

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Nara Moura de Almeida Boson

PROPOSTAS DE GESTÃO DE ABERTURA DE BARRA: ESTUDO DE CASO DA
LAGOA DE CARAPEBUS - RJ

Macaé

2020

Nara Moura de Almeida Boson

PROPOSTAS DE GESTÃO DE ABERTURA DE BARRA: ESTUDO DE CASO DA
LAGOA DE CARAPEBUS - RJ

Trabalho de conclusão de curso submetido à
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
Campus Macaé como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Beatriz Rohden Becker

Macaé

Novembro 2020

Nome: BOSON, Nara Moura de Almeida

PROPOSTAS DE GESTÃO DE ABERTURA DE BARRA: ESTUDO DE CASO DA LAGOA DE CARAPEBUS - RJ

Trabalho de conclusão de curso submetida à Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé como parte dos requisitos necessários para a obtenção do de bacharel em Engenharia Civil.

Macaé, 27 de novembro de 2020

Prof.^a Beatriz Rohden Becker
Professora Orientadora
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Rafael Malheiro da Silva do Amaral
Ferreira
Professor Coorientador
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Rodrigo Lemes Martins
Membro da Banca Examinadora
Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento
Socioambiental de Macaé

Prof. Thiago Gomes de Lima
Membro da Banca Examinadora
Universidade Federal do Rio de Janeiro

MACAÉ – RIO DE JANEIRO, BRASIL

NOVEMBRO DE 2020

Boson, Nara Moura de Almeida
Propostas de Gestão de Abertura de Barra na Lagoa de
Carapebus-RJ / Nara Moura. – Macaé: UFRJ/ Campus Macaé, 2020.

Orientadora: Beatriz Rohden Becker

Projeto de Graduação – UFRJ/ Campus Macaé/Curso de
Engenharia Civil, 2020. Referências Bibliográficas: p.77-92.

1. Abertura de Barra. 2. Lagoas Costeiras. 3. Lagoa de
Carapebus. 4. Impacto Ambiental.

I. Becker, Beatriz Rohden II. Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Campus Macaé, Curso de Engenharia Civil. III. Título.

Dedico este trabalho à minha avó, Gildete
Moura Viana.

AGRADECIMENTOS

“Tudo é possível àquele que crê”. Ao Senhor, meu Deus, minha fortaleza em todos os momentos, obrigada por se fazer presente.

Aos meus pais, Igno e Mary, meus maiores incentivadores, a razão de eu estar concluindo essa etapa, minha gratidão e meu amor eterno.

Aos meus irmãos Igor, Igno Filho, Mila e Laís, pelo apoio em todas as etapas da minha vida. Agradeço em especial ao meu irmão, Joaquim Neto, por me ensinar todos os dias que as limitações estão na mente dos outros. Você me dá, todos os dias, motivos pra sonhar cada vez mais alto.

A minha avó, a quem dedico esse trabalho, que me mostrou paixão por essa profissão.

Ao meu sobrinho, Arthur, por ter me ensinado a ser mais forte.

Ao meu esposo, Dalmo Boson, por ter transcendido o significado de esposo pra mim. Você é meu principal incentivador e o motivo da minha alegria diária.

A minha professora favorita Beatriz Becker, que veio a ser minha orientadora, pela confiança e orientação. Obrigada por toda dedicação. Você é um exemplo pra mim.

Ao meu coorientador, Rafael Malheiro, por sempre buscar soluções junto comigo em qualquer que seja o assunto que o confio. Você merece todo meu reconhecimento.

Ao funcionário da Prefeitura Municipal de Carapebus-RJ, Ricardo Maia, por toda atenção concedida.

Aos meus amigos, Jonas, Lucas, Laís, Soraya e Pamela, por me mostrarem a força que uma amizade tem. Juntos, fomos e somos mais fortes.

A toda minha família, incluo os que estão no céu, que torceu pra que esse momento chegasse, minha gratidão.

A minha diarista, Jaqueline, que foi fundamental para que meus dias de estudo fossem concluídos.

E, por fim, agradeço a toda minha turma, aos professores que tive o prazer de conhecer nesse curso, funcionários da UFRJ-Macaé e pessoas que fizeram parte dessa etapa da minha vida. Eu não sou mais aquela pessoa que iniciou o curso, graças a vocês.

RESUMO

BOSON, Nara Moura de Almeida. Propostas de Gestão para Minimizar os Impactos de Abertura de Barra: estudo de caso da Lagoa de Carapebus - RJ.2020. XX f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2020.

Dentre as 18 lagoas costeiras inseridas no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (Unidade de Conservação), encontra-se a Lagoa de Carapebus, que sofre constantes aberturas artificiais de sua barra, drenando grandes volumes de água de seu interior para o oceano. Os principais objetivos dessas aberturas são: renovação de suas águas, entrada de peixes para pesca artesanal e redução dos níveis da lagoa em períodos de alta pluviosidade. Partindo desse pressuposto, esse trabalho objetiva propor estratégias de gestão para aberturas de barra, baseando-se nos dados disponíveis e documentos de gestão existentes e apresentando alguns dos impactos negativos que esses ricos ecossistemas podem sofrer. O local de estudo escolhido foi a Lagoa de Carapebus, localizada no município de Carapebus, estado do Rio de Janeiro que, principalmente, durante os períodos chuvosos, o nível da lagoa sobe muito, atingindo o bairro Balneário Praia de Carapebus, causando danos ambientais, sociais e econômicos. Adicionalmente, a Lagoa de Carapebus está inserida em área próxima à Unidade de Conservação de Proteção Integral, o Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, tornando as decisões e a elaboração de propostas de gestão ainda mais complexas e delicadas. A partir do cálculo de indicadores morfométricos pertencentes à bacia hidrográfica da Lagoa de Carapebus, ela foi caracterizada como pouco suscetível a enchentes. Além disso, dados de chuva relacionados ao histórico de abertura demonstram que há outras variáveis contribuintes para o enchimento da lagoa. Ademais, foi feita uma análise do Plano Emergencial de Abertura de Barra existente, elaborado em 2013, considerado um importante documento na tomada de decisões para abertura da barra da Lagoa de Carapebus. Os resultados encontrados evidenciam a necessidade de novos estudos, que embasem um modelo de gestão para essas lagoas costeiras e alertem o poder público do avanço necessário. No que diz respeito à formulação e implantação de políticas públicas a nível nacional voltadas para aberturas de barra, esse trabalho busca destacar a importância da gestão para a conservação de lagoas costeiras.

Palavras-chave: Abertura de Barra. Lagoas Costeiras. Lagoa de Carapebus. Impacto Ambiental.

ABSTRACT

Boson, Nara Moura de Almeida. Propostas de Gestão para Minimizar os Impactos da Abertura de Barra: estudo de caso da Lagoa de Carapebus – RJ. 2020. XX f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2020.

Abstract of Undergraduate Project presented to UFRJ Macaé as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Among the 18 coastal lagoons inserted in the Restinga de Jurubatiba National Park (Conservation Unit), there is the Carapebus Lagoon, which suffers constant artificial openings, draining large volumes of water to the ocean. The main objectives of these openings are: water renovation, fish inlet for artisanal fishing and to reduce the levels of the lagoon during periods of high rainfall. Based on this, this work proposes management strategies for artificial openings of coastal lagoons, based on management documents and presenting some of the negative impacts that these rich ecosystems can suffer. The study location was the Lagoa de Carapebus, in the city Carapebus, in the state of Rio de Janeiro, which during rainy periods, the level of the lagoon rises a lot, reaching the Balneário Praia de Carapebus neighborhood, causing environmental damage, social and economic. Additionally, the Carapebus Lagoon is located in an area close to the Integral Protection Conservation Unit, the Restinga de Jurubatiba National Park, making the decisions and the elaboration of management proposals even more complex and delicate. From the calculation of morphometric indicators belonging to the hydrographic basin of Lagoa de Carapebus, it is characterized as not susceptible to flooding. In addition, rainfall data related to the opening history shows that there are other contributing variables to the filling of the lagoon. In addition, an analysis was made of the existing Emergency Opening Plan, prepared in 2013, which is considered an important document in decision-making for opening the Lagoa de Carapebus. The results show the need for further studies, which support a management model for these coastal lagoons and alert the public authorities of the necessary progress. With regard to the formulation and implementation of public policies at national level at artificial openings, this work highlight the importance of management for the conservation of coastal lagoons.

Keywords: Intermittently Closed and Open Lakes. Coastal Lagoons. Carapebus Lagoon. Environmental impact. ICOOL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação esquemática de lagoas costeiras de acordo com a classificação de Kjerfve.	19
Figura 2 - Abertura de barra da Lagoa de Carapebus com pás e enxadas (em torno de 1935).	288
Figura 3 - Abertura de barra da Lagoa de Carapebus em dezembro de 2019.	29
Figura 4 - Localização do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba no Rio de Janeiro.	38
Figura 5 - Delimitação da bacia da Lagoa de Carapebus.	422
Figura 6 - Lagoa de Carapebus-RJ.	43
Figura 7 - Córrego Maricota.	44
Figura 8 - Limites e localização do PARNA da Restinga de Jurubatiba, com destaque ao Balneário Praia de Carapebus. A linha vermelha indica o Canal Campos-Macaé, que conecta a Lagoa Feia à Lagoa de Carapebus.	444
Figura 9 - Bairro Praia de Carapebus durante chuvas intensas em dezembro de 2019.	455
Figura 10 - Bacia hidrográfica da Lagoa Feia interligada à bacia da Lagoa de Carapebus pelo canal Campos-Macaé.	466
Figura 11 - Mapa de sub-bacias existentes em Carapebus.	49
Figura 12 - Representação do Canal Campos- Macaé e hierarquização dos cursos d'água segundo a classificação de Strahler.	61
Figura 13 - Enumeração dos canais principais.	62
Figura 14 - Representação do canal principal da bacia.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vazão mínima, média e máxima do canal artificial Campos - Macaé.....	47
Tabela 2 -Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia.....	52
Tabela 3 – Volume estimado da Lagoa de Carapebus.....	54
Tabela 4 – Quantidade de água [m ³] conduzida pelo Canal-Campos Macaé para as vazões Qmin, Qmed e Qmax para os tempos de 24h, 48h e 72h.	54
Tabela 5 – Quantidade de água oriunda da contribuição do Canal Campos-Macaé na Lagoa de Carapebus, em porcentagem.....	55
Tabela 6 - Precipitação pluviométrica de Carapebus, com destaque (em amarelo) aos meses em que houve abertura da barra da Lagoa de Carapebus.	56
Tabela 7 - Precipitação pluviométrica de Quissamã, com destaque (em amarelo) aos meses que houve abertura da barra da Lagoa de Carapebus.....	58
Tabela 8 – Datas de abertura da barra da Lagoa de Carapebus relacionadas às precipitações das estações pluviométricas de Campos dos Goytacazes, Campos-São Tomé e Macaé.....	59
Tabela 9 - Somatório da extensão dos cursos d’agua conforme ordem fluvial.....	61
Tabela 10 - Extensão total, cota da foz e nascente, altura e declividade dos canais principais.	63
Tabela 11 - Tempos de concentração encontrados através dos métodos descritos e a média entre eles.....	64
Tabela 12 - Parâmetros lineares, areais e hipsométricos para a microbacia da Lagoa de Carapebus.	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DRN – Department of Natural Resources

EPA – Environment Protection Authority

EMC – Estuary Management Committee

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

ICOLL – Intermittently Closed and Open Lakes and Lagoons

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MDE – Modelo de Elevação Digital

NSW – New South Wales

PARNA – Parque Nacional

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

RSSF – Redes de Sensores sem Fio

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

UC – Unidade de Conservação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Justificativa.....	14
1.3	Motivação.....	15
1.4	Objetivos	15
1.4.1	Objetivo Geral.....	15
1.4.2	Objetivos Específicos.....	16
1.5	Estrutura do Trabalho.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Lagoas Costeiras	17
2.1.1	Importância das Lagoas Costeiras.....	21
2.1.2	Lagoas Costeiras e Mudanças Futuras	22
2.2	Aberturas de Barra	25
2.2.1	Caso da Lagoa de Carapebus/RJ.....	28
2.3	Modelos de Gestão	30
2.4	Plano Emergencial de Abertura de Barra da Lagoa de Carapebus	33
2.5	Marés.....	34
2.6	Unidades de Conservação: Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba	36
3	METODOLOGIA	40
3.1	Diagnóstico da Área de Estudo	40
3.2	Contribuição do Canal Campos-Macaé.....	47
3.3	Relação dos Dados de Chuvas na Região de Estudo	48
3.4	Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica de Carapebus	48
3.4.1	Análise Linear	50
3.4.2	Análise Areal.....	50
3.4.3	Análise Hipsométrica	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1	Contribuição do Canal Campos-Macaé.....	54
4.2	Relação dos Dados de Chuvas na Região de Estudo	55
4.3	Análise Morfométrica	60
4.4	Alternativas de Intervenção Propostas	68
4.4.1	Propostas de Medidas de Gestão.....	68
4.4.2	Dispositivo Extravasor	69
4.4.3	Redes de Sensores de Nível	71
4.4.4	Sistemas de Monitoramento e Alerta	71
4.4.5	Estação Elevatória de Bombeamento.....	72
5	CONCLUSÕES.....	74
5.1	Sugestões Para Trabalhos Futuros	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, o tema em questão será apresentado sucintamente, indicando a necessidade de se explorar a metodologia adotada no processo de abertura de barra em lagoas costeiras, bem como a análise de propostas que minimizem seus impactos. Ao longo desse item, serão abordados a justificativa, os objetivos, motivação e uma breve exposição da estrutura deste trabalho.

1.1 Contextualização

A ação da urbanização é uma das causas do grande número de impactos negativos no ambiente natural, além de modificar fortemente o ciclo hidrológico. O rápido crescimento desordenado e sem planejamento prévio trouxe grandes problemas para a sociedade brasileira, pela significativa modificação das características originais do meio ambiente, e que acabam evidenciando a ineficiência da gestão dos recursos naturais.

Diante da falta de planejamento das infraestruturas urbanas, as áreas costeiras foram os primeiros ambientes a sofrer diretamente os impactos do adensamento demográfico e da expansão das atividades econômicas ligadas ao turismo, recreação e lazer (SILVA & SILVA, 2007). Consta-se essa realidade por meio de um estudo realizado pelo IBGE (2011), o qual mostra que, no Brasil, aproximadamente 26,58% da população vive em municípios da Zona Costeira, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes.

Ademais, nos últimos vinte anos, a especulação imobiliária, o desenvolvimento do turismo de forma convencional e o crescimento excessivo dos vilarejos populacionais litorâneos causaram sérios impactos socioambientais ao meio (SILVA, 1998). Para Costa (2005), a zona costeira é uma área de interação de águas costeiras e terras próximas emersas, de um ambiente dinâmico e frágil, de processos desenfreados referente à urbanização, industrialização, exploração irracional de recursos naturais e especulação imobiliária, o que agrava um desequilíbrio ambiental de efeitos negativos, como erosão, contaminação do solo e das águas, diminuição dos recursos naturais e remoção das comunidades locais do suporte de vida.

As cidades costeiras convivem e sofrem com eventos extremos desde o início da civilização, mas as mudanças climáticas e o rápido desenvolvimento urbano amplificaram seus efeitos, aumentando os prejuízos socioeconômicos e as perdas ambientais (MARENGO & SCARANO, 2016). Logo, o planejamento urbano e a gestão dos recursos naturais têm e terão,

cada vez mais, grande interferência nos cenários futuros, por influenciarem diretamente na disposição e qualidade dos recursos naturais.

As lagoas costeiras são ecossistemas que ocorrem ao longo de toda a costa brasileira, sendo que o maior número delas é encontrado nos estados do Rio de Janeiro e do Rio Grande do Sul. Diante desse cenário, o rompimento artificial da barra de lagoas costeiras vem se tornando uma prática cada vez mais frequente, empregada com diferentes objetivos. Contudo, essas aberturas alteram os ciclos naturais de inundação, drenagem e enchimento, dos quais dependem os processos ecológicos desses ecossistemas e sua prática é considerada uma ameaça à biodiversidade desses ecossistemas (NSW EPA, 2000).

De fato, há uma série de considerações a serem avaliadas no desenvolvimento de uma política de gerenciamento de aberturas de barra, incluindo o risco de inundação, saúde do ecossistema e comodidade da comunidade. Essa é uma discussão que requer um equilíbrio entre fatores ambientais, sociais e econômicos. Além disso, a implementação de outras medidas de mitigação de inundações ou de melhoria ambiental podem ter maior potencial para abordar a causa provável da problemática, cuja possível solução proposta foi a abertura de barra.

A percepção e o somatório de todas essas atividades relacionadas ao uso e ocupação não planejados da Zona Costeira têm gerado, portanto, diversos impactos ambientais. Nesse contexto, este trabalho busca discutir a necessidade de avaliar os impactos do processo de abertura de barra em lagoas costeiras, bastante vivenciado por municípios no Brasil e no mundo, considerando a importância significativa da diversidade desses ecossistemas. Uma investigação completa deve ser feita para assegurar que a opção de gerenciamento mais eficaz está sendo empregada.

O local escolhido por este trabalho é a Lagoa de Carapebus, localizada na região norte do estado do Rio de Janeiro e que sofre recorrentes aberturas de sua barra, num cenário complexo, principalmente por se localizar próximo ao limite do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, uma Unidade de Proteção Integral (BRASIL, 2000).

1.2 Justificativa

No mundo contemporâneo, a busca pela sustentabilidade e pelo equilíbrio ambiental têm sido um objetivo constante no que diz respeito à proteção dos recursos naturais e dos sistemas ecológicos.

Em relação aos recursos hídricos, o desenvolvimento urbano precisa cada vez mais se amparar em conhecimento científico e tecnológico, tornando as cidades mais resilientes,

adaptáveis e sensíveis, pois são áreas mais suscetíveis às interferências humanas e aos efeitos das mudanças climáticas (PBMC, 2016).

Em particular, as lagoas costeiras apresentam um importante papel ambiental e socioeconômico das cidades. Apesar disso, ainda há escassez de estudos sobre os impactos diretos das mudanças climáticas sobre o meio ambiente litorâneo e, também, sobre a abertura de barra em lagoas costeiras, de modo a orientar ações que venham a reduzir os riscos e a minimizar os impactos ocasionados por essas ações. O rompimento da barra pode ocorrer de maneira natural ou artificial e, nesta última, a ação ocorre por pressão de diferentes atores locais, muitas vezes com motivações distintas.

Nesse contexto, cabe ressaltar a necessidade de implementação de estudos ambientais, capazes de integrar o planejamento e a gestão racional do uso e ocupação do solo na Zona Costeira, incluindo os processos que envolvem a abertura de barra de lagoas costeiras como parte integrante desse planejamento.

1.3 Motivação

O município de Carapebus/RJ apresenta um histórico de problemas com a drenagem urbana, área que a autora teve maior contato enquanto parte integrante da equipe de execução do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) da cidade, durante seu estágio. A motivação se iniciou com a oportunidade de entender mais sobre os processos que envolvem a abertura de barra e seus impactos, discussão complexa vivenciada pelo município, porém, pouco explorada. Sendo assim, buscou-se o aprofundamento nesse tema para salientar sua importância e propor ações para minimizar seus impactos, utilizando a Lagoa de Carapebus como estudo de caso, pois sofre aberturas constantes de sua barra, principalmente com o objetivo de aliviar a situação dos alagamentos no Balneário Praia de Carapebus, bairro localizado na zona costeira da cidade.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em propor estratégias de gestão que auxiliem na tomada de decisão quanto à abertura de barras, a partir de um diagnóstico detalhado da área de estudo e de uma análise qualitativa e quantitativa das chuvas e das especificidades locais. A

Lagoa de Carapebus, no município de Carapebus/RJ, foi escolhida como estudo de caso deste trabalho.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Compreender os conceitos que embasam o processo de abertura de barra em lagoas costeiras;
- Identificar os pontos que influenciam no contexto ambiental, econômico e social do processo de abertura de barra;
- Avaliar a situação atual da Lagoa de Carapebus, a partir de uma análise morfométrica da bacia hidrográfica onde está inserida a Lagoa de Carapebus, aferindo os impactos de medidas estratégicas;
- Elaborar estratégias de gestão a serem adotadas, principalmente na forma de políticas públicas, visando a minimização dos impactos causados pelos eventos de aberturas de barras, tendo como base importantes referências nacionais e internacionais.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho de pesquisa está organizado em cinco partes onde a primeira contextualiza a problemática e apresenta seus objetivos e na segunda encontra-se o arcabouço teórico construído por meio de levantamento bibliográfico. Na terceira parte é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho e, logo em seguida, estão os resultados e discussão (item quatro), com propostas de intervenção levantadas pela autora; finalizando com as considerações finais e sugestões futuras de trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a base teórica construída a partir do levantamento bibliográfico. Nele, são explorados os conceitos que contextualizam as lagoas costeiras, bem como a importância desse tipo de ecossistema; o processo de aberturas de barra e o local onde a Lagoa de Carapebus está inserida (próxima à Unidade de Conservação do PARNA da Restinga de Jurubatiba).

2.1 Lagoas Costeiras

As lagoas costeiras são extensões rasas de água, frequentemente orientadas de forma paralela à costa, principalmente ou completamente separadas do oceano por uma pequena restinga, recife ou ilha barreira (PHLEGER, 1969). De acordo com Kjerfve (1986), estes sistemas ocupam cerca de 12% da costa sul-americana, sendo a maioria localizada no litoral brasileiro. Desta maneira, conhecer tais ambientes é condição básica para o uso racional da água e a manutenção da qualidade desse recurso essencial (PEDROSA & RESENDE, 1999).

Woodroffe (2002) define lagoas costeiras como uma forma extrema de estuário de barreira, onde a hidrodinâmica de abertura é definida pelo equilíbrio das energias das marés, dos rios e das ondas. Já Kjerfve (1994) define uma lagoa costeira como "um corpo de água costeiro raso separado do oceano por uma barreira, conectada intermitentemente ao oceano por uma ou mais entradas, geralmente orientadas paralelamente à costa".

Ao fornecer esta definição, Kjerfve (1994) considerava a perspectiva global das lagoas costeiras, que ocupam cerca de 32.000 km da costa (compreendendo a 17,6% da América do Norte, 12,2% da América do Sul, 5,3% da Europa, 17,9% da África, 13,8% da Ásia e 11,4% da Austrália (BARNES, 1980). Apesar da aparente abundância de lagoas costeiras em todo o mundo, ainda existe uma escassez de estudos que investiguem sua estrutura e processos ambientais inter-relacionados, especialmente no contexto de gerenciamento a longo prazo (BIRD, 1994; SMITH, 2002; KJERFVE, 1994; HRC, 2001; THOM, 2004). Apesar disso, Thom (2004) afirma que o interesse em lagos costeiros vem crescendo nos últimos 10 anos, especialmente devido à sua atratividade para usos humanos.

Por conta do tema não ser tão presente em bibliografias nacionais, foi necessária também uma busca por documentos internacionais, que estão referenciados nesse trabalho, sendo muitos oriundos da Austrália. Nesse país, lagoas costeiras também são chamadas de ICOLLs (*Intermittently Closed and Open Lakes and Lagoons*), ou seja, "Lagos e Lagoas

Intermitentemente Fechados e Abertos". Esse termo foi usado pela primeira vez pelo Professor Bruce Thom, ex-presidente do Conselho Costeiro de Nova Gales do Sul (estado australiano), em 1998, para descrever corpos d'água salinos costeiros com conexão intermitente ao oceano, como é o caso da Lagoa de Carapebus. Neste trabalho, usaremos o termo ICOLL ocasionalmente para se referir, também, a lagoas costeiras.

No Brasil, costuma-se usar o termo lagoa para todos os corpos d'água costeiros, independentemente de sua origem. No entanto, Esteves (1998) aponta que este termo nem sempre é correto, uma vez que a maioria das lagoas costeiras são, na realidade, lagunas (ligadas com o mar) ou lagos costeiros (isolados do mar).

Ainda segundo Esteves (1998), as lagoas costeiras sofrem processos formadores, dentre eles, os principais estão descritos a seguir:

- a) lagoas formadas pelo isolamento de enseada marinha ou braços de mar, através de cordões de areia –estes cordões de areia se desenvolvem normalmente a partir de pontões rochosos;
- b) lagoas formadas pelo fechamento da desembocadura de rios por sedimentos marinhos – este tipo é comum em regiões de tabuleiros, como no litoral do Nordeste brasileiro; por recifes e corais ou por sedimentos fluvio-marinhos;
- c) lagoas formadas nas depressões entre faixas de areia que constituem as restingas - tipo de lagoa encontrada com frequência no litoral fluminense.

Barnes (1980) afirma que a maioria das lagoas costeiras em todo o mundo foram criadas a partir de i) invólucro por barreiras *offshore*, ou ii) invólucro por barreiras *longshore*. No primeiro caso, as barreiras de areia paralelas à costa offshore moveram-se para a costa em resposta ao aumento do nível do mar nos últimos 18.000 anos. No segundo caso, ondas batendo obliquamente na linha costeira criaram uma deriva de areia (ou cascalho) ao longo da costa, que forma um espeto (ou barreira) através de enseadas costeiras (BARNES, 1980; BIRD, 1994). Em casos raros, lagoas costeiras também podem ser formadas por redistribuição de sedimentos (BARNES, 1980) ou subsidência da terra, como ocorreu em Sissano, na costa norte de Nova Guiné, após um terremoto no Torricelli Ranges em 1907 (BIRD, 1994).

Outro aspecto importante das lagoas costeiras é que elas costumam apresentar diferentes colorações que, segundo Esteves (1998), as classificam em:

- a) lagoas costeiras de águas claras, que são na maioria dos casos lagunas, cujas águas provêm do oceano e/ou de rios, que podem ser resultantes de aporte fluvial que drena terrenos com poucos elementos particulados ou componentes solúveis para a solução;
- b) lagoas costeiras de águas escuras, que tem suas águas originadas, principalmente, do lençol freático de áreas arenosas, ou de rios cujas bacias de drenagem percorrem terrenos arenosos, como aqueles típicos de restinga.

Em uma escala internacional, as lagoas costeiras podem assumir muitas formas, variando entre altamente restritas, construídas por extensas barreiras de areia costeira, para lagoas "vazadas", que contêm muitas passagens de maré e troca de água com o oceano (KJERFVE, 1994). Em relação ao grau de troca d'água entre a lagoa e o oceano, Kjerfve (1994) as classifica em sufocadas, restritas e vazadas (Figura 1):

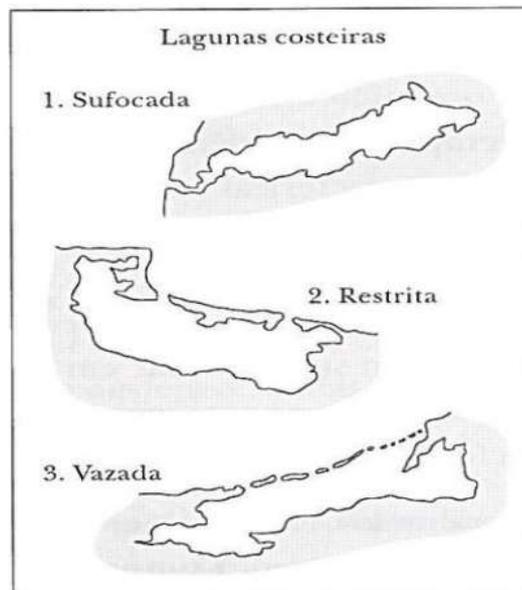


Figura 1- Representação esquemática de lagoas costeiras de acordo com a classificação de Kjerfve.
Fonte: Miranda, Castro e Kjerfve, 2002.

- a) lagoas sufocadas: apresentam uma série conectada de células elípticas, só um canal de comunicação longo e estreito com o mar, possuem pouca influência da maré no seu interior e um longo tempo de residência da água. O canal de comunicação pode ser permanente ou temporário. Nestas lagoas os ventos são muito importantes para promover a circulação e mistura das águas. Um exemplo é a lagoa de Araruama (RJ).
- b) lagoas restritas apresentam dois ou mais canais de comunicação com o oceano, possuem circulação da água dominada pela maré; as águas são bem misturadas e o tempo de residência é menor, como por exemplo, a lagoa de Términos, no México.

c) lagoas vazadas apresentam vários canais de comunicação, as marés são mais fortes que as ondas, e a salinidade é comparável à do oceano adjacente, como por exemplo, a lagoa de Wadden Zee, na Holanda.

Além dessas características, a salinidade é um dos mais importantes fatores ambientais que determinam a colonização e a biodiversidade nas lagoas costeiras devido à introdução de água de chuva nesses ambientes, que fazem com que a salinidade presente nas mesmas tenha uma variabilidade estacional. A salinidade também irá variar em função da contribuição da água costeira (durante a maré alta) por meio de canais aberto natural ou artificialmente, ou por meio da contribuição de ventos (spray marinho). No caso das lagoas do Estado do Rio de Janeiro, Esteves *et al.* (1984) identificaram os seguintes tipos:

- Águas doces até típicas eualinas (30‰): possuem uma grande variação da salinidade, como, por exemplo, a lagoa de Carapebus.
- Águas doces até oligoalinas (0,5‰ - 5‰): com concentração reduzida de sais, no período de seca, como por exemplo, a lagoa de Jurubatiba (Macaé) e a lagoa Comprida (Carapebus).
- Oligoalinas (0,5‰ - 5‰) até mesoalinas: possuem quantidade média de sais diluídos, no período de seca, como por exemplo as lagoas Paulista e Encantada (ambas em Carapebus/RJ).
- Eualinas (5‰ - 18‰) durante todo o ano (> 30‰): como, por exemplo, a Lagoa Salgada em Campos dos Goytacazes/RJ.

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 e da interferência humana (FERNANDEZ, 1994). Elas também podem ser caracterizadas como áreas de rápida acumulação de sedimentos de granulometria fina, ricas em materiais orgânicos de origem autóctone e alóctone, em razão da minimização de fontes de energia como marés, ondas e correntes.

As lagoas costeiras também são ecótonos, operando como ambientes transitórios entre a terra e o oceano, e fornece habitat para muitas espécies vulneráveis, se tornando um espaço para microevoluções ou um espaço para migração longitudinal (VADINEANU, 2005)

A ligação das lagoas costeiras com mar é feita através de canais ou barras. Sua quantidade e tamanho dependem da quantidade de água que flui por eles em um certo intervalo de tempo, sendo o volume de água controlado pela variação das marés, número de marés diárias

e descarga de águas introduzida pelos rios (ROSMAN, 1992). Uma outra ligação com o mar pode ocorrer através das águas subterrâneas, que são mais significativas em lagoas costeiras cujo canal encontra-se assoreado durante longos períodos e/ou em casos que a barra da lagoa apresenta porosidade elevada.

Por encontrar-se em locais de alto valor imobiliário comercial, as lagoas costeiras brasileiras têm sofrido cada vez mais a pressão das atividades antrópicas, intensificando sua degradação. Essas lagoas, geralmente, funcionam como “filtros” e como consequência, retêm por longos períodos de tempo, sedimentos inorgânicos, matéria orgânica e poluentes advindos pelos sistemas fluvial, terrestre e marinho adjacentes, o que as tornam mais vulneráveis aos processos de poluição e de eutrofização artificial (KJERFVE, 1994).

Harris (2001) afirma que as mudanças no uso do solo, associadas ao desenvolvimento contemporâneo de bacias, aumentaram as cargas globais de poluentes e modificaram a forma predominante de nitrogênio nas águas. O nitrogênio - que antes era escoado de forma orgânica dissolvida - passou para uma forma inorgânica e, portanto, são mais prontamente absorvidos pelo fitoplâncton, o que levou à eutrofização de diversas regiões de águas costeiras.

Leal (2002) destaca como principais formas de degradação das condições naturais de lagoas costeiras: (i) lançamento de efluentes domésticos ou industriais; (ii) aterro das margens; (iii) assoreamento da bacia; (iv) retirada de areia e depósitos calcáreos; (v) degradação da vegetação terrestre no entorno da lagoa ou ao longo dos seus tributários; (vi) introdução de peixes exóticos; (vii) edificações nas margens.

2.1.1 Importância das Lagoas Costeiras

As lagoas costeiras representam 15% da zona costeira de todo o mundo e estão entre os ecossistemas mais produtivos da biosfera (NASCIMENTO, 2010). Porém, nos últimos 30 anos, ocorreram mudanças no uso do solo de suas bacias hidrográficas, principalmente devido ao aumento da densidade demográfica, os quais se refletem na mudança de estado trófico de suas águas (ESTEVES, 2011; KNOPPERS *et al.*, 1999; LEMA, 2012).

As lagoas costeiras contribuem não só para a manutenção do lençol freático, como também para a estabilidade climática local e regional. No entanto, é como ecossistema aquático que sua importância tem sido percebida ao longo dos anos. Esta percepção se manifesta das diferentes formas com que o homem se utiliza dos seus vários produtos (sal, pescado, etc.) e dos serviços (área de lazer, controle de inundações, etc.) que estes ambientes lhe proporcionam (LEAL, 2002).

A elevada produtividade das lagoas costeiras tem sido um dos principais fatores responsáveis pelo interesse do homem, desde os tempos dos colonizadores portugueses em explorar estes ecossistemas (LAMEGO, 1945). Apesar das diversas atividades relacionadas a estes corpos d'água - alimentação, energia, transporte, recreação e urbanismo - o seu balanço natural pode ser facilmente perturbado, muitas vezes de forma irreversível e sempre acompanhado de problemas socioeconômicos (BARROSO *et al.*, 2000).

Por sua grande importância ecológica, social e econômica, as lagoas costeiras podem ser incluídas entre os ecossistemas brasileiros mais submetidos a impactos antrópicos. Os serviços ambientais prestados pelas lagoas costeiras são: lazer; controle de inundação; recepção de efluentes domésticos e industriais tratados; valorização imobiliária das áreas de entorno; beleza cênica; harmonia paisagística e valorização turística da região. A disponibilidade de água doce, em quantidade e qualidade adequada para o consumo humano e irrigação também merece atenção (LEAL, 2002).

Uma grande variedade de impactos pode ser observada nas lagoas costeiras neotropicais como, por exemplo, eutrofização, contaminação por espécies químicas (metais e pesticidas), introdução de espécies exóticas, superexploração da pesca e abertura artificial de barra. Esses impactos colocam em risco a conservação da biodiversidade desses ambientes, já que provocam a alteração e/ou perda de habitat das espécies locais (ESTEVES *et al.*, 2008).

2.1.2 Lagoas Costeiras e Mudanças Futuras

Diante do que já foi levantado, avaliar possíveis variáveis que influenciarão na integridade das lagoas costeiras é de extrema importância. Dentre as principais questões que, potencialmente, comprometem a sustentabilidade desses ambientes, podemos incluir o crescimento populacional futuro esperado no entorno das lagoas (consequentemente, pressão crescente para a intensificação de atividades dentro das bacias que os abrangem), mudanças no clima (singularmente, mudanças ligadas ao aumento no nível do mar), aumento da demanda por atividades que envolvem lagoas, principalmente durante os períodos de férias de verão, alterações no padrão de chuvas e regime de ondas modificado (HAINES, 2006).

As lagoas costeiras são ecossistemas suscetíveis aos impactos das futuras mudanças climáticas, pois no futuro os impactos dessas mudanças afetarão outras questões de sustentabilidade combinadas, e uma ação imediata é necessária, em escala global, para evitar consequências catastróficas, que vão desde a perda de espécies até a perda de recifes de corais em vários países (como Kiribati, Maldivas e Tuvalu) (FLANNERY, 2005).

Visto que muitas comunidades estão localizadas perto ou imediatamente adjacentes às lagoas costeiras, é concebível que o futuro aumento da população costeira terá impacto sobre esses ambientes. A costa sul de NSW (Nova Gales do Sul), que contém a maioria das lagoas costeiras (ICOLLs) do estado, está esperando aumentos populacionais significativos no futuro - cerca de 40% até 2031. A população brasileira deve atingir seu pico em 2030, com cerca de 206,8 milhões de habitantes, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Um pensamento holístico será necessário para acomodar a população adicional, sem comprometer a sustentabilidade dos recursos e valores existentes proporcionados por esses ambientes (HAINES, 2006).

A macrorregião que apresenta as densidades mais altas na zona costeira no Brasil é a Sudeste, reforçando o caráter concentrador da urbanização devido aos condicionantes históricos, políticos e econômicos (MORAES, 1999). O estado do Rio de Janeiro apresenta o maior número de municípios costeiros com densidades superiores a 1.000 hab./km², como é o caso da própria capital, de Niterói, dos municípios da Baixada Fluminense e da periferia da região metropolitana.

A ocupação da zona costeira no Brasil vem se intensificando nas últimas duas décadas decorrente de vetores prioritários de desenvolvimento, sendo um deles a exploração do turismo (MORAES, 1999). A presença do turismo em localidades litorâneas é uma tendência natural e irreversível, e se atividade for planejada para o correto desenvolvimento tanto comunidade quanto turistas saem beneficiados. Porém, entender até que ponto os turistas podem ser identificados e culpados por impactos indesejáveis é um estudo bastante difícil (CORIOLANO, 1998).

O aumento temporário da população local durante os períodos de férias pode afetar as lagoas costeiras e foram designados como “impactos de verão”, que se referem a todas as ações prejudiciais que afetam as lagoas costeiras e outros corpos d'água costeiros pelo crescimento populacional significativo, mas de curta duração. Tais ações incluem o uso adicional de sistemas sépticos e outros sistemas de tratamento de esgoto no local (que podem lixiviar ambientes de águas subterrâneas e / ou superficiais), lixo descartado em torno da costa (por exemplo, garrafas de plástico, embalagens de comida), bem como lixo oriundo de áreas urbanas que é levado para esses ambientes pela drenagem das águas pluviais (WBM, 2005), necessitando de maiores cuidados nesse período para manter a qualidade da água dentro dos cursos d'água adequados para nadar (WEBB MCKEOWN & ASSOCIATES, 1994).

A cada cinco anos ou mais, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) divulga projeções para as condições climáticas futuras. Esse relatório mostra como o aquecimento geral do clima do planeta, com as recentes emissões de gases de efeito estufa e aerossóis resultaram em uma série de outras mudanças nas condições climáticas, incluindo uma redução na cobertura de neve e gelo, um aumento na média nível do mar, e mudanças nos padrões de precipitação, incluindo um aumento na frequência de inundações e secas (IPCC, 2014).

Esse relatório de avaliação (2014) fornece projeções atualizadas de mudanças em escala global. É provável que o aumento no nível médio do mar global no período de 2081-2100, em relação àquele observado no período de 1981-2005, varie de 0,26m a 0,55m, no melhor cenário avaliado, e de 0,52m a 0,98m no pior cenário. Ele também afirma que, desde 1970, o derretimento das geleiras glaciais e a expansão termal oceânica representam cerca de 75% do aumento médio do nível do mar observado nos últimos 40 anos. A elevação do nível do mar aumentará a necessidade de estudos dos fenômenos da maré em regiões costeiras, a sua propagação em estuários e a modificação de suas características, devido ao risco de problemas de saúde pública e moradia que essa elevação, aliada aos efeitos de maré meteorológica, poderia causar (IPCC, 2014).

Associando às lagoas costeiras, seus níveis e dos lençóis freáticos também irão aumentar como consequência da mudança do nível médio do mar, pois o deslocamento dos níveis de água aumentará sua profundidade média e irá reduzir a eficácia da descarga das marés. O aprofundamento geral dos oceanos também pode aumentar ligeiramente a amplitude da maré na costa o que resultaria em intervalos de marés ligeiramente maiores dentro das lagoas costeiras quando abertas (BIRD, 2002).

Outro ponto, é a redução da precipitação total, combinada com o aumento da evaporação por conta do aumento da temperatura mundial, provavelmente, retardará o tempo necessário de conclusão da etapa de enchimento do ICOLL. No entanto, os impactos na hidrodinâmica geral desse sistema serão menores do que o aumento na intensidade dos eventos de tempestade (HENNESSY *et al.*, 2004).

A questão das mudanças climáticas futuras é uma ameaça legítima para a gestão futura da costa. Lord & Gibbs (2004) relatam que, se todas as emissões de gases do efeito estufa (GEE) cessassem amanhã, ainda seria insuficiente no sistema para resultar em impactos significativos por muitas décadas. Além disso, eles também afirmam que a elevação do nível da maré é reconhecida como um dos resultados mais bem compreendidos das mudanças climáticas. No

entanto, outros resultados esperados incluem mudanças no regime do vento e das ondas, padrões de chuva, correntes oceânicas, temperatura do oceano e temperatura do ar (IE AUST, 1991 citado em LORD & GIBBS, 2004; BOESCH, 2002; HUGHES, 2003; HENNESSY *et al.*, 2004).

A *Australian Greenhouse Office* é uma agência governamental dedicada a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e administrou a resposta da Austrália às mudanças climáticas, fornecendo informações sancionadas pelo governo ao público. Ela contratou o *Allen Consulting Group* para avaliar áreas da Austrália consideradas de maior risco de mudanças climáticas futuras que indicou que a costa, especificamente as populações e recursos costeiros de baixa altitude, eram vulneráveis. A avaliação também afirmou que há poucas dúvidas de que a Austrália enfrentará algum grau de mudança climática nos próximos 30-50 anos, independentemente de reduções nas emissões de gases de efeito estufa (LORD *et al.*, 2005).

As temperaturas da superfície continuarão a aumentar no futuro, o que induzirá uma série de respostas climáticas que terão um grande impacto na gestão costeira futura (WALSH, 2004).

São poucos os mecanismos estatutários de planejamento ambiental que protegem as lagoas costeiras (ICOLLS) da degradação futura, mas modelos para a gestão futura desses ambientes visam evitar aberturas artificiais a longo prazo. Isso requer, no entanto, uma realocação sistemática das prioridades do município, em companhia com o aumento ou proteção contra inundações de ativos públicos e privados que foram estabelecidas em terras potencialmente sujeitas a inundações. O aumento dos níveis do mar no futuro agravará a necessidade da melhora na gestão de abertura de barras das lagoas. Um modelo integrado, adaptativo e estratégico de gestão precisa ser analisado e implementado para minimizar o conflito em curso e em potencial de degradação ambiental contínua no futuro (HAINES, 2006).

2.2 Aberturas de Barra

As lagoas costeiras constituídas por barras compõem parte significativa no ambiente de muitos países. Elas representam, por exemplo, 49% dos estuários no sudeste da Austrália (ROY *et al.*, 2001), 70% da África do Sul (WHITFIELD, 1992) e 18% da costa norte-americana (BARNES, 1980).

A barreira costeira cria uma 'represa' natural dentro de um vale ou enseada costeira permanentemente submersa, permitindo que a lagoa retenha sedimentos terrígenos e marinhos. A taxa de acumulação de sedimentos depende em grande parte das características da bacia,

incluindo descarga do rio, petrologia e características de intemperismo das litologias (ROY, 1984). O rompimento desse cordão arenoso que separa a lagoa do mar adjacente é denominado abertura de barra e representa um curto período de distúrbio, causando mudanças repentinas principalmente na estrutura física das lagoas e nos teores de salinidade, que alteram a estrutura das comunidades (ESTEVEES, 1998).

As barras das lagoas são artificialmente violadas para diversas finalidades. Dentre os impactos consequentes dessas aberturas, estudos apontam mudanças na salinidade da água, profundidade, tamanho de partículas de sedimentos, potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura. A maior parte dessas violações objetivam amenizar inundações de propriedades adjacentes em épocas de chuvas intensas, porém, a prática é utilizada, também, para melhorar a qualidade da água, aumentar possibilidades de pesca e para fins recreativos (ESTEVEES, 1998; FROTA & CARAMASCHI, 1998; SUZUKI, 1997).

É importante notar, no entanto, que termos anteriores foram usados para enunciar lagoas que ficam temporariamente abertas. Como o termo ICOLL é uma expressão recente, a literatura usa outras nomenclaturas para se referir a esses sistemas, também chamados de *saline coastal lakes* (ROY, 1984), *saline coastal lagoons* (MIDDLETON *et al.*, 1985), *blind estuaries*, (FAIRBRIDGE, 1980), *seasonally open tidal inlets* (RANASINGHE & PATTIARATCHI, 2003), *pocket lagoons* (PHLEGER, 1981, citado em Pollard, 1994) ou, simplesmente, *coastal lagoons* (KJERFVE, 1994; BARNES, 1980), mesmo termo utilizado no Brasil.

Roy *et al.* (2001) sugerem que o grau de abertura da barra depende da exposição às ondas do mar e na descarga fluvial, enquanto Lugg (1996) é mais específico ao sugerir que as condições de abertura são controladas pela morfologia da entrada, a exposição da entrada à deriva litorânea, o tamanho da bacia hidrográfica, o prisma das marés e as condições climáticas prevalecentes.

Cerca de 70% dos estuários sul-africanos são temporariamente abertos, com a abertura da boca geralmente ocorrendo após períodos de alta pluviosidade (BREEN & MCKENZIE, 2001; WHITFIELD, 2000 citado em SMAKHTIN, 2004). Dentro de NSW (Nova Gales do Sul), 50% dos ICOLLs são artificialmente manipulados para minimizar riscos associados à inundação de terras e ativos privados e públicos. Aproximadamente 70% dos ICOLLs estão desconectados do oceano (ou seja, fechados), enquanto 25% estão abertos na maior parte do tempo e muito poucos (5%) têm um período de tempo aproximadamente iguais de abertura e fechamento.

Do ponto de vista ecológico, aberturas frequentes da barra de areia representam um processo que coloca este ecossistema em uma condição de constante instabilidade (FARIA *et al.*, 1998), principalmente em relação à composição das comunidades de peixes, ictioplâncton, zooplâncton e fitoplâncton (AGUIARO & CARAMASCHI, 1995; FROTA & CARAMASCHI, 1998; BRANCO, 1998; MELO & SUZUKI, 1998), além de, possivelmente, alterar os padrões reprodutivos de algumas espécies.

Além disso, a abertura prematura da barra em níveis de água mais baixos pode ter uma série de problemas de curto prazo e consequências ambientais de longo prazo, incluindo modificações na orla e vegetação, habitat, estoques de peixes reduzidos e aumento de cardumes de entrada (LUGG, 1996; ROPER, 1998).

Infere-se que, para fins de aumento dos estoques pesqueiros nas lagoas costeiras, a abertura da barra deve ser precedida de avaliações criteriosas relacionadas às épocas de reprodução dos peixes que habitam a costa adjacente à lagoa. Para isto, devem existir estoques disponíveis de indivíduos aptos à reprodução e recrutas na costa no momento da abertura, para que possam entrar e explorar a lagoa como área de reprodução ou crescimento (FROTA & CARAMASCHI, 1998).

Outras consequências apontadas pelas aberturas artificiais de barra são a redução do volume de água, a salinidade aumentada, a ressuspensão de sedimentos e a troca rápida dos demais corpos de água (SAAD *et al.*, 2002; SUZUKI *et al.*, 2002). Também pode ocorrer morte de macrófitas, aumento dos nutrientes dissolvidos e totais e a produção primária deixa de ser dominada por macrófitas e fitoplâncton (KNOOPERS, 1994; SUZUKI *et al.*, 2002). Ademais, pode gerar redução a curto prazo da biomassa de fitoplâncton e zooplâncton (FRONEMAN, 2004). No entanto, os impactos de aberturas artificiais frequentes a longo prazo variam de região para região.

Esteves (1998b) apresenta algumas medidas que precisam ser tomadas para o gerenciamento racional das aberturas artificiais da barra das lagoas costeiras, e dentre eles destacam-se: impedir a ocupação da zona de inundação das lagoas costeiras; retirada de edificações da zona de inundação; desobstrução e aberturas de canais reguladores do nível de água. No caso de lagoas costeiras, que não dispõem de canais de comunicação com o mar e cujas barras têm que ser artificialmente abertas, devido a problemas sociais e políticos, deve ser considerada a possibilidade de construções de canais reguladores de seus níveis d'água, precedidos de estudos de viabilidade ecológica e hidráulica.

Do conjunto limitado (porém, crescente) de estudos disponíveis sobre os processos que envolvem aberturas de barra de lagoas costeiras, a maioria tende a se concentrar em aspectos biológicos e ecológicos. Existe uma lacuna de conhecimento em relação ao comportamento morfodinâmico e hidrodinâmico, através de medidas quantitativas de água em termos de fluxo, bem como um planejamento adequado do processo de abertura.

A partir da contextualização trazida pelos autores citados, entende-se que, a fim de apoiar decisões que envolvam a abertura de barra, é necessária uma análise aprofundada dos fatores que norteiam essa atividade, além de estudos de alternativas e mecanismos que evitem ou minimizem os impactos da abertura de lagoas costeiras.

2.2.1 *Caso da Lagoa de Carapebus/RJ*

A abertura da barra na Lagoa de Carapebus acontece há décadas (Figura 2) e promove a substituição da água, que muitas vezes se encontra eutrofizada (rica em nutrientes, cor esverdeada e baixas concentrações de oxigênio; fatores estes que também ameaçam a biodiversidade da lagoa) pela água do mar, e desta maneira restabelece, mesmo que temporariamente, a balneabilidade da lagoa (ESTEVES, 2011).



Figura 2 - Abertura de barra da Lagoa de Carapebus com pás e enxadas (em torno de 1935).
Fonte: Prefeitura de Carapebus (2020).

Ademais, durante os meses de alta pluviosidade, as chuvas provocam enchentes e inundações nas áreas residenciais do bairro Balneário Praia de Carapebus, situado próximo à lagoa, colocando em risco a saúde dos moradores, veranistas e a integridade de suas residências, razão da abertura de barra que ocorreu em dezembro de 2019 (Figura 3). Nesse contexto, uma

outra função da abertura de barra é permitir o escoamento das águas da lagoa para o mar em épocas chuvosas. O rompimento da barra também proporciona a entrada de peixes e crustáceos de água salgada, permitindo que os pescadores explorem comercialmente estas espécies, sem a necessidade de caros equipamentos para pesca.



Figura 3 – Abertura de barra da Lagoa de Carapebus em dezembro de 2019.

Fonte: Prefeitura de Carapebus.

Por décadas este sistema sofreu com sucessivas aberturas de barra, geralmente de maneira artificial, com o objetivo de controlar o efeito das enchentes diminuindo o nível d'água, e/ou permitindo a entrada de espécies de pescado de interesse comercial e descontrole da recreação (Plano de Manejo do PARNA da Restinga de Jurubatiba, 2007). Porém, o histórico de aberturas de barra da Lagoa de Carapebus, tanto das aberturas artificiais quanto naturais, apresenta lacunas, o que dificulta a análise das suas consequências.

Segundo Attayde & Bozelli (1998), a eutrofização e a influência marinha, decorrente da abertura da barra de areia que separa a lagoa do mar, têm sido os principais causadores da heterogeneidade ambiental na Lagoa de Carapebus. A região próxima ao oceano apresenta maiores valores de salinidade, condutividade, pH e alcalinidade, enquanto a área continental maior concentração de silicato, assim como maior concentração de fósforo total, nitrogênio total e clorofila, indicando a condição eutrófica.

Esteves (1998) destaca a redução drástica do volume de água no interior da lagoa costeira e alteração repentina em grande escala dos valores de salinidade como os principais fenômenos em primeira instância da abertura artificial de barra. As aberturas artificiais de barra representam um impacto negativo de grande relevância sobre as lagoas costeiras.

2.3 Modelos de Gestão

O ato de manipular artificialmente uma abertura de barra, para controlar os níveis da água, é considerado o método mais barato e simples para mitigar os riscos de inundações. Na maioria das circunstâncias, a abertura mecânica de estuários construídos por barra ocorreu com o objetivo de contornar enchentes e inundações de áreas privadas, públicas e infraestruturas localizadas ao redor da costa do estuário (WHITFIELD, 1997).

Em Nova Gales do Sul, na Austrália, a gestão de estuários (incluindo ICOLLs) é conduzida pelo governo do estado impulsionada principalmente pelo Programa de Gestão do Estuário e é considerada relativamente avançada em comparação aos outros estados. O Programa é iniciado através da formação de um Comitê de Gestão do Estuário (*Estuary Management Committee - EMC*), que contém a representação de uma ampla gama de partes interessadas governamentais e não governamentais, grupos comunitários e indivíduos). O papel principal do EMC é coordenar e supervisionar a preparação de estudos científicos e estratégicos que identifiquem questões de gestão pertinentes e definir opções e estratégias de gestão de longo prazo (HAINES, 2006).

Este Programa é coordenado pela seção de estuários do Departamento de Recursos Naturais (*Department of Natural Resources - DNR*) e implementado em cooperação com o governo e a comunidade. A estrutura para implementação do programa é definida no Manual de Gestão do Estuário (*Estuary Management Manual*) (NSW GOVERNMENT, 1992), o qual afirma que um estudo de gestão do estuário deve ser feito para identificar as características essenciais e seus usos atuais, por meio de um programa formal de consulta à comunidade. Combinando as pressões sociais que afetam a gestão futura com as questões científicas, o plano engloba um conjunto equilibrado de metas e objetivos de longo prazo para a gestão futura do estuário. O estudo de gestão também identifica uma gama de opções para atender a esses objetivos e avalia essas opções para eficácia (geralmente por meio de uma estrutura de avaliação de múltiplos critérios) e a partir das conclusões, é preparado um Plano de Gestão do Estuário (HAINES, 2006).

Esse plano é um instrumento de planejamento formal (embora não estatutário nesta fase) que descreve como o estuário será administrado no futuro. Além disso, oferece soluções para problemas específicos de gestão por meio de um cronograma de atividades personalizadas, incluindo obras no terreno, controles de planejamento e programas de educação. O Plano deve

ser formalmente aceito pela comunidade, Conselho, e os departamentos governamentais relevantes, antes da implementação (HAINES, 2006).

Apesar disso, menos de um terço dos ICOLLS em Nova Gales do Sul adotaram Planos de Gestão do Estuário, que se encontram em vários estados de implementação. A obtenção dos fundos necessários para realizar os trabalhos e estratégias especificadas é fundamental para a implementação bem-sucedida dos Planos de Gestão do Estuário e os custos totais para implantação de Planos de Manejo geralmente excedem o valor de A\$ 1.000.000,00 (um milhão de dólares australianos - AUD) por estuário, o que vale a aproximadamente 4 milhões de reais (HAINES, 2006).

Assim como a Lagoa de Carapebus, objeto de estudo deste trabalho, há uma série de lagoas costeiras (ICOLLS) em Nova Gales do Sul que estão localizados parcial ou totalmente dentro de Parques Nacionais ou Reservas naturais. Os Planos de Manejo dessas Unidades de Conservação reconhecem os impactos da bacia e fornecem ações de gestão específicas em relação à sua sustentabilidade a longo prazo, incluindo a ligação com o governo local e outras autoridades para melhorar a qualidade da água dos ICOLLS (HAINES, 2006).

Na África do Sul, a gestão ambiental é responsabilidade conjunta dos governos nacional e provincial (estadual). Eles têm uma lei de gestão ambiental nacional (1998) que fornece uma estrutura para a integração do ambiente às atividades de gestão em todas as esferas do governo e estabelece procedimentos para promover uma gestão ambiental cooperativa (BREEN & MCKENZIE, 2001).

Os estuários na África do Sul também são tratados por meio de estratégias de gestão e planos por agências regionais de gerenciamento de bacia. O processo de planejamento e gestão para o estuário na África do Sul segue um formato semelhante ao modelo de Nova Gales do Sul, em que as visões e metas são definidas primeiro para um estuário, seguidas por objetivos específicos e ações, em seguida, monitoramento e auditoria para medir as consequências e determinar o sucesso ou falha (BREEN & MCKENZIE, 2001)

Nesse contexto, é fundamental para o sucesso da gestão futura de uma lagoa costeira (ICOLL) incorporar o máximo de informações científicas e econômicas em um processo de tomada de decisão adaptativo (TERWILLIGER & WOLFLIN, 2005, SMITH *et al.*, 2001). Até o momento, tem havido uma interação limitada da ciência sob os mecanismos de gestão de estuários existentes. As pesquisas futuras, a serem usadas para fins de gestão e política, devem, portanto, focar em resultados com sustentabilidade a longo prazo (SMITH *et al.*, 2001).

atingir uma gestão integrada, equilibrada e responsável, com uso ecologicamente sustentável, deve ser uma das metas de um Plano. Uma abordagem baseada em sistemas para avaliação e gestão considera as interações entre os vários elementos e processos que ocorrem dentro de um ambiente, incluindo todos os aspectos físicos, químicos e processos biológicos. A gestão baseada no ecossistema é vista como uma mudança significativa desde a gestão histórica do uso humano do meio ambiente, pois reconhece que os ecossistemas são complexos, dinâmicos e interconectados (SULLIVAN, 2002).

Algumas diretrizes foram propostas pelo *Department of Primary Industries*¹ pela *Industry & Investment NSW (I&I NSW)*, relacionadas aos processos de avaliação ambiental, que analisa questões também relacionadas à abertura de um ICOLL específico:

- a) A decisão de abrir artificialmente um ICOLL deve ser feita com base em dados factuais sobre os níveis de água verificados, a natureza e extensão dos impactos de inundação associados e evidências de mudanças nos parâmetros de qualidade da água relevantes (especialmente nutrientes e níveis bacterianos) obtidos por programas relevantes de monitoramento da qualidade da água.
- b) No curto prazo (ou seja, antes de um plano de gerenciamento de abertura ser implementado), uma estratégia provisória para cada ICOLL deve ser formulada, documentada e acordada. A estratégia provisória deve ser feita em consulta com todas as agências de gestão de recursos naturais relevantes, representantes de grupos de interesse da comunidade local e proprietários de terras afetados, além de fornecer um guia claro de onde, quando e sob quais condições abrir artificialmente a entrada do ICOLL. O objetivo principal da estratégia provisória deve ser levar em conta as questões ambientais críticas e facilitar uma abertura aprovada em curto prazo, se necessário.

Os critérios a serem cumpridos podem incluir:

- um nível de água predefinido acima do qual uma violação é recomendada;
- um intervalo predefinido entre o qual uma violação é recomendada se houver previsão de chuvas fortes;
- uma duração predefinida de alto nível de água e/ou inundação de pântanos/pastagens sobre a qual uma ruptura pode ser recomendada;

¹<https://www.dpi.nsw.gov.au/>

- outros parâmetros ambientais (por exemplo, evitar a estação de reprodução de aves ameaçadas, como a andorinha-do-mar).
 - c) No caso de os critérios para uma abertura artificial serem atendidos, o rompimento deve ser conduzido durante uma maré vazante, para que seja alcançado o potencial para estabelecer um canal de entrada longo o suficiente para renovar o corpo d'água.
 - d) As aberturas ilegais devem ser protegidas pela construção e manutenção de placas perto da entrada da ICOLL alertando as pessoas de que a abertura não autorizada é ilegal e pode resultar em processo judicial.
 - e) A longo prazo, os conselhos locais e agências governamentais devem ter como objetivo reduzir a necessidade de manipulação artificial da abertura, tomando medidas ativas com adoção de práticas de gestão de bacia que buscam:
 - reduzir a entrada de nutrientes e poluentes de fontes pontuais e difusas;
 - impedir a transferência de terras sujeitas a inundações e ribeirinhas nas margens dos ICOLLs para propriedade privada;
 - prevenir o futuro desenvolvimento ou subdivisão de terras propensas a inundações e ribeirinhas, adotando zoneamentos apropriados nos instrumentos de planejamento;
 - implementar campanhas de conscientização da comunidade para obter amplo entendimento e apoio para a gestão ambientalmente responsável de ICOLLs.

2.4 Plano Emergencial de Abertura de Barra da Lagoa de Carapebus

Visando subsidiar a decisão da autoridade responsável pela abertura ou não de barra, que interfere diretamente na conservação da área, foi elaborado o “Plano Emergencial de Abertura da Barra” com o objetivo de estabelecer um controle destes procedimentos de abertura e tornar possível a conciliação de interesses ambientais e sociais da região.

Este plano emergencial, criado pela Câmara Técnica de Abertura de Barra do Conselho Consultivo do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, em 2013, teve como objetivo estabelecer, de forma participativa, critérios que subsidiem as decisões do chefe da Unidade de Conservação para abertura de barra das lagoas do PARNA da Restinga de Jurubatiba, em situações de emergência. Com essas informações, metodologias e estudo, o tempo de tomada de decisão quanto à necessidade de abertura de barra de lagoas é reduzido, principalmente,

durante o período de maiores precipitações, possibilitando respostas mais rápidas para a sociedade e o governo municipal.

Dentre os itens propostos nesse Plano, são apresentados *checklists* com parâmetros e ações para gestão e controle da Unidade de Conservação (UC). Nesses *checklists*, existem critérios a serem avaliados no período anterior à abertura de barra, ao ato da abertura, período em que a barra está aberta e para o fechamento da barra. Há também um item que justifica a abertura de barra, dividido em 3 blocos: risco à saúde pública, risco à segurança pública/privada e ameaça à biodiversidade.

Os diversos fatores analisados nesse Plano Emergencial podem ser associados aos estudos apresentados neste trabalho. Dentre os principais, estão: análise de parâmetros físicos e químicos da água; qualidade da água (DBO, DQO, turbidez, ph, sólidos em suspensão, entre outros); nível da lagoa; variáveis meteorológicas (precipitação, umidade, temperatura, direção e velocidade dos ventos, entre outros); fluxo de água entre as Lagoas Paulista e Carapebus; número de casas alagadas; proliferação de vetores; refluxo sanitário; alagamento de casas ou vias públicas; mortandade de peixes; redução da biodiversidade, etc.

No Plano, encontram-se sugestões de políticas públicas que visam reduzir a ocorrência de aberturas emergenciais de barra e que previnem prejuízos sociais, econômicos e ambientais. Dentre elas, a proibição da construção de novas casas, notificação de casas em locais não passíveis de regularização para apresentar ao Ministério Público, definição junto ao Ministério Público a situação de casas já construídas em locais não passíveis de regularização, marcação de faixa máxima e mínima de alagamento no Balneário, remoção de macrófitas nos canais para melhorar a drenagem e fluxo de água, entre outras.

Dentre as principais ameaças na Lagoa de Carapebus, estão: pesca predatória; o desmatamento na área de preservação permanente de seus afluentes; o lançamento de esgoto sem tratamento adequado; as construções no leito maior sazonal da lagoa; os incêndios florestais no seu entorno; e a ausência de fiscalização (SANTOS, 2008). Planos abrangentes de conservação e gestão contam com muitos aspectos de proteção ambiental para a lagoa, incluindo análise de sedimentos, habitat, impactos futuros, estudo populacional e uso da terra.

2.5 Marés

A condição de abertura de uma lagoa está relacionada com o clima das ondas, condições das marés, correntes marítimas e vazão de enchentes, das quais as duas primeiras tendem a lavar areia para o canal, e os dois últimos tendem a manter o canal aberto pelo carregamento de

sedimentos de ida e volta ao ambiente marinho (O'BRIEN, 1969 citado em BIRD, 1994; GORDON, 1990; HANSLOW *et al.*, 2000, ELWANY *et al.*, 2003).Dentre os eventos de inundação, a dinâmica de abertura é dominada por uma interação complexa entre fluxos de entrada e saída das marés e areia litorânea, impulsionada pelo transporte das ondas (ELWANY *et al.*, 2003).

Ao se aproximar da zona costeira, a maré sofre alterações em suas características devido às bruscas mudanças na profundidade do fundo marinho e as interações com a linha de costa. As contínuas alterações na estrutura da onda de maré, conforme ela se propaga em direção ao estuário e para dentro do mesmo, faz com que a maré tenha influência dominante na dinâmica estuarina (PARKER, 1991).

Os processos hidrodinâmicos das lagoas costeiras são amplamente controlados pelo comportamento de abertura da barra (HURRELL & WEBB, 1993). Segundo Pickering (2012), o conhecimento das variações nas alturas do nível do mar e a sua utilização em modelos é importante do ponto de vista da engenharia, sabendo-se que as marés afetam processos hidrodinâmicos e transporte de sedimentos, além de influenciar na escolha das cotas de implantação de estruturas portuárias e de proteção costeira.

Um evento relacionado às marés na área de estudo e que foi o maior incentivo para criação desse trabalho, ocorreu logo após as aberturas de barra da Lagoa de Carapebus e da Lagoa Paulista, no dia 13 de dezembro de 2019. As prefeituras de Arraial do Cabo e Cabo frio, cidades localizadas na Região dos Lagos no Rio de Janeiro, entraram com ações na justiça por terem suas praias invadidas por de mais de mil toneladas de plantas aquáticas oriundas da abertura de barra dessas duas lagoas carregadas pela maré².

A maré é um processo de grande complexidade, já que engloba o estudo de forças astronômicas, influências meteorológicas e hidrodinâmicas, atrito com o fundo, entre outros. Em águas rasas, principalmente em regiões de estuário, uma grande parte dos fenômenos naturais sofre influência direta ou indireta dos ciclos de maré. A maré se apresenta geralmente na plataforma continental como uma combinação de co-oscilação e propagação de onda, e a influência desses efeitos sobre os processos estuarinos é de grande complexidade (MIRANDA, CASTRO & KJERFVE, 2012).

²<https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2019/12/27/cabo-frio-e-arraial-do-cabo-entram-com-acoes-contra-carapebus-por-conta-de-plantas-que-sujam-praias.ghtml>

Pickering (2012) aponta que as pesquisas de cenários de elevação do nível médio do mar devem levar em consideração as alterações dinâmicas de maré, principalmente pelas implicações ambientais, econômicas e sociais dessas mudanças, como enchentes costeiras, possibilidades de geração de energia maremotriz, mudanças na dinâmica sedimentar e no transporte hidroviário e alterações nas zonas estuarinas.

Em relação às marés, no *checklist* apresentado pelo Plano Emergencial de Abertura de Barra da Lagoa de Carapebus é apontado o rompimento preferencialmente em lua cheia ou minguante. Isso porque as forças geradoras de maré são criadas a partir das forças gravitacionais e movimentações dos astros. Cada uma com o seu período e amplitude diferentes, essas forças combinadas irão gerar a subida e descida do nível do mar. Além disso, o Plano também considera no *checklist* a retirada das plantas aquáticas, o que diminui a probabilidade de que a maré carregue essas plantas para cidades vizinhas.

As marés podem ser classificadas em de sizígia e de quadratura. As marés de sizígia ocorrem quando a terra, a lua e o sol estão em um mesmo alinhamento, produzindo as maiores amplitudes de maré, as maiores preamares e menores baixa-mares; estando o sol e a lua em conjunção, situação de lua nova; ou em oposição, situação de lua cheia. As marés de quadratura, por sua vez, ocorrem quando as forças geradoras das marés da lua e do sol estão defasadas em um ângulo de aproximadamente 90°, nas situações de lua crescente e minguante, gerando as menores amplitudes de maré (ALFREDINI & ARASAKI, 2009).

A maré astronômica no Brasil é predominantemente semi-diurna com duas marés altas e duas baixas por dia (VELLOSO & ALVES, 2006). Como em outras partes do planeta, a maré astronômica no Brasil é perfeitamente previsível. As informações sobre a maré astronômica (Tábuas de Maré) são fornecidas para vários locais ao longo da costa pela Marinha Brasileira.

Já as marés meteorológicas, quando comparadas com as marés astronômicas, podem ser consideradas como oscilações de baixa frequência do nível do mar, e são sensivelmente percebidas nas zonas costeiras, devido principalmente à influência direta que exercem através do aumento ou abaixamento das preamares e baixas mares, ao longo da costa em um dado local e instante. Estas marés são moduladas pelas forças meteorológicas e oceanográficas (THOMPSON, 1981; TRUCCOLO, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2006).

2.6 Unidades de Conservação: Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba

A criação do Parque Nacional de Itatiaia, em junho de 1937, foi um marco inicial na criação de áreas protegidas no Brasil, em resposta à fragmentação das paisagens naturais como

estratégia para a conservação da biodiversidade (COZZOLINO, 2006; PEIXOTO, 2013). Tal iniciativa de criação começou a se consolidar em 1934, com o Código Florestal Brasileiro ainda na forma de decreto e, a partir do qual, foram criados os primeiros Parques Nacionais: o Parque Nacional de Itatiaia (1937), o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (1939) e o Parque Nacional do Iguaçu (1939) (SANTOS, 2014).

O artigo 11, capítulo III, da Lei do SNUC, estabelece as seguintes diretrizes para Parque Nacional:

“§ 1º O Parque Nacional é de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites serão desapropriadas, de acordo com o que dispõe a Lei.

§ 2º A visitação pública está sujeita às normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração, e àquelas previstas em regulamento.

§ 3º A pesquisa científica depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento.

§ 4º As unidades dessa categoria, quando criadas pelo Estado ou Município, serão denominadas, respectivamente, Parque Estadual e Parque Natural Municipal.”

Com base no que foi apresentado acima, é possível afirmar que a criação de áreas protegidas é um dos instrumentos utilizados em todo o mundo, no sentido de buscar formas alternativas de frear a degradação ambiental. No Brasil, essas áreas tomaram a nomenclatura de Unidades de Conservação. A delimitação dessas áreas tem envolvido conflitos frequentes, principalmente, por conta das populações que estabeleceram, em alguma medida, vínculos com tais espaços, reivindicam direitos de uso e apropriação social dos bens ambientais neles contidos (SANTOS, 2009).

O Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA Jurubatiba), criado em 29 de abril de 1998, é uma Unidade de Conservação federal com 44 km de costa, 14.922 hectares de área e que abrange os municípios de Macaé, Carapebus e Quissamã (Figura 4). No entorno de algumas lagoas costeiras, dentre as 18 inseridas no Parque, existem ocupações urbanas que são afetadas pelo aumento do nível de água na época das chuvas, inundando parte de suas moradias (SANTOS, 2008).

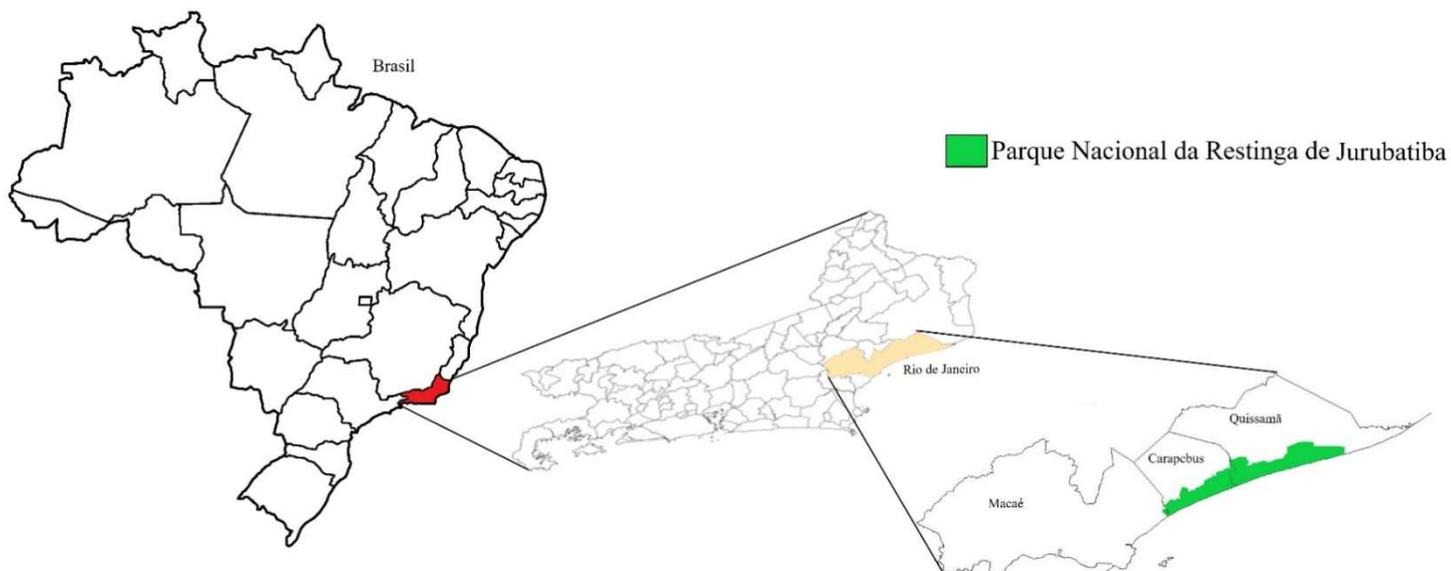


Figura 4 –Localização do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba no Rio de Janeiro.
Fonte: Autora, 2020.

Por estar situado na região litorânea, está sob intensa pressão da ocupação humana, da forte especulação imobiliária relacionada ao litoral e conseqüente alteração da paisagem original. Além disso, não há outras Unidades de Conservação no município além do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, o que mostra a sua importância na atuação da conservação da biodiversidade local.

Dentre as espécies de vertebrados terrestres identificados na área do PARNA da Restinga de Jurubatiba, 45 são endêmicas do Estado do Rio de Janeiro e 138 estão ameaçadas (ICMBIO, 2007). No relatório intitulado “Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos” a região de Carapebus foi identificada como área prioritária de extrema importância biológica para a conservação de répteis (MMA, 2000).

Quanto a sua vegetação, a fitofisionomia de restinga predomina (vegetação herbácea e arbustiva), ocupando cerca de 23,59 % da área do município, tendo a maior parte dessa cobertura vegetal protegida dentro da área do parque. Porém, ressalta-se que 64,08 % da

cobertura do solo em Carapebus se enquadram na categoria outros usos, que inclui principalmente pastagens e culturas agrícolas, além de áreas urbanas e corpos hídricos (ICMBIO, 2007).

O Parque tornou-se, nos últimos anos, uma das mais bem estudadas porções do litoral brasileiro, com a atuação de instituições e centros de pesquisa, como o Núcleo de Pesquisas Ecológicas e Socioambientais de Macaé (NUPEM/UFRJ) e a Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) (dados retirados do site do ICMBIO³).

As pesquisas sistematizadas nas restingas do norte fluminense contribuíram para demonstrar a importância da criação do Parque para a conservação da biodiversidade e o desenvolvimento sustentável na região. Ademais, as pesquisas realizadas nas lagoas costeiras do norte fluminense foram de grande importância para viabilizar a proposta de transformação do Parque em um dos sites brasileiros de pesquisa de longa duração (ESTEVEZ, 1998).

³<https://www.icmbio.gov.br/parnajurubatiba/pesquisa-cientifica.html>

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento de propostas que reduzam os impactos negativos no processo da abertura da barra na lagoa de Carapebus, uma das fases importantes deste trabalho consiste na coleta de dados. Dentre os elementos, apresentados nesse capítulo, que podem intervir na dinâmica de abertura da barra, estão inclusas informações importantes sobre a área de estudo, as contribuições (vazões) que terão influência no aumento do volume da lagoa, os registros de chuva associados às datas de abertura de barra coletadas e a análise morfométrica da bacia.

3.1 Diagnóstico da Área de Estudo

A Lagoa de Carapebus, no município de Carapebus, está localizada na Região Hidrográfica IX, Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana ou RH-IX (RIO DE JANEIRO, 2006), sob as coordenadas geográficas 22° 15' S e 41° 35' W. Com uma área de aproximadamente 6,5 km² e profundidade média de 2,4 metros, é apontada como o maior corpo hídrico do PARNA da Restinga de Jurubatiba, porém, possui apenas parte de seus domínios situados no interior dessa Unidade de Conservação (PANOSSO *et al.*, 1998), como mostra a Figura 2. Com contorno ramificado e água doce, a lagoa tem profundidade máxima de 4 m, perímetro de 80 km, comprimento máximo de 3,3 km e largura máxima de 0,4 km.

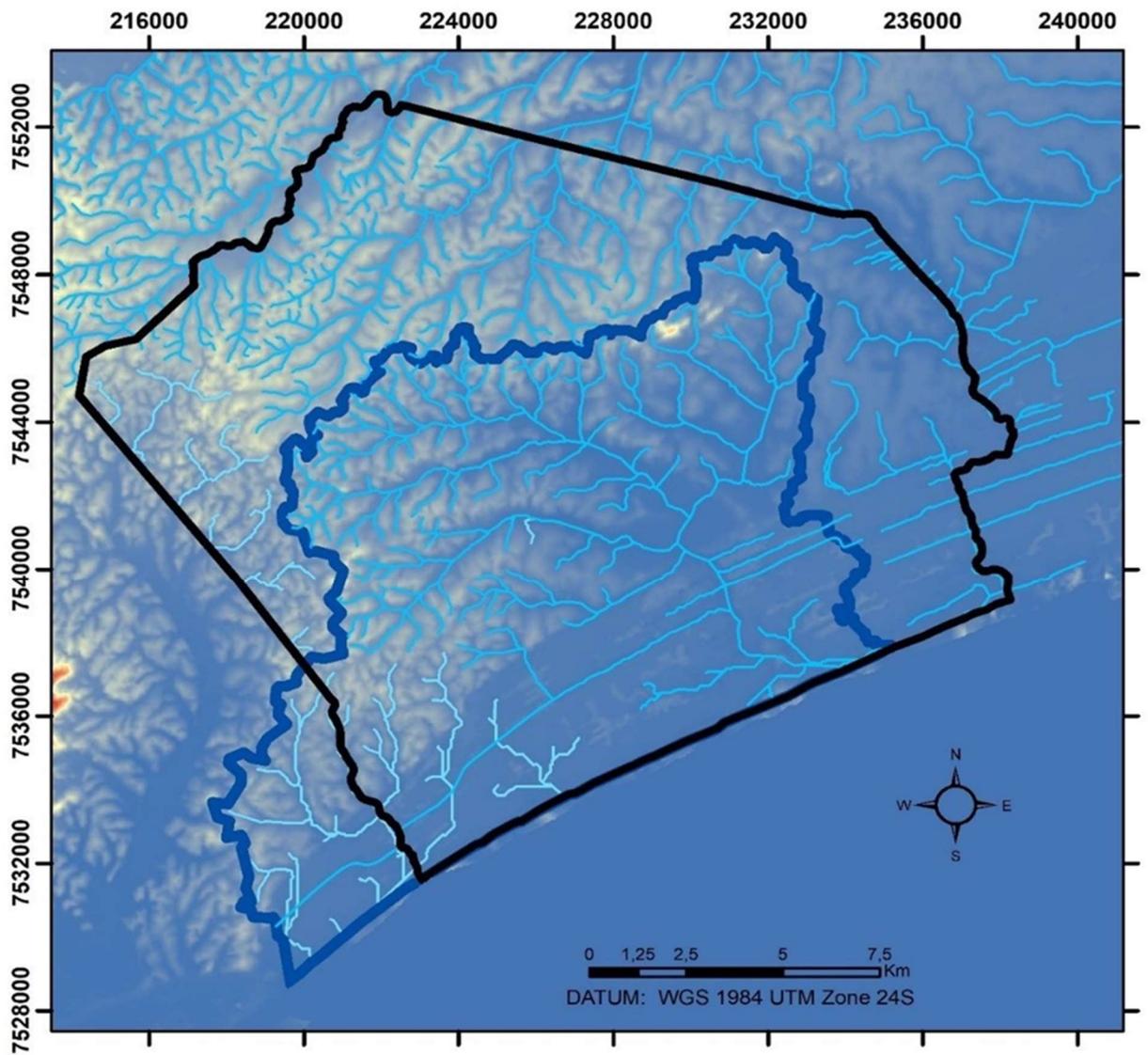
No que concerne ao padrão de drenagem da bacia em que a Lagoa de Carapebus está inserida, Esteves (1998, p. 21) destaca que:

A Lagoa de Carapebus, no estado do Rio de Janeiro, constitui um caso de lagoa muito dentrítica porque cada bifurcação dentrítica parece corresponder a uma sequência de feixe de restinga: tem-se, neste caso, então uma única lagoa costeira formada por deposição de vários feixes de restinga.

A bacia de drenagem da Lagoa de Carapebus (Figura 5) recebe afluentes que atravessam extensas áreas agrícolas, basicamente, plantações de cana de açúcar, e algumas áreas de pastagem de gado. Enquanto parte da bacia é ocupada por áreas urbanas, uma pequena parte é área de restinga relativamente bem preservada (Plano de Manejo do PARNA da Restinga de Jurubatiba, 2007). Para a elaboração dos mapas deste trabalho, foram utilizados Modelos

Digitais de Elevação (MDEs) retirados do site⁴ do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:25.000, com as quais foram digitalizadas as curvas de nível para inclusão da hidrografia, utilizando-se o software ArcGIS Desktop 10.7, na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum WGS 84, Zona 24 K.

⁴<https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/10856-mde-modelo-digital-de-elevacao.html?t=downloads>



Redes Hidrográficas Inseridas em Carapebus



Legenda

-  Limite Municipal
-  Microbacia da Lagoa de Carapebus

Figura 5 – Delimitação da bacia da Lagoa de Carapebus.

Fonte: Autora, 2019.

Por conta da urbanização ao longo de toda a bacia de contribuição da Lagoa de Carapebus, efluentes sanitários são despejados sem o devido tratamento ou enquadramento, o que promove uma redução na qualidade da água a níveis que comprometem sua balneabilidade.

A Lagoa de Carapebus representa um dos principais pontos turísticos da cidade que leva o mesmo nome (Figura 6) e é fonte de renda para pescadores artesanais da região. Ela tem como principais contribuintes os córregos Maricota, Lameiro e Jacutinga, que cortam a Sede Municipal e são os principais corpos receptores dos efluentes de esgotos domésticos no município. Como a rede coletora de esgoto ainda não abrange toda a zona urbana e o tratamento, onde ocorre, é em nível primário, estes córregos acabam se tornando poluídos, podendo contribuir para a alteração da qualidade da água da lagoa de Carapebus (PMSB Carapebus, 2020).



Figura 6 – Lagoa de Carapebus-RJ.
Fonte: Autora (2019).

Uma parte do Córrego Maricota (Figura 7) encontra-se inserido no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e dele eflui o Córrego Maricota, que possui cinco quilômetros de extensão e todo o seu percurso se faz dentro da cidade de Carapebus. A bacia hidrográfica da lagoa de Carapebus é considerada a mais importante para o município, pois nela estão situados os núcleos urbanos e a Represa do Maricota, manancial utilizado para o abastecimento de água da cidade (Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Carapebus, 2017).



Figura 7 – Córrego Maricota.
Fonte: Autora, 2019.

A Lagoa de Carapebus e a Lagoa Paulista estão interligadas pelo canal Campos-Macaé (Figura 8) e ambas vêm sofrendo processos abertura de suas barras, de forma artificial, em que a autorização desse processo de abertura é realizada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). É possível observar parte desses corpos, se estendendo até o perímetro urbano do município de Carapebus.

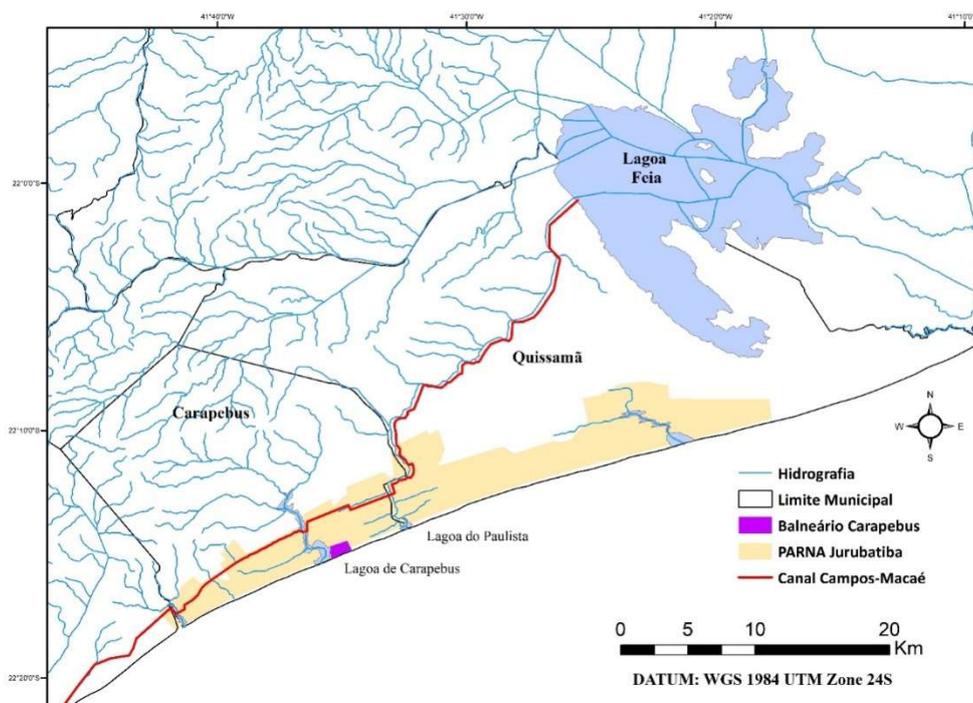


Figura 8 – Limites e localização do PARNA da Restinga de Jurubatiba, com destaque ao Balneário Praia de Carapebus. A linha vermelha indica o Canal Campos-Macaé, que conecta a Lagoa Feia à Lagoa de Carapebus.
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O Balneário de Carapebus, também denominado bairro Praia de Carapebus, é uma área urbana municipal localizada dentro de um dos três bolsões pertencentes ao Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. Os ecossistemas da região da restinga de Jurubatiba estão hidrogeologicamente conectados pelas águas do seu subsolo (FARJALLA *et al.*, 2009; ESTEVES, 2011), com presença de canais naturais, típicos de planícies alagadas e artificiais, resultantes dos modelos de exploração deste território (ESTEVES, 2011). Este cenário no qual o bairro Praia de Carapebus está inserido, acompanhado dos eventos de chuvas intensas e recorrentes, acaba deixando os moradores dessa área ilhados (Figura 9).



Figura 9 – Bairro Praia de Carapebus durante chuvas intensas em dezembro de 2019.
Fonte: Prefeitura de Carapebus.

O Canal Campos – Macaé é um canal artificial, construído no século XIX para interligar as cidades de Macaé e Campos dos Goytacazes, com o objetivo de facilitar o escoamento da produção açucareira. Além do transporte de cana-de-açúcar, o canal atendia à drenagem de brejos e lagoas, ampliando as áreas para o plantio da cana-de-açúcar por meio da drenagem dos terrenos alagados. A região por ele cortada – corta cerca de 15 quilômetros de extensão dentro da microbacia da Lagoa de Carapebus – é aplainada, com impasses para o escoamento dos cursos d'água para o oceano, o que propicia a formação de lagoas e alagadiços. Atualmente, o Canal encontra-se pouco preservado, com trechos muito assoreados e poluídos (MONTEIRO & TEIXEIRA, 2016).

A construção desse canal modificou a bacia da lagoa de Carapebus, interligando-a à bacia hidrográfica da Lagoa Feia (Figura 10), que é o maior corpo hídrico lântico natural de água doce do Brasil (BIDEGAIN *et al.*, 2002). Segundo Bidegain *et al.* (2002), a área da bacia hidrográfica da Lagoa Feia é de aproximadamente 2.955 km² e a Lagoa Feia possui profundidade média de 1,0 m e ligação com o mar por meio de um canal construído artificialmente na década de 40, o Canal da Flecha (projetado pelo DNOS em 1943 e concluído em 1949), que possui aproximadamente 17,5 km de extensão e 130 m de largura, o qual é operado por comportas desde 1978, de modo a controlar o nível de água desta lagoa (BIDEGAIN *et al.*, 2002).

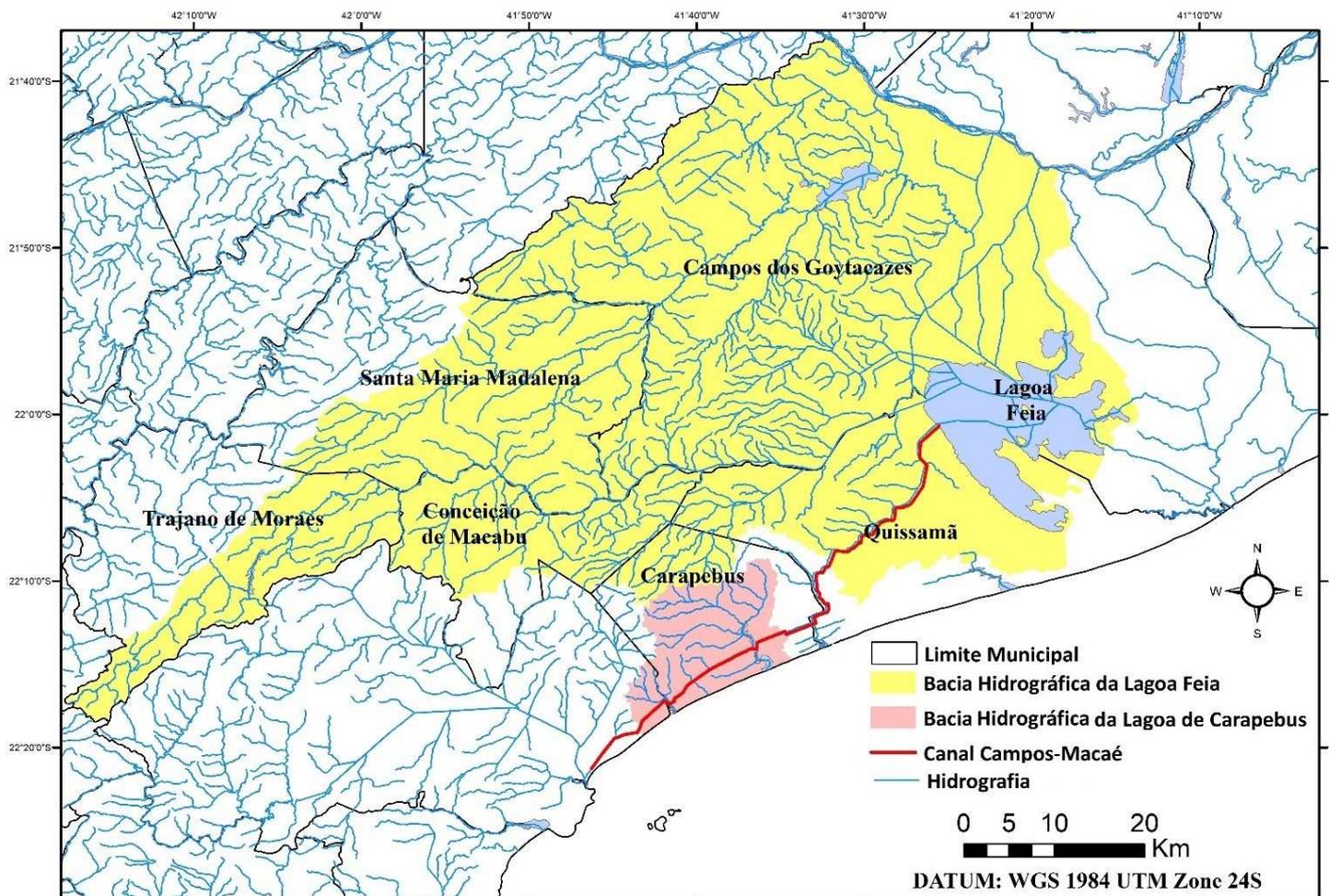


Figura 10 – Bacia hidrográfica da Lagoa Feia interligada à bacia hidrográfica da Lagoa de Carapebus pelo canal Campos-Macaé.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em função do uso e ocupação inadequados do solo, como verificado no entorno da Lagoa de Carapebus e demais lagoas costeiras na localidade do PARNA da Restinga de Jurubatiba, é necessária a compreensão do que representam essas lagoas costeiras para a

população carapebuense. Além disso, conhecer sua dinâmica é essencial para um manejo racional desse ecossistema, além de permitir a discussão das intervenções de origem antrópica.

3.2 Contribuição do Canal Campos-Macaé

Com 100 km de extensão, o canal Campos-Macaé pode ser considerado a maior obra de engenharia no Brasil, durante o Império, de acordo com Silva Telles (1994), e o segundo maior canal no planeta. Pode-se afirmar que este canal constitui um importante condutor hidráulico da região Norte Fluminense, podendo adquirir novos significados a partir do desenvolvimento de seu uso no segmento do turismo ecológico nos municípios de Quissamã e Carapebus, trecho melhor favorecido pela preservação do curso das águas e de seu entorno (MONTEIRO & TEIXEIRA, 2016)

O Parque de Alta Tecnologia do Norte Fluminense (TECNORTE) quantificou a vazão desse canal e apresentou da seguinte forma:

Tabela 1 - Vazão mínima, média e máxima do canal artificial Campos - Macaé.

Canal	Qmin (m ³ /s)	Qmed (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)
Campos-Macaé	0,81	5,19	8,56

Fonte: TECNORTE, 2003.

Vale destacar que, provavelmente, esses valores de vazão são referentes à cota de enchimento da geometria do canal, e que, talvez, não consideram situações nas quais, sob grandes chuvas, o canal extravasa e passa a ter fluxo de água também fora de sua calha, tornando as vazões transportadas maiores que a máxima. Para uma melhor interpretação desses valores e compreensão do que eles podem representar nesse trabalho, uma estimativa da quantidade da água presente (volume) na Lagoa de Carapebus foi calculada através de sua profundidade média e área. Além disso, foi estimada a quantidade de água conduzida pelo canal Campos-Macaé em 24 horas (1 dia), 48 horas (2 dias) e 72 horas (3 dias) para as vazões mínima, média e máxima. Essas estimativas foram feitas para se avaliar a quantidade de água conduzida pelo canal Campos-Macaé à Lagoa de Carapebus, e o equivalente em volume dessa água, relacionando-o ao volume da Lagoa.

3.3 Relação dos Dados de Chuvas na Região de Estudo

Para subsidiar o entendimento da dinâmica das lagoas costeiras desse estudo, foi feito o levantamento de dados mensais de precipitações em Carapebus, desde 1995, relacionando-os aos eventos de abertura da barra da Lagoa de Carapebus. As datas de abertura da barra foram coletadas a partir de reportagens e do Plano Emergencial de Abertura de Barra, elaborado em 2013, pois até o presente não há um registro oficial desses eventos da região. Porém, é de conhecimento de todos que após a criação do PARNA da Restinga de Jurubatiba (em 1998), essas aberturas de barra passaram a ser monitoradas, devido à necessidade de autorização por parte da Unidade de Conservação para que as mesmas ocorram.

Tendo em vista a conexão da bacia da Lagoa Feia com a da Lagoa de Carapebus, através do canal Campos-Macaé, foi feito também o levantamento dos dados de chuvas em Quissamã/RJ, município vizinho à Carapebus e onde se localiza parte da Lagoa Feia. Esses dados de chuva irão contribuir para analisar as possíveis influências que ocorrem na região, levando à abertura da barra em Carapebus, de modo a propor soluções integradas e de menor impacto.

Além disso, é feita uma relação das datas de abertura de barra com dados de chuva de estações pluviométricas próximas: Campos dos Goytacazes, Campos-São Tomé e a estação de Macaé, para uma melhor compreensão das ocorrências de aberturas de barras na Lagoa de Carapebus e os índices pluviométricos do entorno.

3.4 Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica de Carapebus

Um dos procedimentos executados em análises hidrológicas e/ou ambientais de bacias hidrográficas, é a sua caracterização morfométrica (análise linear, areal e hipsométrica). Cabe à morfometria, segundo Cooke e Doornkamp (1992) “... a mensuração e análise matemática da configuração da superfície terrestre e da forma e dimensões de sua paisagem”. Essas características podem ser usadas na inferência sobre prováveis efeitos da interferência humana no sistema e nas estimativas das características de um rio da bacia numa área remota, necessária ao levantamento de recursos naturais, ou em partes não monitoradas de áreas já desenvolvidas (RAFAELI NETO, 1994).

A morfometria é usada no campo da geografia para descrever a forma física e a forma de bacias hidrográficas, rios, riachos e outros ambientes físicos. Lugg (1996) afirma que a morfologia é um dos fatores que pode influenciar a frequência e a duração de abertura e

fechamento da barra do ICOLL. Dentro desse contexto, através da morfometria, neste item são descritas as características físicas dos ICOLLs, incluindo parâmetros como tamanho, forma e estrutura.

A morfometria de um ICOLL influencia seus processos hidrodinâmicos, que por sua vez controlam muitos dos outros processos físicos, químicos e biológicos da hidrovia, incluindo a água qualidade, sedimentação e estrutura ecológica. Portanto, a morfometria é um aspecto crítico de ICOLLs que precisa ser considerado no contexto do gerenciamento holístico do futuro (HAINES, 2006).

Ademais, os parâmetros morfométricos são relativamente fáceis de determinar e podem fornecer um meio simples de avaliar e classificar a natural sensibilidade de ICOLLs a cargas externas e, coletivamente, são importantes medidores a serem conhecidos para o processo de abertura de barra.

Para a determinação dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem, optou-se pela utilização de bacias pilotos, uma vez que a rede hidrográfica do município é abundante. Foram identificadas quatro bacias principais: bacia do Arrozal, Carapebus, Macabu e Macaé (Figura 11).

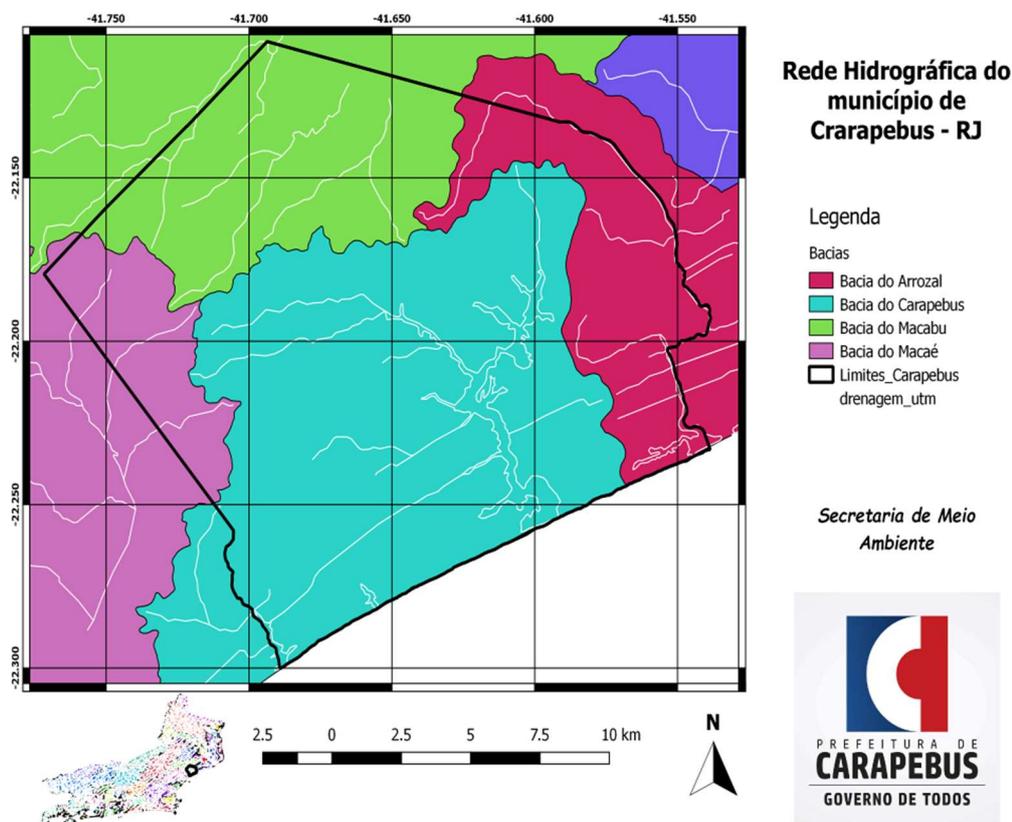


Figura 11 - Mapa de sub-bacias existentes em Carapebus.
Fonte: SEMAMB Carapebus.

A bacia na qual a Lagoa de Carapebus está inserida é representada pela cor verde na figura anterior (Bacia do Carapebus). Segundo Porto (2006), as bacias hidrográficas têm uma vasta variedade de formas que refletem o comportamento hidrológico da bacia, podendo se apresentar com formas circulares, alongadas ou ramificadas. A microbacia da Lagoa de Carapebus é considerada do tipo radial ou ramificada, pois é formada por conjuntos de sub-bacias alongadas que convergem para um mesmo curso principal. Naghettini (2000) caracteriza uma bacia ramificada, destacando que uma chuva uniforme em toda a bacia origina cheias nas sub-bacias que vão se somar, porém, não simultaneamente no curso principal. Dessa forma, a cheia crescerá, estacionará e diminuirá, progressivamente, de acordo com as condições das diferentes sub-bacias.

3.4.1 *Análise Linear*

Na análise linear das bacias hidrográficas, podem ser incluídos os seguintes índices:

- Comprimento do canal principal (km) - L_{cp} : Distância que se estende ao longo do canal principal, desde sua nascente até a foz.
- Altura do canal principal (m) - H_{cp} : Para encontrar a altura do canal principal, subtrai-se a cota altimétrica encontrada na nascente pela cota encontrada na foz.
- Gradiente do canal principal (m/km) - G_{cp} : É a relação entre a altura do canal e o comprimento do respectivo canal, indicando a declividade do curso d'água.

$$G_{cp} = \frac{H_{cp}}{L_{cp}} \quad (1)$$

Em que G_{cp} é o gradiente do canal principal (m/km), H_{cp} é a altura do canal principal (m) e L_{cp} é o comprimento do canal principal (km).

3.4.2 *Análise Areal*

Em relação à análise areal das bacias hidrográficas, estão englobados índices nos quais intervêm medições planimétricas, além de medições lineares. Podem ser incluídos os seguintes índices:

- Comprimento da bacia (km) - L_b : Calculado através da medição de uma linha reta traçada ao longo do rio principal, desde sua foz até o ponto divisor da bacia.

- Coeficiente de compacidade da bacia - K_c : Relação entre o perímetro da bacia e a raiz quadrada da área da bacia. Este coeficiente determina a distribuição do deflúvio ao longo dos cursos d'água e é em parte responsável pelas características das enchentes, ou seja, quanto mais próximo do índice de referência que designa uma bacia de forma circular, mais sujeita a enchentes será a bacia. Os índices de referência para esse coeficiente é 1,0 (forma circular) e 1,8 (forma alongada).

O coeficiente de compacidade da bacia pode ser obtido pela Equação 2:

$$k_c = \frac{0,28 * p}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Em que k_c é coeficiente de compacidade, p é o perímetro da bacia (km) e A é a área da bacia (km^2).

Pelos índices de referência, o valor de 1,0 indica que a forma da bacia é circular e 1,8 indica que a forma da bacia é alongada. Quanto mais próximo de 1,0 for o valor deste coeficiente, mais acentuada será a tendência para grandes enchentes. Isso se deve ao fato de que em bacias circulares o escoamento é mais rápido, pois a bacia descarrega seu deflúvio direto com maior rapidez, produzindo picos de enchente com maiores magnitudes. Já nas bacias alongadas, o escoamento é mais lento, com maior capacidade de armazenamento.

- Densidade hidrográfica (rios/ km^2) - D_h : É a relação entre o número de segmentos de 1ª ordem e a área da bacia, obtida pela Equação 3:

$$D_h = \frac{n_1}{A} \quad (3)$$

Em que D_h é a densidade hidrográfica, n_1 é o número de rios de 1ª ordem e A é a área da bacia (km^2).

Segundo Canali (1986), há três categorias de densidade hidrográfica: D_h baixa (menos de 5 rios/ km^2), D_h média (de 5 a 20 rios/ km^2) e D_h alta (mais de 20 rios/ km^2).

- Densidade de drenagem (km/km^2) – D_d : É a relação entre o comprimento dos canais e a área da bacia, obtida pela Equação 4:

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (4)$$

Em que D_d é a densidade de drenagem, L_t é o comprimento dos canais (km) e A é a área da bacia (km^2).

Na Tabela 2 é indicado se a bacia apresenta baixa, mediana, alta ou muito alta densidade de drenagem, a partir da densidade de drenagem (BELTRAME, 1994).

Tabela 2 -Classificação da densidade de drenagem (D_d) de uma bacia.

Densidade de Drenagem (Km/Km^2)	Denominação
< 0,5	Baixa
0,5 - 2,0	Mediana
2,01 - 3,5	Alta
> 3,5	Muito Alta

Fonte: Beltrame (1994).

- Coeficiente de Manutenção (m^2/m) – C_m : É o inverso do valor da densidade de drenagem (D_d). Este índice tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento permanente. Schumm apud Lana (2001), considera como um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, limitando sua área mínima requerida para o desenvolvimento de um canal. O coeficiente é calculado através da Equação 5:

$$C_m = \frac{1}{D_d} * 1000 \quad (5)$$

- Índice de Sinuosidade (km^2/km) – I_s : O índice de sinuosidade é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal. Este índice expressa a velocidade de escoamento do canal principal e é calculado pela Equação 6. Quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal, portanto, a velocidade de escoamento será menor. Segundo Freitas (1952), valores de I_s próximos a unidade indicam canais retilíneos, valores de superiores a 2 indicam canais sinuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais.

$$I_s = \frac{L_{cp}}{L_v} \quad (6)$$

Em que, I_s é adimensional, L_{cp} é dado em km e L_v em km.

- Fator Forma – Kf: Calculado pela relação entre a área da bacia e o comprimento axial ao quadrado, como apresentado na Equação 7. Esse parâmetro relaciona a forma da bacia com um retângulo, correlacionando a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia da foz até o ponto mais distante do espigão. Villela e Mattos (1975) citam que uma bacia com fator de forma baixo é menos suscetível a enchentes.

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (7)$$

Onde, Kf é adimensional, A é a área em km² e L é o comprimento axial da bacia em km.

- Índice de Circularidade – Ic: Relaciona a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia e é calculado pela Equação 8. Este valor tende para unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui conforme a mesma se torna mais alongada (Cardoso et al., 2006).

$$Ic = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (8)$$

Em que Ic é adimensional, A é a área da bacia em km² e P é o perímetro da bacia em km.

3.4.3 Análise Hipsométrica

De acordo com Mendonça (1999), a identificação e análise da hipsometria numa bacia hidrográfica possibilitam a observação da variação altimétrica do relevo da área, fato importante na análise de processos relativos à dinâmica de uso e ocupação do solo. A partir desse detalhamento altimétrico podemos ampliar os estudos físicos, incluindo a análise clinográfica, ou seja, a declividade da bacia hidrográfica que pode influenciar nos diversos usos e ocupações na bacia hidrográfica.

A declividade do terreno e, principalmente, o comprimento da rampa contribui para o escoamento das águas. Quanto maior for o trecho em declive, maior será o escoamento da água pela superfície, arrastando outros materiais para os recursos hídricos superficiais, influenciando assim, a qualidade da água. (MOTA, 1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, seguindo os critérios já expostos nos procedimentos metodológicos, serão analisados e discutidos os dados coletados, com base nos resultados alcançados. Conforme colocado na metodologia, foram investigados diversos fatores que podem intervir no processo de abertura de barra e, a partir disso, algumas propostas de intervenção serão apresentadas, como ferramentas importantes para uma gestão eficiente nos eventos de aberturas de barras.

4.1 Contribuição do Canal Campos-Macaé

A estimativa da quantidade da água (volume) na Lagoa de Carapebus foi calculada através de sua profundidade média e da área, sendo apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Volume estimado da Lagoa de Carapebus.

Lagoa de Carapebus		
Profundidade Média (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
2,4	6.500.000	15.600.000

Fonte: Autora, 2020.

A quantidade de água conduzida pelo canal Campos-Macaé em 24 horas (1 dia), 48 horas (2 dias) e 72 horas (3 dias) para as vazões mínima, média e máxima estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de água [m³] conduzida pelo Canal-Campos Macaé para as vazões Qmin, Qmed e Qmax para os tempos de 24h, 48h e 72h.

		Quantidade de Água (m ³)		
		24h	48h	72h
Qmin (m ³ /s)	0,81	69.984	139.968	209.952
Qmed (m ³ /s)	5,19	448.416	896.832	1.345.248
Qmax (m ³ /s)	8,56	739.584	1.479.168	2.218.752

Fonte: Autora, 2020.

A partir dos valores apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4, foi possível quantificar a água conduzida pelo canal Campos-Macaé que correspondente à Lagoa de Carapebus, em porcentagem.

Tabela 5 – Quantidade de água oriunda da contribuição do Canal Campos-Macaé na Lagoa de Carapebus, em porcentagem.

	(m ³ /s)	%		
		24h	48h	72h
Qmin	0,81	0,45	0,90	1,35
Qmed	5,19	2,87	5,75	8,62
Qmax	8,56	4,74	9,48	14,22

Fonte: Autora, 2020.

Analisando a Tabela 5, é possível observar que o canal Campos-Macaé pode chegar a preencher 14% da Lagoa de Carapebus, se considerarmos a vazão máxima por 3 dias. Com base nesses dados, podemos caracterizar o canal Campos-Macaé como um importante contribuinte no aumento do nível da Lagoa de Carapebus.

4.2 Relação dos Dados de Chuvas na Região de Estudo

Os dados mensais de precipitações em Carapebus desde 1995 foram levantados e relacionados aos meses em que houve abertura da barra da lagoa de Carapebus (em amarelo) (Tabela 6).

Tabela 6 - Precipitação pluviométrica de Carapebus, com destaque (em amarelo) aos meses em que houve abertura da barra da Lagoa de Carapebus.

QUADRO DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO MUNICÍPIO DE CARAPEBUS (mm)														
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL	Média
1995	58	115	35	74	90	13	25	39	116	202	168	147	1082	90
1996	91	106	103	79	38	34	12	32	214	76	303	330	1418	118
1997	253	30	210	36	71	13	0	19	60	99	149	181	1121	93
1998	243	307	79	31	56	4	2	50	64	190	178	99	1303	109
1999	78	44	80	68	15	179	41	11	135	92	122	200	1065	89
2000	114	52	58	91	0	11	12	27	96	45	116	75	697	58
2001	93	66	87	40	52	41	17	11	29	114	167	200	917	76
2002	49	75	0	0	0	84	17	30	72	22	60	108	517	43
2003	219	61	28	83	69	0	65	117	-	-	-	-	642	80
2004	246	172	249	180	70	45	244	52	22	137	148	327	1892	158
2005	209	63	211	57	88	101	111	11	211	71	188	322	1643	137
2006	10	43	36	89	101	30	27	40	65	99	198	128	866	72
2007	-	-	-	142	0	64	52	25	89	196	89	258	915	76
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	0	162	182	96	83	43	64	24	43	121	170	107	1095	91
2011	108	46	288	138	24	16	0	0	0	59	115	124	918	77
2012	255	15	93	89	115	61	0	60	25	26	130	35	904	75
2013	80	27	242	56	34	79	32	51	53	17	171	204	1046	87
2014	60	5	45	127	0	23	91	8	6	9	73	37	484	40
2015	13	48	61	125	57	35	19	6	102	82	198	143	889	74
2016	131	88	109	29	15	93	0	60	45	95	291	219	1175	98
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	159	119	193	171	84	24	19	59	60	147	167	-	1202	109
2019	60	141	191	66	145	21	0	101	102	73	288	363	1551	129
2020	315	153*	169	128	148	-	-	-	-	-	-	-	913	182,6

*Abertura natural da barra.

Fonte: Secretaria Municipal de Agricultura, Abastecimento e Pesca de Carapebus.

Analisando a Tabela 6, pode-se afirmar que há uma relação direta entre a abertura de barra da Lagoa de Carapebus e as precipitações correspondentes. É possível observar que o rompimento da barra é frequente entre os meses de novembro a janeiro, coincidindo com os intervalos mais chuvosos do município.

Para alguns dos elevados valores pluviométricos mensais, a abertura da barra da Lagoa de Carapebus se fez necessária, como constatado no mês de dezembro em 2004 (327mm) e 2019 (363mm). Em contrapartida, em outros períodos com alta precipitação não existiu a abertura, porém, a barra foi aberta de forma natural no mês subsequente, demonstrando que essa necessidade não está somente relacionada às chuvas intensas na região - como averiguado em janeiro de 2020 (315mm) – tendo envolvimento de outros fatores.

É possível concluir dessa tabela, também, que há meses com eventos de alta magnitude em que não houve abertura da barra. Como lagoas são consideradas sistemas fechados, esse cenário pode estar relacionado ao fato de que a lagoa foi aberta no mês anterior, ou seja, a lagoa foi “aliviada”, não havendo novamente a necessidade de abertura, como constatado em dezembro de 2005 (322mm).

Quanto aos valores anuais, os anos que obtiveram valores acima de 900 mm, coincidem com os anos em que a barra da Lagoa de Carapebus foi rompida artificialmente, como observado nos anos de 2004, 2006, 2007, 2008 e 2009. A precipitação média mensal é de aproximadamente 100 mm e a precipitação média anual de aproximadamente 1.000 mm. Esses valores indicam que a área de estudo é bastante úmida durante o ano. No período menos chuvosos, de maio a setembro, a média mensal de chuva está em torno de 50 mm, enquanto que no período mais úmido, de setembro a abril, a média mensal de chuva chega a atingir 150 mm. Isso faz com que no período chuvoso, e em momentos de chuva intensas, haja condições mais propícias ao escoamento do que à infiltração. Dessa forma, o tipo de uso e cobertura pode influenciar na capacidade de produção de água da bacia, sendo importante o seu estado de conservação.

O levantamento dos dados de chuvas em Quissamã/RJ, município vizinho à Carapebus e onde se localiza parte da Lagoa Feia estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Precipitação pluviométrica de Quissamã, com destaque (em amarelo) aos meses que houve abertura da barra da Lagoa de Carapebus.

QUADRO DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO MUNICÍPIO DE QUISSAMÃ (mm)														
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL	Média
1995	110,2	31,7	101,5	95,4	8,6	13,3	33,6	32,9	141,3	152,6	166,5	62,6	950,2	79
1996	74,4	90,7	54,8	47	29	16,1	24,3	178,4	59,5	284,5	172,6	178,7	1210	101
1997	25,1	157	13,7	53,7	7,5	1,2	3,4	155	66,8	76,9	110,6	194,6	865,5	72
1998	358,8	23,5	33,1	71,1	30,6	4,2	-	35	145,4	146,5	78,7	82,8	1009,7	92
1999	4,3	51	142,3	32,6	96,5	71,2	9,7	28,4	43,9	154,8	143,5	151,8	930	78
2000	22,5	77,5	37,8	17,1	10,5	14,6	28,5	67,8	43,6	117,7	95,8	95,5	628,9	52
2001	41,7	71,5	57,9	39,3	89,9	15,3	14,8	24,6	89,7	175,5	196,1	62	878,3	73
2002	72,4	0	5,8	28,6	60,7	28	32,2	111,2	4,6	49,8	124,2	149,5	667	56
2003	0	40,8	37,6	42,7	2	73,2	40,8	57,4	134,2	71,7	183,4	103,5	787,3	66
2004	121,3	205,7	56,7	50,5	35,1	151,6	13,5	13,5	85,4	61,2	148,3	70,6	1013,4	84
2005	37,7	167,2	27,8	40,5	14,4	87,3	12,8	136,3	34,2	-	-	43,5	601,7	60
2006	58,2	46,4	49,5	46,3	47,3	23,4	27,8	22,7	111,3	163,1	109,4	217,8	923,2	77
2007	50,2	36	18,7	65,9	6,1	25,2	0	0	39,6	95,7	46	609	992,4	83
2008	78,6	59	274,7	0	21,4	0	9,3	79,9	50,4	283	94,4	355,1	1305,8	109
2009	119,8	294,4	142,4	66,4	52,4	39,2	98,5	10,8	142,6	120,6	152,7	0	1239,8	103
2010	69,6	124,1	68,3	109,6	19,7	97,5	0	15,3	43,2	139,1	47,5	67	800,9	67
2011	31,7	103,7	49,4	50,6	2,1	8,3	-	-	77,8	91,8	137,7	-	553,1	61
2012	-	67,8	68,8	117,9	166,3	69	42	41,3	-	91,9	52,6	154,1	871,7	87
2013	103,7	149,7	18,5	16,1	112,6	32,4	29	26,9	-	263,1	63,8	0	815,8	74
2014	-	24,7	61,6	11,3	28,1	137,4	11,9	-	81,7	65,5	-	-	422,2	53
2015	70,4	77,7	44,9	58,1	42,6	53,9	19,7	103	77,6	124,1	120,4	147,5	939,9	78
2016	24,5	12,3	34,8	31,8	47,2	6,2	-	71,3	34,5	180,9	92,1	18	553,6	50
2017	12	45,5	18,5	56,8	13,6	41,4	-	3	8,2	160,9	92,3	138,2	590,4	54
2018	135	177,7	74,4	42,7	42	42,6	92,4	48,2	102,5	159,6	39,7	3,2	960	80
2019	68,4	28,3	50,9	177,6	6,4	7,4	37	43,1	45,9	122,8	-	-	587,8	49
2020	-	94,6*											94,6	

*Abertura natural da barra.

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Na Tabela 7 é possível observar valores menores para as precipitações de chuva em Quissamã. Ainda assim, os meses mais chuvosos são os mesmos apresentados por Carapebus – novembro, dezembro e janeiro - com exceção de outubro, mês com os maiores valores pluviométricos para o município.

Por fim, a Tabela 8 mostra a relação das datas de abertura de barra com dados de chuva de estações pluviométricas próximas: Campos dos Goytacazes, Campos-São Tomé e a estação de Macaé.

Tabela 8 – Datas de abertura da barra da Lagoa de Carapebus relacionadas às precipitações das estações pluviométricas de Campos dos Goytacazes, Campos-São Tomé e Macaé.

Data de Abertura			Precipitação Mensal (mm) - Estações			
Dia	Mês	Ano	Carapebus	Campos dos Goytacazes	Campos - São Tomé	Macaé
27	dezembro	2004	327	-	-	-
-	novembro	2005	188	-	-	-
-	novembro	2006	198	216,6	-	171,2
13	janeiro	2007	-	430,4	-	328,2
-	janeiro	2008	-	156,6	-	345
23	dezembro	2013	204	337,8	217,4	331,2
9	março	2018	193	412,8	102,8	217,4
12	dezembro	2019	363	126,2	114,4	205,4
19	fevereiro	2020	153	119,6	202,4	190,2

Fonte: Precipitações das estações de Campos dos Goytacazes, Campos - São Tomé e Macaé retiradas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Fazendo a análise da Tabela 8 observa-se que, apesar de não haver dados de precipitação em Carapebus do ano de 2007, chuvas consideráveis atingiram a região de Campos dos Goytacazes e Macaé. Nesse mesmo ano, a abertura da barra foi realizada na Lagoa de Carapebus e, portanto, é possível concluir que os períodos mais chuvosos em toda região correspondem com as aberturas de barra.

Ao investigar os dados de chuva nas cidades de Carapebus e Quissamã, levantou-se a hipótese de que há outras razões, além das chuvas intensas, que influenciam na inevitabilidade de abertura da barra da lagoa de Carapebus. Como mencionado, a abertura da barra pode estar relacionada a razões além da quantidade de chuvas.

A partir desse diagnóstico, é importante pontuar fatores que potencializam os impactos negativos no processo de abertura de barra. O item 4.1 mostra a importância do dado da vazão que conduz a água no canal Campos-Macaé, revelando que é necessário quantificar não só o fluxo de água que chega na Lagoa de Carapebus, como também a que sai no processo de abertura para entender a fundo a dinâmica da lagoa em questão. A Figura 3, capturada na última

abertura artificial de Carapebus, mostra que o processo é feito com uma retroescavadeira e que não são dimensionadas a largura e profundidade da escavação, indicando que não há padronização no processo.

4.3 Análise Morfométrica

A ordenação dos canais fluviais é o primeiro passo para a realização da análise morfométrica de bacias hidrográficas. Para Sthahler (1952), os segmentos de canais formadores, sem tributação, são denominados de primeira ordem; da confluência de dois canais de primeira ordem surgem os segmentos de canais de segunda ordem que só recebem afluentes de ordem inferior (segmentos de canais de primeira ordem). Da confluência de dois segmentos de canais de segunda ordem surgem os segmentos de terceira ordem que recebem afluentes de ordens inferiores, no caso, segmentos de primeiras e segundas ordens (GUERRA e CUNHA 1995).

Dando início à análise morfométrica da microbacia da Lagoa de Carapebus, foi feito o uso da classificação Strahler de cursos de água para ordenar os canais fluviais, obtendo, assim, sua hierarquia fluvial (Figura 12). As informações de relevo obtidas para análise hidrológica são representadas por meio de estruturas numéricas de dados que correspondem à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, conhecidos como modelo digital de elevação (MDE) (OLIVEIRA et al., 2010).

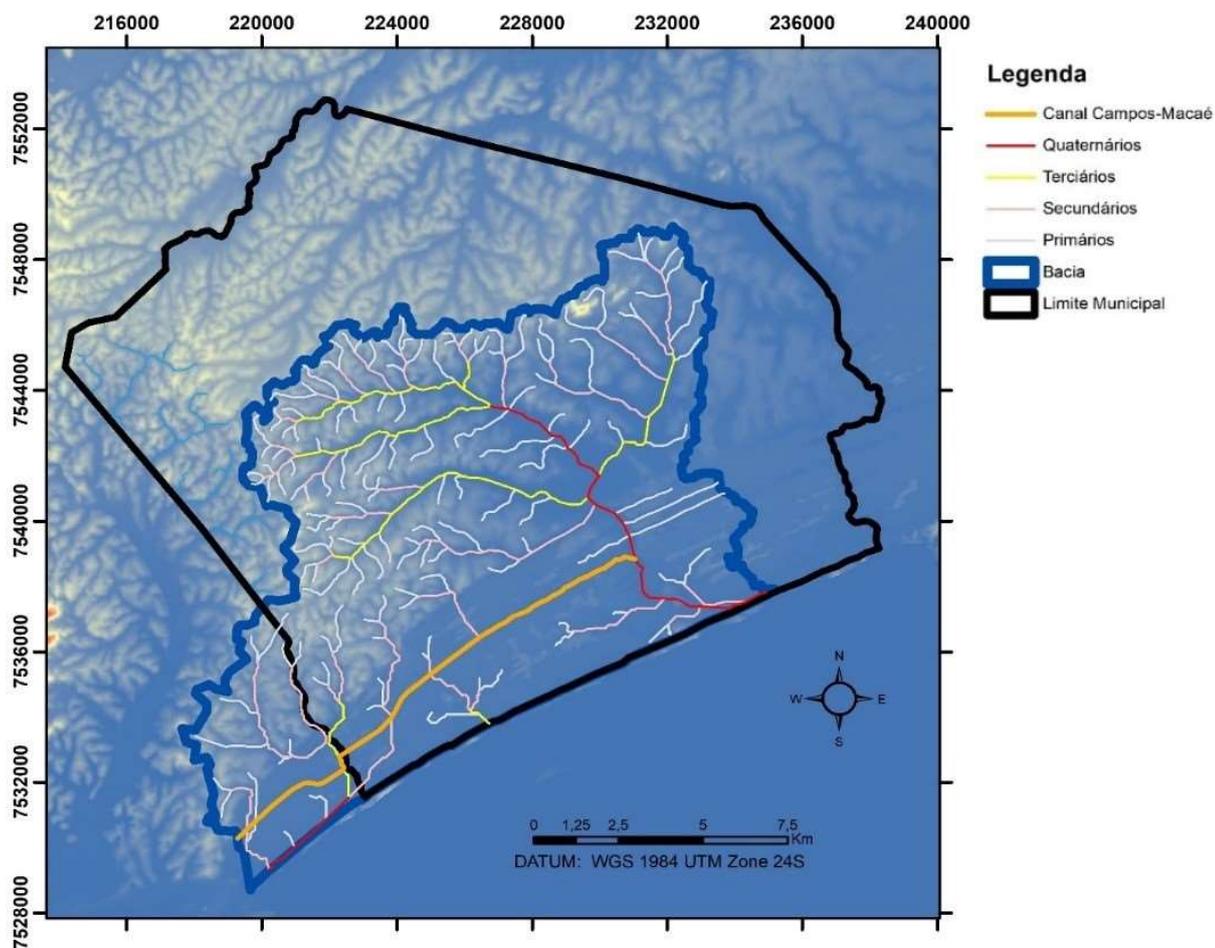


Figura 12 - Representação do Canal Campos - Macaé e hierarquização dos cursos d'água segundo a classificação de Strahler.
Fonte: Autora, 2019.

A Tabela 9 apresenta a soma aproximada da extensão dos cursos d'água, de acordo com as suas especificações.

Tabela 9 - Somatório da extensão dos cursos d'água conforme ordem fluvial.

Classificação da Ordem Fluvial		
Bacia	Ordem	Extensão Total (km)
Lagoa de Carapebus	Primário	140,37
	Secundário	65,71
	Terciário	31,85
	Quaternário	15,66

Fonte: Autora, 2019.

Para calcular os parâmetros morfométricos, o canal principal deve ser apontado. Por ser uma bacia ramificada, a definição do canal principal foi determinada com base na análise média dos tempos de concentração para os principais cursos d'água.

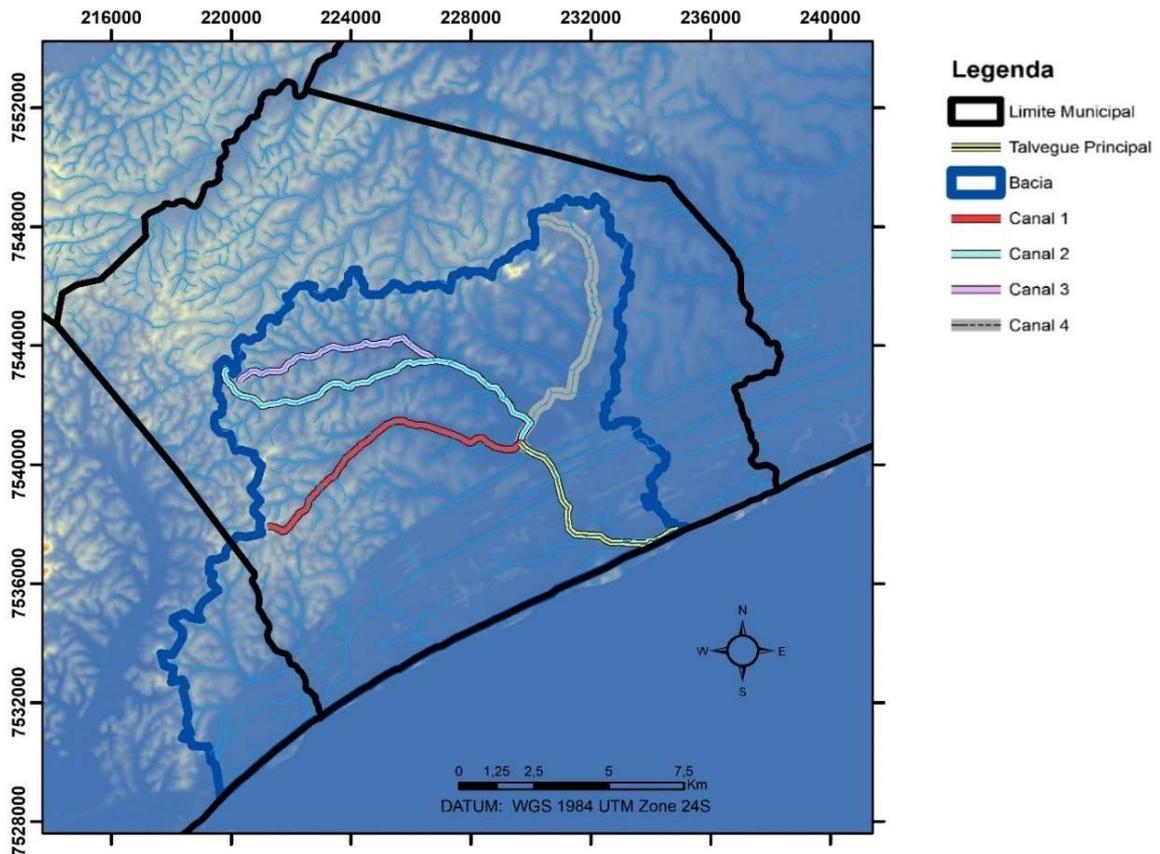


Figura 13 - Enumeração dos canais principais.
Fonte: Autora, 2019.

Segundo Matos *et al.*, (2006), o tempo de concentração se refere ao tempo em que a água, que cai no ponto mais remoto de uma bacia, leva para chegar até a foz. Quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente (se forem mantidas constantes outras características como solo, vegetação, geologia e hidrologia).

Os canais principais foram enumerados de acordo com a Figura 13 e suas respectivas características estão destacadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Extensão total, cota da foz e nascente, altura e declividade dos canais principais.

Canal	Extensão (km)	Cota		Altura (m)	Declividade		
		Foz (m)	Nascente (m)		S (m/km)	S (m/m)	S (%)
1	18,14	3	38	35	1,9294	0,0019	0,1929
2	20,70	3	57	54	2,6086	0,0026	0,2609
3	19,81	3	36	33	1,6658	0,0017	0,1666
4	17,22	3	29	26	1,5098	0,0015	0,1510

Fonte: Autora, 2019.

Para o cálculo do tempo de concentração de cada canal, foram utilizadas as equações de Kirpich, Ven Te Chow e Dooge, descritas a seguir.

A Equação de Kirpich (Equação 9) foi desenvolvida a partir de pequenas bacias agrícolas dos EUA, com declividades variando entre 3 e 10% e áreas de no máximo 0,5 km² (citado por TUCCI, 1993).

$$t_c = 3,989 \cdot \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (9)$$

Em que t_c é o tempo de concentração em minutos, L é o comprimento do curso d'água principal em km e S é a declividade do curso d'água principal em m/m.

A Equação de Ven Te Chow (Equação 10), baseada em dados de vinte bacias rurais com área de 1 a 19 km².

$$t_c = 0,8773 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,64} \quad (10)$$

Onde t_c é o tempo de concentração em horas, L é o comprimento do curso d'água principal em km e I é a declividade média do talvegue em m/km.

E a equação de Dooge (Equação 11), obtida a partir de dados de dez bacias rurais com áreas de 140 a 930 km² (TUCCI, 1993).

$$t_c = 21,88 \cdot \frac{A^{0,41}}{S^{0,17}} \quad (11)$$

Em que t_c é o tempo de concentração em minutos, A é a área da bacia em km² e S é a declividade do curso d'água principal em m/m.

Com os tempos de concentração encontrados para cada método, uma média foi feita. O Canal 2 possui o menor entre os tempos médios de concentração (395,02 minutos), enquanto o Canal 3 apresentou o maior (439,62 minutos), como demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11 - Tempos de concentração encontrados através dos métodos descritos e a média entre eles.

Canal	Tempo de Concentração (min)			
	Kirpich	Von Te Chow	Dooge	Média
1	412,22	272,5771	536,2439	407,01
2	406,29	269,3177	509,4407	395,02
3	466,81	302,2623	549,8049	439,62
4	435,23	285,1673	559,0695	426,49

Fonte: Autora, 2019.

Quanto maiores as diferenças de altitude entre as cabeceiras e a seção de desembocadura de um curso de água, mais intenso será o regime dos escoamentos das águas de chuva e maior o risco da formação rápida de hidrogramas de enchente de curta duração. Nesse contexto, o canal que apresenta menor valor para esse tempo, possui o quadro mais crítico para a rede de drenagem e, por essa razão, foi considerado como principal (Figura 14).

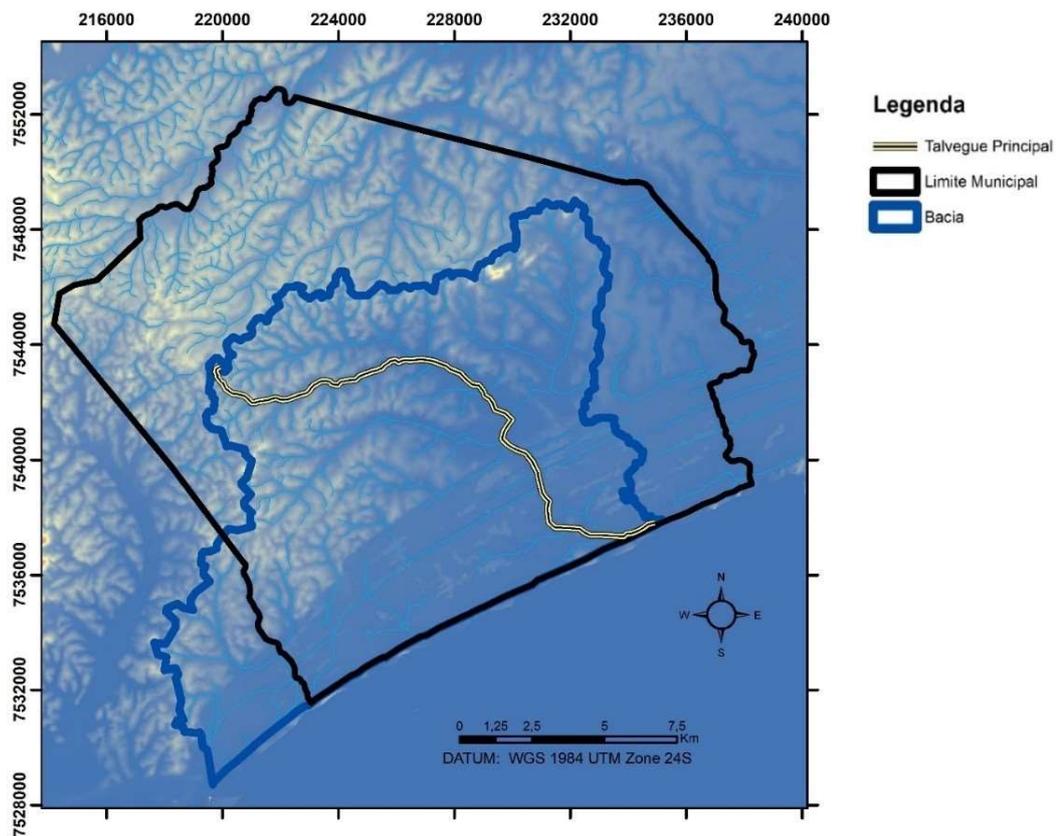


Figura 14- Representação do canal principal da bacia.
 Fonte: Autora, 2019.

Esse é canal o mais extenso e, também, é o que possui maior diferença de cota entre nascente e foz. Vale salientar que o tempo de concentração (t_c) é um importante indicador das características do escoamento de uma chuva numa bacia, porém sua determinação não implica na análise do uso do solo, vegetação, umidade, ação antrópica, assim como outros fatores que influenciam essa grandeza.

Na Tabela 12 estão apresentados os parâmetros lineares, areais e hipsométricos para a microbacia da Lagoa de Carapebus.

Tabela 12 - Parâmetros lineares, areais e hipsométricos para a microbacia da Lagoa de Carapebus.

Microbacia da Lagoa de Carapebus	Área da bacia - A (Km ²)	183,24
	Perímetro da bacia - P (Km)	79,2
	Comprimento total dos canais da bacia - Lt (Km)	268,84
	Comprimento do canal principal - Lcp (Km)	20,7
	Cota da foz - Cf (m)	3
	Cota do topo - Ct (m)	57
	Altura do canal principal - Hcp (m)	54
	Gradiente do canal principal - Gcp (m/Km)	2,61
	Coefficiente de Compacidade - Kc	1,64
	Densidade hidrográfica - Dh (rios/Km ²)	0,77
	Densidade de drenagem - Dd (Km/Km ²)	1,47
	Coefficiente de Manutenção (m ² /m)	681,6
	Índice de Sinuosidade - Is	1,3
	Fator Forma - Kf	0,43
	Índice de Circularidade - Ic	0,37
	Declividade - S (m/m)	0,0026
Declividade - S (%)	0,2608	

Fonte: Autora, 2019.

A partir dos dados encontrados para os parâmetros, é possível fazer uma inspeção morfométrica da microbacia. No que diz respeito ao gradiente do canal principal (Gcp), quanto maiores seus valores, maiores serão as velocidades de escoamento - o que demanda uma maior necessidade de dispositivos de drenagem na bacia. Para a bacia em questão, o valor do gradiente é considerado baixo (2,61).

Em relação ao coeficiente de compacidade (kc), a microbacia apresenta formato alongado que, associado ao fator forma, indicam que, em condições normais de precipitação, ela é pouco suscetível a enchentes. Isso é comprovado pelo resultado do índice de circularidade (0,37) pois, quanto mais afastado seu valor da unidade (1), menos acentuada será a tendência para enchentes.

A densidade hidrográfica (Dh) expressa a grandeza da rede hidrográfica da bacia, indicando a capacidade de gerar novos cursos d'água (CHRISTOFOLETTI, 1969). A microbacia da Lagoa de Carapebus registra densidade hidrográfica baixa, com menos de 5 rios/km².

Segundo Christofolletti (1969), valores elevados de densidade de drenagem (Dd) indicam áreas com pouca infiltração e melhor estruturação dos canais. A densidade de drenagem é indicador de uma boa eficiência da drenagem natural da bacia, e assim, um índice da tendência para ocorrência de cheias na bacia. Além disso, ela é um fator importante para indicar o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia (TONELLO et al., 2006). O valor da densidade de drenagem apresentado (1,47 km/km²) é considerado médio, o que implica numa bacia com sistema de drenagem razoavelmente desenvolvido.

A densidade de drenagem se relaciona também, com os processos climáticos atuantes na área de estudo, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material detrítico ou indicam o grau de manipulação antrópica. Em outras palavras, para um mesmo tipo de clima, a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico dos solos e rochas. Assim, nos mais impermeáveis, as condições para ocorrer escoamento superficial são melhores, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem. O contrário acontece com rochas de granulometria grossa (HORTON, 1945).

Outro importante parâmetro da qualidade da rede de drenagem de uma bacia é o coeficiente de manutenção (Cm), que fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (SCHUMM, 1956). Esse dado permite representar qual seria a área necessária para a manutenção de um metro de curso fluvial perene. Os resultados obtidos indicam que são necessários 681,6 m² de área para manter perene cada metro do canal.

A declividade da bacia influencia na velocidade de escoamento da água sobre o solo e afeta a capacidade de armazenamento, portanto, é importante em estudos relacionados à erosão. Quanto maior a declividade da bacia, associada à ausência de cobertura vegetal, ao tipo de solo, à intensidade de chuvas, entre outros fatores, menor será a capacidade de armazenamento superficial, o que amplia a susceptibilidade a enchentes, sujeitando a bacia à degradação. Assim, quanto maior a declividade, maior a chance de ocorrências de erosões no solo (PRUSKI, 2006). Como a declividade do canal principal não chega a nem 1%, implica numa sub-bacia com baixa velocidade de escoamento superficial e maior tempo de concentração, o que favorece, também, o aumento da capacidade de infiltração da água no solo.

4.4 Alternativas de Intervenção Propostas

Com base nos resultados, algumas propostas de intervenção foram sugeridas para que haja diminuição da frequência de abertura de barra da Lagoa de Carapebus. Para isso, são colocadas propostas de gestão e apresentação de dispositivos que auxiliem na tomada de decisão pelos responsáveis.

4.4.1 Propostas de Medidas de Gestão

Apesar de grande parte dos impactos apresentados nesse trabalho terem sido apontados no Plano Emergencial de Abertura de Barras (2013), é necessária sua revisão, para que considere outros fatores importantes para a tomada de decisão, como, por exemplo, uma avaliação de todos os usos da lagoa, apresentando uma resolução de conflitos adequada, através de uma gestão unificada e sustentável, incluindo obras de remediação, redirecionamento de atividades, quando apropriado, além de estudos científicos que acompanhem suas ações para o desenvolvimento futuro ao longo da zona costeira.

Uma série de projetos de pesquisa importantes nos últimos anos forneceram um conhecimento inestimável sobre os processos físicos, químicos e biológicos de estuários, ainda que os arranjos existentes direcionados aos estuários australianos incorporem políticas de gestão, programas de trabalho e integração limitada da ciência a longo prazo (SMITH *et al.*, 2001).

Seguindo o modelo de gestão de estuários conduzido pelo governo do estado de Nova Gales do Sul, um Programa de Gestão do Estuário poderia ser incorporado no Brasil. Como dito anteriormente, o programa é iniciado através da formação de um Comitê de Gestão de Estuário, com representação das partes interessadas, com o papel de coordenar e supervisionar a preparação de estudos científicos e estratégicos que identifiquem questões de gestão pertinentes para a definição de estratégias de gestão a longo prazo (HAINES, 2006).

Este Programa na Austrália é coordenado pela seção de estuários do Departamento de Recursos Naturais (*Department of Natural Resources - DNR*), implementado em cooperação com o governo e a comunidade, com sua estrutura definida no Manual de Gestão do Estuário (*Estuary Management Manual*) (NSW GOVERNMENT, 1992). Esse manual estabelece um estudo de gestão do estuário para identificar as características essenciais e seus usos atuais, apresentando um conjunto de metas e objetivos de longo prazo para a gestão futura do estuário,

traçando alternativas para atender os objetivos e avalia essas opções para eficácia. A partir das conclusões, é preparado um Plano de Gestão do Estuário (HAINES, 2006).

Esse plano é um instrumento mais completo que um Plano Emergencial, oferecendo soluções para problemas específicos de gestão por meio de um cronograma de atividades personalizadas, atuando de forma integrada no ecossistema. Outro ponto importante referente à gestão é a necessidade de uma base científica, desenvolvida e aprovada pela gama de partes interessadas, estabelecendo prioridades de ação, pesquisa e estudo de financiamento, servindo como um modelo para orientar futuras decisões e atividades relacionadas com a lagoa.

O fato da Lagoa de Carapebus estar incluída parcialmente dentro do PARNA de Jurubatiba, revela que qualquer ação de gestão deve ser apoiada na cooperação entre a Prefeitura Municipal de Carapebus e a respectiva Unidade de Conservação. Apesar das ações propostas no Plano Emergencial de Abertura de Barras terem englobado parte do que foi apresentado nesse trabalho, os órgãos responsáveis não têm conseguido garantir as condições mínimas necessárias para a conservação deste ecossistema. Parte dos itens apontados não é colocado em prática no processo de abertura de barra e a falta de fiscalização, por parte das instituições relacionadas à sua proteção, é bastante deficiente, o que faz com que as aberturas de barra das lagoas costeiras do município ocorram sem autorização dos órgãos responsáveis..

4.4.2 Dispositivo Extravasor

Os dispositivos que têm a função de regular o nível da água em épocas de chuvas intensas devem ser destacados para que a frequência de abertura da barra diminua. Nesse contexto, os chamados “canais extravasores” são instrumentos hidráulicos que tem a função de escoar as águas excedentes em eventos extremos, diminuindo os níveis d’água em rios, cursos de água, represas, barragens e reservatórios. O dispositivo é utilizado para medir vazão em cursos d’água naturais e em canais construídos para dar escoamento ao excesso de água durante e após a ocorrência de chuvas.

Esses dispositivos são bastante comuns no Brasil. Inaugurado em agosto de 2011, o “canal extravasor” implantado no município de Macaé/RJ na Lagoa de Imboassica é fruto de uma parceria entre governo municipal, a Secretaria de Estado de Ambiente e do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), com custo de R\$ 1 milhão e 300 mil ao governo do estado. Esse mecanismo conta com um vertedouro, que em situações de cheias extraordinárias, disponibiliza tempo de resposta para abrir a barra principal. Dessa forma, a frequência de aberturas da barra principal cai drasticamente, evitando o problema ambiental decorrente.

A função principal desse dispositivo é evitar que áreas do entorno sofram com os alagamentos e a necessidade de realizar a abertura de barra toda vez que o nível ultrapassar o limite da lagoa. As obras foram realizadas em aproximadamente 120 dias e proporcionarão um monitoramento ideal do nível da Lagoa. Esse canal tem a função de proporcionar livre fluxo excedente da água que entra na lagoa, impondo assim, um volume adequado permanente, evitando a abertura espontânea da barra, contribuindo para a preservação e conservação de todo ecossistema do local.

Outro exemplo, é de uma das lagoas costeiras mais conhecidas no Brasil, a Lagoa Rodrigo de Freitas. Por ser um corpo d'água densamente urbanizado, vem sofrendo uma série de modificações na sua morfologia e na qualidade da sua água, por extravasamento de esgoto, enchentes, afluição de rios poluídos, entre outros. Entre as obras de intervenção de engenharia hidráulica, está a do Canal do Jardim de Alah, realizada em 1922. Com 800 m de comprimento e entre 10 e 18 metros de largura, o canal faz a única ligação permanente da lagoa com o mar, caracterizando uma lagoa sufocada, renovando as águas e amenizando os problemas apresentados.

A operação desse canal ocorre tanto para promover a entrada de água do mar na lagoa quanto para controlar artificialmente seu nível de água. A foz desse canal é sistematicamente obstruída por areias transportadas pelas ações das vagas e correntes a elas associadas, assim como pela ação dos ventos, razão pela qual necessita ser permanentemente dragada servindo este processo para permitir a circulação de suas águas entre os ambientes lagunar e marinho (ALVES *et al.*, 1998). Além disso, a lagoa conta com um Plano de Gestão Ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas (PGALRF) que tem a finalidade de implementar ações e estratégias de cunho ambiental, de forma a garantir uma gestão sustentável.

Na cidade Presidente Getúlio, em Santa Catarina, foi construído um canal que faz um desvio do excedente da cota limite do rio Krauel. Apesar de não ter sido implantado em uma lagoa costeira, esse desvio promete reduzir 80 centímetros do volume de água na região central de Presidente Getúlio, o que significa redução em até 30% do volume em épocas chuvosas. A obra que durou 8 meses e foi inaugurada em 2014, apresenta um canal de 25 m de largura e 290 m de comprimento, com custo aproximado de R\$ 400.000,00 (quatrocentos mil reais).

Um estudo de viabilidade de um dispositivo extravasador, com análise do tipo que melhor se adequa às condições da Lagoa de Carapebus deve ser feita.

4.4.3 *Redes de Sensores de Nível*

Sensores de nível não são solução definitiva para os problemas supracitados. Apesar disso, realizar o monitoramento constante do nível de água dos elementos que compõe a bacia hidrográfica, pode ser uma forma imediata, de baixo custo, para atenuar os problemas decorrentes das enchentes na Lagoa de Carapebus. Nesse contexto, uma alternativa são as Redes de Sensores sem Fio (Wireless Sensor Networks), que são ferramentas capazes de realizar monitoramento de grandezas do mundo físico (AKYILDIZ *et al.*, 2002; YICK *et al.*, 2008).

Redes de Sensores sem Fio (RSSF) são estruturas formadas por diminutos nós com capacidade de processamento, armazenamento, comunicação e sensoriamento, que permitem aos seus usuários interagirem e observarem, com grande nível de detalhe e precisão, os mais variados ambientes, domínios e objetos de interesse. As suas características de baixo custo, pequena dimensão, flexibilidade e facilidade de implantação dão a essas redes um potencial enorme de aplicação em diversas áreas, permitindo que elas se apresentem como componentes importantes de soluções de monitoramento e controle em vários cenários de aplicação (LOUREIRO *et al.*, 2003).

Algumas aplicações ambientais das redes de sensores incluem a acompanhar os movimentos de aves, pequenos animais e insetos; monitoramento das condições ambientais que afetam a agricultura e pecuária; irrigação; macroinstrumentação para a Terra em grande escala e monitoramento e exploração planetária; detecção química/biológica; agricultura de precisão; monitoramento ambiental dos oceanos, solo, e contextos atmosféricas; detecção e prevenção de incêndios florestais; pesquisa meteorologia ou de geofísica; detecção de inundações; mapeamento bio-complexidade do meio Ambiente; e estudo da poluição (BONNET *et al.*, 2000; CERPA *et al.*, 2001; JOHNSON, 2001; CORKE *et al.*, 2010).

4.4.4 *Sistemas de Monitoramento e Alerta*

Para Kobiyama *et al.*, (2006), os sistemas de monitoramento e alerta em tempo real são fundamentais para prevenção e mitigação dos desastres naturais. Dessa forma, em áreas de risco, onde a atividade humana já está consolidada, os sistemas de alerta são importantes ferramentas de auxílio para a redução de danos e prejuízo.

Na literatura da área, existem vários trabalhos que descrevem infraestruturas para monitoramento de rios. Uma estratégia é a adoção de sistemas de alerta que, com ação da

tecnologia e o desenvolvimento de sistemas cada vez mais sofisticados, permitem sistemas de alarme-resposta em tempo real para casos de inundações. Um exemplo de um sistema de detecção de inundação é o sistema ALERT implantado nos EUA. Vários tipos de sensores implantados no sistema ALERT são a precipitação, nível de água e sensores meteorológicos. Estes sensores fornecem informações para o sistema de base de dados centralizada (MAROTTO, 2016).

No Brasil, o Vale do Rio Taquari, no Rio Grande do Sul, conta com o Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes (SPAEE), região com frequente ocorrência de enchentes que afetam diretamente a população, já que esta ocupa a planície de inundação do rio. O Sistema proposto é dotado de cinco fases: 1) monitoramento pluviométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas; 2) monitoramento hidrológico que acompanha o nível da água do rio; 3) previsão hidrológica que realiza a projeção do nível da água; 4) mapeamento das áreas inundáveis; e 5) sistema de informação e gestão pública que aciona os Conselhos Municipais de Defesa Civil (FERREIRA *et al.*, 2007).

De acordo com Oliveira *et al.*, (2012), o contínuo aperfeiçoamento destes sistemas, constitui-se numa importante ferramenta para tomada de decisão dos órgãos públicos responsáveis para remoção, deslocamento e posterior realocação das comunidades ribeirinhas, facilitando-se a convivência do homem com este evento extremo.

4.4.5 Estação Elevatória de Bombeamento

Uma outra alternativa consiste na operação estratégica de estações elevatórias de bombeamento para o período de alta pluviosidade. As estações de bombeamento de águas pluviais levam grandes volumes de água em baixa altitude para receber as águas da superfície, tendo sido por muito tempo parte da gestão de inundações, elas estão cada vez mais envolvidas em estratégias de adaptação às alterações climáticas para cidades costeiras a baixas altitudes.

No município de Vitória, foi bombeado 3,1 bilhões de litros de água entre os dias 18 e 23 de dezembro de 2013, período em que choveu 700 milímetros na Capital. A prefeitura explica que se essa quantidade de água ficasse represada, haveria uma lâmina d'água de 10,7 centímetros em lotes e vias públicas mais vulneráveis a inundações na cidade. Foram utilizadas

quatro estações de bombeamentos, previstas no Plano Diretor de Drenagem Urbana, que apontou a necessidade do mecanismo para a cidade⁵.

⁵<https://www.seculodiario.com.br/cidades/estacoes-de-bombeamento-retiram-3-1-bilhoes-de-litros-de-agua-da-chuva-das-ruas-de-vitoria>

5 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo avaliar e propor estratégias de gestão que auxiliem a tomada de decisão quanto à abertura de barras de lagoas costeiras, tendo como estudo de caso a Lagoa de Carapebus, localizada no município de mesmo nome, estado do Rio de Janeiro. A partir de um diagnóstico dos dados de chuva, não somente da bacia onde a lagoa está inserida, mas também de bacias contribuintes, foi possível relacionar tais dados com os eventos registrados de aberturas de barras. A análise morfométrica da bacia em estudo permitiu caracterizar fatores físicos importantes e avaliar, juntamente com outros parâmetros, a dinâmica apresentada na Lagoa de Carapebus.

O processo de coleta de dados para o diagnóstico, além de encontrar referências que abordassem o tema, foram as grandes dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho. Dessa maneira, é de suma importância a estruturação de dados das partes envolvidas, como por exemplo, o levantamento do nível da lagoa, dado essencial na tomada de decisões e um histórico oficial de eventos de aberturas da barra.

Quanto aos resultados da abertura de barra, os trabalhos referenciados colocaram que uma eventual abertura artificial provavelmente não terá um impacto ambiental significativo, uma vez que se enquadra numa variação natural esperada. No entanto, a longo prazo, várias aberturas artificiais, como ocorrem na Lagoa de Carapebus, especialmente em um nível de água baixo, causam impactos ambientais dos mais variados, uma vez que a frequência natural e a duração da abertura e do fechamento da barra para o oceano serão significativamente alteradas. A longo prazo, aberturas frequentes levarão a mudanças na estrutura e distribuição das comunidades envolvidas com essa lagoa.

Os objetivos principais das aberturas de barra na Lagoa de Carapebus são a renovação da água da lagoa, a entrada de peixes para os pescadores artesanais e a redução do nível da água durante períodos de chuvas intensas. Dentre eles, apenas o que se relaciona com as inundações ocorridas no Balneário Praia de Carapebus representa uma abertura de barra emergencial, porém, é o fator que mais impulsiona o rompimento da barra, tornando as aberturas frequentes. Diante disso, a condução das propostas de gestão e intervenção deve ser direcionada a essa problemática.

Por outro lado, não se pode deixar de mencionar outros fatores que agravam a situação da Lagoa de Carapebus e influenciam na quantidade de aberturas que ela sofre, como o fato do Balneário Praia de Carapebus não ter uma rede de drenagem adequada e possuir lençol freático

aflorante, o que intensifica as inundações nesse bairro em épocas de alta pluviosidade. Além disso, há pontos de lançamento de esgotos diretamente na Lagoa de Carapebus, sem o efetivo tratamento, acentuando a degradação desse ecossistema tão rico e essencial para a cidade, causando eutrofização da água e mortandade dos peixes. Além disso, construções indevidas no bairro e às margens desse corpo hídrico, tornam maior a pressão para abertura da barra, sendo necessárias ações que contenham o avanço ilegal das construções na região.

Por ter parte do seu corpo hídrico incluído numa Unidade Conservação, o ideal era que o modelo de gestão fosse bem elaborado e sustentável para a região, e que servisse de referência para a conservação de outras lagoas ao longo da costa brasileira. Uma ação deve ser tomada, urgentemente, associada a parcerias com instituições de ensino, Prefeitura de Carapebus e o PARNA da Restinga de Jurubatiba, para que esse novo modelo priorize o uso sustentável dos recursos estuarinos, incluindo os interesses comerciais e recreativos.

Apesar da gestão eficaz a longo prazo ser comprometida pela falta de conhecimento das ciências sociais a respeito dos estuários e do papel que eles desempenham nas comunidades, é importante mencionar que mesmo com a diversidade de interesses, além da dificuldade de alcançar um consenso, deve ser incentivada a participação das comunidades locais nas reuniões e decisões. Com esse tipo de iniciativa, o interesse pelo tema se torna mais popular e programas de conscientização tem melhor desempenho.

Os resultados da avaliação conjunta dos dados apresentados poderão ser levados em consideração ao construir novos modelos de gestão que justifiquem as intervenções feitas no processo de abertura, para a criação de um plano de gestão mais sustentável, com maior qualidade de informações sobre o tema, com engajamento dos poderes públicos responsáveis e da população, priorizando o pensamento holístico sem comprometer a sustentabilidade dos recursos e valores existentes proporcionados pelas lagoas costeiras.

5.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, são importantes estudos que façam um levantamento dos dados necessários para criação de um modelo hidrológico ou hidrodinâmico, para que alternativas, tanto na modelagem como de forma tecno-econômica, sejam avaliadas.

Pesquisas que estudem de forma mais detalhada as alternativas de intervenção propostas, a partir de cálculos e de modelagem matemática da bacia em questão também podem ser destacadas. Ademais, análises orçamentárias dessas alternativas poderão ser quantificadas para facilitar a avaliação, e assim, implantação pela Prefeitura Municipal de Carapebus.

A contribuição do Canal Campos-Macaé para o rompimento da barra da Lagoa de Carapebus também requer um estudo mais detalhado, podendo ser levantadas outras alternativas que amenizem a frequência de aberturas da barra.

A partir das informações aqui trazidas, podem ser levantados casos de outras lagoas costeiras no território brasileiro, que apresentem aberturas de suas barras, avaliando e orientando a gestão desses ecossistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIARO, T. & CARAMASCHI, E. P. Ichthyofauna composition of three coastal lagoons in the north of the state of Rio de Janeiro (Brazil). *Arq. BioL Tecnol.*, 1995. 38 (4): 1181-1189.

AKYILDIZ, I. F., SU, W., SANKARASUBRAMANIAM, Y., & CAYIRCI, E. Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, 38(4), 2002, 393-422.

ALVES, D.T.M.; ARGENTO, M.S.F.; CRUZ, C.B.M. & ZEE, D. 1998. Qualidade Ambiental da Lâmina D'água da Lagoa Rodrigo de Freitas – RJ: Subsídios aos Estudos de Impactos Ambientais em Lagoas Costeiras. Pp. 79-88. In: Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos, SP, Brasil.

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emília. Obras e Gestão de Portos e Costas: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.

ATTAYDE, J. L.; BOZELLI, R. L. Assessing the indicator properties of zooplankton assemblages to disturbance gradients by canonical correspondence analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 1798-1797. 1998.

ATTAYDE, J. L.; BOZELLI, R. L. Environmental heterogeneity patterns and predictive models of chlorophyll a in a Brazilian coastal lagoon. *Hydrobiologia* [S.I], v.390, 1999, p. 129-193.

BARNES, R.S.K., Coastal Lagoons. The Natural History of a Neglected Habitat. Cambridge University Press, Cambridge, 1980, 106 pp.

BARROSO, V. L., MEDINA, R. S., MOREIRA-TURQ, P. F., BERNARDES, C. M. Aspectos ambientais e atividades de pesca em lagoas costeiras fluminenses. *Série Meio Ambiente em Debates*, 31. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Diretoria de Gestão Estratégica – Brasília. Ed. Ibama, 2000, 50p.

BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

BIRD, E.C.F. (1994) “Physical setting and geomorphology of coastal lagoons” In: B. Kjerfve, ed. Coastal lagoon processes Amsterdam: Elsevier, 9-39.

BONNET, P.; GEHRKE, J.; SESHADRI, P. Querying the physical world. IEEE Personal Communications, v. 7, n. 5, p. 10–15, 2000.

BRANCO, C. W. C. Comunidades Zooplancônicas e Aspectos Limnológicos de Três Lagoas Costeiras da Região Norte Fluminense (Macaé, RJ). Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro – IBCCF, Rio de Janeiro, 277p.1998.

BRASIL. Lei nº 9.885, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal e Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19. Jul. 2000.

BRASIL. Resolução CERHI-RJ nº 18, de 08 de novembro de 2006. Aprova a definição das regiões hidrográficas do estado do rio de janeiro. CERHI. 2006.

BREEN, C.M., MCKENZIE, M. (eds.) (2001) “Managing estuaries in South Africa: An introduction” Institute of Natural Resources, University of Natal, Pietermaritzburg.

BOESCH, D. F. (2002). “Summary of Climate Change Assessments: Implications for Estuarine Biocomplexity”, Working Paper - Biocomplexity in responses of Estuarine Ecosystems to Climate Variability and Change: Planning for Science in the 21st Century, University of Maryland Center for Environmental Science, Estuarine Research Federation.

CANALI, N. E. Análise Morfométrica da Bacia do Rio Açungui – PR. Curitiba-PR, 1986. Tese (Professor Titular), UFPR.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CERPA, A. et al. Habitat monitoring: application driver for wireless communications technology. *SIGCOMM LA '01: Workshop on Data communication in Latin America and the Caribbean*, p. 20–41, 2001.

CORIOLOANO. L. N. Do local ao global – o turismo litorâneo cearense. Campinas: Papirus, 1996.

CORKE, P. et al. Environmental wireless sensor networks. *Proceedings of the IEEE*, v. 98, n. 11, p. 1903–1917, 2010.

COSTA, A. C.; Participação dos usuários na alocação da água dos reservatórios no Ceará: Os casos do Jaguaribe e Banabuiú em 2002. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João CAMPOS, J. N. B. Pessoa. PB, 2005.

COOKE, R. U. & DOORKAMP, J.C. – “Geomorphology in Environmental Management: a New Introduction – 1992 “Modern Physical Geography” John, Willey & Sons ed., New York, 4ª ed., 638p.

COZZOLINO, L.F.F. Unidades de Conservação e os processos de Governança Local: o caso da APA do Sana. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 156p.2005.

DEFESA CIVIL SANTA CATARINA. Defesa Civil vistoria Canal Extravasar, em Presidente Getúlio. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/noticias/milton-hobus-vistoria-canal-extravasar-em-presidente-getulio/>. Acesso em 27 out. 2020.

DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES. Disponível em: <https://www.dpi.nsw.gov.au/>. Acesso em 30 set. 2020.

DIÁRIO DE SOROCABA. Município tenta evitar enchentes de verão na Marginal. Disponível em: <<https://www.diariodesorocaba.com.br/noticia/256281>>. Acesso em 10 de nov. 2020

ELWANY, M. H. S., FLICK, R. E., HAMILTON, M. M. (2003). “Effect of a small southern Californian lagoon entrance on adjacent beaches” *Estuaries* Vol 26:3 June 2003, pp. 700- 708.

ENVIRONMENT PROTECTION AUTHORITY (NSW EPA). New South Wales State of the Environment 2000: Biodiversity Backgrounder. Environment Protection Authority, Sydney, 51 pp.2000.

ESTEVES, F.A.; CALIMAN, A.; Santangelo, J.M.; Guariento, R.D.; Farjalla, V.F.; Bozelli, R.L. Neotropical coastal lagoons: An appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. *Brazilian Journal of Biology*, 2008, 68: 967-981.

ESTEVES, F. A. Fundamentos da Limnologia. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 602p.

ESTEVES, F. 1998b. Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional de Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé - RJ. Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia - UFRJ. Rio de Janeiro, 1998.

ESTEVES, F.A. Fundamentos da limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciências, 2011, 826 p.

ESTEVES, 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.

FAIRBRIDGE, R.W. (1980) “The estuary, its definition and geodynamic cycle” in Olausson, E. and Cato, I (eds.) *Chemistry and biogeochemistry of estuaries*, Wiley, New York, 1-35

FARJALLA, V. F.; AMADO, A. M.; SUHETT, A. L.; MEIRELLES-PEREIRA, F. DOC removal paradigms in highly humic aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research International* 16: 531-537. 2009.

FERNANDEZ, M. A. D. S. Geoquímica de metais pesados na Região dos Lagos, RJ: Uma proposta de estudo integrado. Niterói, 1994. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 1994.

FERREIRA, E. R.; ECHKARDT, R. R.; HAETINGER, C.; BOTH, G.; SILVA, J. F. E.; DIEDRICH, V. L.; AZAMBUJA, J. L. F. Sistema de Previsão de Alerta de Enchentes da Região do Vale do Taquari - RS - Brasil. In: II Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos, 2007, Santos. Anais II Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos, 2007.

FLANNERY, T. (2005). “The weather makers: The history and future impact of climate change”, Text publishing, Melbourne.

FONSECA, Paulo Luiz da; SANTORO, Ana Lúcia. Atualização do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas (PGALRF). 2. ed. Rio de Janeiro: Prefeitura do Rio de Janeiro, 2013. 51 p

FRIEDRICHS, C. T.; MADSEN, O. S. Nonlinear Diffusion of the Tidal Signal in Frictionally Dominated Embayments. *Journal of Geophysical Research*, v: 97, p. 5637-5650. 1992.

FRONEMAN, P.W., Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60, 2004, p. 125-132.

FROTA, L. O.; CARAMASCHI, E. P. Aberturas artificiais da Barra da Lagoa de Imboassica e seus efeitos sobre a fauna de peixes. In: ESTEVES, F. A. (ed). *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. Macaé: NUPEM/UFRJ, 1998, p. 327-350.

G1. Cabo Frio e Arraial do Cabo entram com ações contra Carapebus por conta de plantas que sujam praias. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2019/12/27/cabo-frio-e-arraial-do-cabo-entram-com-acoes-contracarapebus-por-conta-de-plantas-que-sujam-praias.ghtml>. Acesso em: 27set. 2020.

GODIN G. Frictional effects in river tides. In: PARKER B. B. (Ed.). Tidal hydrodynamics. New York, John Wiley & Sons, pp. 379-401. 1991.

GORDON, A. D. (1990) "Coastal lagoon entrance dynamics" Coastal Engineering – 1990, pp.2880-2893.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 472.

HAINES, P. E. Physical and chemical behaviour and management of Intermittently Closed and Open Lakes and Lagoons (ICOLLs) in NSW. 2006. 516 f. Tese (Doutorado) - Curso de Philosophy, School of Environmental and Applied Science, NSW.

HANSLOW, D. J., DAVIS, G. A., YOU, B. Z., ZASTAWNY, J. (2000). "Berm height at coastal lagoon entrances in NSW" Proc. 10th ann. NSW coast. conf., Yamba.

HARRIS, G. P. (2001) "Biogeochemistry of nitrogen and phosphorus in Australian catchments, rivers and estuaries: effects of land use and flow regulation and comparisons with global patterns" Mar. Freshwater Res., 2001, 52, pp. 139-149.

HEALTHY RIVERS COMMISSION (2001), "Coastal Lakes Inquiry: Classification System and Classifications – Draft Working Paper", Sydney.

HENNESSY, K., Page, C., McKinnes, K., Jones, R., Bathols, J., Collins, D., Jones, D. (2004) "Climate change in New South Wales: Part 1 – Past climate variability and projected changes in average climate" CSIRO consultancy report for the NSW Greenhouse Office, Aspendale, Victoria, July.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

HUGHES, L. (2003) “Climate change in Australia: Trends, projections and impacts” *Austral Ecology* 28 (4) 423-443.

HURRELL G. L. & WEBB S. N. (1993). “Management of Coastal Lagoon Entrances” *Proc 3rd Annual NSW Coastal Management Conference, Port Macquarie*.

ICMBIO. Plano de Manejo do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. Brasília, 2007. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2260-parna-da-restinga-de-jurubatiba?highlight=WyJqdXJlYmF0aWJhIl0=>>>. Acesso em: 05/08/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sinopse do Censo Demográfico. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/>>. Acesso em: 20/04/2020.

IPCC, 2014. Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea e L.L. White (eds.)]. Organização Meteorológica Mundial (WMO), Genebra, Suíça, 34 pag. (em Árabe, Chinês, Inglês, Francês, Russo e Espanhol).

JOHNSON, W. With Glacier Park in Its Path, Fire Spreads to. 2001. 15–16 p.

KJERFVE, B. Coastal lagoon processes. In: KJERFVE, B. (Ed.). *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Oceanography Series, v. 60, Amsterdam, 1994, p. 1-8.

KJERFVE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: WOLFE, D.A. *Estuarine variability*. New York: Academic Press, 1986, 63 – 81 p.

KNOOPERS, B. Aquatic primary production in coastal lagoons. In: KJERFVE, B., (Ed.), *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier, Amsterdam, 1994, pp. 243-286.

KNOPPERS, B., BIDONE, E.D.; ABRÃO, J.J. (Eds.). Environmental Geochemistry of coastal lagoon systems, Rio de Janeiro, Brasil. Niterói: UFF – Programa de Geoquímica Ambiental, 1999, p.123-154.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M.; Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 109p. p 30-47

LAMEGO, A. P. Ciclo Evolutivo das Lagunas Fluminenses. DNPM, Rio de Janeiro. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia. Nº 118,1945.48p.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P.T.A. Análise Morfométrica da Bacia do Rio do Tanque, MG-BRASIL. REM. Ouro Preto-MG, 2001, Vol 54(2), p. 121-126.

LEAL, J. P. Estudo Geoambiental e evolução Paleogeográfica da lagoa olho d’água. Jaboatão dos Guararapes. Dissertação (Mestrado em Geociências) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco UFPE.2002.

LEMA, M.L.C. Biogeoquímico do C, N, P; hidrodinâmica de particulados e evolução da eutrofização na região costeira de Niterói, RJ. 225 f, Tese (doutorado em Biologia Marinha), Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói.2012.

LIMA, V.S. Variação espaço-temporal do espelho d’água da Lagoa Feia, RJ. 114 f, Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.2014.

LORD, D. &GIBBS, J. (2004). “The day after tomorrow – the reality of climate change for coastal NSW” Proc. 13th ann. NSW coast. conf., Lake Macquarie, 9 – 12 Nov. 2004, pp 187-197.

LORD, D., GIBBS, J., MCLUCKIE, D. (2005) “A year after the day after tomorrow – the application of climate change to coastal zone management in NSW” Proc. 14th ann. NSW coast. conf., Narooma, 8 – 11 Nov. 2005.

LOUREIRO, A. A. et al. Redes de sensores sem fio. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC). Anais, 2003.

LUGG, A. (1996) “Artificial Opening of Intermittently-Opening Estuarine Lagoons” Proc. 6 th Annual NSW Coastal Management Conference, Ulladulla.

MAROTTO, R. Alert Users Group. 2016. Disponível em:<<https://www.alertsystems.org/>>. Acesso em 29 set. 2020.

MATOS, A. T. de; SILVA, D. D. da; Pruski, F. F. Barragens de terra de pequeno porte. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 124p.

MELO, S. de & SUZUKI, M.S. Variações temporais e espaciais do fitoplâncton das lagoas Imboassica, Cabiúnas e Comprida. In: ESTEVES, F.A (Ed.), Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ).1998.

MENDONÇA, F. Diagnóstico e Análise Ambiental de Microbacia Hidrográfica – Proposição metodológica na perspectiva do zoneamento, planejamento e gestão ambiental. RA’EGA- O espaço geográfico em análise, Curitiba: Departamento de Geografia/ Ed. UFPR, n.3, ano III, 1999, p 67-89.

MIDDLETON, M. J., WILLIAMS, R. J. and POLLARD, D. A. (Eds.) (1985) Estuarine habitat management guidelines. Fisheries Research Institute, NSW Agriculture and Fisheries.

MIRANDA, L. B. de; CASTRO, B. M. de; KJERFVE, Björn. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. 2. ed. 1: EDUSP, 2012.

MMA. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos/por: Conservation International do Brasil, Fundação SOS Mata Atlântica, Fundação Biodiversitas, Instituto de Pesquisas Ecológicas, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, SEMAD/Instituto Estadual de Florestas-MG, 2000. Brasília: MMA/SBF, 40p.

MONTEIRO, J. D. O.; E TEIXEIRA, S. O Canal Campos - Macaé e sua importância como patrimônio hidráulico na região Norte Fluminense: uma análise sobre sua construção e viabilidade turística nos dias atuais (Brasil). En: *Boletín de Antropología*. Universidad de Antioquia, Medellín, vol. 31, N° 52, 2016, pp. 129-150.

MORAES, A. C. R. Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. São Paulo: Hucitec/Edusp, 1999.

MOTA, Suetônio. Preservação e conservação de recursos hídricos. 2. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

NAGHETTINI, M. C. Projeto Rio de Janeiro – Estudos de chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro; Relatório Técnico; Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM, Belo Horizonte – 2000.

NASCIMENTO, A. P. do. Análise dos impactos das atividades antrópicas em lagoas costeiras – Estudo de caso da Lagoa Grande em Paracuru – CE. Dissertação. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza– CE, 2010.

NSW GOVERNMENT, 1992. “Estuary Management Manual”, draft October 1992, Sydney.

OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A; SALDANHA, D. L. Modelos de Previsão e Espacialização das Áreas Inundáveis em Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 13, n. 4, p. 355-378, 2012.

OLIVEIRA, M. M.; EBECKEN, N. F.; SANTOS, I. A.; NEVES, C. F.; CALOBA, L. P.; OLIVEIRA, J. L. F. Modelagem da maré meteorológica utilizando redes neurais artificiais:

Uma aplicação para a Baía de Paranaguá – PR, Parte I: dados meteorológicos da estação de superfície. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21, 2, 220-231 p., 2006

OLIVEIRA, P. T. S., SOBRINHO, T. A., STEFFEN, J. L., RODRIGUES, D. B. B., Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n.8, p.819-825, 2010.

PANOSSO, R. F.; ATTAYDE, J. L.; MÜEHE, D.; ESTEVES, F. A. Morfometria de quatro lagoas costeiras fluminenses: implicações para seu funcionamento e manejo. In: ESTEVES, F. A (ed.) *Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. Macaé: NUPEM/UFRJ. 1998,p.91-108.

PARKER, B. B. The relative importance of the various nonlinear mechanisms in a wide range of tidal interactions (Review). In: B.B. Parker (ed.). *Tidal hydrodynamics*. John Wiley & Sons, New York, p. 237-268, 1991.

PBMC, 2016: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p.

PEDROZA, P.; REZENDE, C.E. As muitas faces de uma lagoa. *Ciência Hoje*, 26, n 153,1999, pp. 29.029-29.036.

PEIXOTO, L.B.O. Efetividade de Gestão em Unidades de Conservação de Proteção Integral Federal do Norte Fluminense: Uma comparação de metodologias empregadas no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. Dissertação de mestrado. Instituto Federal Fluminense, 2013.

PHLEGER, F.B. Some general features of coastal lagoons. In: A. Ayala-Castaneres (ed.) *Lagunas Costeras*, Universidad Nacional Autónoma de México, 1969, p. 5-26.

PICKERING, M. D. et al. The impact of future sea-level rise on the European Shelf tides. *Continental Shelf Research*, v. 35, p. 1–15, 2012.

ICMBIO. Plano Emergencial de Abertura de Barra: Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. Carapebus, 2013.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE CARAPEBUS. Disponível em: <<https://pmsbcarapebus.wixsite.com/consultapublica/produtos>>. Acesso em: 20/07/2020.

POLLARD, D. A. (1994) “A comparison of fish assemblages and fisheries in intermittently open and permanently open coastal lagoons on the south coast of New South Wales, southeastern Australia” *Estuaries* 17:3, Sept. 1994, pp. 631-646.

PORTO, R. de M. Hidráulica Básica. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP, 4ª Edição – 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAÉ. Lagoa de Imboassica recebe novo canal extravasor. Disponível em: <http://www.macaee.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/lagoa-de-imboassica-recebe-novo-canal-extravasor>. Acesso em: 27 ago. 2020

PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Editora da UFV, 2006. 240p.

RAFAELI NETO, Silvio L. Análises Morfométricas em Bacias Hidrográficas Integradas a um Sistema de Informações Geográficas. 1994.. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 135 p

RANASINGHE, R. and PATTIARATCHI, C. (2003) “The seasonal closure of tidal inlets: causes and effects” *Coastal Engg Jnl*, 45 (4) pp 601 – 627 World Scientific Publishing.

ROPER, A. (1998) “Best practice guidelines for estuary management strategies” Proc. 8th ann. NSW coast. conf., Batemans Bay.

ROSMAN, P.C.C. Proposição de um canal estável para melhoria da qualidade da água na Lagoa Rodrigo de Freitas. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1992.

ROY, P. S. (1984) “NSW Estuaries: Their Origin and Evolution” in Thom ed. (1984) Coastal Geomorphology in Australia, Academic Press, Sydney.

ROY, P.S.; WILLIAMS, R.J.; JONES, A.R.; YASSINI, I.; GIBBS, P.J.; COATES, B.; WEST, R.J.; SCANES, P.R.; HUDSON, J.P.; NICHOL, S., Structure and function of south-east Australian estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53 p. 351-384. 2001.

SAAD, A.M.; BEAUMOND, A.C.; CARAMASCHI, E.P., Effects of artificial canal openings on fish community structure of Imboassica coastal lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Coastal Research* SI36, 2002, p. 634-639.

SANTOS, L. B. Trilhas da política ambiental: conflitos, agendas e criação de Unidades de Conservação. *Ambiente & Sociedade*, Campinas v. 12, n. 1, 2009, p. 133-150.

SANTOS, M.C. Contribuição à Gestão das Lagoas Costeiras: conhecimento tradicional, técnico e científico associado ao manejo dos recursos naturais da Lagoa de Carapebus, Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba- RJ. Dissertação de mestrado – Instituto Federal Fluminense, 2008.

SANTOS, R.F.B, Avaliação da viabilidade de criação de uma Unidade de Conservação na Bacia Hidrográfica da Lagoa Imboassica – Macaé, RJ. Dissertação de mestrado – Instituto Federal Fluminense, 2014.

SÉCULO DIÁRIO. Estações de Bombeamento Retiram 3,1 bilhões de Litros de Água da Chuva das Ruas de Vitória. Disponível em: < <https://www.seculodiario.com.br/cidades/estacoes-de-bombeamento-retiram-3-1-bilhoes-de-litros-de-agua-da-chuva-das-ruas-de-vitoria>>. Acesso em 10 de nov. 2020.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, Colorado, 67:597-646, 1956.

SILVA, E. V. Geologia da paisagem do litoral cearense: uma abordagem ao nível de escala regional e tipológica. Tese (Concurso de professor Titular do Departamento de Geografia). Universidade Federal do Ceará. 1998.

SILVA, I. R.; SILVA, S. B. M. Caracterização geoambiental e de ocupação das praias da costa do dendê, litoral sul do estado da Bahia. Geosul, Florianópolis, v. 22, n. 44, 2007, p 27-46.

SILVA TELLES, P. C. da (1994). História da Engenharia no Brasil. Vol. 1 (Séc. XVI a XIX), Rio de Janeiro.

SMAKHTIN, V. U. (2004) “Simulating the hydrology and mouth conditions of small, temporarily closed/open estuaries” Wetlands, 24: 1, pp. 123-132.

SMITH, T. F., SANT, M., THOM B. (2001) “Australian estuaries: A framework for management” Cooperative Research Centre for Coastal Zone, Estuary and Waterway Management, Indooroopilly.

SOFFIATI, A. Aspectos históricos das lagoas do Norte do Estado do Rio de Janeiro. In: ESTEVES, F. A. Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ). Rio de Janeiro, RJ: NUPEM, 1998, p. 1-35.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion altopography. Geological Society of America Bulletin, v. 63, n. 11, p. 1117- 1142, nov. 1952.

SULLIVAN, S. (2002) “Beyond our coasts – Australia’s Ocean Policy” Proc. Coast to Coast 2002, Aust. nat. coastal conf., Tweed Heads, 4-8 November, pp 451-454.

SUZUKI, M. S. Abertura da barra na lagoa de Grussaí, São João da Barra, RJ: aspectos hidroquímicos, dinâmica da comunidade fitoplanctônica e metabolismo. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 125p. (Tese de Doutorado, Centro de Biociências e Biotecnologia, UENF), 1997.

SUZUKI, M.S.; FIGUEIREDO, R.O.; CASTRO, S.C.; SILVA, C.F.; PEREIRA, E.A.; SILVA, J.A.; ARAGON, G.T. Sand bar opening in a coastal lagoon (Iguipari) in the northern region of Rio de Janeiro state: hydrological and hydrochemical changes. Brazil Journal of Biology 62, 2002, p. 51-62.

TERWILLIGER, K., WOLFIN, J. P. (2005) “Decision making for sustainable use and development” In Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modelling for Sustainable Use and Development (Gönenç, I. E. and Wolflin, J. P. eds.) CRC Press, Boca Raton.

THOM, B.G. (2004a) Geography, planning and the law: a coastal perspective. Australian Geographer, 35(1): 3-16.

THOMPSON, K.R. The response of southern North Sea elevations to oceanographical and meteorological forcing. Coast and shelf science, 13, 287-301 p., 1981

TONELLO, K.C., DIAS, H.C.T., SOUZA, A.L., RIBEIRO, C.A.A.S., LEITE, F.P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. Revista Árvore, Viçosa, v. 30, n.5, p. 849-857, 2006.

TRUCCOLO, E. C. Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco Sul. Dissertação de Engenharia Ambiental – UFSC, Florianópolis, 100 p., 1998.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora UFRGS/EDUSP/ABRH, 1993. 943p.

VADINEANU, A. (2005) “Identification of the lagoon ecosystems” In Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modelling for Sustainable Use and Development (Gönenç, I. E. and Wolflin, J. P. eds.) CRC Press, Boca Raton.

WEBB MCKEOWN & ASSOCIATES (1994). “Lake Cathie / Lake Innes Estuary Management Plan” Prepared for Hastings Council, Webb McKeown and Associates, Sydney.

VELLOZO, T.G.; ALVES, A.R. - Características gerais do fenômeno da maré no Brasil. Anais Hidrográficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação, Tomo LXI, 2006.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975.

WALSH, K. (2004) "Climate change and coastal response: a theme report from the Coast to Coast 2002 National Conference, Gold Coast, November 2002" CRC for Coastal Zone, Estuary and Waterway Management, Indooroopilly, April 2004.

WBM Oceanics Australia (2005). "Saltwater Creek and Lagoon Estuary Management Study and Plan" Report prepared for Kempsey Shire Council by WBM Pty Ltd, Newcastle. NSW.

WHITFIELD, A.K., A characterization of southern African estuarine systems. South African Journal of Science 18, 1992, p. 89-103.

WHITFIELD, A. K., 1997. "Fish conservation in South African estuaries" Aquatic Conservation 7: 1-11, John Wiley & Sons.

YICK, J., MUKHERJEE, B., & GHOSAL, D. Wireless sensor network survey. Computer networks, 52(12), 2008, 2292-2330.