



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

RIVALDO COUTO DOS SANTOS JÚNIOR

**Avaliação do estado trófico aplicando o Índice TRIX no Sistema Lagunar
Manguaba (Alagoas/Brasil) acoplado ao uso de geoprocessamento**

Maceió

2016

RIVALDO COUTO DOS SANTOS JÚNIOR

**Avaliação do estado trófico aplicando o Índice TRIX no Sistema Lagunar
Manguaba (Alagoas/Brasil) acoplado ao uso de geoprocessamento**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo
Petter Medeiros

Maceió
2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária: Janaína Xisto Barros Lima

S237a Santos Júnior, Rivaldo Couto dos.

Avaliação do estado trófico aplicando o índice TRIX no sistema lagunar Manguaba (Alagoas/Brasil) acoplado ao uso de geoprocessamento / Rivaldo Couto dos Santos Júnior. – 2016.

93 f. : il.

Orientador: Paulo Ricardo Petter Medeiros.

Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Curso de Geografia. Maceió, 2016.

Bibliografia: f. 86-93.

1. Eutrofização. 2. Sistema lagunar Manguaba – Alagoas. 3. TRIX.
4. Geoprocessamento. 5. Sistema de informação geografia. I. Título.

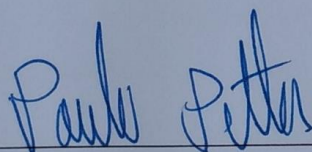
CDU: 911.2:556

Folha de Aprovação

AUTOR: RIVALDO COUTO DOS SANTOS JÚNIOR

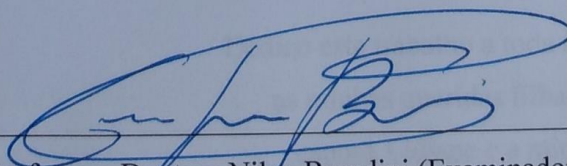
Avaliação do estado trófico aplicando o Índice TRIX no Sistema Lagunar Manguaba (Alagoas/Brasil) acoplado ao uso de geoprocessamento

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 31 de agosto de 2016.

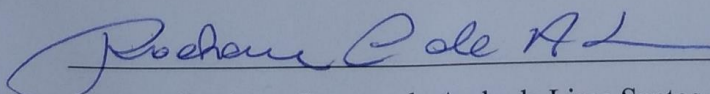


Professor Doutor Paulo Ricardo Petter Medeiros (Orientador)

Banca Examinadora:



Professora Doutora Nilva Brandini (Examinador Externo)



Professora Doutora Rochana Campos de Andrade Lima Santos (Examinador Interno)

Dedico este trabalho a toda a minha família, em especial
as minhas queridas filhas Bia e Bela, a minha amada
esposa Lidiane e a minha querida mãe, amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros, pela confiança, orientação, ensinamentos, suporte científico, amizade e grande incentivo na realização do mestrado.

À Professora Dra. Rochana Campos de Andrade Lima Santos, pela grande ajuda, atenção e incentivo ao longo do mestrado.

À Dra. Nilva Brandini, pela atenção e enorme ajuda na aplicação da metodologia da pesquisa.

Ao Professor Dr. Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo, pelas correções e sugestões apontadas no processo de qualificação, e incentivo na realização do mestrado.

À Professora Dra. Silvana Quintella Cavalcante Calheiros, pelo incentivo e apoio antes e durante a realização do curso.

À Pós-graduação em Geografia/UFAL, pelo suporte na conclusão do curso.

Aos amigos e colegas do curso de Pós-graduação em Geografia da UFAL, pela convivência, troca de experiências, discussões e incentivos nas fases do mestrado.

Aos amigos André Luiz Santos Albuquerque, Antônio José Pereira Almeida (Tony), Esdras de Lima Andrade e Sinval Autran Mendes Guimarães Junior, pelo grande apoio na construção da dissertação, com a disponibilização de informações, discussão da metodologia e dicas valiosas na manipulação dos softwares.

Ao Secretário do IGDEMA/UFAL Washington Narciso Gonçalves Gaia, pela rapidez e qualidade nos serviços prestados.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em especial aos amigos da Divisão Técnica, pelo grande apoio durante a realização do curso.

À minha linda família (Lidi, Bia e Bela), razões da minha vida e minhas grandes incentivadoras, amo vocês demais.

Aos meus irmãos (Cris e Fábio), minha cunhada (Waleska), meus sobrinhos (Marcus e Filipe), meu pai (Rivaldo) e minha mãe (Carlinda), amo muito vocês.

A DEUS, o maior de todos. Obrigado senhor, pois quando mais precisei tu estavas comigo.

“Crescer é uma característica da natureza. Mas, precisamos que esse crescimento seja limitado. Alguns sistemas precisam parar de crescer para que outros floresçam, em um ciclo de geração e regeneração, como em uma floresta.”

Fritjof Capra

RESUMO

O Sistema Estuarino Lagunar Manguaba é uma área de grande interesse ecológico, mas apresenta diversos problemas ambientais, devido à grande pressão antrópica nas suas bacias contribuintes e no seu entorno, como a poluição hídrica e o assoreamento, acelerando o processo de eutrofização. A Laguna Manguaba está localizada no litoral central do Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil. A eutrofização artificial é um dos maiores problemas ambientais a nível mundial. Diversos trabalhos, nas últimas décadas, para avaliar as condições tróficas foram realizados, com destaque para os modelos multiparamétricos, como o TRIX. O objetivo principal desta pesquisa foi avaliar o estado trófico da Laguna Manguaba, utilizando o modelo TRIX para definição do estado trófico, utilizando técnicas de geoprocessamento. A metodologia deste trabalho foi dividida nas seguintes etapas: 1) levantamento da base de dados digital e analógica, 2) elaboração do Sistema de Informações Geográficas (SIG), 3) avaliação geoambiental, 4) elaboração dos planos de informação, 5) avaliação do comportamento dos parâmetros físicos e químicos, 6) definição da equação do modelo para o Sistema Lagunar Manguaba, 7) estabelecimento do estado trófico utilizando o modelo TRIX. Foram realizadas quatro campanhas, em 21 estações de monitoramento para medição e coleta de água, distribuídas no período seco (22/02 e 03/12/2013) e no período chuvoso (28/05 e 29/08/2016). O principal agente de impacto ambiental instalado é lançamento de efluentes industriais/domésticos sem tratamento. A salinidade da laguna está relacionada com o regime fluvial e influi diretamente nos resultados do índice TRIX, com valores variando entre 0,13 e 24,81 ‰. O estado trófico da laguna Manguaba foi classificado como moderado (mesotrófico a eutrófico), apresentando condições moderadas a altamente produtiva e alto estado trófico. O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) apresentou variação entre 9,3 e 155,0 µg/l, enquanto o fósforo inorgânico dissolvido (PID) registrou valores entre 1,5 e 74,8 µg/l, sendo os valores máximos registrados na campanha de agosto, nas estações mais a montante, próximas a desembocadura do Rio Paraíba do Meio. O NID e PID foram as variáveis que mais colaboraram com os valores do índice TRIX. A forte pressão antrópica sobre o Sistema Lagunar Manguaba, principalmente pelo lançamento de efluentes domésticos, proporciona uma grande ameaça para o ecossistema.

Palavras-chave: Eutrofização, Sistema lagunar, Laguna Manguaba (AL), TRIX, Geoprocessamento, Sistema de Informação Geografia.

ABSTRACT

The Manguaba Estuarine-Lagoon System is an area of relevant ecological interest, but has been under several environmental problems due to the high anthropogenic pressure on its contributor basin and surroundings area, causing water pollution and siltation, and accelerating the eutrophication process. The Manguaba Lagoon is located in the central coast of the state of Alagoas, northeastern Brazil. Artificial eutrophication is one of the biggest environmental problem at global level. Several studies were carried out in recent decades aiming to assess the trophic status throughout multiparameter models like the TRIX. The main objective of this study was to evaluate the trophic status of the Manguaba Lagoon using TRIX model, and geoprocessing techniques. The methodology was divided into the following: 1) survey of digital and analog historical data, 2) development of Geographic Information System (GIS), 3) Geo-environmental assessment, 4) development of information plans, 5) evaluation of physical and chemical parameters, 6) definition of model equation for Manguaba Lagoon System 7) establishment of trophic status using TRIX model. Four campaigns were carried out at 21 monitoring stations to measure *in situ* environmental parameter and to collect water during dry season (22/02 and 12/03/2013) and rainy season (28/05 and 29/08/2016). The main environmental impact factor playing a major role in the system is the industrial/household untreated effluents input. The salinity of the lagoon is governed by the river discharge patterns which has a direct influence on the TRIX index results, with values ranging between 0.13 and 24.81 ‰. The Manguaba lagoon trophic status was classified as moderate (mesotrophic to eutrophic), varying from moderate to highly productive and highly trophic status. Dissolved inorganic nitrogen (NID) changed between 9.3 and 155.0 µg/l, while the dissolved inorganic phosphorus (PID) varied between 1.5 and 74.8 µg/l, with maximum values found in August 2016, at the stations located at the most upstream sector near the Rio Paraiba do Meio mouth. The NID and PID were the major contributors to the TRIX index. The main anthropic pressure on the Manguaba Lagoon System was the domestic sewage discharge, placing a major threat to the ecosystem.

Key word: Eutrophication, Lagoon system, Lagoon Manguaba (AL), TRIX, Geoprocessing, Geography Information System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Sistema Estuarino Lagunar Manguaba.	23
Figura 2 - Localização das estações de monitoramento na Laguna Manguaba (2013).	31
Figura 3 - Sonda multiparamétrica YSI 6600 V2 utilizada para realizar as medições in situ.	31
Figura 4 - Locais com sinais de assoreamento na zona dos canais do CELMM e na Laguna Manguaba.	42
Figura 5 - Sinais de Movimento de massa em cortes de estradas na BR424 (Marechal Deodoro) e na estrada de acesso a cidade do Pilar.	43
Figura 6 - Cemitérios situados nas sedes dos municípios de Pilar e Marechal Deodoro.	43
Figura 7 - Pontos de lançamentos de efluentes na cidade de Pilar e no município de Marechal Deodoro.	45
Figura 8 - Lixões situados nos municípios de Pilar e Marechal Deodoro.	47
Figura 9 - Extração de areia no leito do Rio Paraíba do Meio, apresentando sinais de erosão marginal, e extração de areia na margem da Laguna Manguaba.	48
Figura 10 - Extração de areia manual no leito do Rio Paraíba do Meio e extração de granito.	48
Figura 11 - Usina de asfalto situada próximo ao Rio Paraíba do Meio (Depósito de produtos perigosos).	49
Figura 12 - Armazenamento de álcool e vinhaça da Usina Sumaúma (Mal. Deodoro).	50
Figura 13 - Poço de produção de petróleo e equipamentos de perfuração de novo poço de produção no Campo de Pilar.	51
Figura 14 - Estação de Produção de Pilar (EPPIR) e Unidade de Processamento de Gás Natural de Alagoas (UPGN-AL), e detalhe de estruturas de emergência instaladas no cruzamento da estrada com a rede de drenagem, para contenção de vazamento de óleo.	52
Figura 15 - Mapa Geoambiental com os principais aspectos no do Sistema Lagunar Manguaba.	53
Figura 16 - Precipitações médias mensais históricas da Bacia do Rio Paraíba do Meio e as contribuições relativas de Pernambuco e Alagoas.	54
Figura 17 – Precipitações mensais para ano de 2013, das estações meteorológicas automáticas de Maceió (INMET: A303; Código OMM: 81998), Palmeira dos Índios (INMET: A327; Código OMM: 81995) e Garanhuns (INMET: A322; Código OMM: 81955).	55

Figura 18 – Precipitações diárias para períodos com 15 dias de antecedências das campanhas de 22/02(A), 28/05(B), 29/08(C) e 03/12/2013(D), nas estações meteorológicas automáticas de Maceió (INMET: A303; Código OMM: 81998), Palmeira dos Índios (INMET: A327; Código OMM: 81995) e Garanhuns (INMET: A322; Código OMM: 81955).....	57
Figura 19 - Gráfico da média mensal histórica (1977-2013) e média mensal de 2013 da vazão do Rio Paraíba do Meio, na estação Atalaia, no município homônimo (Código ANA 39870000).....	57
Figura 20 – Vazão média diária para períodos com 8 dias de antecedências das campanhas de 22/02(A), 28/05(B), 29/08(C) e 03/12/2013(D), do Rio Paraíba do Meio, na estação Atalaia, no município homônimo (Código ANA 39870000).....	58
Figura 21 - Ciclos de marés previstas para o Porto de Maceió durante as datas de medições e coleta na laguna Manguaba. As setas indicam o início “I” e o fim “F” dos trabalhos.	59
Figura 22 - Médias e desvio padrão ($p < 0,05$) da variação sazonal da salinidade por campanha na Laguna Manguaba.	61
Figura 23 - Distribuição espacial e assinatura ambiental de acordo com as classes da Salinidade (‰) da água de superfície da Laguna Manguaba.....	63
Figura 24 - Variação sazonal da média, desvio padrão e erro padrão das variáveis utilizadas no modelo TRIX para cada campanha na Laguna Manguaba.	64
Figura 25 - Comportamento do NID em relação a salinidade, e a linha reta de diluição teórica, para todas as campanhas na Laguna Manguaba.....	65
Figura 26 - Comportamento do PID em relação a salinidade, onde “A” agrupamento de elevada concentração de PID no período chuvoso; “B” de agrupamento de menor concentração de PID no período seco; e a reta a linha de diluição teórica, para todas as campanhas na Laguna Manguaba.....	66
Figura 27 - Comportamento da clorofila a em relação a salinidade, e a linha reta de diluição teórica, para todas as campanhas na Laguna Manguaba.....	67
Figura 28 - Distribuição espacial e assinatura ambiental de acordo com as classes da Saturação de Oxigênio (%) da água de superfície da Laguna Manguaba.....	68
Figura 29 - Distribuição espacial e assinatura ambiental da concentração de Clorofila “a” ($\mu\text{g/l}$) da água de superfície da Laguna Manguaba.	70
Figura 30 - Distribuição espacial e assinatura ambiental da concentração de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido ($\mu\text{g/l}$) da água de superfície da Laguna Manguaba.	71

Figura 31 - Distribuição espacial da concentração de Fósforo Inorgânico Dissolvido ($\mu\text{g/l}$) e suas classes da água de superfície da Laguna Manguaba.	72
Figura 32 - Distribuição média do Modelo de Índice de Estado Trófico (TRIX) da água de superfície da Laguna Manguaba.	77
Figura 33 - Distribuição Modelo de Índice de Estado Trófico (TRIX) da água de superfície da Laguna Manguaba.	78
Figura 34 - Localização das estações mantidas e retiradas utilizadas nas estimativas espaciais com parte e a totalidade do conjunto amostral da Laguna Manguaba.	79
Figura 35 - Distribuição espacial da variação da diferença dos valores do índice TRIX para os dados previstos através do teste de validação cruzada e os valores reais.....	81
Figura 36 - Áreas dos Polígonos de Voronoi da Laguna Manguaba construídos com (A) totalidade do conjunto das amostras e (B) a parte das amostras.	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do estado trófico e condições da produtividade primária no ambiente.	21
Quadro 2 - Classificação do estado trófico para águas estuarinas segundo modelo TRIX.	33
Quadro 3 - Aspectos geoambientais do Sistema Laguna Manguaba.....	39
Quadro 4 - Principais agentes de impacto ambiental no sistema Estuarino Lagunar Manguaba	40
Quadro 5 - Comparação do índice TRIX para a Laguna Manguaba utilizando as equações proposta por este trabalho, por Cotovicz Junior (2012) e por Vollenweider et al. (1998).	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aspectos socioespaciais dos municípios que abrangem a Laguna Manguaba.....	29
Tabela 2 - Autorizações expedidas para extração de recursos minerais.....	47
Tabela 3 - Média, desvio padrão valores máximos e mínimos das campanhas amostrais dos parâmetros físico-químicas da água de sub-superfície da Laguna Manguaba.	60
Tabela 4 - Correlação não paramétrica de Spearman entre as variáveis utilizadas para a estimativa do modelo TRIX e a salinidade.....	65
Tabela 5 - Cálculo das médias, desvio padrão, limites superiores e inferiores para a determinação dos valores das constantes 'k' e 'm' da equação TRIX.	74
Tabela 6 - Comparação do índice TRIX para vários sistemas utilizados para gerar a equação TRIX para este trabalho.....	75
Tabela 7 - Classificação do Índice TRIX para a Laguna Manguaba nas campanhas realizadas.	76
Tabela 8 - Assinatura ambiental do comportamento do índice TRIX da água de superfície da Laguna Manguaba.	77
Tabela 9 - Diferença entre os dados reais e os dados a previstos através do teste de validação cruzada, para o conjunto de dados removidos para os valores do Índice TRIX....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

aD%OD	Desvio Absoluto das Condições de Saturação do OD
APHA	American Public Health Association
ANA	Agência Nacional de Águas
ANP	Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APP	Área de Preservação Permanente
CELMM	Complexo Estuarino Lagunar de Mundaú-Manguaba
Cloro-a	Clorofila-a
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTR	Central de Tratamento de Resíduos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPPIR	Estação de Produção de Pilar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IDW	Inverse Distance Weighted – Ponderação do Inverso da Distância
IMA/AL	Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas
INPH	Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias
LABMAR	Laboratórios Integrados de Ciências do Mar e Naturais
Log I	Limite Superior, na Base Logarítmica 10, de cada Parâmetro para o Cálculo TRIX
Log M	Média, na Base Logarítmica 10, de cada Parâmetro para o Cálculo TRIX
Log S	Limite Superior, na Base Logarítmica 10, de cada Parâmetro para o Cálculo TRIX
MMA	Ministério do Meio Ambiente
N	Nitrogênio
NID	Nitrogênio Inorgânico Dissolvido
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo

PDRH	Plano Diretor de Recursos Hídricos
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A
pH	Potencial hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PID	Fósforo Inorgânico Dissolvido
PORTOBRAS	Empresa de Portos do Brasil S.A
PT	Fósforo Total
SEC	Transparência do disco de Secchi
SEMARH/AL	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Alagoas
SEPLAG/AL	Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio de Alagoas
SIG	Sistema de Informações Geográfica
T°C	Temperatura
TRIX	Trophic Index
Tur	Turbidez
TSS	Total Suspended Solids (Sólidos totais dissolvidos)
UC	Unidades de Conservação
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFF	Universidade Federal Fluminense
UPGN/AL	Unidade de Processamento de Gás Natural de Alagoas
UTM	Universal Transversa de Mercator
YSI	Yellow Springs Instrument

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivo Geral	17
1.2	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	Eutrofização	19
2.2	Índice TRIX	20
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	23
3.1	Localização	23
3.2	Clima	24
3.3	Geologia e Geomorfologia	24
3.4	Recursos Hídricos e Uso da Terra	26
3.5	Aspectos Socioespaciais	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	Obtenção dos dados e Amostragem	30
4.2	Modelo TRIX	32
4.3	Avaliação Geoambiental	34
4.4	Sistema de Informações Geográficas e Geoprocessamento	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Aspectos Geoambientais do Sistema Lagunar Manguaba	38
5.2	Parâmetros meteorológicos	54
5.3	Caracterização físico-química da Laguna Manguaba	59
5.4	Modelo TRIX para avaliação do Estado Trófico do Sistema Lagunar Manguaba	73
5.5	Análise da distribuição das amostras	79
6	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

A água é considerada um recurso finito, escasso e de valor econômico, podendo limitar o desenvolvimento de uma região, país ou sociedade.

Os constituintes presentes na água variam principalmente conforme a natureza do solo de onde são originárias, das condições climáticas e do grau de poluição que lhe é conferido.

Os estuários são parte de uma bacia hidrográfica e, como tal detectam todos os efeitos das atividades antropogênicas nessas bacias (TUNDISI, 1999).

Quando há abundância de água, ela pode ser tratada como bem livre, sem valor econômico. Com o crescimento da demanda, começam a surgir conflitos entre usos e usuários da água, a qual passa a ser escassa e, então, precisa ser gerida com bem econômico, devendo ser-lhe atribuído o justo valor (SETTI, 2001).

Na zona costeira do Brasil ocorre grandes concentrações de atividades, que vai da econômicas, industriais, turismo e lazer, com a presença de 16 regiões metropolitanas e aproximadamente 1/3 da população brasileira, instalada em diferentes ambientes costeiros e com ocorrência de diversos conflitos.

De acordo com Ribeiro *et al.* (2011), as lagunas estão localizadas na região de transição entre o continente e o oceano, sendo formadas pelas variações eustáticas durante os períodos holocênico e pleistocênico, e pelas construções das restingas, com isolamentos parciais e totais do corpo lagunar do oceano.

As lagunas existentes no litoral alagoano foram formadas pela atuação de diversos processos, principalmente relacionados com as variações eustáticas durante o período Neógeno superior.

A Laguna Manguaba é uma área de grande interesse ecológico em função da diversidade de espécies encontradas, ambientes frágeis e da hidrodinâmica costeira, no entanto apresenta diversos problemas ambientais, alguns bastantes alarmantes, como a poluição hídrica e os níveis de assoreamento. As diversas intervenções humanas na bacia do rio Paraíba do Meio, seu principal contribuinte, que passa a ter grande repercussão no corpo lagunar.

De acordo com Billen *et al.* (1991), nos sistemas estuarinos, os rios transportam sedimentos e materiais biogênicos como fosforo, nitrogênio e silicato, nas formas orgânicas e inorgânicas. Esses materiais são extremamente importantes para a produtividade biológica e importantes fontes para a zona costeira adjacente desses rios.

As bacias hidrográficas, que tem suas águas drenadas para a Laguna Manguaba, vêm passando por diversos impactos. O principal impacto identificado, em estudos anteriores,

é a supressão dos remanescentes de vegetação natural para retirada de madeira e para o cultivo de cana-de-açúcar. Este tipo de impacto faz com que o solo fique mais propício a erosão. Assim, o material erodido das áreas degradadas são transportados pelos riachos e rios e depositados em áreas de planícies. Os sedimentos na Laguna Manguaba, devido ao acréscimo no *input*, têm acarretado alterações no ritmo de assoreamento. A aceleração do assoreamento é um fato preocupante, para as comunidades que utilizam a laguna, tais como, pescadores e outros.

"Os ambientes estuarinos apresentam usos múltiplos pelo homem, destacando-se: aquicultura, turismo, instalação de portos e cidades em seu entorno. Em razão das atividades humanas desenvolvidas nos estuários, são produzidas uma série de impactos indesejáveis nesses ambientes. Para MEDEIROS *et al.* (1996); MELO-MAGALHÃES *et al.* (1998); VILLELA *et al.* (1998); LE CAMPION (2000) e MELO-MAGALHÃES *et al.* (2009), o Complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba (CELMM) passa por uma série de impactos antropogênicos, entre eles destacam-se: aporte de efluentes domésticos e industriais, assoreamento, problemas hidro sanitários e eutrofização (COSTA *et al.*, 2013)."

A eutrofização de ambientes aquáticos situados na zona costeira é considerada um dos principais problemas ambientais mundiais (CLOERN, 2001, BRICKER *et al.*, 2003).

De acordo com Xavier-da-Silva (2001), geoprocessamento consiste em um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante, deve necessariamente apoiar-se em estruturas de percepção ambiental que proporcionem o máximo de eficiência nesta transformação.

Segundo Rodrigues (2014), o geoprocessamento é utilizado como uma ferramenta eficaz na quantificação e espacialização dos recursos naturais de uma determinada área tanto a nível regional quanto a nível local, propiciando uma alternativa viável na restrição das possíveis falhas e lacunas.

Considerando todos os aspectos citados acima, a utilização do geoprocessamento acoplado aos modelos multiparamétricos para avaliação da eutrofização vem ser uma ferramenta importante para operar sobre as bases de dados georreferenciados, com as transformações das informações coletadas em campo.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar o comportamento espaço-temporal da eutrofização da água do Sistema Lagunar Manguaba (Alagoas/Brasil), utilizando como ferramentas o índice para avaliação do estado trófico TRIX (Trophic Index) acoplado ao geoprocessamento.

1.2 Objetivos Específicos

1. Elaborar um Sistema de Informações Geográfica (SIG), que permita a integração das informações, análises e avaliação do estado trófico da Sistema Lagunar Manguaba;
2. Realizar o diagnóstico dos principais aspectos geoambientais que influenciam o processo de eutrofização;
3. Realizar um levantamento dos principais parâmetros físicos e químicos da água do Sistema Lagunar Manguaba e suas relações com o processo de eutrofização.
4. Avaliar o estado trófico da água da Laguna Manguaba através do índice TRIX (Trophic Index).

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Eutrofização

O estudo e classificação de corpos d'água com relação ao seu grau de eutrofização, teve seu início, dentro da limnologia, com Naumann (1919, 1929) e Thienemann (1925, 1931). De acordo com Schäfer (1985) e Lamparelli (2004), a eutrofização pode ser definida como o processo de enriquecimento por nutrientes de um corpo d'água, seja por processo natural ou induzido pelo homem. Portanto, a eutrofização consiste no aumento da concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, no ambiente aquático (ESTEVES, 1998; REBOUÇAS e TUNDISI, 2000). Um dos efeitos da eutrofização no ambiente aquático é a elevação da biomassa fitoplanctônica (TUNDISI, 2004; TUNDISI e TUNDISI, 2008).

O enriquecimento de nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P), abre portas para espécies oportunistas do tipo 'daninhas', que estão adaptadas às condições de altos teores de nutrientes (ODUM e BARRET, 2007).

Segundo Lamparelli (2004), o lançamento excessivo de nutrientes no ambiente é outro problema, que mudam as características ambientais dos corpos hídricos, afetando desde a preservação da biota aquática até o abastecimento público. Este fenômeno é denominado eutrofização antrópica, ou eutrofização cultural.

De acordo com Braga *et al.* (2002), a aceleração do processo de eutrofização artificialmente, denomina-se eutrofização artificial, que resulta de atividades antrópicas, podendo ser causada pelo lançamento de efluentes industriais e domésticos sem tratamento, e também ser ocasionado por atividades agrícolas.

Para Tundisi (2003), a eutrofização gera diversos efeitos negativos, como: ausência de oxigênio na coluna d'água, florescimento de algas e crescimento desordenado de plantas aquáticas, especialmente macrófitas, produção de toxinas por algumas espécies de algas, altas concentrações de matéria orgânica, deterioração de ambientes recreativos, acesso restrito à pesca, redução da biodiversidade, alterações na composição de espécies de peixes com diminuição de seu valor comercial.

Segundo Schäfer (1985) o efeito negativo da eutrofização é a supersaturação de oxigênio na camada superficial e déficit exagerado no restante do corpo d'água dificultando a sobrevivência da biota aquática (MELO-MAGALHÃES, 2005).

A eutrofização, como já definida anteriormente, trata-se de um processo, enquanto o estado trófico, como a própria denominação sugere, trata-se de um estado ou grau de nutrição momentânea do ambiente (COTOVICZ JUNIOR, 2012).

De acordo com Borges (2014), o estado trófico de um corpo hídrico, pode ser descrito pelo grau de nutrição do ambiente, principalmente em função das concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos e total, a sua fração particulada estocada na matéria orgânica, como também as concentrações da biomassa autotrófica em termos de clorofila-*a*. Nas últimas décadas, os critérios para definir o estado trófico de um corpo hídrico, ficou restrito a adição de um ou outro parâmetro, além dos nutrientes e clorofila-*a*.

Índices de estado trófico são esquemas simplificados de classificação, apresentados normalmente em forma de tabelas, onde cada classe representa uma faixa de variação dos valores de determinado parâmetro (SANTOS, 2015).

Segundo Vollenweider *et al.* (1998), ocorreram diversos trabalhos para tipificar e comparar as condições tróficas águas continentais, como Thienemann (1928), Naumann (1932), Aberg e Rodhe (1942), Sawyer (1947), Elster (1962), Vollenweider (1968), Shannon e Brezonik (1972), Carlson (1977), Uhlmann (1979), Vollenweider e Kerekes (1982), Hillbricht-Ilkowska (1984), Schröder (1991).

2.2 Índice TRIX

O modelo Índice de Estado Trófico TRIX (Trophic Index) foi elaborado e proposto por Vollenweider *et al.* (1998), para o monitoramento da região marinha costeira da Itália. Para a construção do modelo de determinação do estado trófico, Vollenweider *et al.* (1998), utilizou uma série de dados dos anos de 1982 e 1983 de monitoramentos da costa noroeste do Mar Adriático, sob a influência direta de grandes rios, com alguns trechos fortemente eutrofizados e outros trechos com características oligotróficas.

Este índice multiparamétrico, utiliza diversos componentes para o seu cálculo, com variáveis que expressão diretamente a produtividade primária, como a clorofila-*a* e a saturação de oxigênio dissolvido, com variáveis de fatores nutricionais, como o nitrogênio total, nitrogênio inorgânico dissolvido, fósforo total e fósforo inorgânico dissolvido, e outras variáveis suplementares que expressam a qualidade da água, como a transparência do disco de *Secchi*.

A classificação do estado trófico TRIIX varia em uma escala de 0 a 10, variando do menor grau de eutrofização até o maior grau de eutrofização, respectivamente.

Os trabalhos de Penna *et al.* (2004) e Nasrollahzed *et al.* (2008) realizaram a classificação de águas estuarinas e condições da produtividade primária no ambiente usando o índice TRIIX, dividindo em cinco categorias: Excelente (ultraoligotrófico), Alto (oligotrófico), Bom (mesotrófico), Moderado (mesotrófico a eutrófico), e Pobre (eutrófico), conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação do estado trófico e condições da produtividade primária no ambiente.

Estado Trófico	Condições do ambiente
Excelente (Ultraoligotrófico)	Muito pobremente produtivo e muito baixo estado trófico
Alto (Oligotrófico)	Pobremente produtivo e baixo estado trófico
Bom (Mesotrófico)	Moderadamente produtivo e médio estado trófico
Moderado (Mesotrófico a Eutrófico)	Moderadamente a altamente produtivo e alto estado trófico
Pobre (Eutrófico)	Altamente produtivo e o mais alto estado trófico

Fonte: Adaptado de PENNA *et al.*, 2004; NASROLLAHZED *et al.*, 2008

O Índice TRIIX já foi aplicado em diversos ambientes de vários países e no Brasil, como: Costa do Mar Negro/Bulgária (MONCHEVA *et al.*, 2002); Rio Pó/Itália (ARTIOLI *et al.*, 2005); Lagoa de Venice/Itália (BENDORICCHIO *et al.*, 2005); Lagoa formosa/Portugal (LOUREIRO *et al.*, 2006); Algarve/Portugal (COELHO *et al.*, 2007); Costa do Mar Cáspio/Irã (NASROLLAHZADEH *et al.*, 2008); Yucatan/México (HERRERA-SILVEIRA *et al.*, 2009); Costa da Sicília/Itália (CARUSO *et al.*, 2010); Estuário de Thames/Grã-Bretanha (DEVLIN *et al.*, 2011); Baía de Izamir/Turquia (YUCEL-GIER *et al.*, 2011). No Brasil: Estuário dos Rio Ipojuca na Região Metropolitana do Recife/Pernambuco (NORIEGA, 2010); Complexo estuarino Mundaú-Manguaba/Alagoas (COTOVICZ-JUNIOR, 2012); Estuário do rio Massangana/Pernambuco (ALVES *et al.*, 2013); Estuários da Ilha de Santa Catarina/Santa Catarina (SILVA *et al.*, 2013); Estuário do rio Potengi/Rio Grande do Norte (TAVARES *et al.*, 2014); Estuários dos rios Ipojuca e Merepe/Pernambuco (BATISTA, *et al.*, 2014); Estuários dos rios Piraquê-açu e Piraquê-mirim/Espirito Santo (BERTOLDI, 2014); Rio Paraíba do

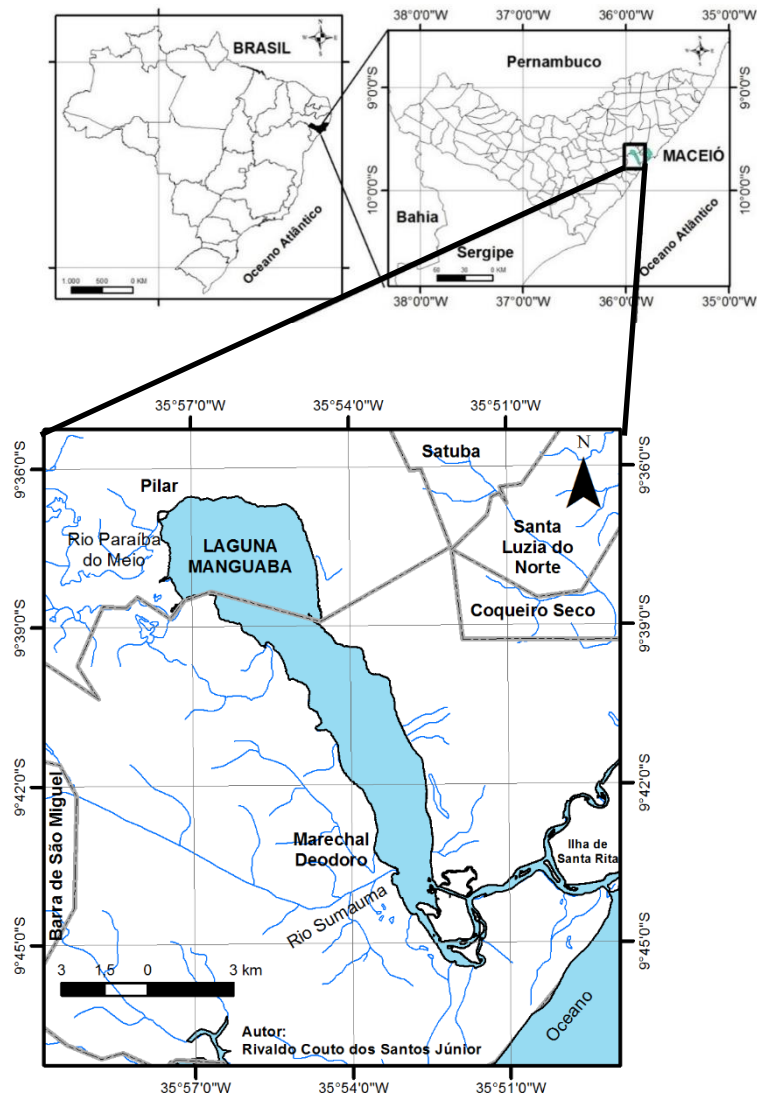
Sul/Rio de Janeiro (BORGES, 2014); Baía de Guanabara/Rio de Janeiro (SANTOS, 2015), entre outros corpos hídricos.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 Localização

A área de estudo compreende o Sistema Lagunar Manguaba e seu entorno, localizada no litoral central do Estado de Alagoas, inserida nos municípios de Marechal Deodoro e Pilar, Região Metropolitana de Maceió, Microrregião de Maceió e Mesorregião do Leste Alagoana. A Laguna Manguaba encontra-se situada entre as Coordenadas geográficas $9^{\circ}36'31''\text{Sul} / 35^{\circ}57'44''\text{Oeste}$ e $9^{\circ}44'26''\text{Sul} / 35^{\circ}52'19''\text{Oeste}$, possuindo uma área de 42 km^2 , profundidade média de 2,1 metros e os seus principais contribuintes são o os rios Paraíba do Meio e Sumaúma (Figura 1).

Figura 1 - Localização do Sistema Estuarino Lagunar Manguaba.



Fonte: Autor (2016)

3.2 Clima

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio apresenta dois tipos de clima predominantes, distribuídos nas regiões montante e jusante. No trecho mais a montante da bacia de drenagem, o clima predominante é classificado como subúmido, com chuvas de outono-inverno (março a setembro), período chuvoso curto, segundo a classificação de Köppen é do tipo BShs'. A precipitação média anual dessa região é de 750 mm, apresentando temperaturas médias elevadas, com média de 25°C.

Já no trecho mais a jusante, situado no Estado de Alagoas, o clima predominante é do tipo As', de acordo com a classificação de Köppen. A estação mais chuvosa é registrada de abril a agosto, com pluviosidade média anual de 1.600 mm, e temperatura média anual de 25°C.

Na região costeira, os ventos predominantes durante a estação chuvosa são de sudeste, e durante a estação seca, a direção predominante é leste.

3.3 Geologia e Geomorfologia

Geologicamente a área encontra-se inserida em três grandes conjuntos litológicos, originados em períodos distintos, compreendendo o Maciço Alagoas-Pernambuco, litótipos cretácicos e sedimentos de cobertura terciários e quaternários.

De acordo com Brito Neves (1975), o Maciço Alagoas-Pernambuco (Pré-cambriano) é formado principalmente por um complexo migmatítico-granítico, com idades convencionais de 900 a 1300 milhões de anos. Na área de estudo esses afloramentos são encontrados ao norte da Falha Rio Largo, próximo ao cruzamento da BR101 com o Rio Paraíba do Meio, onde encontra-se instalada a Pedreira Monteiro (extração mineral granítica).

Os afloramentos cretácicos ocorrem em diversos setores da área de estudo, com registros superficiais das Formações Coqueiro Seco, Ponta Verde e Poção. Os registros são encontrados principalmente em encostas do trecho mais a jusante do vale fluvial do Rio Paraíba do Meio, nas encostas próximas da Laguna Manguaba, na sua metade montante, e em pequenos afloramentos próximos a falha da Bica da Pedra.

De acordo com Feijó (1994), a Formação Coqueiro Seco é formada arenitos arcoseanos fino a grosso, com intercalações de folhelho, com estratos depositados por deltas curtos em ambiente lacustres no Eoaptiano. A Formação Ponta Verde é constituída por folhelho

cinza-esverdeado, com formato acicular em amostras de calha, depositadas no Eoaptiano de ambiente lacustre.

Segundo Feijó (1994), a Formação Poção é constituída por conglomerados graníticos (seixos e maticões) em matriz arcoseana muito mal selecionada, sendo depositados em ambientes em leques aluviais no Eoaptiano.

A Formação Barreiras de acordo com Lima (2004, p. 18), é constituída de siltes, argilas e areias finas a grossas, com cloração avermelhada, podendo apresentar espessuras de até 120 metros em Maceió. Como representantes da Formação Barreiras, geomorfologicamente a feição marcante na zona costeira, são os tabuleiros costeiros que apresentam interflúvios tabuliformes dissecados.

Os sedimentos quaternários na área de estudo são representados pelos terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, depósitos flúvio-lagunar, depósito de mangue, depósitos atuais de praia e recifes de arenito. Esses sedimentos recentes compõem a Planície Costeira, circundando a laguna Manguaba, adentrando pelo vale do Rio Paraíba do Meio e através de uma faixa arenosa, a restinga que fecha o Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM).

Os terraços marinhos pleistocênicos são encontrados na área de estudo na região no entorno da fazenda Estiva, conhecidas popularmente como “Dunas do Cavalo Russo”, localizados próximos os sopés das paleofalésias, com origem durante a regressão subsequente a penúltima transgressão (± 120.000 A.P.), apresentando altitudes que variam entre 8 a 10 metros. De acordo com Lima (2004) esses terraços formam parte da barreira arenosa que fecha o sistema lagunar Manguaba, sendo constituídos de sedimentos arenosos de coloração creme e granulação média a grossa.

Os depósitos flúvio-lagunares distribuísssem principalmente nos vales do Rio Paraíba do Meio e Sumaúma, circundando a Laguna Manguaba e em suas ilhas, principalmente na de Santa Rita. De acordo com Lima (2004, p.18), esses depósitos são formados por sedimentos silticos-argilosos, acinzentados, com bastante matéria orgânica e conchas.

Os terraços marinhos holocênicos formados durante a regressão posterior, ou seja, a Última Transgressão (± 5.000 A. P.), são formados por sedimentos com altitudes entre 3 a 4 metros, proporcionando, segundo Lima (2004, p.18), o fechamento das desembocaduras das lagunas, favorecendo o desenvolvimento de manguezais, dunas e canais de maré, progradando a linha de costa e configurando a linha de costa atual. Dentro da área de estudo, esses terraços

são encontrados na região entre a Restinga do Saco da Pedra e os povoados da Massagueira e Francês, formando de forma incisiva o fechamento do sistema Laguna Manguaba. Os cordões litorâneos são feições marcantes nos terraços marinhos holocênicos, e encontram-se bastante descaracterizados devido ao processo de expansão urbana.

Os Recifes de arenitos presente na área encontram-se distribuídos da praia do Francês (Marechal Deodoro) até a praia do Pontal da Barra (Maceió), formando duas a três linhas paralelas à praia, onde em alguns trechos eles estão submersos ou desaparecem. De acordo com Lima (2004), os recifes constituem feições morfológicas importantes e exercem papel determinante sobre a modificação da energia das ondas, distribuição dos sedimentos e mudanças na morfologia costeira. Os recifes de arenito são formados por arenitos cimentados por carbonato de cálcio e são indicativos de variações eustáticas holocênicas, sugerindo uma elevação do nível do mar na ordem de 1,3 metros. Barbosa (1985) *apud* Silva (2001), realizou datações em conchas inseridas nesses recifes, apresentando idades entre ± 180 a 7470 anos A.P.

Os depósitos de mangues foram registrados nas margens da Laguna mais a jusante, distribuídos nas margens das ilhas e nos canais, acompanhando linhas de drenagem e situados em depressões na restinga do Saco da Pedra. Esses depósitos são constituídos por sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica, com coloração preta acinzentada, recebendo influência da água salgada, durante os ciclos de maré, ocorrendo espécies típicas (*Rhizophora mangle* - mangue vermelho; *Avicennia germinans* - mangue preto; e *Laguncularia racemosa* - mangue branco).

3.4 Recursos Hídricos e Uso da Terra

A rede de drenagem alagoana apresenta duas vergências (Sanfranciscana e atlântica), onde os seus principais rios apresentam suas nascentes localizadas no Estado de Pernambuco.

A área de estudo está inserida nas Regiões Hidrográficas do Complexo Estuarino Laguna Mundaú-Manguaba (CELMM) e do Paraíba do Meio. As principais bacias hidrográficas contribuintes para a Laguna Manguaba são as do Rio Paraíba do Meio, com uma área de 3145,2 km², e a do Sumaúma, com uma área de 404,2 km².

A extensão do Rio Paraíba Meio é de 172 km, com um regime fluvial intermitente no seu alto curso, e perene no seu médio e baixo curso, e um sistema hidrográfico fluvial de padrão dendrítico, caracterizado por uma grande quantidade de afluentes e subafluentes.

A Laguna Manguaba é interligada por uma série de canais com o oceano e a Laguna Mundaú, com a presença de várias ilhas.

A Laguna Manguaba possui uma profundidade média de aproximadamente 2,0 metros (PORTOBRÁS/INPH,1984).

De acordo com Oliveira e Kjerfve (1993), o tempo de residência das águas da Laguna Manguaba é de 36 dias e um volume aproximado de $97,7 \times 10^3 \text{ m}^3$. Esse tempo de residência alto, com uma baixa taxa de renovação das águas, propicia o acúmulo de matéria orgânica e sedimentos, favorecendo o processo de eutrofização.

Um componente importante que influencia na distribuição espacial das massas de água dentro do Sistema Lagunar Manguaba é a maré.

"As marés na área enquadram-se no regime de micro a mesomaré semidiurna, o que ocasiona no período chuvoso, com grande descarga fluvial e corrente de maré, a ruptura dos cordões litorâneos. Essas marés têm pouca influência na laguna e bastante nos canais, causando inversão de direção nas correntes, principalmente no verão, onde as trocas oceano/canal é mais intensa. (LIMA, 1998, p. 32)."

De acordo com ANA (2006) a Laguna Manguaba apresenta uma influência das águas marítimas, com oscilações nível da água pela maré na ordem de 10 cm.

As marés retardadas em mais de duas horas, fato este, justificado pela distância entre a Boca da Barra e o seu corpo d'água. (MELO-MAGALHÃES et al., 2004, p. 43).

De acordo com Guimarães Júnior *et al.* (2011), no mapeamento de uso da terra do CELMM realizado com base em imagens de satélite de 2009, foi observado um predomínio de usos antrópicos, com 56,87% do total da área de estudo, e a cana-de-açúcar ocupando 30% da área total analisada. Os tabuleiros costeiros são quase totalmente ocupados com cana-de-açúcar, sendo neste estudo, esta categoria classificada como impacto de uso da terra muito forte-baixo.

Os fragmentos dos remanescentes florestais são encontrados distribuídos nas encostas, geologicamente das Formações Barreiras, Coqueiro Seco, Poção e Ponta Verde, e na planície litorânea, com predomínio das formações pioneiras sobre depósitos de mangue e flúvio-lagunares. Os terraços marinhos estão bastante descaracterizados, ocupados com coco-

da-baía e áreas urbanas nas últimas duas décadas, com a instalação de diversos condomínios, parcelamento de grandes áreas, e a duplicação da rodovia AL-101-Sul.

Na área de estudo estão localizadas três unidades de conservação: Área de Proteção Ambiental de Santa Rita, que foi criada para preservar as características ambientais e naturais das regiões dos canais e lagoas Mundaú e Manguaba, ordenando a ocupação e uso do solo; Reserva Ecológica do Saco da Pedra, que abrange uma porção da restinga/barreira sul do CELMM; e a Reserva Particular do Patrimônio Natural São Pedro, localizada no município de Pilar.

3.5 Aspectos Socioespaciais

Com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, Censo 2010), Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio de Alagoas (SEPLAG/AL) e Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), foi elaborada a Tabela 1, que ilustra as principais características socioespaciais do Estado de Alagoas e dos municípios de Marechal Deodoro e Pilar.

Alagoas possui uma população estimada para 2015 de aproximadamente 3,3 milhões de habitantes, com município de Marechal Deodoro com uma população de 51.132 habitantes, correspondendo à 1,53% da população do estado, e o município do Pilar com 35.295 habitantes (1,05%). O município de Marechal Deodoro apresenta densidade demográfica 154,160 hab/km², superior a densidade de Alagoas, devido à grande expansão urbana na área do município, impulsionado pela instalação de indústrias, a construção de diversos condomínios residenciais, o aumento do turismo e a melhoria significativa do acesso, com a duplicação da Rodovia AL-101-Sul.

Os dois municípios, Marechal Deodoro e Pilar, são considerados urbanos, com uma taxa de urbanização de 94%. Em Marechal Deodoro o percentual da população atendida pelo sistema de esgotamento é de aproximadamente 23%, já no município de Pilar, não foi possível verificar a quantidade da população atendida pelo sistema de esgotamento.

Em Marechal Deodoro o setor de atividade secundário (indústria), contribui com mais de 65% do Produto Interno Bruto (PIB), bem acima dos percentuais do Estado de Alagoas e do Município do Pilar. Isto justifica-se por está implantado neste município o único Polo

Multifábrica Industrial José Aprígio Vilela, envolvendo o maior polo produtor de PVC da América Latina.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Estado de Alagoas, com 0,631, é o pior do Brasil, porém o Município de Pilar apresenta um IDH de 0,610, abaixo do índice alagoano, demonstrando as péssimas condições socioeconômicas deste município.

Tabela 1 - Aspectos socioespaciais dos municípios que abrangem a Laguna Manguaba

Parâmetros/Índices	Alagoas	Marechal Deodoro	Pilar
Área (km ²)	27.774,993	331,682	250,305
População total (2015)	3.340.932	51.132	35.295
Dens. Demográfica 2015 (hab/km ²)	120,285	154,160	141,008
Taxa de urbanização 2010 (%)	73,637	94,378	94,484
Esgoto – população atendida	539.276 (2013)	11.500 (2012)	----
Água – população atendida	2.301.006 (2012)	49.800 (2013)	28.355 (2013)
PIB 2012 (R\$1.000,00)	29.545.000	1.122.913,17	314.974,27
PIB per capita 2012 (R\$1,00)	9.333	23.638,29	9.367,82
Participação no PIB do setor de atividade (2012)	Agropecuária- 5,62% Serviços- 72,14% Indústria- 22,24%	Agropecuária- 3,58% Serviços- 31,21% Indústria- 65,21%	Agropecuária- 5,35% Serviços- 45,08% Indústria- 49,58%
Cana-de-açúcar 2013 (t)	23.533.500	1.009.795	475.198
IDH (2010)	0,631	0,642	0,610

Fonte: IBGE – Censo Demográfico (2010); SEPLAG/AL (2015); CONAB (2013)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados obtidos de documentos cartográficos, imagens de satélite, trabalhos de campo, levantamento bibliográfico e consultas a bancos de dados geográficos digitais e convencionais existentes.

As atividades desenvolvidas em gabinete, foi a realização do levantamento bibliográfico, em formato impresso e digital, que subsidiaram a elaboração da redação da revisão da literatura e das principais questões desenvolvidas e discutidas durante a pesquisa.

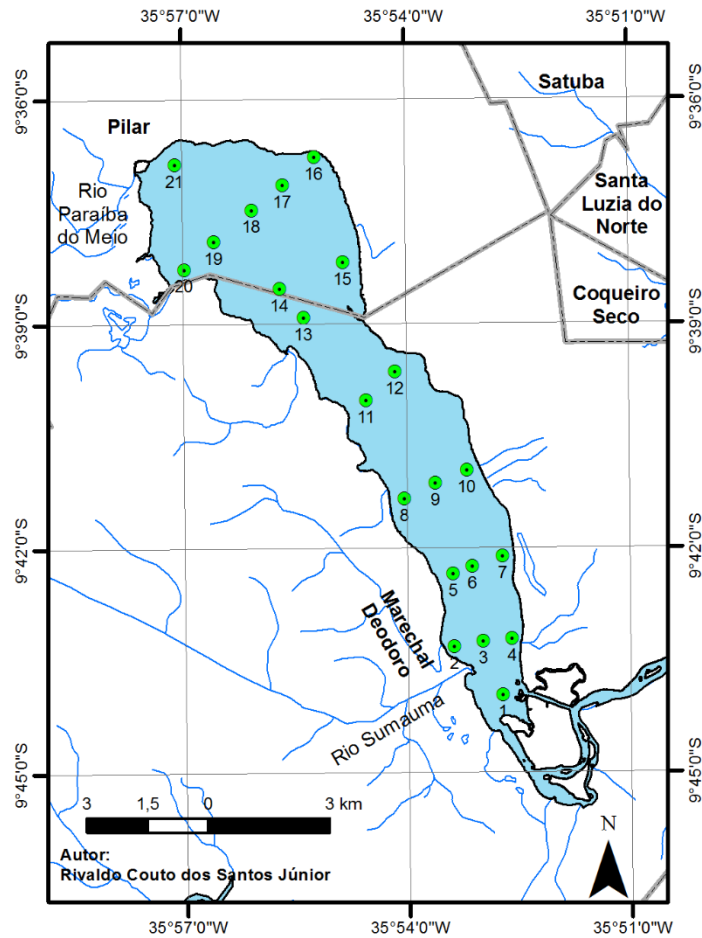
Outra atividade importante desenvolvida em gabinete, foi a realização de *downloads* de dados digitais disponível em diferentes fontes, tais como: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (SEMARH/AL), Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio de Alagoas (SEPLAG/AL), Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas (IMA/AL).

4.1 Obtenção dos dados e Amostragem

Para a realização da pesquisa foram utilizados os dados do Laboratório de Hidroquímica, vinculado aos Laboratórios Integrados de Ciências do Mar e Naturais (LABMAR) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

As campanhas para obtenção dos dados em 2013, foram realizadas no período seco (22/02 e 03/12/2013) e período chuvoso (28/05 e 29/08/2013). As estações de medições e coletas de amostras de água foram distribuídas em 21 estações de monitoramento no Sistema Lagunar Manguaba (Figura 2). A quantidade e a posição dos pontos de medições e coletas não variaram entre as campanhas amostrais.

Figura 2 - Localização das estações de monitoramento na Laguna Manguaba (2013).



Fonte: Autor (2016)

Com auxílio de sonda multiparamétrica YSI 6600 V2 (Figura 3) foram medidos no local de coleta a temperatura, pH, oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio, turbidez, condutividade elétrica e salinidade. Foram realizadas medições de transparência da água utilizando o Disco de Secchi.

Figura 3 - Sonda multiparamétrica YSI 6600 V2 utilizada para realizar as medições *in situ*.



Fonte: <https://www.ysi.com>.

Nas estações de monitoramento foram coletadas amostras de água em sub superfície com auxílio de garrafa de coleta. Os nutrientes inorgânicos, clorofila “a” e sólidos totais em suspensão foram determinados segundo a metodologia descrita no trabalho *Standard methods for the examination of water and waste water* (APHA, 2012).

4.2 Modelo TRIX

O Modelo de Índice de Estado Trófico (TRIX) foi proposto por Vollenweider *et al.* (1998), utilizando dados coletados no Mar Adriático. O índice TRIX é calculado utilizando os seguintes componentes:

(a) Fatores que expressam diretamente a produtividade primária:

Clorofila “a” (mg/m^3) e Oxigênio dissolvido como desvio absoluto [%] da saturação: $[\text{abs } 100|-\% \text{O}| = \text{aD}\%0]$;

(b) Fatores nutricionais:

Totais: Nitrogênio total (NT – mg/m^3) e Fósforo total (PT – mg/m^3);

Disponíveis: nitrogênio inorgânico dissolvido como N- ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$): $[\text{NID} = \text{mg}/\text{m}^3]$ e fósforo inorgânico dissolvido como P- PO_4 : $[\text{PID} = \text{mg}/\text{m}^3]$.

(c) Fatores suplementares de qualidade da água:

Transparência: $[\text{Profundidade de Secchi} = \text{m}]$.

Este índice trata-se de uma combinação linear logarítmica de quatro variáveis de estado onde agrega indicadores de pressão (nutrientes), resposta biológica (Cloro-*a* como *proxy* de biomassa fitoplanctônica) e distúrbio na qualidade da água (através do OD) (COTOVICZ JUNIOR, 2012; VOLLENWEIDER *et al.*, 1998).

Segundo Vollenweider *et al.* (1998), não foram encontradas diferenças significativas entre a aplicação do índice usando NT e PT, NID e P- PO_4 , NID e PT. Com isso, a utilização das frações dissolvidas já basta para obter um resultado considerável, já que está relacionado as concentrações totais desses nutrientes (SANTOS, 2015).

Portanto, o índice TRIX é calculado através da seguinte equação:

$$TRIX = \left(\frac{k}{n} \right) \sum_1^{i=n} \left[\frac{(\log S - \log I)}{(\log M - \log I)} \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: log M refere-se ao logaritmo médio, log S refere-se ao logaritmo superior e log I é o logaritmo inferior. Os limites superiores (log S) e inferiores (log I) de cada parâmetro são usados como fatores escalares.

Utilizando critérios estatísticos, onde são estabelecidos limites superiores e inferiores com um desvio padrão de $\pm 2,5$, objetivando excluir valores extremos (discrepantes), onde ocorrem raramente, levando a intervalos de confianças muito grandes, gerando erro no índice e invalidando a discriminação dentro da escala TRIX.

Para o Mar Adriático, a fórmula acima foi sintetizada na seguinte equação:

$$TRIX = ([\sum \text{em Log(Cloro-a, D\%OD, NID, PID)}] - [-1,5]) / (1,2) \quad (\text{Eq. 2})$$

De acordo com Cotovicz Junior (2012), a classificação para águas estuarinas usando o TRIX (Quadro 2) foi feita através de valores limiaries propostos por Penna *et al.* (2004), aplicados por Nasrollahzadeh *et al.* (2008) e adotados pela Legislação Ambiental da Itália (CARUSO *et al.*, 2010).

Quadro 2 - Classificação do estado trófico para águas estuarinas segundo modelo TRIX.

TRIX	Condições	Estado Trófico
<2	Muito pobremente produtivo e estado trófico muito baixo	Excelente (Ultra-Oligotrófico)
2-4	Pobremente produtivo e estado trófico baixo	Alto (Oligotrófico)
4-5	Moderadamente produtivo e estado trófico mediano	Bom (Mesotrófico)
5-6	Moderado a altamente produtivo e alto estado trófico	Moderado (Mesotrófico a Eutrófico)
6-8	Altamente produtivo e maior estado trófico	Pobre (Eutrófico)

Fonte: Adaptado de PENNA *et al.* (2004); NASROLLAHZED *et al.* (2008)

O índice TRIX foi calculado para a Laguna Manguaba utilizando dados pretéritos de outros sistemas costeiros brasileiros disponíveis, conforme proposto por Santos (2015), com diferentes graus de estado trófico, para assegurar os limites na escala de avaliação deste índice, adotando uma estratégia simplificada:

1) Foram escolhidos sistemas que possuem medições com frequência temporal semelhante durante um ciclo anual;

2) Os sistemas foram escolhidos de acordo com o seu estado trófico, estabelecidos por outros índices, cobrindo o espectro entre oligotrófico a hipertrófico;

3) Os dados utilizados incluíram sistemas estudados, como na sua maioria informações sobre o metabolismo, a biomassa autotrófica, a produção primária e a quantidade de nutrientes.

As bases de dados, dos sistemas utilizados para gerar a equação do índice TRIX para este estudo, foram cedidas pela equipe da Pós-graduação em Geoquímica da UFF: Libardone com. pess. (2015) para o estuário do rio São Francisco; Mizerkowski (2007) para o estuário da Baía de Guaratuba; por Moreira et al. (1990) para a Laguna de Guarapina; por Cotovicz et al. (2012) para o complexo estuarino lagunar Mundaú-Manguaba; Sterza (2006) para o sistema estuarino do Rio Paraíba do Sul; Santos (2015) para a Baía de Guanabara, além da base de dados do Laboratório de Hidroquímica do LABMAR/UFAL para a Laguna Manguaba.

4.3 Avaliação Geoambiental

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados obtidos de documentos cartográficos, imagens de satélite, trabalhos de campo, levantamento bibliográfico e consultas a bancos de dados geográficos digitais e convencionais existentes.

Primeiramente foi delimitada a área de estudo e, em seguida, foi realizada a vetorização dos corpos hídricos, estradas, área urbana, inserção dos pontos visitados em campo, e incorporação das feições existentes nas bases de dados utilizadas. As unidades geológicas existentes na área de estudo foram vetorizadas utilizando a Carta Geológica da Bacia Sergipe/Alagoas produzida pela Petrobras na escala de 1:50.000 (Marechal Deodoro: SC-25-V-C-IV-1), com ajustes realizados utilizando as imagens de satélite de alta resolução espacial e atualização das unidades geológicas conforme proposto por Feijó (1994) *in* Lima (1998, p. 37).

Segundo Lima (1998, p. 104), os aspectos geoambientais analisados na área de estudo foram delimitadas em função da identificação dos fatores geológicos, geomorfológicos, agentes de poluição, processos instalados e seus riscos. Diante da realização do mapeamento das unidades e geológico/geomorfológico e as caracterizações dos ambientes, foram realizadas visitas de campo com a finalidade de se obter a distribuição espacial dos agentes poluição

(assoreamento, movimento de massa, efluentes industriais/domésticos, cemitério, lixão, posto de combustível, depósito de produtos perigosos, transporte/processamento de óleo e gás, extração mineral) e a caracterização dos seus riscos.

Por fim, foi elaborado o mapa geoambiental e a elaboração do texto final, integrando os atributos físicos e socioeconômicos da paisagem, para melhor compreensão das relações socioespaciais.

4.4 Sistema de Informações Geográficas e Geoprocessamento

Para a elaboração do Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi utilizado o aplicativo ARCGIS Versão 10.4, reunindo todas as bases de dados geográficas (vetoriais, matriciais e planilhas eletrônicas).

Preliminarmente foram inseridas as informações obtidas dos levantamentos de campo, dos materiais cartográficos analógicos digitalizados, das bases de dados digitais acessadas, e das planilhas eletrônicas com os dados processados/analizados dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, do Laboratório de Hidroquímica.

Após a inserção, foi realizada a manipulação dos dados espaciais para a construção da base de dados em ambiente SIG, com informações básicas que possibilitaram as análises ambientais e elaboração do layout final dos cartogramas.

Para construção do mapa base foi utilizada a carta topográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:50.000 (Pilar: SC-25-V-C-I-1), a carta geológica da Bacia Sergipe/Alagoas produzida pela Petrobras na escala de 1:50.000 (Marechal Deodoro: SC-25-V-C-IV-1), Ortoimagens orbitais RapidEye avaliadas obtidas junto ao GeoCatálogo do Ministério do Meio Ambiente - MMA (Resolução espacial de 5 metros).

Com a definição dos limites da área de estudo, foi realizada a vetorização dos corpos hídricos, estradas, área urbana, inserção dos pontos visitados em campo, e incorporação das feições existentes nas bases de dados utilizadas.

Alguns planos de informação temáticos digitais foram produzidos a partir de planilhas eletrônicas, com a utilização de campos contendo as coordenadas geográficas e planas com projeção UTM e valores com os valores dos parâmetros analisados.

Os planos de informação para cada parâmetro físico, químico e biológico, nas quatro campanhas realizadas em 2013, foram gerados utilizando o método de interpolação matemática IDW (*Inverse Distance Weighted* – Ponderação do Inverso da Distância), utilizando o próprio aplicativo ARCGIS. A ferramenta de interpolação IDW, encontra-se disponível na caixa de ferramentas do ARCGIS Versão 10.4 (ArcToolbox), na extensão *Spatial Analyst Tools*.

Uma das técnicas de interpolação mais usadas para pontos espalhados espacialmente é o IDW (*Inverse Distance Weighted* – Ponderação do Inverso da Distância). A interpolação por IDW determina os valores dos pontos usando uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância (MARCUIZZO *et al.*, 2011, p. 796).

Segundo Marcuzzo *et al.* (2011, p. 796), a equação matemática para o cálculo da interpolação utilizando o método IDW é a seguinte:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: $Z(x)$ - é o valor do ponto que se deseja interpolar; n - é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto x ; $Z(x_i)$ - é o valor do ponto x_i ; e ω_i - é o peso do valor de x_i sobre o ponto x .

Para se determinar ω_i utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$\omega_i = \frac{1}{h(x, x_i)^p} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: $h(x, x_i)$ - é a distância entre o ponto x ; e p - é o parâmetro de potência, geralmente igual a dois.

Com os dados de cada parâmetro físico, químico e biológico, das quatro campanhas realizadas em 2013, foram realizadas as interpolações, gerando planos de informação de superfícies de estimativas geoestatísticas, em formato matricial (raster) para cada parâmetro em cada campanha, que foram incorporados à base de dados geográfica digital.

Foi gerado um plano de informação, contendo um polígono vetorial com os limites da Laguna Manguaba, que servirá como uma máscara no ambiente SIG, objetivando limitar a abrangência da interpolação, evitando que seja realizada a estimativa dos parâmetros para fora dos limites da laguna.

Para a caracterização da área foram gerados cartogramas digitais com a espacialização dos parâmetros abióticos e modelos, distribuídos em classes, utilizando o método regional, com a diferenciação de áreas, conceituando dentro do enfoque da divisão regional, como uma “região simples”, considerando que a classificação/diferenciação será realizada utilizando um único critério ou variável.

Segundo Corrêa (2000), no método regional, a diferenciação de áreas não é vista a partir das relações entre o homem e a natureza, mas sim da integração de fenômenos heterogêneos em uma dada porção da superfície da terra.

As similaridades e diferenças entre lugares são definidas através de uma mensuração na qual se utilizam técnicas estatísticas descritivas como o desvio-padrão, o coeficiente de variação e a análise de agrupamento. Em outras palavras, é a técnica estatística que permite revelar as regiões de uma dada porção da superfície da Terra. (CORRÊA, 2000).

Para criação dos planos de informação com os modelos/índices de avaliação do estado trófico, foi utilizada a ferramenta *Raster Calculator* na caixa de ferramentas do ARCGIS Versão 10.4 (ArcToolbox), na extensão *Spatial Analyst Tools*. Essa ferramenta permite inserir a equação dos modelos propostos, utilizando os planos de informação das superfícies de estimativas geoestatísticas, em formato matricial, para cada parâmetro que será utilizado, gerando como resultado novos mapas de distribuição espacial do modelo analisado.

Nos planos de informações analisados foram realizadas assinaturas ambientais, para obter informações sobre as características ambientais dos mapeamentos realizados. De acordo com Xavier-da-Silva (2001), a assinatura ambiental permite a identificação da área de ocorrência e varredura dos planos de informação georreferenciados componentes da base de dados sendo feita pelo cômputo planimétrico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Aspectos Geoambientais do Sistema Lagunar Manguaba

O Sistema Estuarino Lagunar Manguaba possui unidades ambientais distintas, que foram definidas para este estudo, considerando os três grandes conjuntos geológicos: Maciço Alagoas-Pernambuco, litótipos cretácicos e sedimentos de cobertura terciários e quaternários, além das suas unidades geomorfológicas. Assim, ainda neste sistema de interação do ar, do mar e da terra, distribuem-se diversos ecossistemas com grande importância ecológica, paisagística, econômica e social.

Agentes de Impactos Ambientais

Segundo Castro *et al.* (2005) e Zuquette *et al.* (1995) *in* Alheiros (1998), os riscos ambientais são classificados em três categorias: risco natural, risco tecnológico e risco social.

A área de estudo apresenta diversos agentes de impactos ambientais instalados, sendo agrupados considerando os seus riscos: geológico, social e tecnológico. Dentre os agentes de impactos ambientais instalados na área de estudo, foram identificados nove: lixões; cemitérios; efluentes industriais/domésticos; postos de combustíveis; depósitos de produtos perigosos; produção/transporte de óleo/gás; extração mineral/dragagem; assoreamento e movimento de massas.

De acordo com Pfaltzgraff (2007, p. 6), os riscos ambientais naturais são aqueles relativos a dinâmica natural do planeta, podendo ser induzidos e intensificados pelas atividades humanas. Os riscos naturais podem ser divididos considerando a sua ocorrência no meio biológico e físico, apresentando este último, subdivisões conforme os processos envolvidos (geológico, atmosférico e hidrológico).

Para este trabalho, à categoria de risco natural foi substituída pela de risco geológico, considerando que no Sistema Laguna Manguaba os processos naturais identificados foram apenas os de caráter geológico/exógenos (assoreamento, erosão, movimentos de massa).

No risco social, empregaremos as considerações de Egler (1996) *apud* Castro *et al.* (2005), que enfatiza o risco social como resultante de carências sociais que contribuem para

uma degradação das condições de vida da sociedade. Segundo CASTRO *et al.* (2005), as degradações das condições de habitabilidade e o acesso aos serviços básicos, como coleta de lixo e saneamentos, são fatores que acarretam riscos sociais. CASTRO *et al.* (2005), ainda considera que “os riscos tecnológicos são aqueles que estão relacionados com os processos produtivos e da atividade industrial”.

A partir da análise das unidades geoambientais e dos riscos ambientais, foi elaborado o

Quadro 3, com uma síntese das características geológicas, uso atual, riscos e uso compatível para o Sistema Lagunar Manguaba.

Quadro 3 - Aspectos geoambientais do Sistema Laguna Manguaba

Unidades Geoambientais		Características Geológicas	Uso atual	Riscos	Uso compatível
Pré-cambriano	Maciço Alagoas-Pernambuco	Granitos, gnaisses, migmatitos.	Extração mineral; Atividade agropastoril.	Tecnológico	Extração mineral; Atividade agropastoril; Ocupação urbana; Remanescentes Florestais; Áreas de uso restrito/preservação permanente.
	Formação Coqueiro seco	Arenito arcoseano com intercalações de folhelho	Produção/transporte de óleo; Atividade agropastoril; Ocupação urbana; Cemitério; Efluentes Industrial/Doméstico.	Tecnológico Social	Ocupação urbana; Produção/transporte de óleo; Atividade agropastoril; Remanescentes Florestais; Áreas de uso restrito/preservação permanente.
Cretáceo	Formação Ponta Verde	folhelho cinza-esverdeado			
	Formação Poção	conglomerados granítico			
Terciário	Formação Barreiras	Superfícies plana, formando os tabuleiros costeiros com caimento topográfico suave no sentido lagunar e costeiro, com encostas íngremes.	Ocupação urbana; Movimento de massa; Atividade agropastoril; Extração mineral (saibro); Produção, Transporte e processamento de gás/óleo; Lixão; Efluentes Industrial/Doméstico; Cemitério; Posto de Combustível; Remanescentes Florestais; Áreas de uso restrito/preservação permanente.	Geológico Tecnológico Social	Ocupação urbana; Atividade agropastoril; Extração mineral (saibro); Aproveitamento hidrogeológico; Produção e processamento de gás/óleo; Aterro sanitário controlado; Esgotamento sanitário; Atividades industriais; Posto de combustível; Remanescentes Florestais; Áreas de uso restrito/preservação permanente.
	Quaternário	Terraços Marinheiros Pleistocênicos	Sedimentos arenoso com matéria orgânica	Extração mineral (areia); Remanescente florestal.	Geológico

Depósitos Flúvio-Lagunares	Sedimentos siltycos argilosos encharcados de origem continental/ fluvial/ lagunar. Faixa circundante do sistema estuarino Manguaba	Extração mineral (draga); Transporte de gás/óleo;; Ocupação urbana; Cemitério; Efluentes Industrial/Doméstico; Disposição inadequada de resíduos; Área sujeita a aterro/assoreamento; Empreendimento de lazer (marina); Posto de combustível; Depósito de produtos perigosos;	Geológico Tecnológico Social	Extração mineral (draga); Ocupação urbana (restrições/alternativas); Empreendimentos de lazer (restrições/alternativas); Áreas de uso restrito/preservação permanente; Proteção (Unidade de conservação)
Terraços Marinheiros Holocênicos	Sedimentos arenosos com fragmentos de conchas, bastante porosos			
Recifes de Arenito	Sedimentos arenosos com cimento calcífero paralelos a linha de costa, com rupturas que favorecem a erosão costeira	Proteção natural da linha de costa	Geológico	Uso restrito com monitoramento constante; Proteção (Unidade de conservação)
Depósito de Mangue	Sedimentos argilo-arenoso com bastante matéria orgânica	Aterros (levando ao desequilíbrio na troca oceano-laguna); Abrigo de espécies	Geológico	Área de preservação permanente; Proteção (Unidade de conservação)
Corpos d'água	Compreende as águas superficiais formadas pelos Rios Paraíba do Meio e a Laguna Manguaba	Pesca, Lazer; Transporte; Extração Mineral (Dragagem); Assoreamento; Lançamento de efluentes; Eutrofização	Geológico Tecnológico Social	Lazer, transporte, pesca, extração mineral com restrições e constante monitoramento; Gerenciamento dos recursos hídricos.

Fonte: Autor (2016); Modificado de Lima (1998, p.108)

Com base nas visitas de campo e nas análises dos materiais bibliográficos e cartográficos foram registrados diversos locais com impactos ambientais instalados no Sistema Lagunar Manguaba, que foram associados aos tipos de riscos geológicos (Quadro 4).

Quadro 4 - Principais agentes de impacto ambiental no sistema Estuarino Lagunar Manguaba

Riscos	Agentes de impactos	Pontos
Geológico	Assoreamento	4
Geológico	Movimento de massa	3
Social	Cemitérios	3
Social	Efluentes Industriais/Doméstico	16
Social	Lixão	2
Tecnológico	Extração Mineral/ Dragagem	10
Tecnológico	Depósitos de Produtos Perigosos	4
Tecnológico	Produção/transporte de óleo/gás	9
Tecnológico	Posto de Combustível	13
Total		64

Fonte: Autor (2016)

A partir daí, analisamos que do total de 64 locais registrados, 56% foram classificados na categoria dos riscos tecnológicos. O agente de impacto ambiental com maior ocorrência registrado foi os efluentes industriais/domésticos (riscos sociais), contatando-se assim, que um dos piores problemas ambientais do Sistema Estuarino Lagunar Manguaba.

Assoreamento

O corpo lagunar é um ambiente com uma alta taxa de sedimentação, considerando a redução da hidrodinâmica no interior da laguna. De acordo com Oliveira e Cavalcante Segundo (1998, p. 104), a ocorrência do processo de assoreamento instalado no CELMM, principalmente na barra e na zona dos canais, reduz a capacidade de renovação da água do sistema lagunar, aumentando o tempo de residência da água interior poluída. O processo de assoreamento propicia uma perda da qualidade da água no interior do sistema lagunar, potencializando as condições para o processo de eutrofização.

Segundo Souza (2004, p. 26), a Laguna Manguaba apresenta diversos problemas ambientais, dentre eles, o assoreamento da sua foz, alterando a circulação de suas águas. O estudo identifica quatro áreas críticas de estrangulamento ao fluxo nos canais de comunicação, entre o oceano e a Laguna Manguaba, na Boca da Barra, Prainha, Massagueira e Canal Novo, ocasionando a redução da hidrodinâmica e da capacidade de remobilização de sedimentos.

A antropização da paisagem circundante da Laguna Manguaba, como os desmatamentos, propicia a instalação de processos erosivos, potencializando o carreamento de sedimentos para o próprio corpo lagunar e canais adjacentes. Esse fato, associado com a baixa hidrodinâmica do sistema, aceleram a deposição sedimentos, levando a processos de assoreamento do sistema lagunar (Figura 4).

Movimento de massas

Na área de estudo foram registradas ocorrências de Movimento de massas, situadas em cortes de taludes nas encostas para implantação de rodovias/estradas. Nessas ocorrências, os cortes realizados são bastante íngremes, não possuindo estruturas de ordenamento da drenagem superficial e intervenções adequadas para estabilização das encostas.

Figura 4 - Locais com sinais de assoreamento na zona dos canais do CELMM e na Laguna Manguaba.



Fonte: Fotos do Autor (2015)

Movimento de massas

Na área de estudo foram registradas ocorrências de Movimento de massas, situadas em cortes de taludes nas encostas para implantação de rodovias/estradas. Nessas ocorrências, os cortes realizados são bastante íngremes, não possuindo estruturas de ordenamento da drenagem superficial e intervenções adequadas para estabilização das encostas.

Em alguns taludes foram evidenciadas erosões aceleradas dos sedimentos da Formação Barreiras, com a presença de ravinas e sulcos profundos, propiciando uma remoção dos sedimentos situados nas encostas, com sua deposição inicial no sopé da encosta.

Em períodos de grande pluviosidade, esses depósitos coluviais são transportados para o corpo hídrico adjacente, contribuindo como aumento do assoreamento, como é o caso da cicatriz registrada na margem da Rodovia BR424 (Figura 5), próxima a ponte do Canal de Dentro e ao aclave do Polo Multifábrica Industrial José Aprígio Vilela, apresentando uma área de 8.000 m² e uma distância de 130 metros do Canal de Dentro do CELMM. Para a construção da estrada de acesso a cidade de Pilar foram realizados alguns cortes de talude, onde atualmente apresenta sinais de movimento de massa em depósitos da Formação Barreiras (Figura 5).

Figura 5 - Sinais de Movimento de massa em cortes de estradas na BR424 (Marechal Deodoro) e na estrada de acesso a cidade do Pilar.



Fonte: Fotos do Autor (2015)

Cemitérios

Outro agente de impacto, que provoca danos a qualidade das águas subterrânea/superficiais são os cemitérios, que na área de estudo foram identificados três cemitérios em funcionamento dispostos em unidades ambientais distintas. O cemitério municipal da cidade de Pilar, encontra-se situado em uma área de encosta suave, a apenas 415 metros de distância da margem lagunar, no interior da área urbana municipal, na Formação Coqueiro (Figura 6).

Figura 6 - Cemitérios situados nas sedes dos municípios de Pilar e Marechal Deodoro.



Fonte: Fotos do Autor (2015)

Em Marechal Deodoro, o cemitério municipal encontra-se na área urbana e está a aproximadamente 540 metros de distância da Laguna Manguaba e a menos de 100 metros de uma drenagem superficial. Este cemitério está instalado em uma encosta da Formação Barreiras, totalmente circundado por residências.

O terceiro cemitério está localizado na Ilha de Santa Rita, mais precisamente no Povoado Barra Nova, pertencente ao Município de Marechal Deodoro. O cemitério foi construído sobre os depósitos flúvio-lagunares, que apresentam sedimentos silty-argilosos encharcados. O nível do freático nesta localidade é pouco profundo, aflorando em alguns períodos.

Assim, o necrochorume (líquido composto por água, sais minerais e substâncias orgânicas, oriundo do processo de decomposição dos corpos ou partes), constitui o principal problema ambiental desses antigos cemitérios, visto que, os mesmos não seguiram nenhum critério para definir a sua localização e seguir exigências técnicas para evitar a contaminação de do solo e das águas superficiais/subsuperficiais.

Efluentes Industriais/Domésticos

Segundo Ribeiro *et al.* (2011, p. 1112), durante as últimas três décadas o CELMM foi alvo do aporte fluvial de efluentes orgânicos (vinhoto) e inorgânicos (nutrientes de fertilizantes) da indústria canavieira, acarretando problemas de qualidade da água.

De acordo com Marques (1991) e Melo-Magalhães *et al.* (1998), o despejo do resíduo de usinas de açúcar e destilarias, vinhoto, favorece o desenvolvimento de *blooms* de cianofíceas e dinoflagelados, que causam grandes depleções nas taxas de oxigênio dissolvido, resultando em grandes mortandades e peixes nas lagunas” Mundaú e Manguaba (ARAUJO; CALADO, 2008, p. 172).

“O processo de eutrofização pode ser acelerado, artificialmente, ocasionando a denominada eutrofização artificial. A aceleração, resultado de atividades antrópicas, pode ocorrer devido ao lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados e atividades agrícolas mal planejadas” (BRAGA *et al.*, 2002 *apud* FERREIRA JUNIOR, 2011).

De acordo com Melo-Magalhães *et al.* (1998, p. 10), no CELMM, as florações de algas cianofíceas são recorrentes, com as espécies *Anabaenaspiroides* e *Microcystisaeruginosa* consideradas as mais frequentes. O processo de floração de algas, especialmente frequente na

Laguna Manguaba, é denominado localmente de verdete, conforme título e caracterização no trabalho de Medeiros (1998).

A coleta e tratamento de esgoto nos municípios de Pilar e Marechal Deodoro são extremamente precárias. Esses municípios apresentam uma situação de degradação ambiental elevada, devido à ausência de coleta e tratamento adequado, visto que, grande parte destes efluentes são lançados *in natura* nos corpos hídricos, em especial na Laguna Manguaba, comprometendo de forma significativa a qualidade da água (Figura 7).

Nas áreas úmidas, localizadas nos depósitos flúvio-lagunares, o problema se faz mais grave, pois com a variação do nível do lençol freático devido as precipitações, e com a urbanização desenfreada onde a instalação desordenada de fossas, sumidouros e valas de infiltração contribuem de forma significativa para a contaminação das águas subterrâneas.

Figura 7 - Pontos de lançamentos de efluentes na cidade de Pilar e no município de Marechal Deodoro.



Fonte: Fotos do Autor (2016)

Resíduos Sólidos

A disposição inadequada de resíduos sólidos é um grande problema socioambiental, e vem ganhando um grande destaque em nível nacional, principalmente após a publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010).

De acordo com o Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos no Estado de Alagoas contido no Plano Estadual de Resíduos Sólidos, elaborado pela SEMARH/AL, a estimativa da quantidade gerada de resíduos sólidos urbanos para o Estado de Alagoas foi de 2.022,08

toneladas de resíduos sólidos urbanos, dos quais, 62,49% dos resíduos são gerados na Região Metropolitana. O município de Marechal Deodoro apresenta uma quantidade gerada de resíduos sólidos urbanos de 28,20 toneladas por dia, enquanto o município de Pilar a geração foi de 20,67 toneladas por dia.

Segundo SEMARH (2014, p. 64), a cobertura da coleta de resíduos sólidos em domicílios urbanos e rurais de Marechal Deodoro foram de 99,75% e 35,90%, respectivamente. O município do Pilar apresentou taxas menores, com 98,85% nos domicílios urbanos e 11,76% nos domicílios rurais.

A disposição dos resíduos sólidos em lixões, é um dos principais problemas ambientais, além de expor a população à diversas substâncias nocivas, através da dispersão de contaminantes no solo, ar, e águas superficiais, além de uma significativa depreciação da qualidade da água subterrânea ocasionada pelo chorume (líquido produzido pela decomposição das substâncias contidas no resíduo sólido).

Na área em estudo não existe em funcionamento aterros sanitários controlados, e os resíduos sólidos produzidos nos municípios são dispostos de forma inadequada. Assim, os principais lixões encontrados localizam-se nos tabuleiros costeiros, dispostos em sedimentos terciários da Formação Barreiras.

O lixão de Pilar está situado a aproximadamente 600 metros de distância da rede de drenagem superficial. Encontra-se em fase de instalação no município de Pilar, uma Central de Tratamento de Resíduos (CTR), que tem como objetivo absorver os resíduos produzidos.

Já o município de Marechal Deodoro apresenta uma situação mais preocupante, visto que o lixão está situado uma distância aproximada de 100 metros da rede drenagem superficial (Figura 8), além do município possuir uma maior população, e até o momento não existe projeto de implantação de aterro sanitário.

Extração Mineral/dragagem

Para realização dos levantamentos das extrações minerais e dragagens na área em estudo, utilizamos o site do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e levantamentos em campo, assim, foram encontradas 28 áreas autorizadas para extração de areia, granito e saibro (Tabela 2).

Figura 8 - Lixões situados nos municípios de Pilar e Marechal Deodoro.



Fonte: Fotos do Autor (2015)

Tabela 2 - Autorizações expedidas para extração de recursos minerais

Qtde	Substância	Uso	Área (ha)
23	Areia	Construção civil	426,9
4	Saibro	Construção civil	82,6
1	Granito	Não informado	42,05

Fonte: Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/ao-minerador/sigmine>, acessado em: 16/09/2015

Com base nos levantamentos de campo, verificamos que a extração de areia é realizada predominantemente com o auxílio de dragas nos leitos dos rios e no próprio corpo lagunar. Verificamos que diversos equipamentos de grande porte são utilizados em desacordo com os critérios técnicos e ambientais exigidos, como a dragagem dos sedimentos próximo as margens e a disposição inadequadas nas áreas de preservação permanente (Figura 9).

Nos locais de extração mineral com dragas, foram registrados focos de erosão marginal, provavelmente ocasionado pela extração da areia próximo da margem, ocasionando o solapamento do barranco do rio, assoreamento, alargamento do leito, perda de energia para o transporte sedimentar e degradação das áreas de preservação permanente. Outro aspecto importante na operação das dragas, que influencia diretamente na qualidade da água do corpo hídrico, é a remobilização dos sedimentos ricos em matéria orgânica e nutrientes, que podem contribuir para a criação de um ambiente propício para desencadear um processo de eutrofização.

Figura 9 - Extração de areia no leito do Rio Paraíba do Meio, apresentando sinais de erosão marginal, e extração de areia na margem da Laguna Manguaba.



Fonte: Fotos do Autor (2015)

No município de Pilar foram registrados diversos pontos de extração de areia manual (garimpo), estes localizados na Laguna Manguaba e na foz do Rio Paraíba do Meio, dentro da sua área urbana (Figura 10). Na área de ocorrência dos terraços marinhos pleistocênicos foi registrada uma extração de areia fina, usada para acabamento na construção civil, comumente chamada de areia de frigrir.

A extração de saibro ocorre em diversas encostas da Formação Barreiras que circundam a Laguna Manguaba, sendo 4 extrações identificadas, todas com autorização do DNPM. A extração de granito ocorre na porção noroeste da área de estudo, nos afloramentos do Maciço Alagoas-Pernambuco (Figura 10).

Figura 10 - Extração de areia manual no leito do Rio Paraíba do Meio e extração de granito.



Fonte: Fotos do Autor (2015)

Depósitos de Produtos Perigosos

Alguns locais de depósitos de produtos perigosos foram considerados importantes agentes de impactos ambientais, assim, foram considerados de alto risco, pois, podem gerar danos graves aos ecossistemas locais. Na área em estudo, com base nos levantamentos realizados, foram identificados 4 locais que armazenam produtos perigosos.

O primeiro na margem direita do Rio Paraíba do Meio, à montante do cruzamento com a Rodovia BR-101, onde encontra-se instalado um empreendimento para fabricação de asfalto, que possui reservatórios de armazenamento de combustíveis (gasolina e diesel), gás e de produtos químicos utilizados para a fabricação de asfalto (Betume/Piche). Esse local de depósito, produtos perigosos, está situado na Área de Preservação Permanente (APP) do Rio Paraíba do Meio, com distância variando entre 30 a 100 metros do leito regular do rio (Figura 11), estando dispostos sobre sedimentos fluviais no atual leito maior.

Seguindo, na Usina de Produção de Álcool Sumaúma foram identificados 3 importantes locais que realizam depósito de produtos perigosos. Um na própria área industrial da usina, onde são armazenados o álcool produzido e outro de produtos químicos utilizados no processo industrial, ambos situados a aproximadamente a 200 metros de distância do leito regular do Rio Sumaúma. A empresa possui ainda, dois reservatórios com capacidade individual de armazenamento de 5 mil m³ para etanol, estando estes à aproximadamente 200 metros de distância do leito regular do Rio Paraíba do Meio (Figura 12).

Figura 11 - Usina de asfalto situada próximo ao Rio Paraíba do Meio (Depósito de produtos perigosos).



Fonte: Fotos do Autor (2015)

Figura 12 - Armazenamento de álcool e vinhaça da Usina Sumaúma (Mal. Deodoro).



Fonte: Fotos do Autor (2015)

As usinas de produção de etanol brasileiras em média produzem de 10 a 12 litros de vinhaça por litro de etanol produzido. A Sumaúma possui algumas lagoas artificiais que são utilizadas para o armazenamento da vinhaça produzida. A vinhaça é principalmente constituída de matéria orgânica, na forma de ácidos orgânicos, onde de acordo com Silva *et al.* (2007, p. 109), apresenta um alto poder poluente e alto valor fertilizante; o poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico.

A vinhaça atualmente é utilizada como fertilizante na produção de cana-de-açúcar, e a sua aplicação é realizada de forma indiscriminada, não respeitando as características de escoamento superficial e subsuperficial, capacidade do solo e composição de mineral do solo, propiciando a contaminação principalmente do lençol freático através da lixiviação de alguns minerais, alcançando os corpos hídricos superficiais.

O escoamento superficial e subterrâneo da vinhaça contribui para a instalação de processo de eutrofização dos corpos hídricos, que são recorrentes na Laguna Manguaba.

Produção/transporte de óleo/gás;

Na área em estudo o Campo de produção de óleo e gás do Pilar está situado às margens da Laguna Manguaba, e segundo a Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), essa área de concessão possui 89,4 km², sendo a rocha geradora os folhelhos da Formação Coqueiro Seco, principal Formação de ocorrência de reservatórios. O campo de produção (Figura 13) possui aproximadamente 300 poços verticais e direcionais,

onde o escoamento é realizado através de sua linha de produção até um satélite, por meio de dutos de coleta, assim transportado até a Estação de Produção de Pilar - EPPIR (Figura 14). O gás natural é direcionado até a Unidade de Processamento de Gás Natural de Alagoas (UPGN-AL).

Figura 13 - Poço de produção de petróleo e equipamentos de perfuração de novo poço de produção no Campo de Pilar.



Fonte: Fotos do Autor (2015)

Neste campo produtor de óleo e gás, o transporte se realiza por um sistema de dutos, para vários estados nordestinos, pelo sistema Gasoduto Nordeste, para o Porto de Maceió e também o gás natural é distribuído internamente pela Concessionária Alagoana de Gás Natural (ALGÁS).

Postos de Combustíveis

Na área de estudo foram identificados 13 postos de combustíveis em 3 unidades ambientais. A grande maioria deles, 7 postos, encontram-se situados na Formação Barreiras, 4 encontram-se instalados em terraços marinhos holocênicos, e apenas 2 situados em áreas de depósitos flúvio-lagunares. A instalação de postos de combustíveis em sedimentos quaternários da planície litorânea, em aquífero livre poroso, de freático raso, pequena profundidade, compõem um ambiente de elevada vulnerabilidade à contaminação. A legislação estabelece exigências técnicas para a instalação e operação dos postos de combustíveis, com objetivo principal aumentar a segurança e diminuir o risco de contaminação do solo e lençol freático.

Figura 14 - Estação de Produção de Pilar (EPPIR) e Unidade de Processamento de Gás Natural de Alagoas (UPGN-AL), e detalhe de estruturas de emergência instaladas no cruzamento da estrada com a rede de drenagem, para contenção de vazamento de óleo.



Fonte: Fotos do Autor (2015)

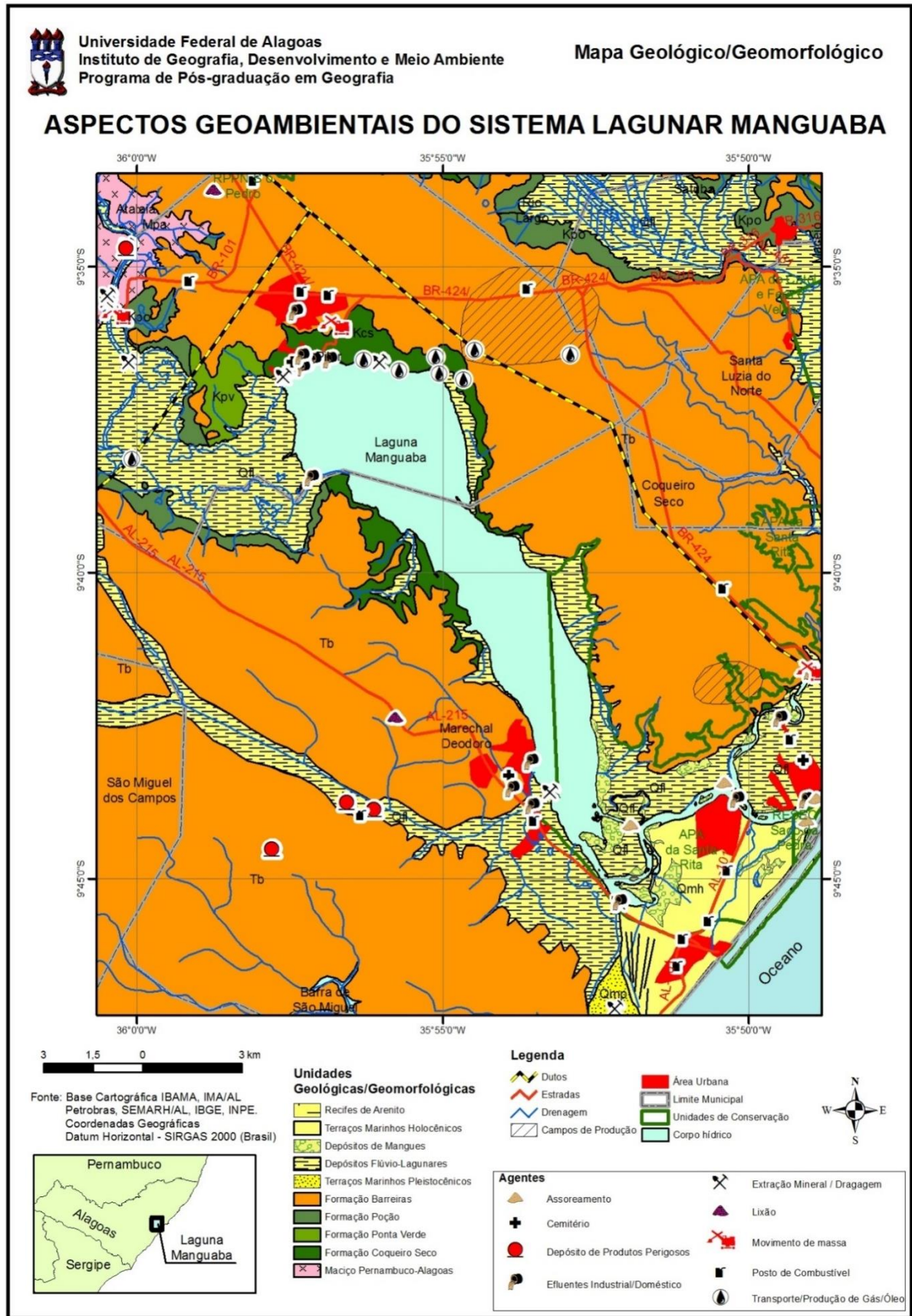
Com base nos levantamentos realizados e descritos acima, elaboramos o mapa geoambiental da área, onde foram georreferenciados e distribuídas sobre as unidades geoambientais os impactos levantados (Figura 15). Como pode ser verificado no mapa abaixo, existe uma concentração dos agentes de impactos ambientais nas áreas urbanas de Marechal Deodoro e Pilar, o que já era de se esperar, com ênfase especial nos lançamentos de efluentes nos corpos hídricos, e a presença dos cemitérios.

No corpo Lagunar e seus canais, verificamos diversas áreas assoreadas, prejudicando assim a circulação e renovação das águas. O assoreamento e mais os lançamentos de efluentes sem tratamentos, potencializam o problema da poluição hídrica no sistema.

Como na maioria dos municípios brasileiros, os lixos estão localizados próximos aos núcleos urbanos. Assim, em Marechal Deodoro e Pilar os mesmos encontram-se instalados nos tabuleiros da Formação Barreiras, podendo apresentar elevada vulnerabilidade a contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo escoamento e infiltração do chorume.

Na planície litorânea, este processo se potencializa, pois, o aquífero é poroso, com nível freático raso, e sujeito a vários agentes impactantes, que podem contaminar e comprometer as águas subterrâneas, por vazamentos de postos de combustíveis, migração do chorume nos cemitérios, contaminação por fossas e também por postos de lançamentos de efluentes.

Figura 15 - Mapa Geoambiental com os principais aspectos no do Sistema Lagunar Manguaba.



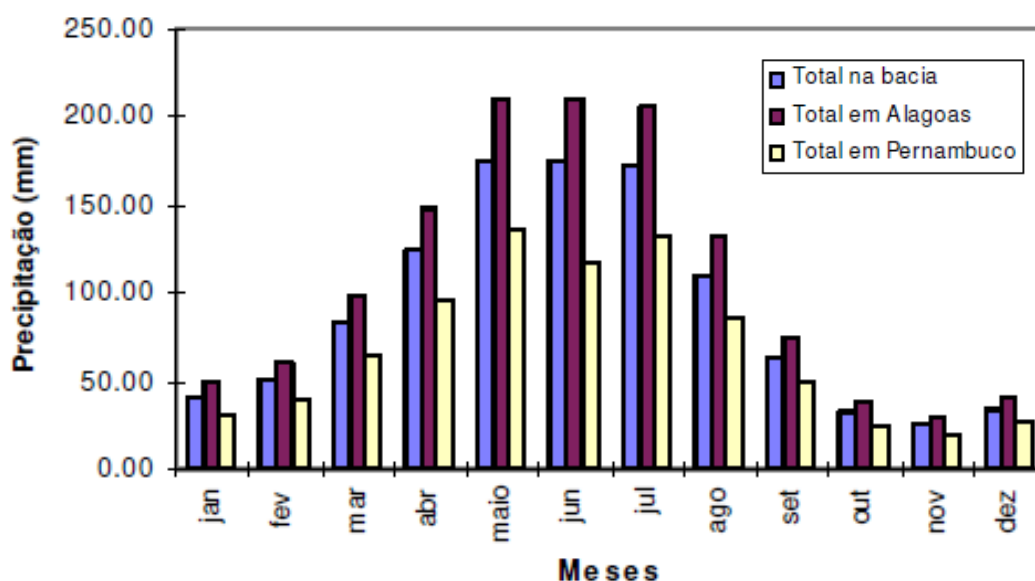
Fonte: Autor (2016)

5.2 Parâmetros meteorológicos

De acordo com Koppen o regime de chuva e seca que atua na região nordeste do Brasil e desempenha importante papel sobre as características das águas estuarinas, gerando duas condições típicas com diferenças acentuadas entre períodos húmidos e períodos de estiagem ao longo do ano conforme verificado por Cotovicz Junior (2012).

A Figura 16 apresenta os dados de precipitações médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio, sendo possível identificar o período chuvoso, com as maiores precipitações médias entre os meses de abril e agosto.

Figura 16 - Precipitações médias mensais históricas da Bacia do Rio Paraíba do Meio e as contribuições relativas de Pernambuco e Alagoas.



Fonte: Rodrigues (2012); PDRH (2001)

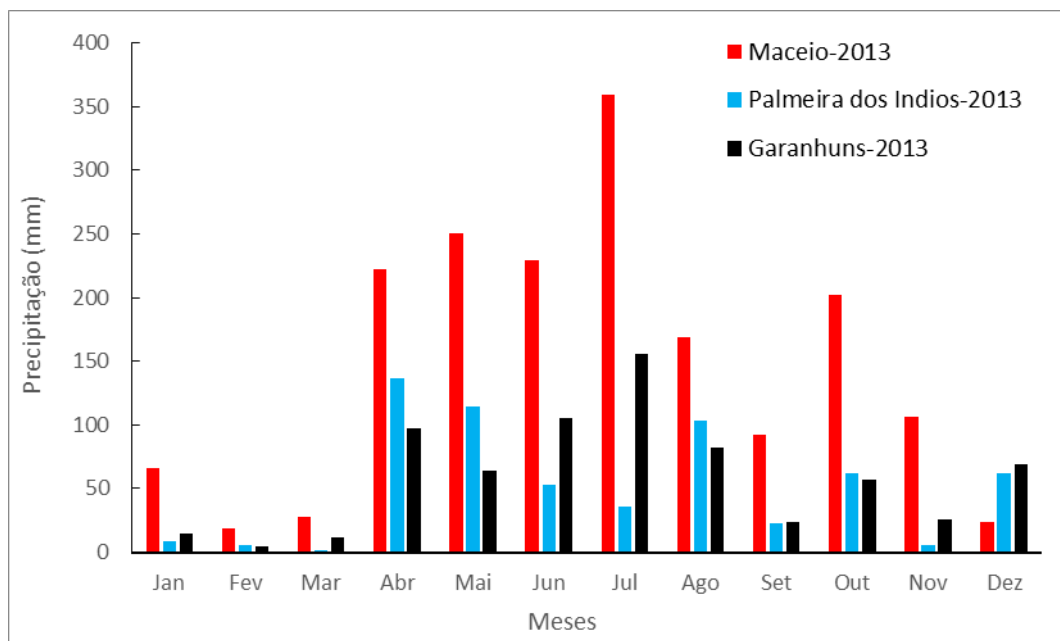
Para caracterizar o regime de chuvas para o ano de 2013, foram utilizados os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com as precipitações das estações meteorológicas automáticas (EMA) de Maceió (INMET: A303; Código OMM: 81998), Palmeira dos Índios (INMET: A327; Código OMM: 81995) e Garanhuns (INMET: A322; Código OMM: 81955). As referidas estações meteorológicas não se situam nos limites geográficos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio, no entanto podem caracterizar o regime pluviométrico da mesma. A EMA de Garanhuns encontra-se a uma distância de 6,3 km

do limite da bacia do seu alto curso, a EMA de Palmeira dos Índios está a 4,62 km do limite da bacia do seu médio, e a EMA de Maceió está situada a 19,5 km do limite da bacia do seu baixo curso.

A Figura 17, demonstra a distribuição das precipitações mensais para o ano de 2013 nas estações meteorológicas automáticas de Maceió (INMET: A303; Código OMM: 81998), Palmeira dos Índios (INMET: A327; Código OMM: 81995) e Garanhuns (INMET: A322; Código OMM: 81955). As precipitações totais anuais registradas foram de 1766 mm, 611 mm e 709 mm, nas estações Maceió, Palmeira dos Índios e Garanhuns respectivamente. Essa precipitação registrada em 2013 ficou bem próxima da registrada na média histórica, que é de 1600 mm no baixo curso e 750 mm no alto curso.

O período chuvoso no ano de 2013 ficou bem caracterizado no seu início, para o mês de abril, já o seu término, tradicionalmente caracterizado no mês de agosto, não ficou muito nítido no seu baixo curso.

Figura 17 – Precipitações mensais para ano de 2013, das estações meteorológicas automáticas de Maceió (INMET: A303; Código OMM: 81998), Palmeira dos Índios (INMET: A327; Código OMM: 81995) e Garanhuns (INMET: A322; Código OMM: 81955).



Fonte: INMET

Analisando as precipitações diárias nas estações meteorológicas automáticas de Maceió, Palmeira dos Índios e Garanhuns, para os períodos com 15 dias de antecedências das campanhas de 22/02 (Figura 18-A), 28/05(Figura 18-B), 29/08(Figura 18-C) e 03/12/2013(Figura 18-D), observa-se um padrão normal de chuvas para o período seco e chuvoso.

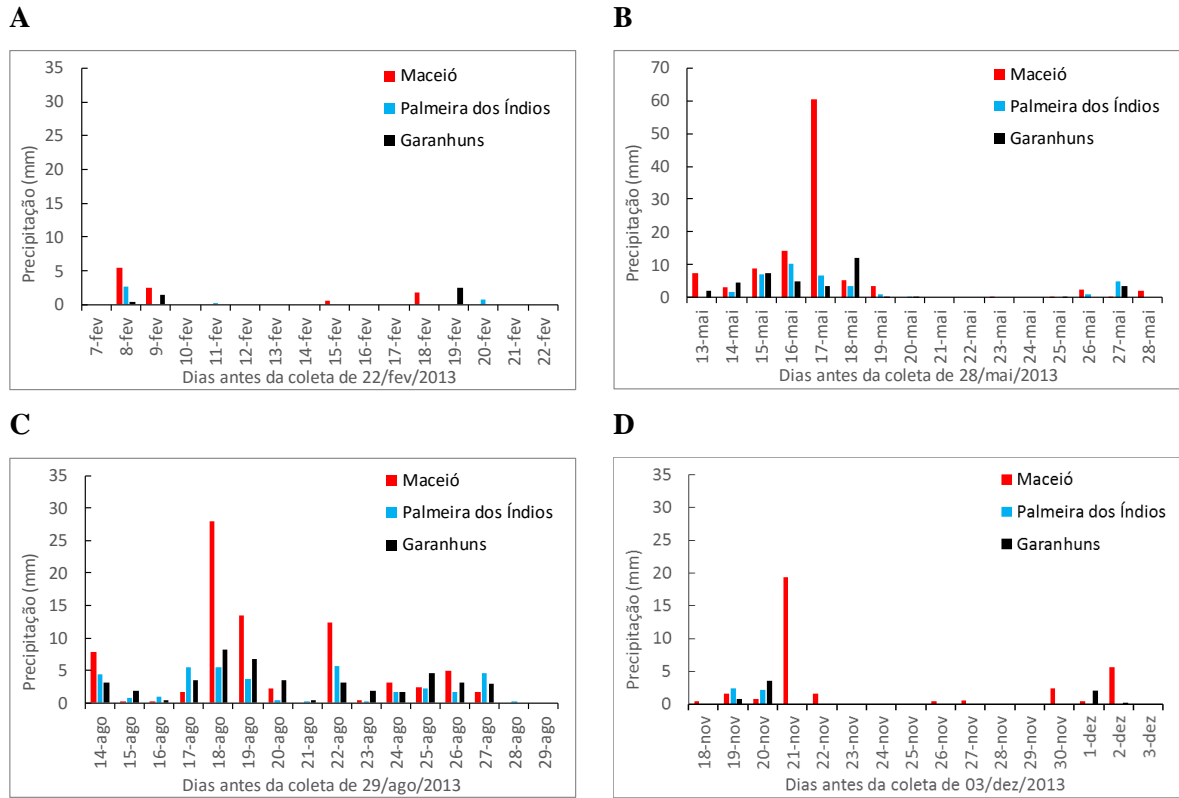
Nos períodos que antecederam as campanhas do período seco, foram caracterizados por baixas precipitações, com valores totais variando entre 4,2 a 6,6 mm, 3,6 e 4,6 mm, e 10,2 e 33,2 mm, nas estações de Garanhuns, Palmeira dos Índios e Maceió, respectivamente.

As precipitações totais registradas nos períodos com 15 dias de antecedência das campanhas do período chuvoso, apresentaram valores variando entre 38,4 e 45,0 mm, 35,7 e 37,2 mm, e 78,4 e 105,8 mm, nas estações de Garanhuns, Palmeira dos Índios e Maceió, respectivamente. O período que antecedeu a campanha de 28/05/2013 apresentou os maiores valores de precipitações totais, no entanto, essa precipitação ficou concentrada nos sete primeiros, totalizando aproximadamente 90% da precipitação registrada no período. As precipitações registradas no período de 15 dias de antes da campanha de 29/08/2013 foram bem distribuídas, com a ocorrência de chuvas praticamente todos os dias.

Durante grande parte do ano, o rio Paraíba do Meio apresenta vazões entre 5 m³/s e 7 m³/s próximo à sua foz na Laguna Manguaba, na estação fluviométrica Atalaia (Código ANA 39870000), no município homônimo, situada a aproximadamente 27 quilômetros de distância da Laguna Manguaba. A vazão média do rio nesse trecho é de 19,5 m³/s, e sua vazão de referência, com permanência de 90%, é de 2,87 m³/s (Figura 19).

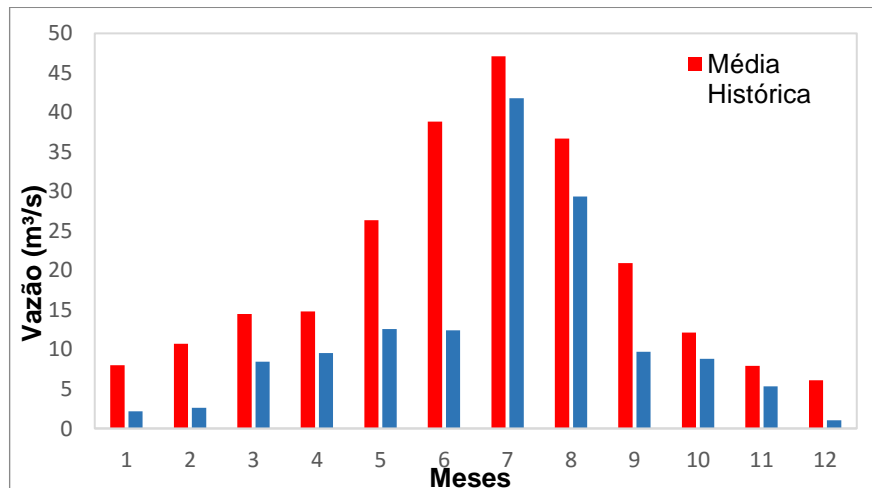
Na Figura 19 observa-se o comportamento da média mensal histórica e média mensal de 2013 da vazão do Rio Paraíba do Meio, na estação Atalaia (Código ANA 39870000), situado no município de Atalaia, para o período de 1977 a 2013. A vazão média do Rio Paraíba do Meio variou entre 1,02 m³/s (dezembro/2013) e 41,78 m³/s (julho/2013), com média de 11,98 m³/s.

Figura 18 – Precipitações diárias para períodos com 15 dias de antecedências das campanhas de 22/02(A), 28/05(B), 29/08(C) e 03/12/2013(D), nas estações meteorológicas automáticas de Maceió (INMET: A303; Código OMM: 81998), Palmeira dos Índios (INMET: A327; Código OMM: 81995) e Garanhuns (INMET: A322; Código OMM: 81955).



Fonte: INMET

Figura 19 - Gráfico da média mensal histórica (1977-2013) e média mensal de 2013 da vazão do Rio Paraíba do Meio, na estação Atalaia, no município homônimo (Código ANA 39870000).

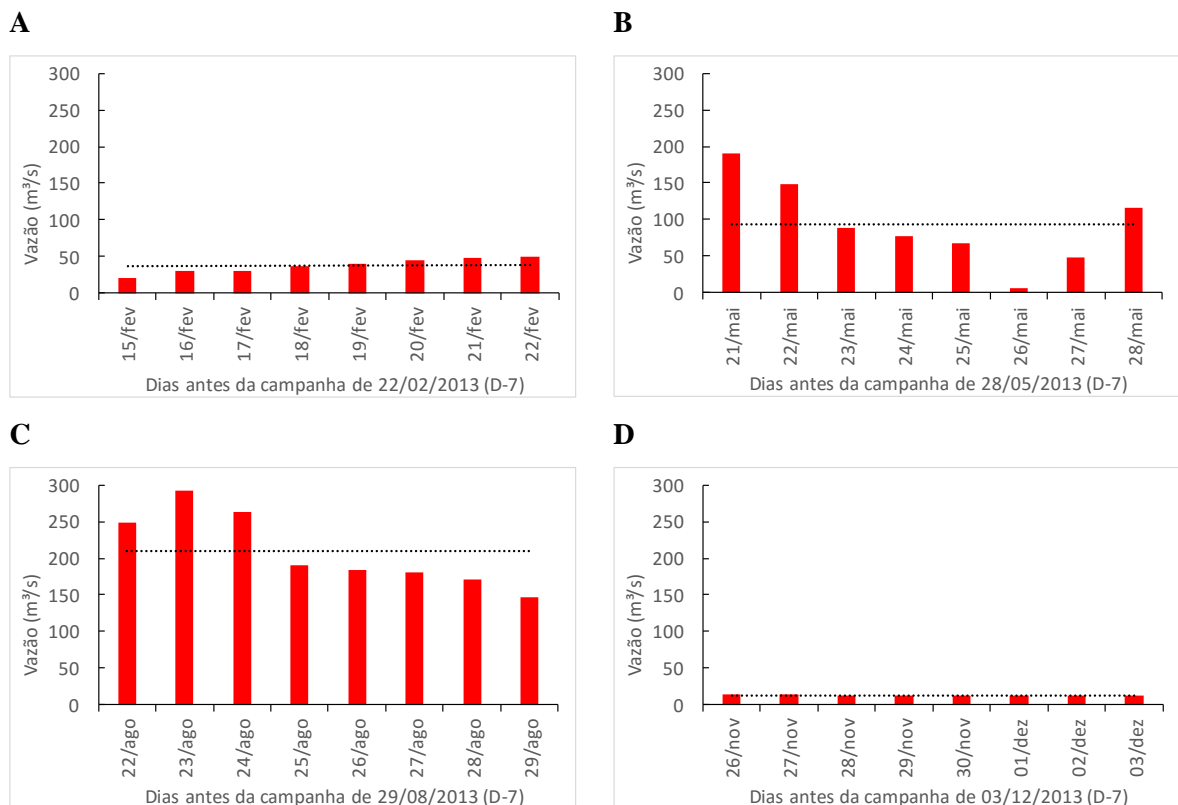


Fonte: HIDROWEB/ANA (2015)

Analisando as vazões médias diárias do Rio Paraíba do Meio, na estação fluviométrica no município de Atalaia, para os períodos com 8 dias de antecedências das campanhas de 22/02 (Figura 20 - A), 28/05 (Figura 20 - B), **Figura 18** 29/08 (Figura 20 - C), e 03/12/2013 (Figura 20 - D), observa-se um padrão normal da vazão para o período seco e chuvoso.

As maiores vazões foram para o período que antecede a campanha de 29/08/2013 (Figura 20 - C), refletindo as precipitações registradas conforme Figura 18 (C), e as menores vazões foram registradas antes da campanha de 03/12/2013.

Figura 20 – Vazão média diária para períodos com 8 dias de antecedências das campanhas de 22/02(A), 28/05(B), 29/08(C) e 03/12/2013(D), do Rio Paraíba do Meio, na estação Atalaia, no município homônimo (Código ANA 39870000).

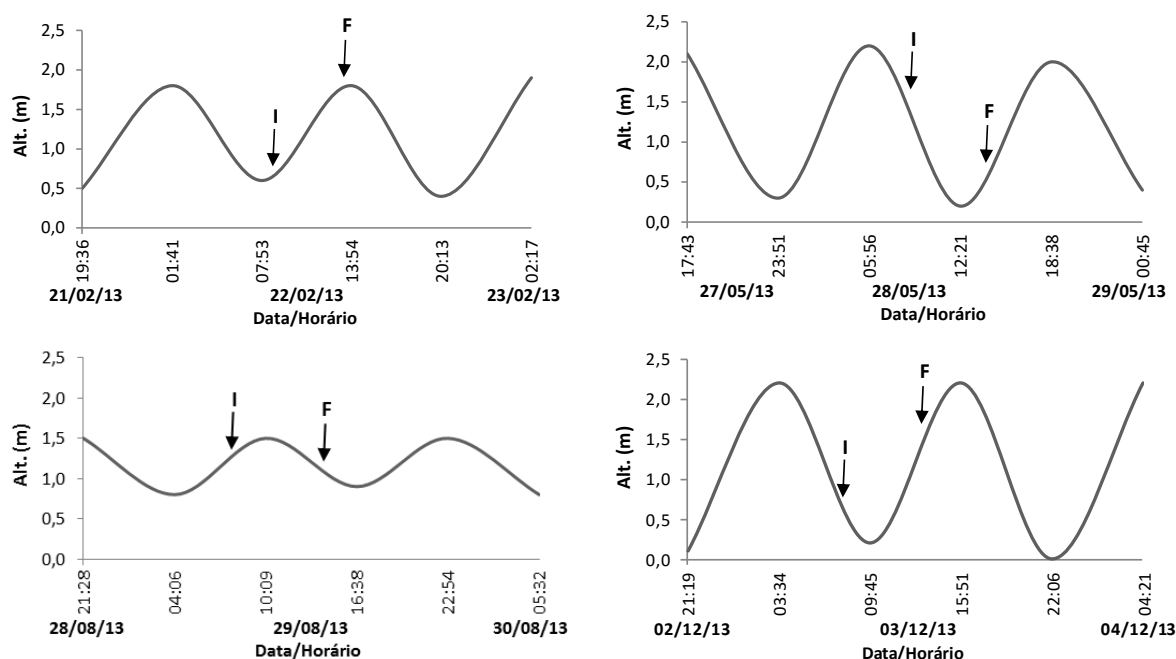


Fonte: HIDROWEB/ANA (2015)

Na Figura 21 são apresentadas as previsões de altura das marés para o Porto de Maceió para as respectivas datas das campanhas. As campanhas de 22/02, 28/05 e 03/12/2013 foram realizadas em maré de sizígia, apresentando amplitudes de 1,4 m, 2,0 m e 2,2 m,

respectivamente. Já a amplitude da maré para a campanha de 29/08/2013 foi de apenas 0,7 m. O principal canal de ligação entre a Laguna Manguaba e o seu *inlet*, apresenta um comprimento de 7,0 km (sete quilômetros), com largura variando entre 90 e 350 metros, apresentando uma largura média de 220 metros.

Figura 21 - Ciclos de marés previstas para o Porto de Maceió durante as datas de medições e coleta na laguna Manguaba. As setas indicam o início “I” e o fim “F” dos trabalhos.



Fonte: Marinha do Brasil, 2015 (Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>>)

5.3 Caracterização físico-química da Laguna Manguaba

Na Tabela 3 observa-se os valores médios, desvio padrão, máximos e mínimos das variáveis físico-químicas da água de superfície da Laguna Manguaba, abrangendo todas as campanhas amostrais, da temperatura, pH, turbidez, sólidos totais em suspensão e transparência do disco de Secchi.

A variação da temperatura da água de superfície da Laguna Manguaba foi pequena durante todas as campanhas de 2013, apresentando valor máximo de 31,3°C e mínimo de 26,7°C, com média anual de 29,0°C. As menores temperaturas da água foram registradas em agosto/2013, com mínima de 26,7°C registrada na estação 2 (jusante da laguna). Melo-

Magalhães (2005) e Cotovicz Junior (2012) registraram temperaturas da água semelhantes, com oscilando de 25,0°C a 31,0°C e 25,1°C a 31,1°C, respectivamente.

Tabela 3 - Média, desvio padrão valores máximos e mínimos das campanhas amostrais dos parâmetros físico-químicas da água de sub-superfície da Laguna Manguaba.

Laguna Manguaba	T° (C)	pH	Tur (NTU)	TSS (mg.L⁻¹)	Sec (m)	
Fev/2013	md	30,0	8,7	11,8	65,1	0,7
	dp	0,4	0,1	3,8	13,8	0,1
	max	31,3	8,9	21,0	90,0	0,8
	min	29,1	8,5	7,3	36,3	0,5
Mai/2013	md	29,1	8,4	7,5	30,5	0,8
	dp	0,6	0,3	1,6	6,0	0,1
	max	30,3	8,8	10,8	47,6	1,0
	min	28,3	7,7	4,9	18,0	0,7
Ago/2013	md	27,4	8,3	20,4	20,1	0,5
	dp	0,4	0,4	6,5	8,7	0,3
	max	28,0	8,9	33,0	39,7	1,0
	min	26,7	7,6	11,0	9,2	0,2
Dez/2013	md	29,7	9,2	11,6	43,8	0,4
	dp	0,4	0,3	3,2	7,4	0,1
	max	30,4	9,6	19,9	53,5	0,7
	min	29,1	8,5	8,5	27,3	0,3
2013	md	29,0	8,7	12,8	39,8	0,6
	dp	1,1	0,4	6,3	19,3	0,2
	max	31,3	9,6	33,0	90,0	1,0
	min	26,7	7,6	4,9	9,2	0,2

Nota: T (temperatura); pH (potencial hidrogeniônico); Tur (turbidez), TSS (sólidos totais dissolvidos); Sec (transparência do disco de Secchi).

Fonte: Autor (2016)

O pH da água de superfície oscilou entre 7,6 e 9,6, apresentando valor máximo obtido nas estações 9 e 10 na campanha de dezembro, ficando acima do valor máximo registrado por Cotovicz Junior (2012), e muito semelhante ao máximo de Melo-Magalhães (2005), com valores de 8,4 e 9,7, respectivamente.

Os valores de transparência do disco de Secchi da água da Laguna Manguaba em 2013 foram extremamente semelhantes aos dados de 2002, que foram apresentados por Melo-Magalhães (2005), com valor mínimo igual (0,2 m) e transparência máxima com diferença de apenas 10 cm.

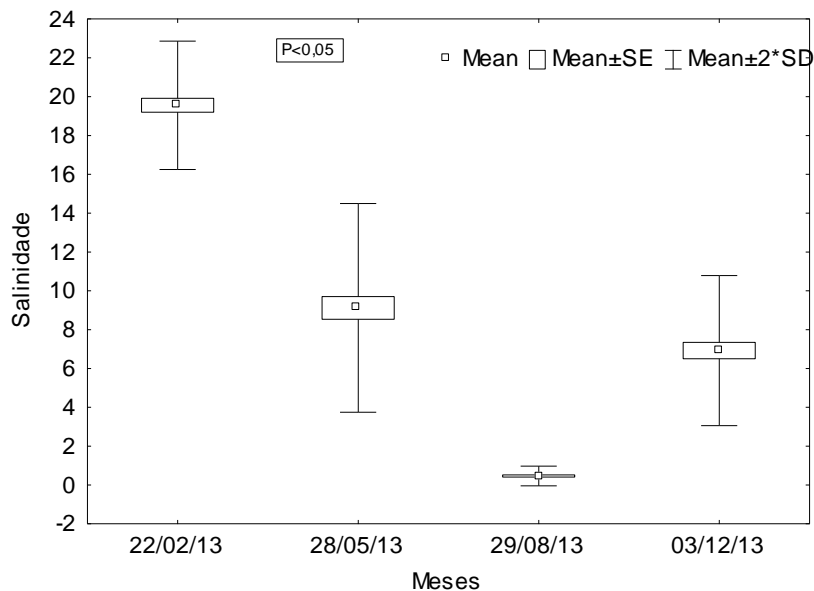
A classificação da salinidade das águas para os sistemas aquáticos utilizada foi a proposta por Smayda (1983), que divide em seis classes de acordo com a salinidade: águas

doces ($< 0,50 ‰$), oligohalinas ($0,5 ‰ - 5 ‰$), mesohalinas ($5 ‰ - 18 ‰$), polihalinas ($18 ‰ - 30 ‰$), euhalinas ($30 ‰ - 40 ‰$) e hiperhalinas ($> 40 ‰$).

A salinidade da água é um importante fator ecológico em águas estuarinas, influenciando na mudança de comunidade e desencadeamento de sucessões (WETZEL, 1981).

Como ficou visualizado nos resultados, a salinidade variou amplamente durante o período estudado, sendo esta variação significativa ($P < 0,05$). No mês de fevereiro de 2013, ocorreu maior intrusão salina para o interior da laguna. O maior valor médio de salinidade ocorreu no mês de fevereiro de 2013 (Figura 22), atingindo o valor de 19,55 (valor mínimo 17,43 e valor máximo 24,41). De outra forma, no mês de agosto ocorreu menor intrusão salina. O menor valor médio ocorreu no mês de agosto de 2013, sendo esse valor de 0,46. No mês de agosto de 2013 também ocorreu a menor amplitude de variação, sendo o menor valor de salinidade de 0,13 e o maior de 0,81.

Figura 22 - Médias e desvio padrão ($p < 0,05$) da variação sazonal da salinidade por campanha na Laguna Manguaba.



Fonte: Autor (2016)

De acordo com Cotovicz Junior (2012), a salinidade no CELMM, durante o período chuvoso, é influenciada pelo comportamento das vazões dos rios contribuintes, onde a água doce predomina no sistema, impedindo a intrusão salina.

Os menores valores de salinidade foram associados as maiores vazões do Rio Paraíba do Meio, conforme verificado na Figura 22.

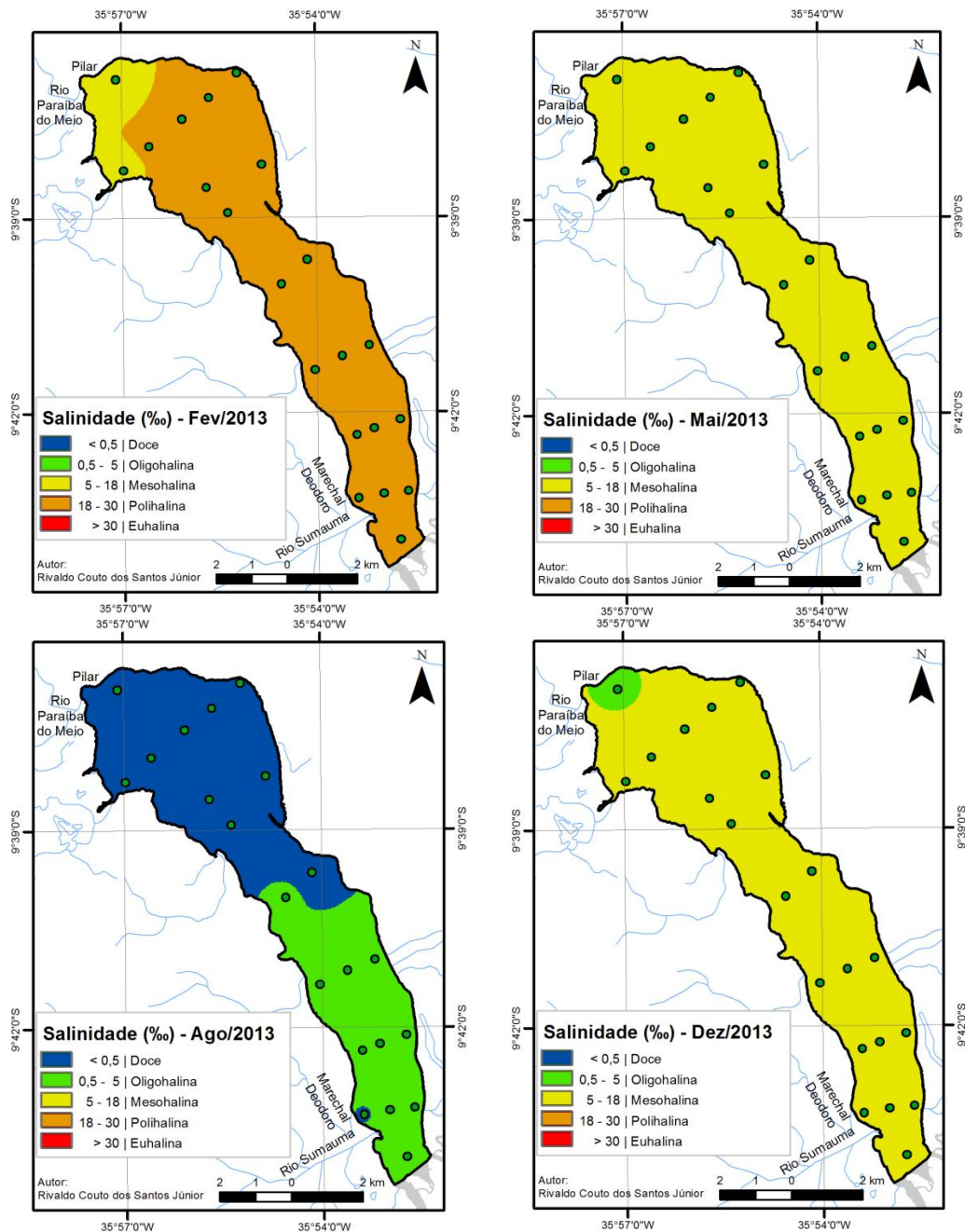
Nota-se que durante a campanha de agosto 2013 (Figura 23), a laguna Manguaba apresentou 60% da sua área com água doce ($<0,5$), situada na região a montante da laguna, influenciada pelo período de maior descarga fluvial do Rio Paraíba do Meio, conforme observa-se na Figura 20 (C).

Na campanha do mês de fevereiro de 2013 (período de baixas vazões do rio Paraíba do Meio) existe um predomínio de águas Polihalina (18-30), com 89% da área da laguna, enquanto em dezembro, de águas mesohalinas (Figura 23).

Semelhante ao comportamento exibido pela salinidade, a maioria das variáveis utilizadas na estimativa do modelo TRIX (Figura 24 - F) apresentaram grande variabilidade no período estudado. O NID (nitrogênio inorgânico dissolvido), apresentou maior valor médio no mês de agosto de 2013 (Figura 24 - A), ficando em torno de $60 \mu\text{g.L}^{-1}$ de nitrogênio. O menor valor médio ocorreu no mês de maio de 2013, ficando em torno de $26 \mu\text{g.L}^{-1}$. A clorofila-*a* (Figura 24 - B) apresentou menor variação em relação aos valores médios, sendo que estes ficaram em torno de $50 \mu\text{g.L}^{-1}$, sendo o mês de dezembro levemente mais elevado, ficando em torno de $58 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Com relação ao oxigênio dissolvido e sua saturação (Figura 24 - C e D) os maiores valores foram encontrados no mês de fevereiro de 2013, sendo respectivamente de $10,3 \text{ mg.L}^{-1}$ e 152%. Enquanto o menor valor de oxigênio dissolvido e sua saturação ocorreram no mês de maio de 2013, sendo respectivamente $4,6 \text{ mg.L}^{-1}$ e 63,3%. O fosfato inorgânico dissolvido (Figura 24 - E), apresentou maior valor médio no mês de maio de 2013, o qual foi de $45,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ P. De outra forma, o menor valor médio encontrado foi no mês de dezembro de 2013, sendo este valor de $2,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ P. Excetuando-se a clorofila-*a* (Figura 24 - B), todas as variáveis, incluindo a estimativa do modelo TRIX, diferenciaram-se estatisticamente, de forma significativa ($P < 0,05$) em relação aos meses coletados, sendo que o maior valor estimado pelo modelo foi no mês de agosto de 2013.

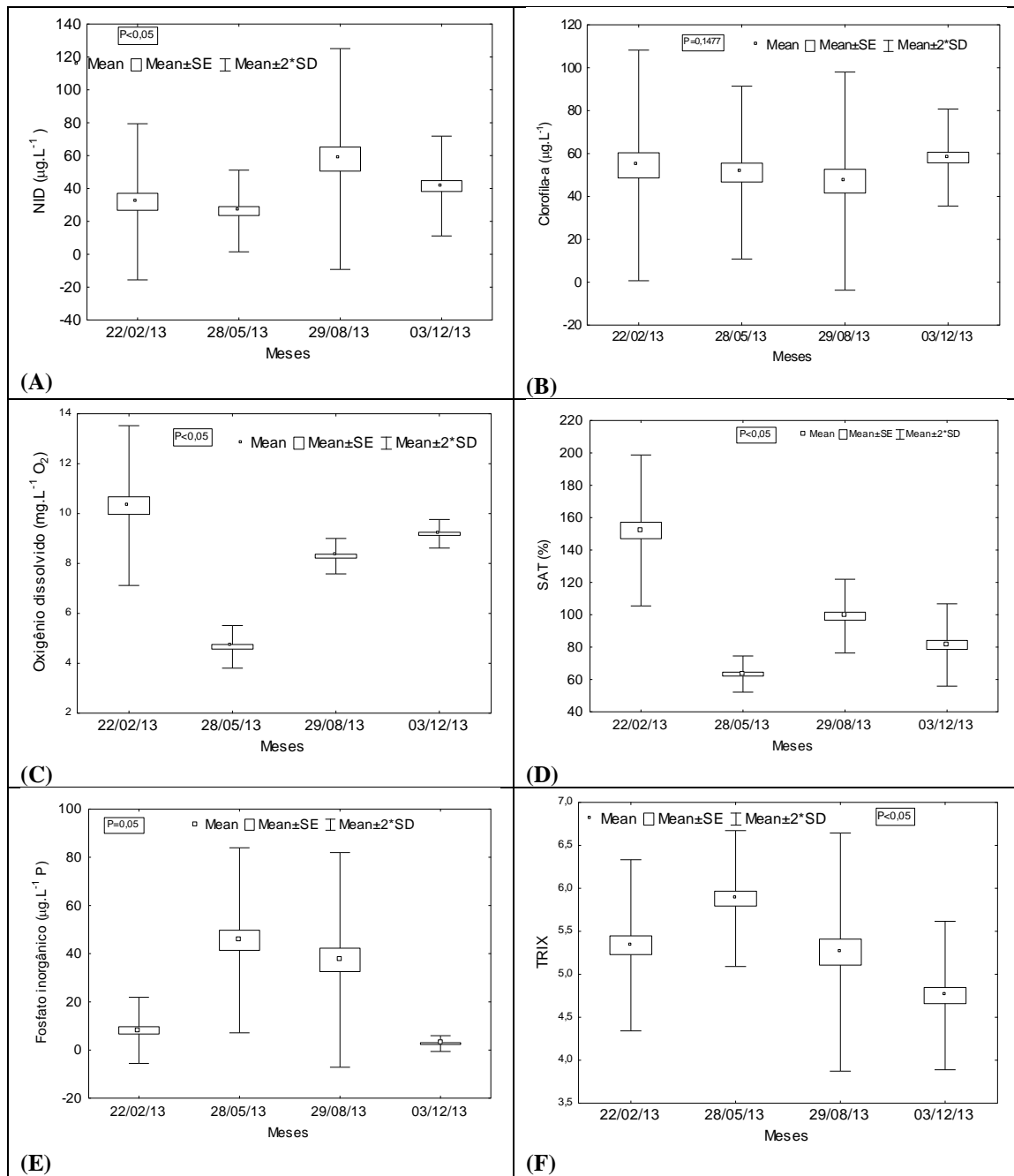
Figura 23 - Distribuição espacial e assinatura ambiental de acordo com as classes da Salinidade (‰) da água de superfície da Laguna Manguaba.



Classes	Área km ² Fev/2013	%	Área km ² Mai/2013	%	Área km ² Ago/2013	%	Área km ² Dez/2013	%	Área km ² Média	%
< 0,5 (Doce)					25,41	60				
0,5 - 5 (Oligohalina)					17,28	40	1,31	3		
5 - 18 (Mesohalina)	4,68	11	42,69	100			41,38	97	42,69	100
18 - 30 (Polihalina)	38,01	89								
> 30 (Euhalina)										

Fonte: Autor (2016)

Figura 24 - Variação sazonal da média, desvio padrão e erro padrão das variáveis utilizadas no modelo TRIX para cada campanha na Laguna Manguaba.



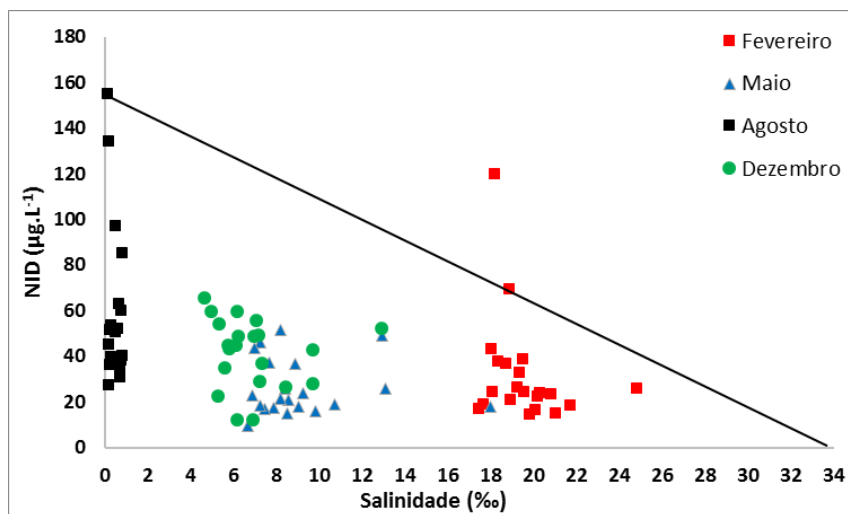
Fonte: Autor (2016)

A comparação da concentração das variáveis em relação a salinidade serve para indicar o seu comportamento durante a mistura estuarina. Segundo Burton & Liss (1976), em algumas situações podem haver desvios da linha de diluição teórica, indicando retirada ou aporte deste constituinte durante a mistura estuarina. Este método apesar de ser criticado por não indicar precisamente o mecanismo de remoção, nem a natureza do produto removido,

continua sendo um método bastante utilizado para estudos em águas estuarinas (DAY *et al.*, 1989).

O ciclo do nitrogênio é um dos mais intrincados dos três nutrientes (N, P e Si) pois envolve uma grande variação de estados de oxidação, além de interferência de microrganismos e interação com o material em suspensão (DAY *et al.*, 1989). O comportamento do NID (nitrogênio inorgânico dissolvido) em relação a salinidade (Figura 25), sugere que águas menos salinas, tendem apresentar uma concentração mais elevada de NID. Essa tendência é corroborada pela correlação não paramétrica de Spearman (Tabela 4), a qual foi negativa e significativa a $P < 0,05$. Esse comportamento indicou a diluição da concentração de NID por água de maior salinidade.

Figura 25 - Comportamento do NID em relação a salinidade, e a linha reta de diluição teórica, para todas as campanhas na Laguna Manguaba.



Fonte: Autor (2016)

Tabela 4 - Correlação não paramétrica de Spearman entre as variáveis utilizadas para a estimativa do modelo TRIX e a salinidade.

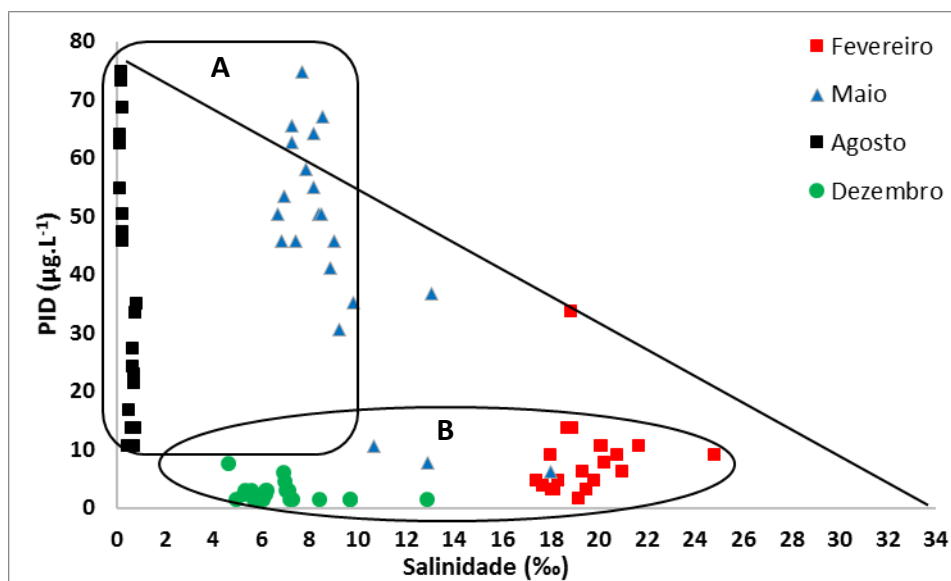
Variáveis	Correlação não paramétrica de Spearman (** significativo $P < 0,05$)
NID	-0,496942**
(PID) Fosfato inorgânico	-0,311067**
Clorofila- <i>a</i>	-0,065292
Oxigênio dissolvido	0,306735**
SAT (%)	0,216201**

Fonte: Autor (2016)

O fósforo é oriundo do intemperismo do solo, das rochas e também de fontes antrópicas, como os detergentes domésticos. Quando alcança o estuário, o fósforo pode ser removido da coluna da água em faixas de salinidade reduzidas (0 e 10) através de processos de adsorção as partículas e a floculação e sedimentação. Em estuários de elevada turbidez o ciclo do fósforo é controlado pela interação do fósforo e partículas (FOX et al., 1985). Semelhante ao comportamento exibido pelo NID, o Fosfato inorgânico, exibiu tendência a apresentar maiores concentrações em águas com salinidade menor, em relação a águas com teores mais elevados de salinidade. Esse comportamento está de acordo com a correlação não paramétrica de Spearman, entre salinidade e o Fosfato inorgânico. Esta correlação foi negativa (significativa $P < 0,05$), indicando influência de processos de diluição de águas com teores mais elevados de sais (Figura 26).

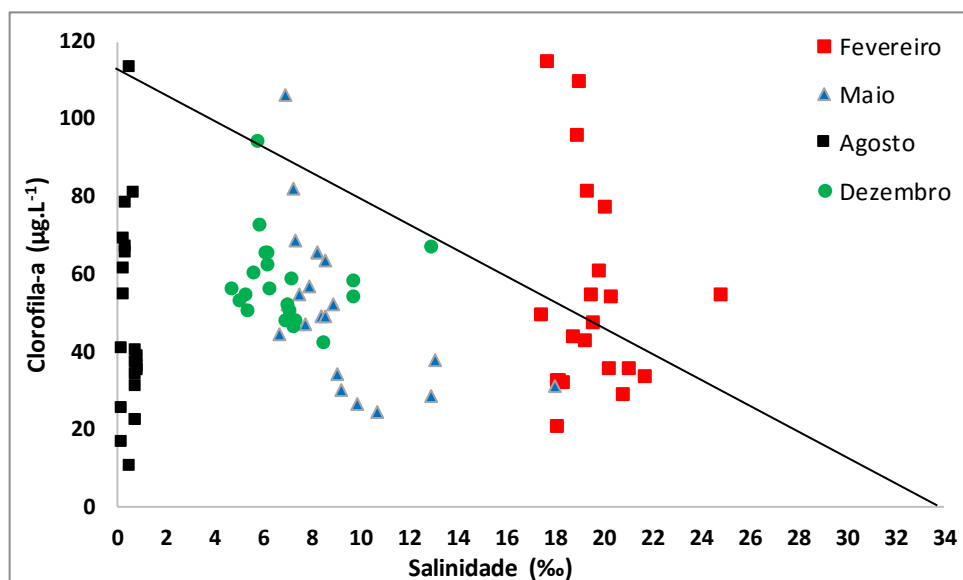
Observa-se o agrupamento dos valores elevados de PID durante as campanhas realizadas no período chuvoso (Figura 26 - A), demonstrando a entrada de nutrientes pela descarga fluvial nos períodos de maior precipitação na bacia, provavelmente pelo lançamento de efluentes domésticos ao longo da calha principal do Rio Paraíba do Meio e resíduos provenientes das atividades agrícolas, como a fertirrigação, e as menores concentrações de PID nas campanhas do período seco (Figura 26 - B),

Figura 26 - Comportamento do PID em relação a salinidade, onde “A” agrupamento de elevada concentração de PID no período chuvoso; “B” de agrupamento de menor concentração de PID no período seco; e a reta a linha de diluição teórica, para todas as campanhas na Laguna Manguaba.



A clorofila-*a* é utilizada como um indicador da biomassa fitoplanctônica e, de forma mais restrita, do potencial da produção primária. Representa também, junto ao nitrogênio total e fósforo total, um dos indicadores utilizados para a caracterização do estado trófico, ou seja, o grau de nutrição de sistemas aquáticos (KNOPPERS *et al.*, 1999). A clorofila não apresentou padrão claro de variação em relação a salinidade (Figura 27 e Tabela 4), dessa forma sua variação, possivelmente está associada nutrientes e oligoelementos, além de processos internos a comunidade.

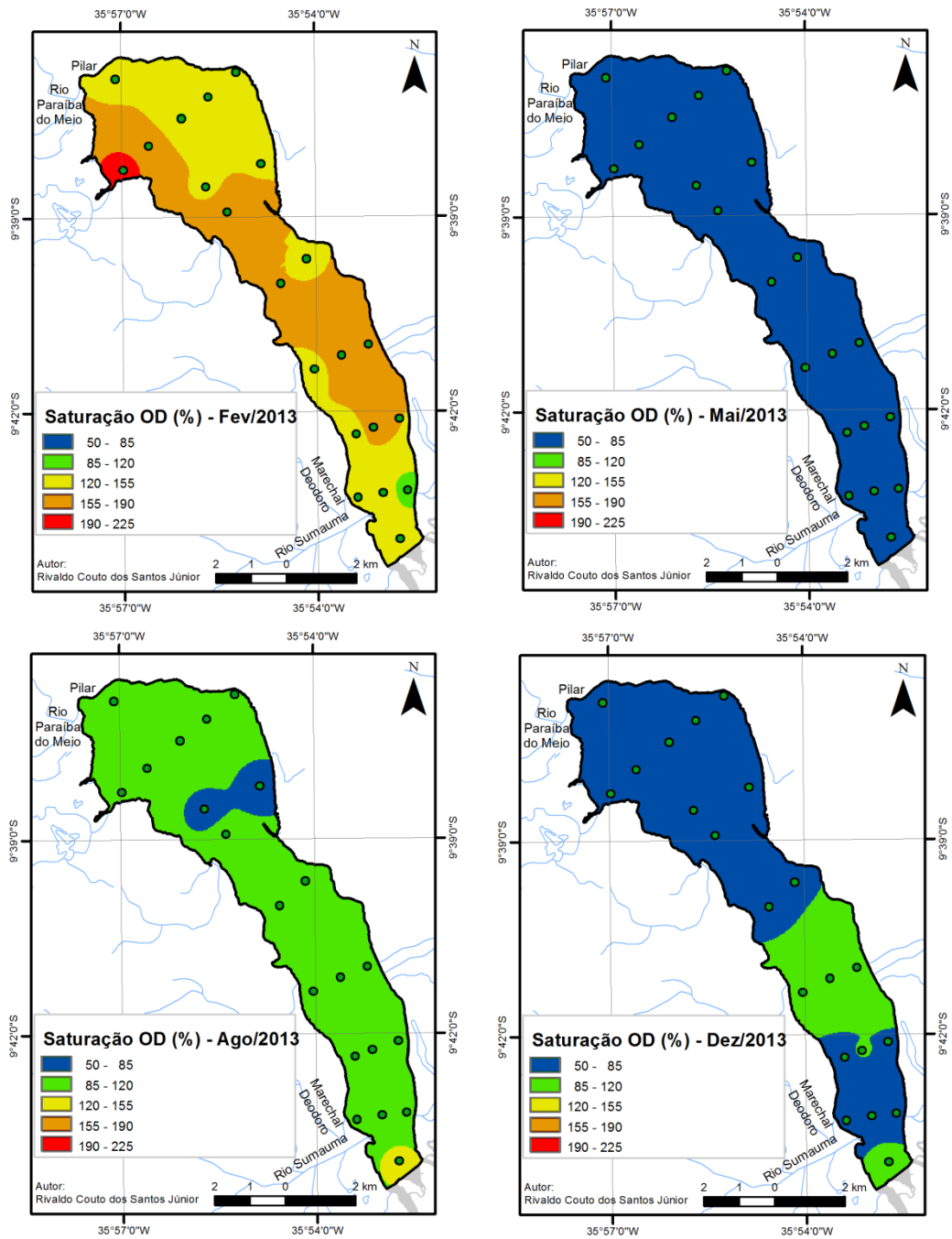
Figura 27 - Comportamento da clorofila a em relação a salinidade, e a linha reta de diluição teórica, para todas as campanhas na Laguna Manguaba.



Fonte: Autor (2016)

Os níveis de oxigênio dissolvido saturado apresentaram uma grande variação ao longo do ano, com valor mínimo de 53,0% e valor máximo de 207,8%, sugerindo uma intensa atividade fitoplanctônica na superfície da água. Na campanha de maio de 2013, a laguna Manguaba apresentou os menores valores de oxigênio dissolvido saturado, com variação de 53,0 e 75,5%, sendo o menor valor registrado na estação mais a jusante da laguna (Estação 1). Na campanha do mês de fevereiro de 2013 (período de baixas vazões do rio Paraíba do Meio) os níveis de oxigênio dissolvido saturado foram os que mais variaram (97,0 a 207,8%), predominando níveis entre 155 a 190%, em uma porção de 50% da área da laguna (Figura 28).

Figura 28 - Distribuição espacial e assinatura ambiental de acordo com as classes da Saturação de Oxigênio (%) da água de superfície da Laguna Manguaba.



Classes	Área km ² Fev/2013	%	Área km ² Mai/2013	%	Área km ² Ago/2013	%	Área km ² Dez/2013	%	Área km ² Média	%
50 - 85			42,69	100%	2,95	7%	32,09	75%	0,30	1%
85 - 120	0,54	1%			38,87	91%	10,60	25%	42,39	99%
120 - 155	20,27	47%			0,86	2%				
155 - 190	21,13	50%								
190 - 225	0,74	2%								

Fonte: Autor (2016)

Sendo a clorofila um dos principais responsáveis pela fotossíntese, o conhecimento de sua concentração pode dar indicações da biomassa do fitoplâncton. Nos últimos anos, tem se tornado cada vez mais frequente a utilização da clorofila para expressar a biomassa fitoplanctônica (ESTEVES 1988). Segundo Schwarzbald (1990), clorofila é um parâmetro importante no estudo do fitoplâncton, pois representa uma forma de quantificação da biomassa fitoplanctônica.

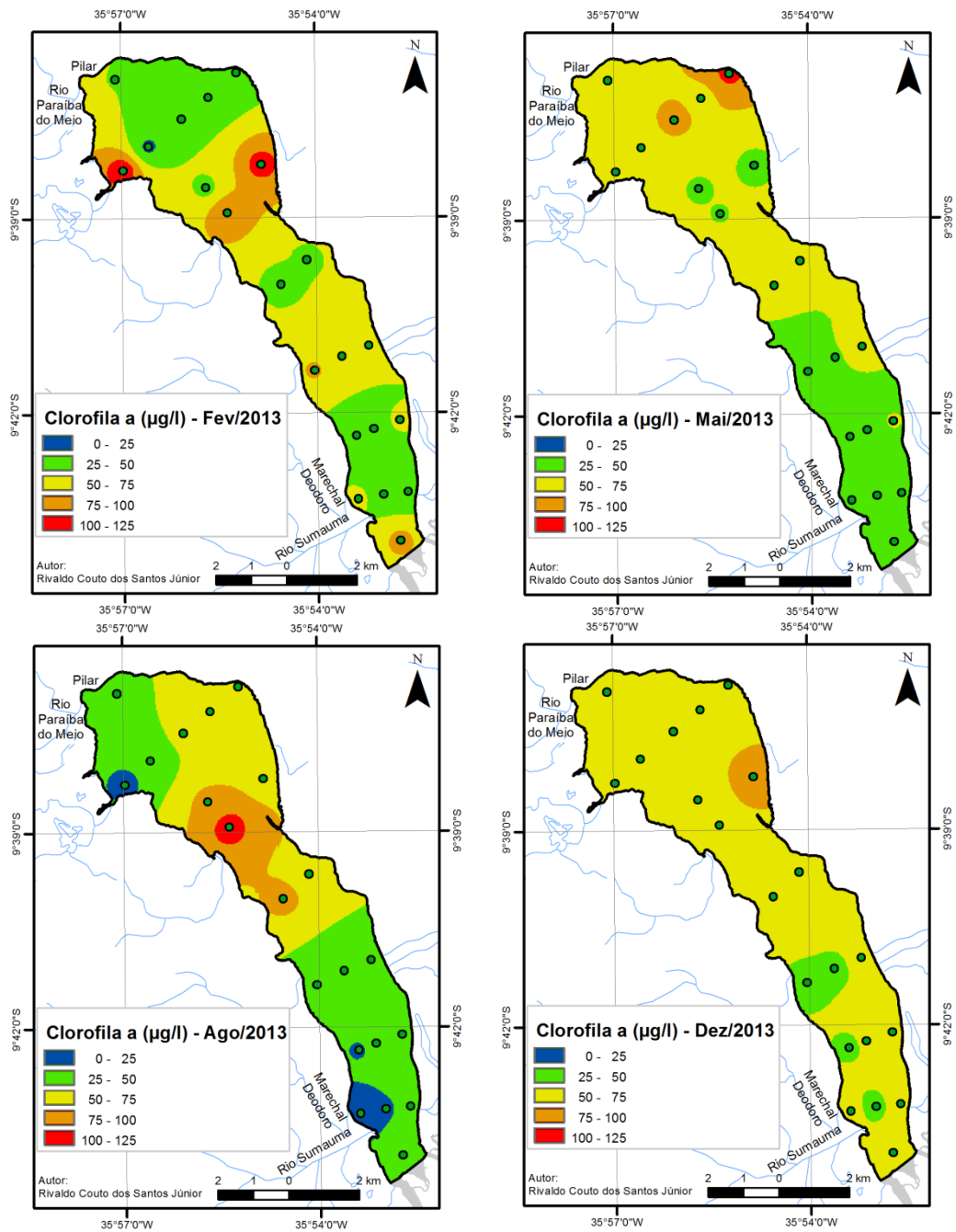
O comportamento espacial da clorofila-a não demonstrou um padrão sazonal, com alterações bem semelhantes em todo o corpo lagunar, sugerindo a atuação de processos internos regulando as suas concentrações, sem relação clara com a entrada de água doce e intrusão salina no sistema (Figura 29).

De acordo com Burton e Liss (1976); Morris (1985); Bianchi (2007) apud Cotovicz Junior (2012), os processos responsáveis por atuarem como fontes de nutrientes para a coluna de água, são a mineralização de matéria orgânica por bactérias, ressuspensão do sedimento, efluentes antropogênicos, deposição atmosférica, entre outros.

A Figura 30 mostra a distribuição espacial e assinatura ambiental da concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido da água de superfície da Laguna Manguaba para as campanhas realizadas em 2013. O comportamento entre as campanhas de fevereiro e maio foram semelhantes, com o predomínio dos valores de NID para a classe 0 a 35 $\mu\text{g/l}$, com 62% e 87% da área da laguna, respectivamente. Já nas campanhas de agosto e dezembro, o predomínio foi na classe de 35 a 70 $\mu\text{g/l}$, com 83% e 78%, respectivamente.

Os valores das concentrações do fósforo inorgânico dissolvido (PID) apresentaram um comportamento sazonal bem evidenciado, com valores baixos de PID para as campanhas de fevereiro e dezembro, período seco, e valores mais altos durante as campanhas de maio e agosto, período chuvoso. Durante o período seco, as concentrações de PID se agruparam entre 0 e 15 $\mu\text{g/l}$, com 92% da área em fevereiro e 100% da área em dezembro. A distribuição espacial das concentrações de PID durante o período chuvoso foram mais altas na região montante da laguna, situada próxima a foz do rio Paraíba do Meio, sugerindo um *input* deste nutriente através de origem fluvial, associada ao período de maiores vazões (Figura 31). Por outro lado, o período seco (fev e dez) sugere incorporação pelo fitoplâncton o qual é corroborado pelas concentrações de clorofila-a com 46 e 89% da área representadas pelos valores entre 50 a 75 $\mu\text{g/L}$. Ou seja, a produtividade do sistema pode estar sendo limitado por fósforo e não por NID.

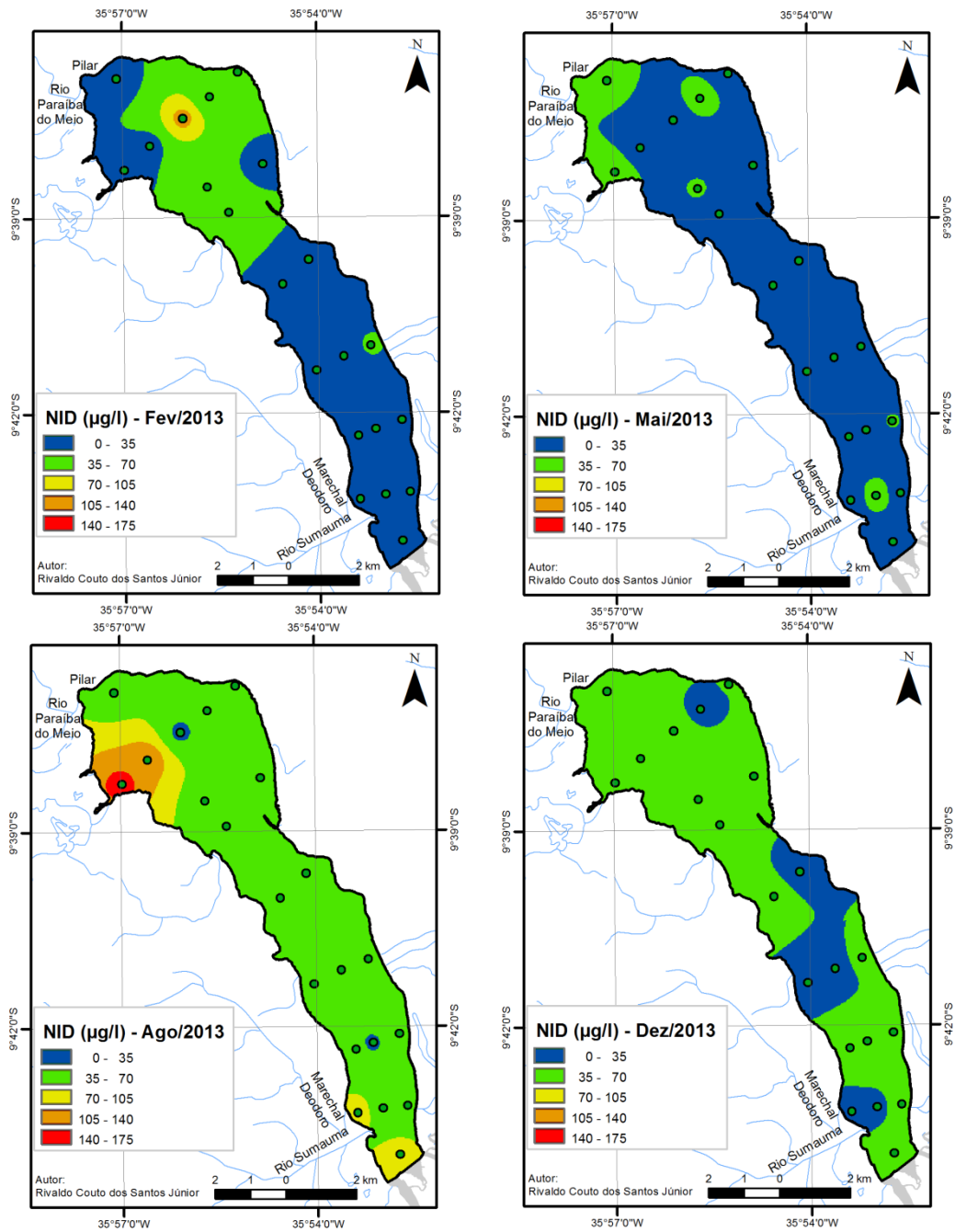
Figura 29 - Distribuição espacial e assinatura ambiental da concentração de Clorofila “a” (µg/l) da água de superfície da Laguna Manguaba.



Classes	Área km ² Fev/2013	%	Área km ² Mai/2013	%	Área km ² Ago/2013	%	Área km ² Dez/2013	%	Área km ² Média	%
0 - 25	0,10	0%	0,03	0%	2,01	5%				
25 - 50	17,60	41%	14,54	34%	19,66	46%	3,12	7%	12,74	30%
50 - 75	19,62	46%	26,01	61%	15,00	35%	37,89	89%	28,56	67%
75 - 100	4,92	12%	1,90	4%	5,44	13%	1,68	4%	1,39	3%
100 - 125	0,44	1%	0,20	0%	0,58	1%				

Fonte: Autor (2016)

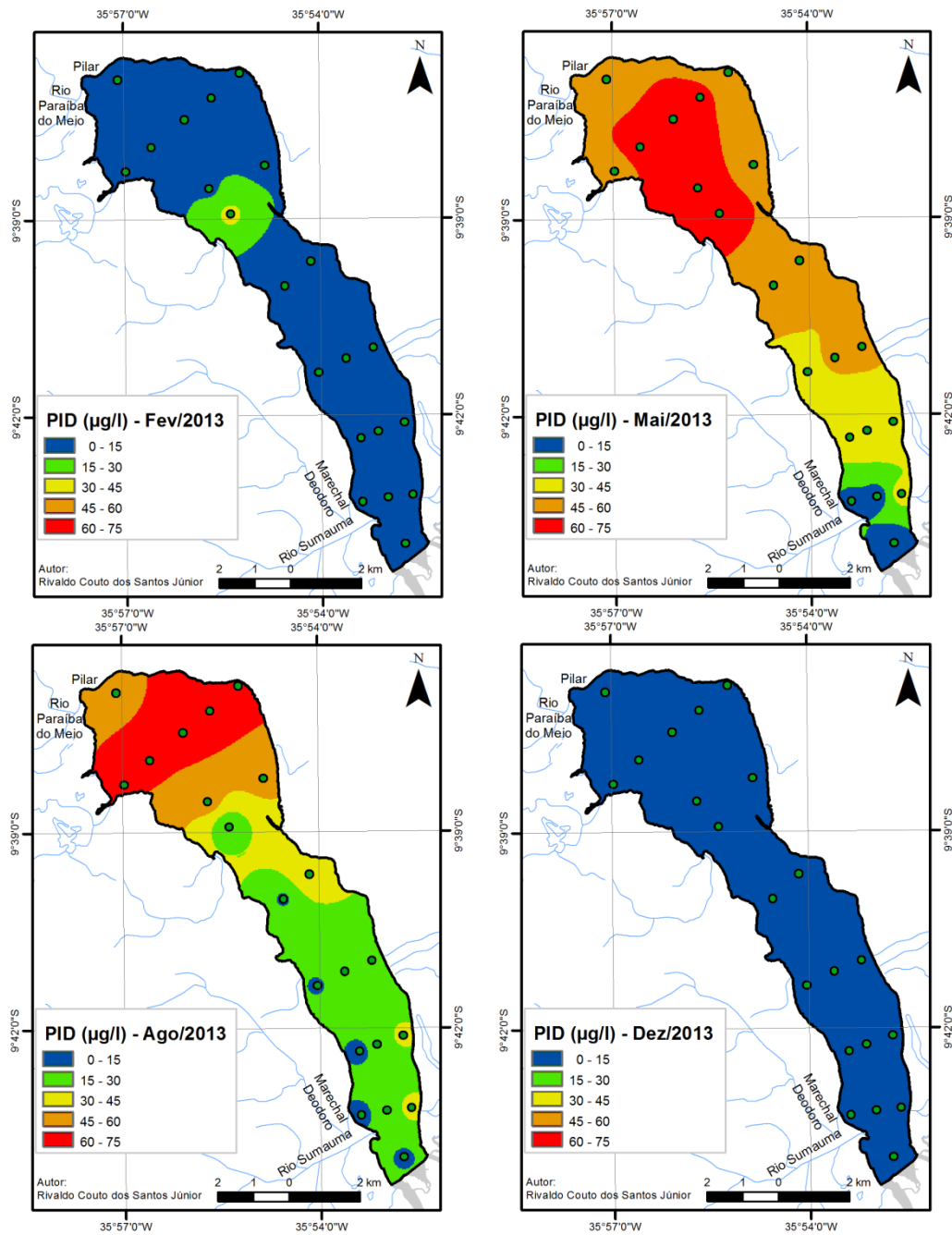
Figura 30 - Distribuição espacial e assinatura ambiental da concentração de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido ($\mu\text{g/l}$) da água de superfície da Laguna Manguaba.



Classes	Área km ² Fev/2013	%	Área km ² Mai/2013	%	Área km ² Ago/2013	%	Área km ² Dez/2013	%	Área km ² Média	%
0 - 35	26,57	62%	36,98	87%	0,37	1%	9,36	22%	15,28	36%
35 - 70	14,89	35%	5,71	13%	35,49	83%	33,33	78%	27,40	64%
70 - 105	1,02	2%			4,31	10%				
105 - 140	0,21	0%			2,07	5%				
140 - 175					0,44	1%				

Fonte: Autor (2016)

Figura 31 - Distribuição espacial da concentração de Fósforo Inorgânico Dissolvido ($\mu\text{g/l}$) e suas classes da água de superfície da Laguna Manguaba.



Classes	Área km ² Fev/2013	%	Área km ² Mai/2013	%	Área km ² Ago/2013	Área km ² Dez/2013	%	Área km ² Média	%
0 - 15	39,12	92%	2,19	5%	1,26	42,69	100%	4,22	10%
15 - 30	3,33	8%	1,82	4%	17,63			20,31	48%
30 - 45	0,24	1%	7,67	18%	6,01			18,16	43%
45 - 60			19,58	46%	7,95				
60 - 75			11,44	27%	9,83				

Fonte: Autor (2016)

5.4 Modelo TRIX para avaliação do Estado Trófico do Sistema Lagunar Manguaba

O índice de estado trófico TRIX, elaborado por Vollenweider *et al.* (1998) para ambientes marinhos costeiros, utiliza de fatores que expressam diretamente a produtividade primária, como a clorofila 'a' e saturação de oxigênio, e fatores nutricionais disponíveis, como o nitrogênio inorgânico e fósforo inorgânico.

O índice TRIX foi calculado inicialmente por Vollenweider *et al.* (1998) utilizando uma grande série de dados existente para o Mar Adriático, com o uso concentrações da água de superfície.

$$\text{TRIX Vollenweider} = (\sum \text{ em Log(Cloro-a, D\%OD, N, P)} - [-1,5]) / (1,2) \dots\dots (\text{Eq. 5})$$

O modelo TRIX para o CELMM, proposto por Cotovicz Junior (2012), considerando a série temporal dos dados disponíveis no seu estudo, utilizou a seguinte equação:

$$\text{TRIX CELMM} = (\sum \text{ em Log(Cloro-a, D\%OD, NID, PID)} - [1,11]) / (0,8) \dots\dots (\text{Eq. 6})$$

Conforme proposto no trabalho de Santos (2015), a elaboração do índice de estado trófico TRIX para o Sistema Lagunar Manguaba resultou em uma equação específica, utilizando uma série de dados disponíveis de outros sistemas costeiros brasileiros, incluindo os dados coletados para a Laguna Manguaba no ano de 2013 (n total = 696).

Foram utilizados os dados disponíveis das variáveis clorofila-a, fósforo inorgânico dissolvido e nitrogênio inorgânico dissolvido, com concentrações em µg/L, e o oxigênio dissolvido como desvio absoluto [%] da saturação, e depois transformadas em logaritmos de base 10.

O trabalho de Vollenweider *et al.* (1998), apresenta a metodologia estatística para definição das constantes utilizada para a correção do modelo. Para a exclusão valores discrepantes, e determinação dos limites superiores e inferiores dos parâmetros, calculou-se a média do $\log \pm 2,5$ de desvio padrão. A determinação da constante 'k' foi realizada através da soma dos valores dos limites inferiores dos parâmetros utilizados no índice TRIX. Para a determinação da constante 'm' foi realizado somatório da diferença entre os valores dos limites

inferiores e superiores de cada variável e posteriormente dividido por 10 (unidades TRIX). As descrições das estatísticas básicas são observadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Cálculo das médias, desvio padrão, limites superiores e inferiores para a determinação dos valores das constantes 'k' e 'm' da equação TRIX.

	OD (%)	Clo-a (µg/l)	PID (µg/l)	NID (µg/l)		
Média	1,30	1,15	1,16	1,83		
Desvio Padrão (DP)	0,456	0,746	0,489	0,565		
2,5*DP	1,141	1,864	1,223	1,413		
Média+2,5*DP	2,443	3,015	2,384	3,248		
Média-2,5*DP	0,161	-0,713	-0,062	0,421		
					Soma Log Max	
Valor Máximo	2,377	2,968	2,408	3,150	10,903	
					Soma Log Min	
Valor Mínimo	0,045	-0,649	-0,333	0,433	-0,503	
					Soma da Faixa	Faixa / 10
Faixa das unidades do log	2,331	3,617	2,741	2,716	11,406	1,14

Obs.: Todos os valores estão convertidos para a base logarítmica 10.

Fonte: Autor (2016)

Após as correções das constantes, utilizando a série temporal dos dados disponíveis, a determinação do índice TRIX para o Sistema Lagunar Manguaba é calculada através da seguinte equação:

$$\text{TRIX Lag. Man.} = ([\sum \text{ em Log(Cloro-a, D\%OD, NID, PID)}] - [-0,503]) / (1,14) \dots \text{(Eq. 7)}$$

Observa-se no Quadro 5 os valores do índice de estado trófico TRIX determinado para o Sistema Lagunar Manguaba utilizando as equações que foi proposta neste trabalho, e nos trabalhos de Cotovicz Junior (2012) e Vollenweider (1998). O estado trófico do Sistema Lagunar Manguaba foi classificado como moderado (mesotrófico a eutrófico), utilizando as equações deste estudo, e as propostas por Cotovicz Junior (2012) e Vollenweider (1998), sugerindo condições ambientais moderadas a altamente produtiva e alto estado trófico, com valores calculados de 5,31; 5,55 e 5,87, respectivamente.

Quadro 5 - Comparação do índice TRIX para a Laguna Manguaba utilizando as equações proposta por este trabalho, por Cotovicz Junior (2012) e por Vollenweider et al. (1998).

Soma Log Máx	Soma Log Mín	Soma da Variação	TRIX Laguna Manguaba	TRIX CELMM (Cotovicz Junior, 2012)	TRIX M. Adriat. (Vollenweider, 1998)
8,05	2,39	0,57	5,31	5,55	5,87
Variáveis	OD (%)	Clo-a (µg/l)	PID (µg/l)	NID (µg/l)	
Média	1,274	1,684	1,063	1,526	

Fonte: Autor (2016)

O índice TRIX médio calculado para este estudo foi de 5,31, bem similar aos valores médios encontrados por Cotovicz *et al.* (2012) para o CELMM (5,31) e para a Laguna Manguaba (5,32). Outro ambiente que demonstrou comportamento bastante semelhante foi a Baía de Guanabara (Santos, 2015), com índice médio de 5,12 (Tabela 6).

Tabela 6 - Comparação do índice TRIX para vários sistemas utilizados para gerar a equação TRIX para este trabalho.

Sistema	Valor do Índice	Classificação TRIX	Referência
Guaratuba (PR)	4,21	Bom (mesotrófico)	Mizerkowski (2007)
Rio Paraíba do Sul	4,28	Bom (mesotrófico)	Sterza <i>et al.</i> (2014); Borges (2014)
Rio São Francisco (AL/SE)	4,45	Bom (mesotrófico)	Libardone com. pess. 2015
Laguna Guarapina (RJ)	4,87	Bom (mesotrófico)	Moreira <i>et al.</i> (1990)
CELMM (AL)	5,31	Moderado (mesotrófico a eutrófico)	Cotovicz (2012)
Baía de Guanabara (RJ)	6,50	Pobre (eutrófico)	FEEMA (1982)
Baía de Guanabara (RJ)	5,12	Moderado (mesotrófico a eutrófico)	Santos (2015)
Laguna Manguaba	5,32	Moderado (mesotrófico a eutrófico)	Cotovicz (2012)
Laguna Manguaba	5,31	Moderado (mesotrófico a eutrófico)	Este estudo

Fonte: Autor (2016) e Adaptado de Santos (2015)

O índice TRIX médio para a Laguna Manguaba foi calculado para todas as campanhas. Não foi observado diferenças sazonais bem definidas entre o período chuvoso e o período seco (Tabela 7). Essa observação também foi confirmada por Cotovicz *et al.* (2012), no qual sugere também que a problemática da eutrofização é constante durante todo o ano.

Apenas na campanha de dezembro de 2013, o valor médio do índice TRIX (4,75) ficou abaixo de 5, sugerindo uma classificação bom (mesotrófico). Esse valor médio mais baixo, foi bastante influenciado pelas baixas concentrações de fósforo inorgânico dissolvido, que apresentou uma média de 2,69 µg/l, bem abaixo da média anual de 23,5 µg/l.

Tabela 7 - Classificação do Índice TRIX para a Laguna Manguaba nas campanhas realizadas.

Classificação TRIX	Anual	Período Seco		Período Chuvoso	
		Camp. 1 (Fev/13)	Camp. 4 (Dez/13)	Camp. 2 (Mai/13)	Camp. 3 (Ago/13)
Índice	5,31	5,34	4,75	5,88	5,26
Estado Trófico	Moderado (mesotrófico a eutrófico)	Moderado (mesotrófico a eutrófico)	Bom (Mesotrófico)	Moderado (mesotrófico a eutrófico)	Moderado (mesotrófico a eutrófico)

Fonte: Autor (2016)

Os valores encontrados para o índice de estado trófico TRIX para a Laguna Manguaba variaram entre 3,54 a 6,75, com classificação do estado trófico variando do Alto (oligotrófico) até o Pobre (Eutrófico), indicando ambientes pobremente produtivos e estado trófico baixo, ao Altamente produtivo e maior estado trófico, respectivamente (Tabela 8).

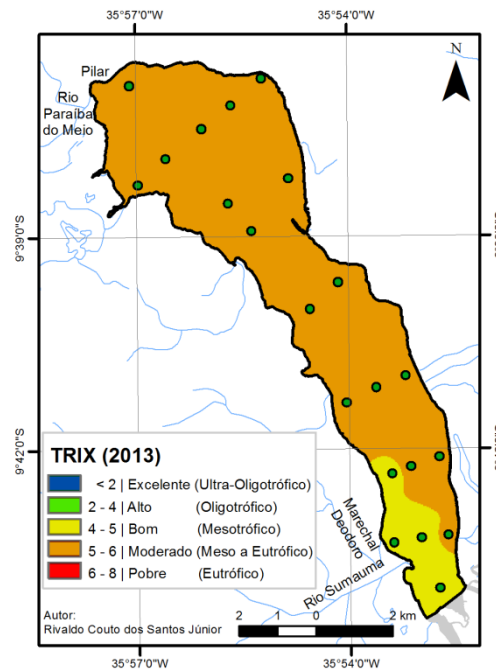
Nos quatros pontos mais a jusante na laguna, a tendência foi a presença de índices mais baixos, com valores variando entre 3,54 a 5,87, com média de 4,90. Já os 6 pontos mais a montante apresentaram um comportamento diferente, com valores variando entre 4,6 a 6,4 e média de 5,51. A distribuição espacial do índice TRIX para o ano de 2013, apresentou um padrão do estado trófico Moderado (Meso a Eutrófico), ocupando a grande parcela da dominante da laguna, com 89,48% da sua área (Figura 32), com maior expressão no período chuvoso (Tabela 8). A Laguna Manguaba, no mês de maio, apresentou os maiores valores médios para o índice TRIX (Figura 33).

Tabela 8 - Assinatura ambiental do comportamento do índice TRIX da água de superfície da Laguna Manguaba.

Classes	Área km ² Fev/2013	%	Área km ² Mai/2013	%	Área km ² Ago/2013	%	Área km ² Dez/2013	%	Área km ² Média	%
< 2 Excelente (Ultra- oligotrófico)										
2 - 4 Alto (Oligotrófico)					0,4284	1,00	0,8901	2,09		
4 - 5 Bom (Mesotrófico)	2,13	4,98			9,7740	22,90	35,2927	82,68	4,4892	10,52
5 - 6 Moderado (Meso a Eutrófico)	38,55	90,30	23,12	54,16	30,8637	72,30	6,5022	15,23	38,1978	89,48
6 - 8 Pobre (Eutrófico)	2,02	4,72	19,57	45,84	1,6209	3,80				

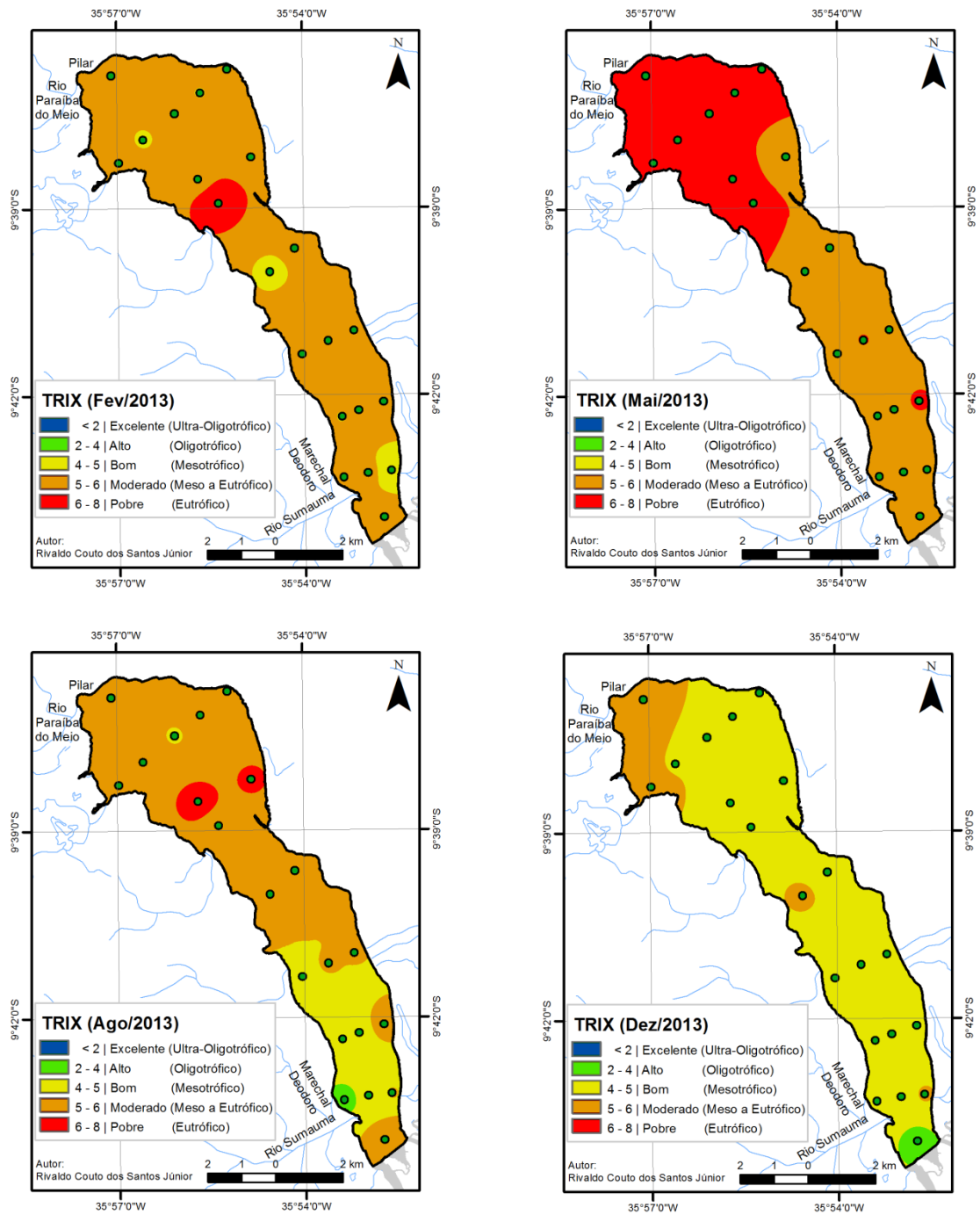
Fonte: Autor (2016)

Figura 32 - Distribuição média do Modelo de Índice de Estado Trófico (TRIX) da água de superfície da Laguna Manguaba.



Fonte: Autor (2016)

Figura 33 - Distribuição Modelo de Índice de Estado Trófico (TRIX) da água de superfície da Laguna Manguaba.

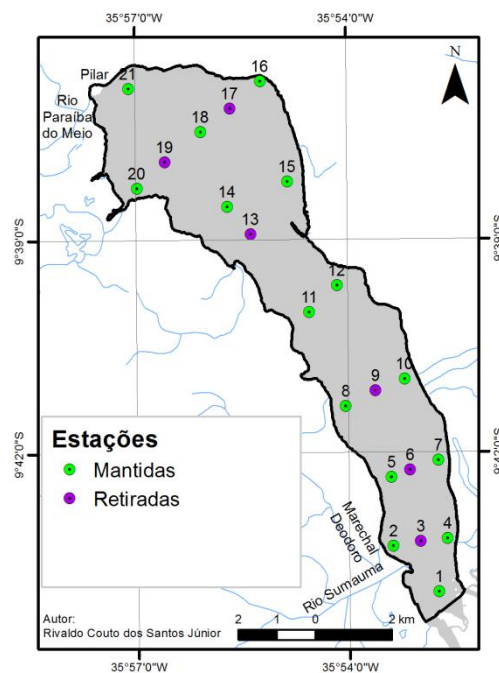


Fonte: Autor (2016)

5.5 Análise da distribuição das amostras

Para a análise das superfícies de inferência do Índice de Estado Trófico TRIX, médio e das campanhas, foram realizadas interpolações utilizando o método IDW (Ponderação do Inverso da Distância), com o parâmetro de potência igual a dois, utilizando a totalidade do conjunto amostral disponível (21 pontos) e com parte da amostra utilizando apenas 15 pontos, com a exclusão de pontos ao longo do corpo lagunar, diminuindo o seu adensamento (Figura 34), objetivando a validação de parte da amostra e a análise da distribuição espacial da rede amostral.

Figura 34 - Localização das estações mantidas e retiradas utilizadas nas estimativas espaciais com parte e a totalidade do conjunto amostral da Laguna Manguaba.



Fonte: Autor (2016)

Por fim, realizou-se uma validação cruzada, que consiste no processo de remoção de um conjunto de dados, e o restante dos dados são empregados para a previsão dos dados removidos, através de teste estatísticos, objetivando avaliar a qualidade das estimativas.

Na Tabela 9 e na Figura 35, observa-se o comportamento da variação da diferença, comparando as superfícies estimadas com os valores do índice TRIX utilizando parte e a

totalidade do conjunto amostral, para verificar a confiabilidade do resultado da interpolação com a utilização de parte da amostra.

As superfícies estimadas utilizando a totalidade e parte do conjunto amostral é bastante similar. O resultado máximo da diferença encontrada, quando comparadas as superfícies, foi de 1,155, para a campanha de fevereiro. Esse valor máximo de variação foi bastante influenciado, pelos valores acima da média das concentrações de fósforo inorgânico dissolvido, nitrogênio inorgânico dissolvido e clorofila-*a* da estação 13 na campanha de fevereiro, com concentrações de 33,57 µg/l, 69,33 µg/l e 96,11 µg/l, bem acima das médias desta campanha que foram de 8,17 µg/l, 31,91 µg/l e 54,49 µg/l, respectivamente.

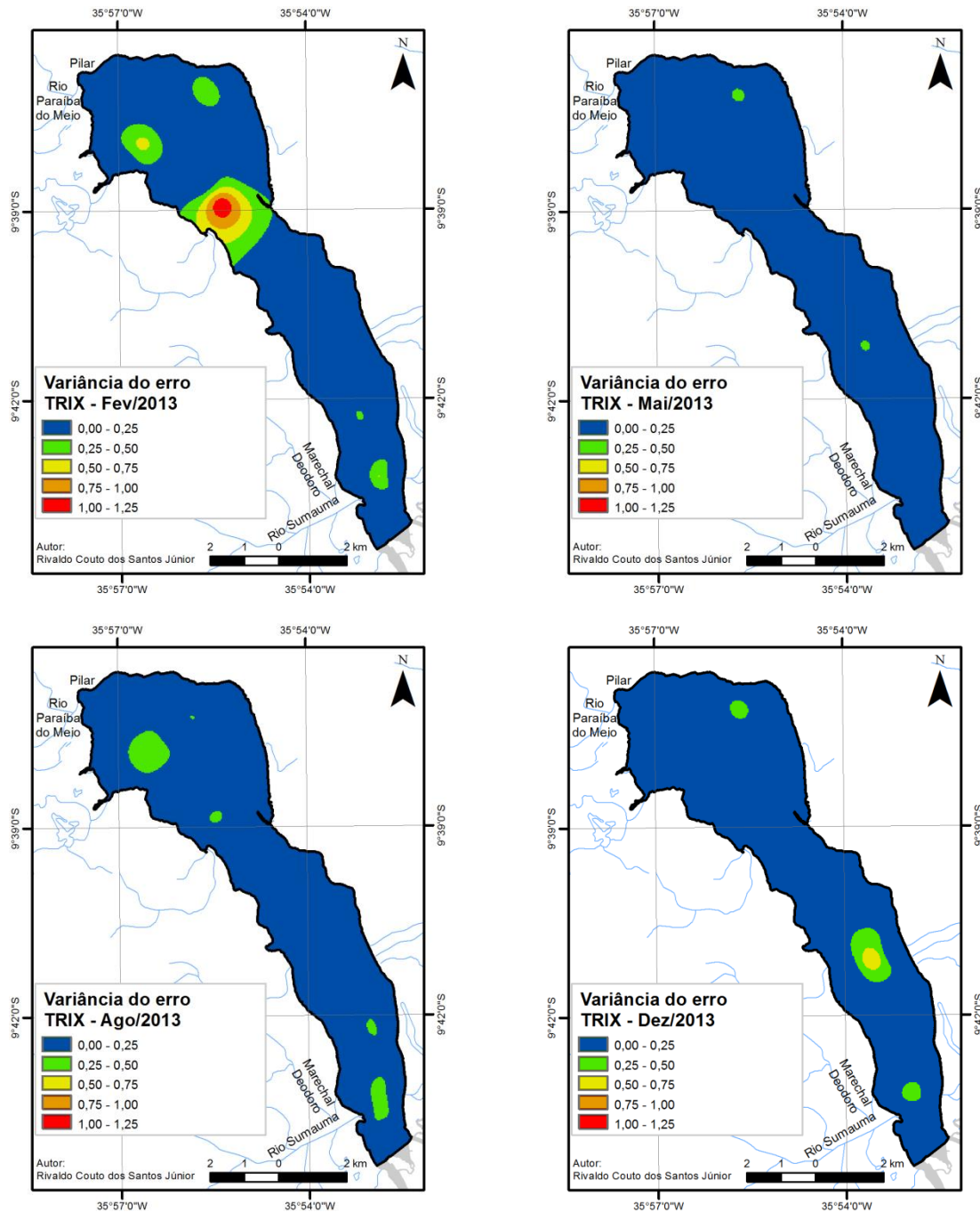
Para as demais campanhas, a diferença entre o valor previsto e o dado real foram bem menores do que a campanha de fevereiro, com valores variando entre 0,005 e 0,665, apresentando também uma pequena variância.

Tabela 9 - Diferença entre os dados reais e os dados a previstos através do teste de validação cruzada, para o conjunto de dados removidos para os valores do Índice TRIX.

Estações removidas	Fev/2013	Mai/2013	Ago/2013	Dez/2013	Média/2013
3	0,347	0,081	0,328	0,355	0,104
6	0,251	0,025	0,084	0,200	0,098
9	0,119	0,253	0,142	0,665	0,097
13	1,155	0,005	0,233	0,013	0,232
17	0,366	0,271	0,097	0,304	0,075
19	0,540	0,010	0,470	0,087	0,037
Máximo	1,155	0,271	0,470	0,665	0,232
Mínimo	0,119	0,005	0,084	0,013	0,037
Amplitude	1,036	0,266	0,386	0,652	0,196
Média	0,463	0,107	0,226	0,271	0,107
Variância	0,134	0,015	0,023	0,054	0,004
Desvio Padrão	0,366	0,123	0,151	0,232	0,066

Fonte: Autor (2016)

Figura 35 - Distribuição espacial da variação da diferença dos valores do índice TRIX para os dados a previstos através do teste de validação cruzada e os valores reais.



Fonte: Autor (2016)

Para analisar a eficiência da distribuição da posição das estações de amostragem, formado pela totalidade e parte do conjunto amostral, foram utilizadas as áreas dos polígonos de Voronoi ou polígonos de Thiessen, também conhecido como polígono de proximidade. De acordo com Xavier-da-Silva (2001), a característica fundamental de um polígono de Voronoi é

a de ser constituído por pontos que estão mais próximos de seu ponto gerador do que de qualquer outro ponto gerador, para sua criação.

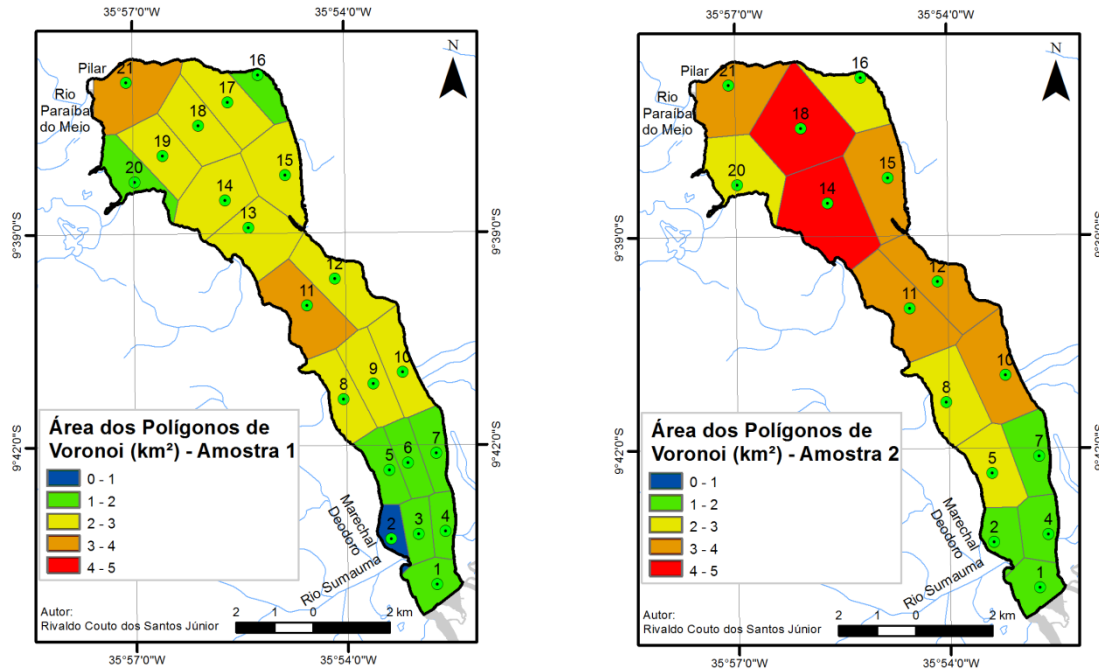
Foram mensuradas as respectivas áreas dos polígonos de Voronoi construídos utilizando a totalidade e parte do conjunto amostral foram comparados para verificar a sua eficiência. Uma amostragem equilibrada espacialmente, ou seja, as áreas dos polígonos adjacentes são aproximadamente idênticas, possuindo uma variância baixa com relação as suas áreas.

De acordo com Stevens e Olsen (2004) apud Macedo e Callisto (2012), eficiência de uma amostragem espacialmente balanceada, pode ser testada através da razão entre a variância da área dos polígonos das amostras espacialmente balanceadas sobre as amostras aleatórias, sendo o seu resultado $<1,0$, a amostragem espacial é mais eficiente que a amostragem aleatória.

A variância das áreas dos polígonos de Voronoi foi menor na amostragem utilizando a totalidade dos pontos, apresentando polígonos com áreas mais próximas a média (Figura 36).

A razão entre a variância das áreas dos polígonos Voronoi construídos com o total de amostras ($\text{Var}=0,57$) e com parte das amostras ($\text{Var}=1,13$) foi de 1,98, evidenciando que a amostragem espacialmente mais balanceada foi a que utilizou o conjunto total dos dados, impossibilitando a redução do esforço amostral, que realize a exclusão de estações diminuindo o seu adensamento, mantendo a posições das demais para fins de proporcionar a continuidade da comparação do monitoramento das estações existente.

Figura 36 - Áreas dos Polígonos de Voronoi da Laguna Manguaba construídos com (A) totalidade do conjunto das amostras e (B) a parte das amostras.



Fonte: Autor (2016)

6 CONCLUSÕES

O processo de assoreamento instalado no CELMM, potencializado pela antropização da paisagem circundante do sistema, como desmatamento, reduz a capacidade de renovação da água e o tempo de residência da água interior poluída, contribuindo para o processo de eutrofização.

A salinidade na Laguna Manguaba influi diretamente nos resultados do Índice TRIX, sendo está relacionada fortemente com o regime fluvial, principalmente no período chuvoso, e ao assoreamento dos canais de ligação com o mar. Ações de dragagem nesses canais de ligação, atualmente amplamente discutidas como uma solução na melhoria da qualidade da água e piscosidade, irão influenciar de forma significativa do processo de eutrofização da laguna.

O estado trófico utilizando o índice TRIX para a água de superfície do Sistema Lagunar Manguaba foi classificado como eutrofizado, sendo nas campanhas de fevereiro, maio e agosto de 2013, classificado como Moderado (mesotrófico a eutrófico), apresentando condições moderadas a altamente produtivo e alto estado trófico. Na campanha de dezembro de 2013 (período seco) classificado como Bom (Mesotrófico), com condições moderadamente produtiva e estado trófico mediano.

As variáveis que mais colaboraram com os valores do índice TRIX foram o nitrogênio inorgânico dissolvido e fósforo inorgânico dissolvido, com concentrações mais elevadas em águas com menor salinidade, situadas na região mais a montante da laguna, com grande influência na descarga fluvial do Rio Paraíba do Meio, sugerindo um grande *input* desses nutrientes no sistema, principalmente em períodos chuvosos.

O índice TRIX por utilizar as variáveis nitrogênio, fósforo, clorofila-*a* e saturação de oxigênio dissolvido, fatores que expressam diretamente a produtividade primária e nutricionais, é considerado eficiente e forte, principalmente quando acoplado a outros parâmetros geoambientais, podendo ser utilizado nos monitoramentos ambientais, respondendo satisfatoriamente a classificação geral do sistema.

Os resultados da interpolação, com a utilização do total da amostragem e parte da amostra foi bastante similar, com pequenas diferenças entre o valor previsto e o resultado real, sendo influenciado por valores discrepantes em algumas amostras, se mostrando confiável o modelo utilizado. Foi demonstrado também, que a amostragem utilizada se apresentou

especialmente mais balanceada, quando comparada com uma rede amostral menos adensada, impossibilitando a exclusão de estações de monitoramento na continuidade do monitoramento.

A forte pressão antrópica sobre o Sistema Lagunar Manguaba, principalmente o agente de impacto ambiental com maior ocorrência registrado, que foi os efluentes industriais/domésticos (riscos sociais), com a ausência de saneamento básico adequado ao longo de suas bacias contribuintes e no seu entorno, indica que a eutrofização é considerada uma grande ameaça para esse ecossistema.

Portanto, este trabalho contribui como uma ferramenta de gestão a ser utilizada pelo comitê gestor da Região Hidrográfica do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú Manguaba para fins de monitoramento da qualidade ambiental do Sistema Lagunar Manguaba, assim como para os órgãos ambientais no estado.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M. M. **Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. 149 f. Tese (Doutorado em geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 1998. 149 f.
- ALVES, G.; et al. Eutrophication and water quality in a tropical Brazilian estuary. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, n. 65, 2013.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Plano de ações e gestão integrada do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba 2006**. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/20061122145648_CELMM%20-%20completo.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.
- APHA, **Standard methods for the examination of water and Waste Water**. New York, Apha, 1985.
- ARAÚJO, M. S. L. C.; CALADO, T. C. S. Bioecologia do caranguejo-uçá *Ucides Cordatus* (Linnaeus) no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba (CELMM), Alagoas, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada – APRH**, v. 8, n. 2. p. 169–181. 2008.
- ARTIOLI, Y.; BENDORICCHIO, G.; PALMERI, L. Defining and modeling the coastal zone affected by the Po River (Italy). **Ecological Modelling**, v. 184, p. 55-68, 2005.
- BARBOSA, L. M. **Quaternário Costeiro no Estado de Alagoas: Influências das Variações do Nível do Mar**. Dissertação (Mestrado em geologia) Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 1985. 58 f.
- BATISTA, T. N. F.; FLORES MONTES; M. de J. Estado trófico dos estuários dos rios Ipojuca e Merepe-PE. **Tropical Oceanography**, Recife, v.42, n. especial, p. 22-30, 2014.
- BENDORICCHIO, G. B.; DE BONI, G. A water-quality model for the Lagoon of Venice, Italy. **Ecological Modelling**, v. 184, p. 69-81, 2005.
- BERTOLDI, L. **Avaliação do estado trófico de um estuário tropical**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Aracruz, 2014. 90 f.
- BILLEN, G.; LANCELOT, C.; MEYBEEK, M. N, P, and Si retention along the aquatic continuum from land to ocean. In: **Ocean Margin Processes in Global Change**. New York, John Wiley & Sons, p. 19-44, 1991.
- BORGES, P. de S. P. **Índices e modelos biogeoquímicos para definição do estado trófico, suscetibilidade à eutrofização e metabolismo do estuário do rio Paraíba do Sul, RJ**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014. 143 f.
- BRICKER, S. B.; FERREIRA, J. G.; SIMAS, T. C. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. **Ecological Modelling**, v. 169, p. 39-60, 2003.

BRITO NEVES, B. B. **Regionalização geotectônica do pré-cambriano nordestino**. Tese (Doutorado em Paleontologia e Estratigrafia) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975. 198 f.

BURTON, J.D. & LISS, P.S. **Estuarine chemistry**. New York, Academic Press, 1976. 228 p.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, p. 361-369, 1977.

CARUSO, G.; et al. Assessment of the ecological status of transitional waters in Sicily (Italy): first characterisation and classification according to a multiparametric approach. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, p. 1682-1690, 2010.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. de O.; RIO, G. A. P. do. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 28, n. 2, p. 11–30, 2005. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2015.

CLOERN, J. E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. **Marine Ecology Progress Series**, v. 210, p. 223-253, 2001.

COELHO, S.; GAMITO, S.; PÉREZ-RUZAFÁ, A. Trophic state of foz de Almagem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 71, p. 218-231, 2007.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2013/2014, segundo levantamento, agosto/2013**. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, Brasília. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf> Acesso em: 27 out. 2015.

CORRÊA, R. L. **Região e organização espacial**. 7. ed. São Paulo: Editora Ática, 2000.

COSTA, A. M.; MEDEIROS, P. R. P; SANTOS JUNIOR, R. C. Avaliação e distribuição espacial do estado trófico da água da Laguna Manguaba (AL). In: Congresso Brasileiro de Geoquímica/ Simpósio Latino-Americano de Mapeamento Geoquímico, XIV, 2013, Diamantina. **Anais...** . Diamantina, 2013.

COTOVICZ JUNIOR, L. C. **Aplicações de modelos (ASSETS e TRIX) para avaliação do estado trófico e cenário futuro da eutrofização do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL)**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012. 123 f.

COTOVICZ JUNIOR, L. C.; et al. Comparação de Modelos e Índices para Avaliação do Estado Trófico do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL). **Geochimica Brasiliensis**. Ouro Preto, v. 26, n. 1, p. 7-18, 2012.

COUTINHO, P. N.; LIMA, R. C. A. Modelo evolutivo do Sistema Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba. **Boletim de Estudos de Ciências do Mar**. Maceió, v. 10, p. 139-153, 1995.

DAY, J. KEMP, W.M. YANEZ-ARANCIBIA, A. **Estuarine Ecology**. New York, Jonh Wiley & Sons, 1987. 558 p.

DAY, J. W.; et al. **Estuarine ecology**. New York: Wiley Interscience, 1989. 558 p.

DEVLIN, M.; BRICKER, S.; PAINTING, S. Comparison of five methods for assessing impacts of nutrient enrichment using estuarine case studies. **Biogeochemistry**, v. 106, n. 2, p. 177-205, 2011.

ESTEVEZ, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1998. 602 p.

FEIJÓ, F. J. Bacias de Sergipe e Alagoas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 149-161. Jan./Mar. 1994.

FERREIRA JUNIOR, M. G. **Uso de modelagem na avaliação da capacidade de suporte de reservatórios com projetos de aquicultura, tendo o fósforo como fator limitante**. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) Programa de Pós-graduação (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011. 157 f.

FOX, L.E., SOGER, S.L. & WOFSY, S.C. Factors controlling the concentration of soluble phosphorus in the Mississippi Estuary. **Limnol. Oceanogr**, v. 30, n. 4, p. 826-832, 1985.

GUIMARÃES JÚNIOR, S. A. M; et al. Impactos do uso da terra no Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba - CELMM, Alagoas, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, XV, 2011, Curitiba. **Anais...** . Curitiba: INPE, 2011, p. 6917-6923.

HERRERA-SILVEIRA, J. A.; MORALES-OJEDA, S. M. Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation. **Marine Pollution Bulletin**, v. 59, p. 72-86, 2009.

KNOPPERS, B.; EKAU, W. E FIGUEIREDO, A.G.. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. **Geo-Marine Letters**, 19 (3): 171-178,1999.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d`água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 238 f.

LE CAMPION, G. L. Níveis de concentração de chumbo em *Tagelus plebeius* (Mollusca bivalvia) do canal do Calunga do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú Manguaba, Estado de Alagoas. **Boletim de Estudos de Ciências do Mar**. Maceió, v. 11, p. 245-259, 2000.

LIMA, R. C. de A. **Estudo sedimentológico e geoambiental no Sistema Lagunar Mundaú – Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Geociências) Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998. 127 f.

LIMA, R.C. de A. **Evolução da linha de costa a médio e curto prazo associada ao grau de desenvolvimento urbano e aos aspectos geoambientais na planície costeira de Maceió**. Tese (Doutorado em Geociências), Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004. 156 f.

LOUREIRO, S.; NEWTON, A.; ICELY, J. Boundary conditions for the european water framework directive in the Ria Formosa Lagoon, Portugal (physico-chemical and phytoplankton quality elements). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 67, p. 382-398, 2006.

MACEDO, D. R.; CALLISTO, M.. Desenho amostral espacialmente balanceado na avaliação ambiental de uma bacia hidrográfica no cerrado mineiro. In: VI Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - Geonordeste, 2012, Aracaju. **Anais...** . Aracaju: UFS, 2012. v. 1. p. 1-6.

MARCUZZO, F. F. N; et al.; Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física (UFPE)**. Recife, v. 04, p. 793-804, 2011.

MARQUES, J. G. W. **Aspectos ecológicos da etnoictiologia dos pescadores no Complexo estuarino- lagunar Mundaú/Manguaba, Alagoas**. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1991. 280 f.

MEDEIROS, P. R. P. Influência da agroindústria canavieira na qualidade da água do Rio Mundaú. **Boletim de Estudos de Ciências do Mar (UFAL)**. Maceió, v. 9, p. 217-228, 1996.

MEDEIROS, P. R. P. Caracterização de um verdete ocorrido na Lagoa Manguaba (Maceió, AL). In: Simpósio de Ecossistemas Brasileiros, IV, 1998, Águas de Lindóia. **Anais...** . Águas de Lindóia, 1998.

MEDEIROS, P.R.P. **Aporte e dispersão de nutrientes e material em suspensão no Rio São Francisco, estuário e região costeira adjacente, após a construção da UHE do Xingó**. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003. 182 f.

MELO-MAGALHÃES, E. M. **Influência da eutrofização do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú Manguaba, Alagoas, sobre a comunidade fitoplanctônica**. Tese (Doutorado em Oceanografia) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005. 253 f.

MELO-MAGALHÃES, E. M.; et al. Determination of eutrophic regions on Mundau-Manguaba lagoons, Alagoas, Brazil, through studies with phytoplanktonic community. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 2, p. 1-10, 2009.

MELO-MAGALHÃES, E. M.; CAVALCANTI, M. de O.; LIRA, M. C. de A. Florações de algas cianofíceas no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba, Alagoas. **Boletim de Estudos de Ciências do Mar (UFAL)**. Maceió, v. 10, p. 1-13, 1998.

MELO-MAGALHÃES, E. M.; KOENING, M. L.; SANT'ANNA, C. L. Fitoplâncton e variáveis ambientais nos canais do sistema estuarino lagunar Mundau/Manguaba, Alagoas, Brasil. **Hoehnea**, v. 31, n. 1, p. 73-86, 2004.

MIZERKOWSKI, B. D. **Modelo comparativo do estado trófico estuarino: Babitonga, Guaratuba, Laranjeiras e Cananéia. Pontal do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2007. 121 f.

MONCHEVA, S.; et al. Application of eutrophication indices for assessment of the Bulgarian Black Sea coastal ecosystem ecological quality. **Water Science and Technology**, v. 46, n. 8, p. 19-28, 2002.

MOREIRA, P.; KNOPPERS, B. Ciclo anual de produção primária e nutrientes na Lagoa de Guarapina, RJ. **Acta Limnol. Bras.**, v. 3, p. 275-291, 1990.

MORRIS, A. W. Estuarine chemistry and general survey strategy. In: HEAD, P. C. **Practical estuarine chemistry: a handbook**. Cambridge: Cambridge University, 1985.

NASROLLAHZADEH H. S., et al. Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1153-1165, 2008.

NORIEGA, C. E. D. **Estado trófico e balanço biogeoquímico dos nutrientes não conservativos (N e P), na Região Metropolitana do Recife – Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências na área de Oceanografia Abiótica) Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010. 104 f.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 612 p.

OLIVEIRA, A. M.; CAVALCANTE, G. H. Identificação das áreas críticas ao fluxo entre o estuário e as lagoas Mundaú-Manguaba com dragagens corretivas. **Boletim de Estudos de Ciências do Mar (UFAL)**. Maceió, v. 10, p. 103-120, 1998.

OLIVEIRA, A. M.; KJERFVE, B. Environmental responses of a tropical coastal lagoons system to hydrological variability: Mundaú-Manguaba, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 37, n. 6, p. 575-591, 1993.

PENNA, S. N.; CAPELLACCI, S.; RICCI, F. The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, p. 321-326, 2004.

PFALTZGRAFF, P. A. dos S. O. **Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na Região Metropolitana de Recife**. Tese (Doutorado em Geociências) Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. 149 f.

PORTOBRÁS.INPH. **Relatório da primeira campanha de medições hidráulicas-sedimentológicas do complexo lagunar Mundaú/Manguaba**. Rio de Janeiro, 1984. 41p. (INPH- 204/85. Relatório interno).

REBOUÇAS, A.; TUNDISI, J.G. **Águas doce no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, Editora Escrituras, 2000. 715 p.

RIBEIRO, M.A.T.S.B.; KNOPPERS, B. A.; CARREIRA, R. S. Fontes e distribuição de matéria orgânica sedimentar no Complexo Estuarino-Lagunar de Mundaú-Manguaba/AL, utilizando esteróis e alcoóis como indicadores. **Quim. Nova**, v. 34, n. 7, p. 1111-1118, abr. 2011.

RODRIGUES, M. T. **Acoplamento do modelo hidrológico MGB ao modelo atmosférico WRF visando estimar a vazão na bacia do Rio Paraíba do Meio-AL/PE**. Dissertação

(Mestrado em Meteorologia) Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012. 98f.

RODRIGUES, M. T.; POLLO, R. A.; RODRIGUES, B. T.; MALHEIROS, J. M.; CAMPOS, S. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicado ao uso da terra para avaliação entre classificadores a partir do índice Kappa. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 23, n. 1, p. 60-70, 2014.

SANTOS, S. J. da C. **Determinação do estado trófico a partir da aplicação dos Índices O'Boyle e TRIX nos compartimentos da baía de Guanabara, RJ**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015. 100f.

SCHWARZBOLD, A. Métodos ecológicos aplicados ao estudo do perifiton. **Acta Limnol. Brasil**. v. 3, p. 545-592, 1990.

SEMARH/AL. **Plano diretor da Região Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio**. Secretária de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas – SEMARH/AL, Maceió, v. 1, p. 18-23, 2001.

SEMARH/AL. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos – PERS/AL: produto 2 – diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos no Estado de Alagoas**. Secretária de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas – SEMARH/AL, Maceió, 2014. 248p. Disponível em: <<http://www.persalagoas.com.br/wp-content/uploads/2014/04/RA2-Diagn%C3%B3stico-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-PERS-Criptog..pdf>>. Acesso em: 27 out. 2015.

SEPLAG/AL. **Perfil municipal**. Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio de Alagoas - SEPLAG/AL, Maceió. v. 3, n. 3. Disponível em: <<http://dados.al.gov.br/dataset/perfil-municipal-2015>>. Acesso: em 29 out. 2015.

SETTI, A. A.; et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**, 2ª ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2001. 328p.

SCHÄFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1985. 532 p.

SILVA, A. P. L. da. **Estudos geomorfológico e sedimentológico do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro – Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Geociências) Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001. 112 f.

SILVA, A. R. da; Aplicação do modelo TRIX para avaliação da qualidade da água dos rios que drenam para Estação Ecológica de Carijós, Florianópolis, SC, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XX. Bento Gonçalves, (RS). **Anais...** . Bento Gonçalves: ABRH, 2013. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/36facc4e8a6faace8b399453ca1bfcc3_082b079177920ad282d1cf597b13ab35.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2016.

SILVA, M.A.S. da; GRIEBELER, N.P.; BORGES, L.C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SMAYDA, T.J., In : KETCHUM, B.H. Ecosystems of the world: **Estuaries and Enclosed Seas**. Elsevier Scientific Publishing Company. 1983.

SOUZA, R. C. de; et al. Uma análise na dragagem do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú/Manguaba em Alagoas através de um modelo numérico hidrodinâmico bidimensional – resultados preliminares. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 21-31. Out./Dez. 2004.

STERZA, J. M.; FERNANDES, L. Distribution and abundance of Cladocera (Branchiopoda) in the Paraíba do Sul River estuary, Rio de Janeiro, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 54, p. 193-204, 2006.

STEVENS, D.L., JR.; OLSEN, A.R. Spatially balanced sampling of natural resources. **Journal of the American Statistical Association**, v. 99 p. 262–278, 2004.

TAVARES, J. L.; CALADO, A. L.A.; FONTES, R. F. C. Estudos iniciais para o uso do índice TRIX para análise do nível de eutrofização no estuário do Rio Potengi – Natal- RNBrasil. **Revista AIDIS**, v. 7, n. 3, p. 297-308, 2014.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teorias, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. **Ecologia de reservatórios**: estrutura, função e aspectos sociais. 1. ed. Botucatu: FUNDIBIO; FAPESP, 1999. p. 19-38.

TUNDISI, Galizia José. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Carlos: RiMa, 2003. 248p.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos, Rima Editora, 2004. 344 p.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia**. São Carlos, Ed. Oficina de Textos, 2008, 631 p.

VILLELA, V. R; et al. Contaminação por coliformes fecais das águas do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba, Alagoas-Brasil. **Boletim de Estudos de Ciências do Mar (UFAL)**. Maceió, v. 10, p. 163-173, 1998.

VOLLENWEIDER, R. A.; et al. Characterization of the trophic conditions of marine coastal areas with special reference to the NW Adriatic Sea; proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. **Environmetrics**, v. 9, p. 329-357, 1998.

VOLLENWEIDER, R. A.; KEREKES, J. **Eutrophication of waters**: monitoring, assessment and control. Report of OECD Cooperative Program on Eutrophication. Economic Development and co-Operation, Paris, 1982. 156 p.

WETZEL, R.G., **Limnologia**. Barcelona, Omega, 1981. 679 p.

YUCEL-GIER, G.; et al. The composite trophic status index (TRIX) as a potential tool for the regulation of Turkish marine aquaculture as applied to the eastern Aegean coast (Izmir Bay). **J. Appl. Ichthyol.**, v. 27, p. 39-45, 2011.

XAVIER DA SILVA, J. & CARVALHO FILHO, L. M. Sistema de informação geográfica: uma proposta metodológica. In: Conferência sobre Sistemas de Informação Geográfica, 6,

Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 2. São Paulo, (SP). **Anais...** . São Paulo: EPUSP, 1993. p. 609-628.

XAVIER-DA-SILVA, Jorge. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: Jorge Xavier da Silva, 2001. Disponível em: <http://www.viconsaga.com.br/lageop/index.php>>. Acesso em: 19 mai. 2015.