de março de 2021, com os dados obtidos da estação de monitoramento Automático CEVISPA-Pda disponibilizado pela RPPN Caruara.

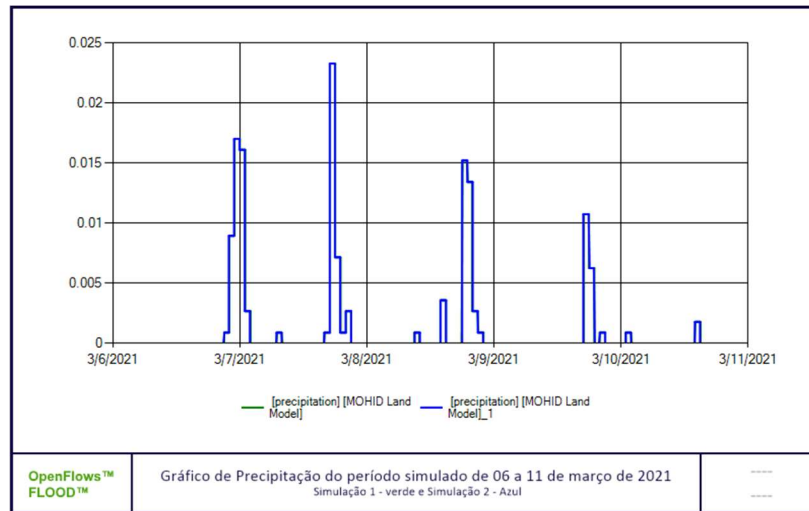


Figura 7: Gráfico de precipitação período 06 a 11 de março de 2021. Fonte: Elaborado pelos autores.

A região foi individualizada através de uma grade regular, quadrangular ou retangular em seu plano de superfície e por um sistema de coordenadas cartesianas na direção vertical. A superfície terrestre é descrita usando uma grade horizontal 2D enquanto o meio poroso é um domínio 3D, que inclui a mesma grade horizontal na superfície complementada com uma grade vertical com camadas de espessura variável. A rede fluvial é um domínio 1D definido a partir de um modelo digital de terreno (DTM), (Maretec, 2022).

## 4 RESULTADOS

Com os resultados das simulações, foi possível comparar o processo de infiltração entre os dois cenários a saber: Simulação 1 – Lagoa com volume de água inicial e maré baixa e Simulação 2 – Lagoa com baixo nível de água e maré cheia.



Figura 8: Desenho esquemático do corte vertical, a esquerda simulação 1 e a direita, simulação 2. Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura nº 9 abaixo, apresenta a posição do corte vertical no eixo realizado no modelo digital do terreno. Foi realizado um corte vertical na direção do eixo “x”, com “x” iniciando em “1” e terminando em “70” e corte em “51”, usando a distorção de 100 vezes no mesmo ponto para ambos cenários, para simular o processo de infiltração nas camadas dos solos, permitindo visualizar a variação dos valores de umidade do solo na faixa que abrange os valores de  $\theta_r$  até  $\theta_s$ . Entende-se como solo saturado ( $\theta_s$ ) quando os poros do solo estão cheios de água e insaturado quando os poros estão cheios de água e ar.

A ferramenta de corte vertical de eixo permite visualizar perfis verticais de camadas de arquivo HDF baseadas em polígonos 3D. Ela permite visualizar perfis XZ ou YZ. De acordo com a legenda abaixo do teor de água no solo, a célula que representa o solo insaturado tem a cor azul e saturado, marrom, variando entre verde, amarelo vermelho até chegar na saturação máxima.

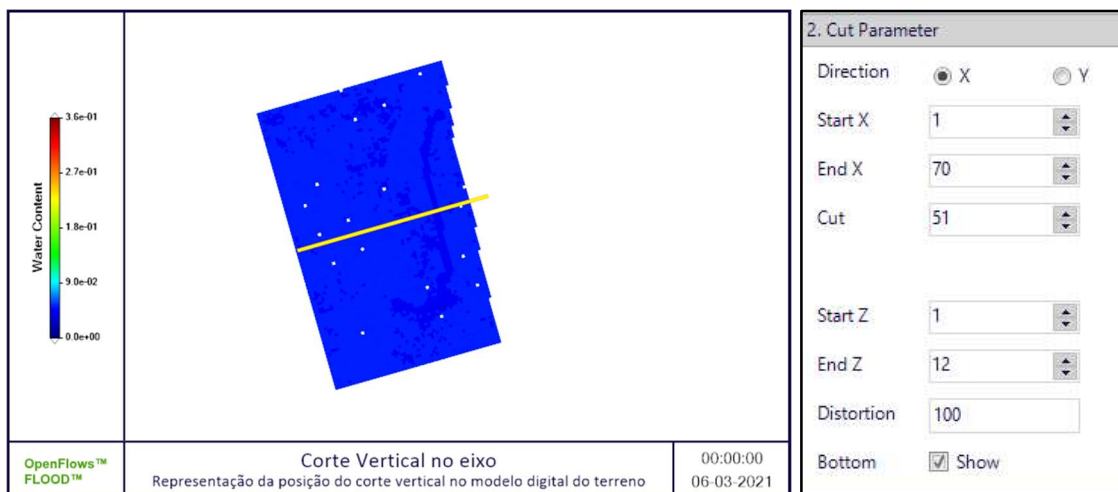


Figura 9: Ilustração do corte vertical no eixo para os cenários simulados. Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura 10 e 11 está representado o corte vertical no modelo digital do terreno simulado, utilizando o canal water content (teor de umidade) através dos dados do arquivo “Porous Media\_hdf5” para o período simulado do dia 06 a 11 de março de 2021. O módulo Porous Media é responsável por lidar com todo os fluxos de água no solo e o teor de água é a quantidade de água contida no solo, podendo ser chamada também de umidade do solo.

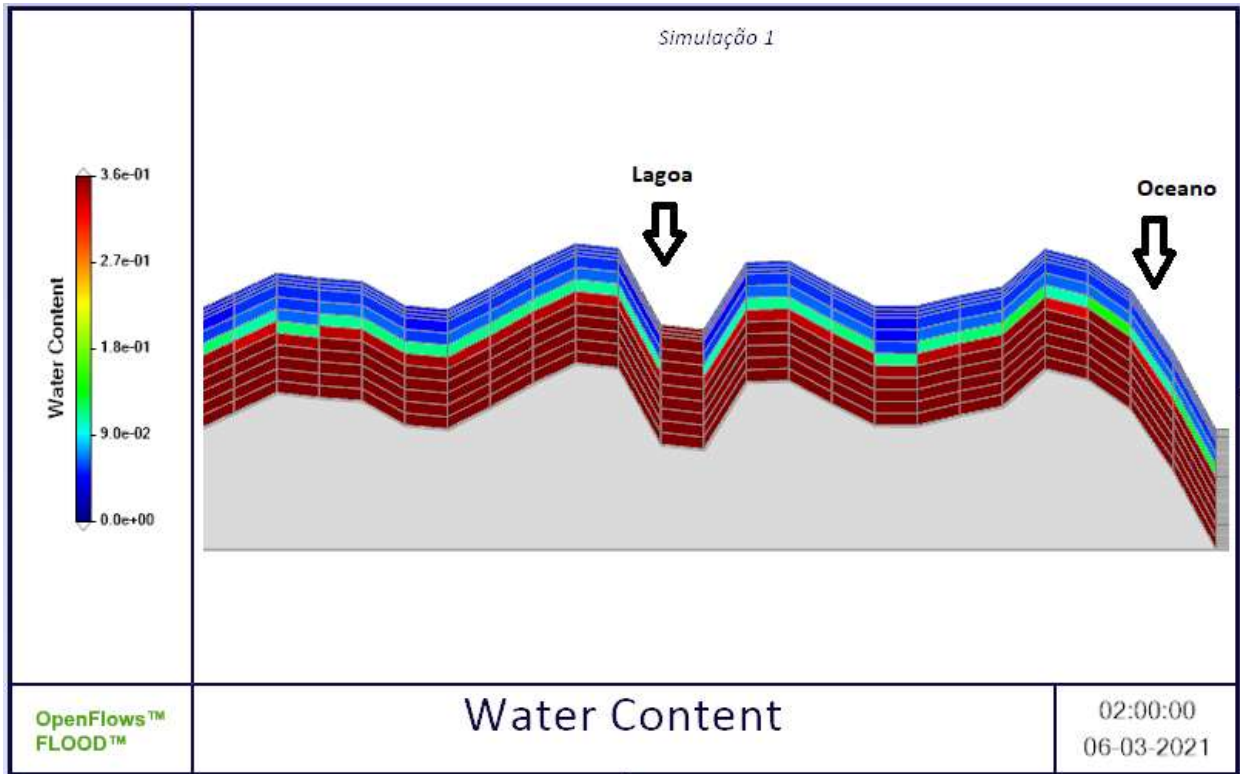


Figura 10: Simulação 1 – Conteúdo de água no solo para o cenário simulados entre o período de 06 a 11 de março de 2021. Fonte: Elaborado pelos autores.

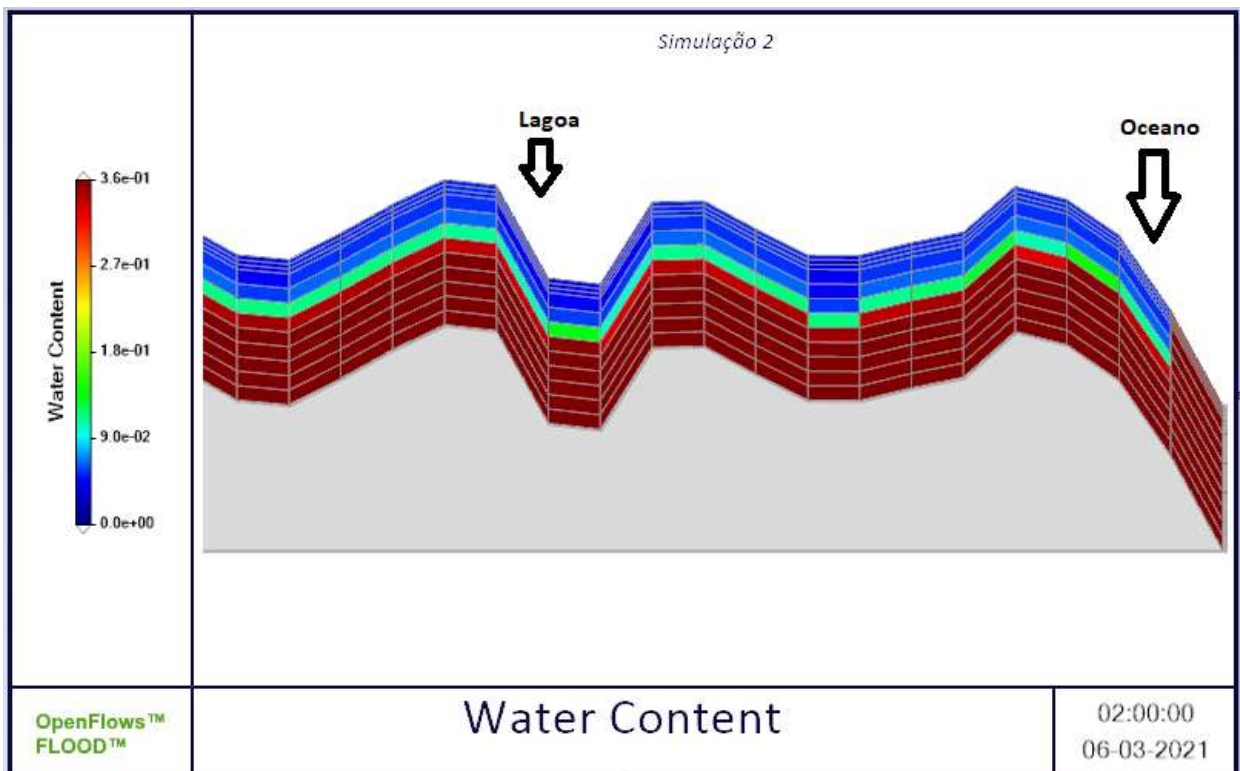


Figura 11: Simulação 2 - Conteúdo de água no solo para o cenário simulado entre o período de 06 a 11 de março de 2021. Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando a figura 10 que representa a simulação 1, nota-se que a região da área da lagoa, de acordo com a legenda, encontra-se saturada (marrom) e as células da área mais próxima do mar com a coloração azul, que significa que a região está com baixo teor de água. Diferentemente da figura 11, que a simulação 2 inicia-se com a área da lagoa com baixo teor de água (azul) e a

região mais próxima do mar com as células saturadas (marrom).

A seguir são apresentadas figuras estáticas da simulação 1 e 2 para fazer uma comparação entre as simulações em determinados instantes:

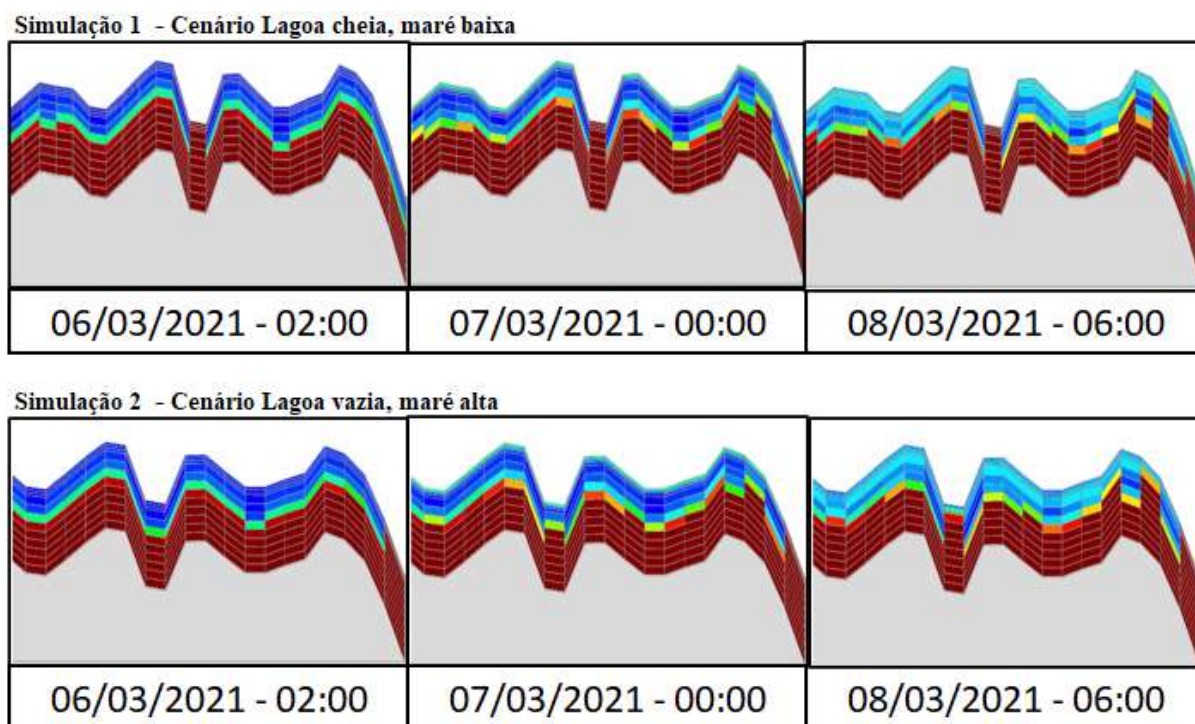


Figura 12: Figuras estáticas para a comparação entre a Simulação 1 e a Simulação 2. Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura 12 é possível perceber que no primeiro dia de simulação, dia 06/03/2021 no instante de 02:00h, na simulação 1 a região da lagoa inicia-se com suas células saturadas (marrom) e a simulação 2 com as células insaturadas (azul), com o passar dos dias nota-se que as células vão mudando de cor e é possível verificar que há um fluxo de infiltração ocorrendo do fundo da lagoa para a superfície no cenário 2, pois as células correspondente a superfície do solo está mudando a coloração de azul escuro para um azul mais claro, o que significa que tais células agora estão apresentando um teor de água nelas.

Observa-se que em ambos o processo de infiltração ocorre de forma muito lenta pelo solo. Na simulação 1, onde a lagoa inicia-se cheia, com o solo saturado, demonstrado na cor marrom, nota-se que a umidade flui em direção as células ao lado, em direção ao oceano. Já na Simulação 2, com a lagoa vazia, o solo está insaturado, demonstrado pela cor azul, e aos pouco as células vão saturando e passando para a cor marrom, fluindo pelo fundo da lagoa para a superfície, demonstrando que a umidade do solo vai para as células de cima, o que significa que a lagoa esta enchendo novamente.

A Lagoa de Iquipari é uma lagoa situada nas areias muito permeáveis da faixa litoral do município de São João da Barra, pode-se presumir que nesta área a recarga do aquífero pode ser efetuada tanto pela água da chuva, descarregando diretamente na depressão lacustre quanto pela infiltração no solo, percebe-se que há uma movimentação de água aflorando do fundo do

solo para a superfície, que ocorre de forma lentamente e que existe uma contribuição freática para o equilíbrio do nível da lagoa.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo sempre presente que um modelo é um instrumento que auxilia o raciocínio e nunca um seu substituto, a aplicação destas técnicas, como ferramentas de análise, revelou-se adequada à descrição e compreensão das características e dinamismo de infiltração do recurso hídrico, na Lagoa de Iquipari.

Considera-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, pois através da análise dos resultados obtidos com as simulações, é possível verificar que há uma contribuição freática para o equilíbrio da lagoa. As observações no estudo foram coerentes com as expectativas.

Para trabalho futuro, o trabalho pode ser ajustado para considerar com detalhes os dados reais da área estudada, sugerindo por exemplo, implementação de pontos de monitoramento pela RPPN Caruara, para sensores de nível e umidade do solo, desta forma poder refletir os dados de entrada no modelo mais próximos a realidade.

Estudos que verifiquem o quanto o fundo da lagoa é permeável e o quanto existe de fluxo e contribuição para a Lagoa, para que seja possível a verificação de como se dá a manutenção do nível da lagoa, com a contribuições da chuva, dos canais e a perda de água pela evaporação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements; Irrigation & Drainage Paper 56; FLOOD and Agriculture Organization (FAO): Rome, Italy, 1998.

Azevedo, G. T., Porto, R. L. L. e Zahed Filho, K. (1997). “Modelos de simulação e de rede de fluxo.” In: Porto, R. L. L. (org.). Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos, Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil.

Brunetti, G., Šimůnek, J., & Piro, P. (2016). A comprehensive numerical analysis of the hydraulic behavior of a permeable pavement. *Journal of Hydrology*, 540, 1146-1161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.030>.

Brunetti, G., Šimůnek, J., Turco, M., & Piro, P. (2018). On the use of global sensitivity analysis for the numerical analysis of permeable pavements. *Urban Water Journal*, 15(3), 269-275. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2018.1439975>.

Canuto, N.; Ramos, T.B.; Oliveira, A.R.; Simionesei, L.; Basso, M.; Neves, R. Influence of reservoir management on Guadiana streamflow regime. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 2019, 25, 100628. Devi, G.K.; Ganasri, B.P.; Dwarakish, G.S. A review on hydrological models. *Aquat. Procedia* 2015, 4, 1001–1007.

Fatichi, S.; Vivoni, E.R.; Ogden, F.L.; Ivanov, V.Y.; Mirus, B.; Gochis, D.; Downer, C.W.; Camporese, M.; Davidson, J.H.; Ebel, B.; et al. An overview of current applications, challenges and future trends in distributed process-based models in hydrology. *J. Hydrol.* 2016, 537, 45–60.

Feddes, R.A.; Kowalik, P.J.; Zaradny, H. *Simulation of Field Water Use and Crop Yield*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 1978.

Fragoso, J.C. et al; *Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos*. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.

Green, W.H.; Ampt, G.A. *Studies on Soil Physics, Part 1, the Flow of Air and Water through Soils*. *J. Agric. Sci.* 1911, 4, 11–24.

Handbook60++ *Diagnosis and Improvement of Saline and Sodic Soils* (27 de Agosto de 2023). FONTE: HB60: <https://www.handbook60.org/home/>.

J. Janeiro, E. Fernandes, F. Martins, R. Fernandes. Influência do vento e da água doce na dispersão de hidrocarbonetos na lagoa dos Patos, Brasil. *Mar. Poluição. Touro.*, 56 (2008). MARETEC, 2022. MOHID: Water Modelling System. Disponível em: <<http://maretec.mohid.com>>. Acesso: 13 out. 2022.

MOHID <<http://wiki.mohid.com/index.php?title=MOHID>> acesso em: 13 out 2022.

Mualem, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 1976, 12, 513–522.

Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. *Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation, Version 2009*; Texas Water Resources Institute. Technical Report No. 406; Texas A&M University System: College Station, TX, USA, 2011.

OLIVEIRA, R. A. et al. Sensitivity Analysis of the MOHID-Land Hydrological Model: A Case Study of the Ulla River Basin. *Water* 2020, 12, 3258. <https://doi.org/10.3390/w12113258>.

Pianosi, F.; Beven, K.; Freer, J.; Hall, J.; Rougier, J.; Stephenson, D.; Wagener, T. Sensitivity analysis of environmental models: A systematic review with practical workflow. *Environ. Model. Softw.* 2016, 79, 214–232.

Ritchie, J.T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.* 1972, 8, 1204–1213.

Soil Conservation Service. Design hydrographs. In *National Engineering Handbook*; United States Department of Agriculture: Washington, DC, USA, 1972.

TRANCOSO, A. R. et al. An advanced modelling tool for simulating complex river systems. *Science of The Total Environment*, v. 407, n. 8, p. 3004–3016, abr. 2009.

Tucci, C. E. M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil.

Van Genuchten, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **1980**, 44, 892–898.

Williams, J.R.; Jones, C.A.; Kiniry, J.R.; Spanel, D.A. The EPIC crop growth model. *Trans. Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* 1989, 32, 497–511.

Wheater, H.; Sorooshian, S.; Sharma, K.D. (Eds.) *Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas*; International Hydrology Series; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007; pp. 1–4.