

**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE
RIOS COM NÍVEIS DISTINTOS DE
URBANIZAÇÃO NA BACIA DA LAGOA DA
CONCEIÇÃO EM FLORIANÓPOLIS (SC)**

Matheus Lima de Souza

Florianópolis, 2018



Matheus Lima de Souza

**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE RIOS COM
NÍVEIS DISTINTOS DE URBANIZAÇÃO NA BACIA DA
LAGOA DA CONCEIÇÃO EM FLORIANÓPOLIS (SC)**

Trabalho submetido à Universidade Federal de Santa Catarina para a conclusão do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Victor Eduardo Cury
Silva

Coorientador: Prof. Dr. Davide Franco

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

de Souza, Matheus
DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE RIOS COM
NÍVEIS DISTINTOS DE URBANIZAÇÃO NA BACIA DA LAGOA
DA CONCEIÇÃO EM FLORIANÓPOLIS (SC) / Matheus de
Souza ; orientador, Victor Eduardo Cury Silva,
coorientador, Davide Franco, 2018.
112 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

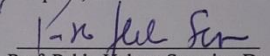
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Lagoa da
Conceição. 3. Diagnóstico da qualidade da água. 4.
Índice trófico. 5. Bacia Hidrográfica. I. Eduardo
Cury Silva, Victor. II. Franco, Davide. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Matheus Lima de Souza

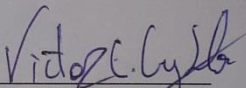
**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE RIOS COM
NÍVEIS DISTINTOS DE URBANIZAÇÃO NA BACIA DA
LAGOA DA CONCEIÇÃO EM FLORIANÓPOLIS (SC)**

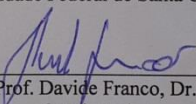
Trabalho submetido à Universidade Federal de Santa Catarina para a
conclusão do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

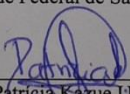
Floianópolis, 29 de Novembro de 2018.

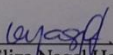

Prof. Pablo Heleno Sezerino Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:


Prof. Victor Eduardo Cury Silva
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Davide Franco, Dr.
Coorientador
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof.ª Patricia Kazue Uda, Dr.ª
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof.ª Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.ª
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado a todas as formas de vida, para que o ser humano aprenda a respeitar a natureza.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, Carlos, Marli e Larissa, a minha razão de estar aqui hoje.

Agradeço a minha companheira Anna Paduano pelo cuidado e apoio incondicional.

Agradeço as amigas, especialmente ao Alexandre dos Santos pela parceria nesse trabalho.

Agradeço aos parceiros da Calafate e da música, especialmente ao Luigi Bogoni, sem música nada faz sentido.

Agradeço a Capoeira por me mostrar uma nova forma de ver o mundo, ao Mestre Khorvão e especialmente ao Mestre Téó.

Agradeço ao NEAmb pelas amigas, aprendizados e o despertar de que só pela Educação podemos transformar o mundo.

Agradeço ao Instituto Çarakura por me mostrar o caminho da Permacultura, da natureza e do amor.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina por tantas oportunidades maravilhosas.

Agradeço aos colegas de faculdade, a todos os estudantes, professores e funcionários do curso de Eng. Sanitária e Ambiental.

Agradeço a prof.^a Alessandra Larissa Fonseca e à responsável técnica do Laboratório de Oceanografia Sônia Marcia Kaminski.

Agradeço especialmente ao meu orientador prof. Victor Eduardo Cury Silva pela parceria e motivação durante toda a pesquisa.

Agradeço ao prof. Davide Franco, a prof.^a Patrícia Uda e todos os membros do LaHiMar pelo apoio durante a realização desse trabalho.

“Eu sempre estou pensando em criar. Meu futuro começa quando eu acordo de manhã e vejo a luz”.
Miles Davis

RESUMO

Esse trabalho apresenta um diagnóstico da qualidade da água de quatro rios situados na bacia da Lagoa da Conceição em Florianópolis (SC). Foram realizadas doze campanhas amostrais totalizando três para cada um dentre os rios: Apa, Porto da Lagoa, João Gualberto e Costa da Lagoa. Assim como verificado por Silva et al. (2017) o aumento intensivo da taxa de urbanização na bacia nos últimos anos aliado à falta de saneamento efetivo, vêm apresentando modificações na qualidade da água da laguna ao longo do tempo, sendo que essas alterações podem estar comprometendo a sua homeostase e capacidade de resiliência. Foram escolhidos dois pontos amostrais para cada rio, um localizado o mais próximo possível da nascente e outro à foz em regiões onde houvesse um canal retilíneo de fácil acesso sem interferências diretas da laguna. Os parâmetros analisados no trabalho foram: Vazão, pH, Temperatura, Oxigênio dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID), Silicato, Clorofila-a e Material Particulado em Suspensão (MPS). Em adição foi calculada a carga de nutrientes e o índice de estado trófico (TRIX) para avaliar o grau de influência das avariáveis associadas. Os resultados apresentaram uma diferença significativa entre os resultados para nascente e foz de acordo com os níveis de urbanização. O rio da Costa da Lagoa nos mostra como uma Sub Bacia hidrográfica (SBH) pouco urbanizada (2%) sofre menor influência em seus corpos hídricos quando comparado às outras SBHs com maior grau de urbanização. O rio João Gualberto (9%) obteve o valor de 20476,12 mg/L para NID com uma carga de 242242,420 Kg/d, enquanto as concentrações de Silicato para o rio Apa (16%) foram de 0,73 mg/L para nascente e 28539,66 mg/L para foz, com uma carga de 30099,072 Kg/d. Os valores do índice trófico encontrados indicam a classificação de eutrofização para a foz do João Gualberto e para foz do rio Apa. Além disso, a SBH do rio Apa apresentou valores superiores de NID e PID para a sua foz, o que mostra indícios de contaminação de águas residuárias da comunidade urbana situada entre os dois pontos. O rio do Porto da Lagoa (25%) também apresentou valores bem superiores para NID, PID e Silicato em sua foz, mostrando uma tendência em todas SBHs urbanizadas que foram monitoradas.

Palavras-chave: Lagoa da Conceição. Diagnóstico. Qualidade da água. Índice Trófico. Carga de Nutrientes. Bacia Hidrográfica Urbanizada.

ABSTRACT

This work presents a water quality diagnosis for four rivers located in the Lagoa da Conceição basin in Florianópolis (SC). Twelve sample campaigns were carried out totaling three for each one of the following rivers: Apa, Porto da Lagoa, João Gualberto and Costa da Lagoa. As verified by Silva et al. (2017), the intensive increase in the rate of urbanization in the basin in recent years coupled with the lack of effective sanitation has been presenting changes in the water quality of the lagoon over time, so these alterations may be compromising its homeostasis and resilience capacity. Two sampling points were chosen for each river, one located as close as possible to the spring and another to the mouth in regions where there was a rectilinear channel of easy access without direct interferences of the lagoon. The parameters analyzed in the work were: Waterflow, pH, Temperature, Dissolved Oxygen, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN), Dissolved Inorganic Phosphorus (PID), Silicate, Chlorophyll-a and Suspended Particulate Matter (SPM). In addition was calculated the nutrient charge and the Trophic Index (TRIX) to evaluate the degree of influence of the associated variables. The results showed a significant difference between spring and mouth according to urbanization levels. Costa da Lagoa river shows a less urbanized Sub-basin (2%) suffers less influence in its water bodies when compared to other Sub-basin with a higher degree of urbanization. João Gualberto river (9%) obtained a value of 20476,12 mg/L for NID with a load of 242242,420 Kg/d, while concentrations of Silicate for Apa river (9%) were 0,73 mg/L for spring and 28539,66 mg/L for mouth with a load of 30099,072 Kg/d. The values of trophic index found indicate a classification of eutrophication for the mouth of João Gualberto and Apa. In addition, Apa Sub-basin presented much higher values of NID and PID for its mouth, which shows signs of contamination of wastewater of the urban community located between the two points. Porto da Lagoa river (25%) also presented higher values for NID, PID and Silicate at its mouth, showing a trend in all urbanized Sub-basin monitored.

Keywords: Lagoa da Conceição. Diagnosis. Water Quality. Trophic Index. Nutrient Charge. Urbanized River Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rio com primeiros indícios de eutrofização (Rio APA).	9
.....	9
Figura 2 - Fluxograma Metodológico.....	
Figura 3 – Mapa de localização e ocupação da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.	28
Figura 4 - UH's da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.	31
Figura 5- Mapa dos pontos amostrais e URHs.	34
Figura 6 – Medição de vazão próxima à foz do rio Apa.....	35
Figura 7 - Aparelho Flowmeter com o sensor	36
Figura 8 - Medição de vazão na foz do rio João Gualberto.	37
Figura 9 - Oxímetro utilizado para medir Temperatura e Oxigênio dissolvido.	38
.....	38
Figura 10 - pHmetro utilizado para medir pH.	39
Figura 11 - Análise de NOx com a equipe do LaHiMar.....	40
Figura 12 - Mesa para análise de DBO.....	41
Figura 13 - Bomba peristáltica com colunas de cádmio.	42
Figura 14 - Uso de EPIs durante as análises de amônia.	43
Figura 15 - Leitura das amostras no espectrofotômetro.	44
Figura 16 - Espectrofotômetro utilizado na análise de Clorofila-a.	46
.....	46
Figura 17 - Vazão (L/s) encontrada nos rios monitorados.....	48
Figura 18 - Temperatura (°C) em todos os pontos amostrais.....	50
Figura 19 - Temperatura (°C) para Nascente (1) e Foz (2).	51
Figura 20 - pH em todos os pontos amostrais.....	52
Figura 21 - pH para Nascente (1) e Foz (2).	53
Figura 22- OD (mg/L) em todos os pontos amostrais.	54
Figura 23 - OD (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).	55
Figura 24 - DBO (mg/L) em todos os pontos amostrais.	56
Figura 25 - DBO (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).	57
Figura 26 - NID (mg/L) em todos os pontos amostrais.	58
Figura 27 - NID (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).....	59
Figura 28 - PID (mg/L) para todos os pontos amostrais.	60
Figura 29 - (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).....	61
Figura 30 - Silicato (mg/L) para todos os pontos amostrais.	62
Figura 31 - Silicato (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).	63
Figura 32 - Clorofila-a (µg/L) para todos os pontos amostrais... ..	64
Figura 33 - Clorofila-a para Nascente (1) e Foz (2).	65
Figura 34 - MPS (mg/L) para todos os pontos amostrais.	66
Figura 35 - MPS (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).....	67

Figura 36 - Correlação OD x Temperatura.....	68
Figura 37 - Correlação entre pH x NID.....	69
Figura 38 - Correlação entre pH x Silicato.....	69
Figura 39 - Correlação entre pH x Temperatura.	70
Figura 40 - Correlação entre PID e NID.	70
Figura 41 - Correlação entre PID e Silicato.	71
Figura 42 - Carga total de NID (Kg/d) para cada rio.	72
Figura 43 - Carga total de PID (Kg/d) para cada rio.	74
Figura 44 - Valores de TRIX para todos os pontos amostrais....	75
Figura 45 - Valores de TRIX por Grau de Urbanização.....	76
Figura 46 - Boxplot de TRIX por Grau de Urbanização.	76
Figura 47 - Boxplot de TRIX para Nascente e Foz.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do estado trófico segundo índice de Carlson modificado.	18
Tabela 2 - Valores do TRIX e classificação do nível trófico.....	19
Tabela 3 - Resumo das leis e relação com os recursos hídricos.	21
Tabela 4 - Parâmetros e limites para rios classe 2.	24
Tabela 5 - População residente por distrito.	29
Tabela 6 – Urbanização em cada UH.	33
Tabela 7- Matriz de Correlação dos Parâmetros.....	67
Tabela 8 - Valores de Carga para NID.	71
Tabela 9 - Valores de Carga para PID.	73
Tabela 10- Valores de Carga para Silicato	74
Tabela 11 - Comparação com enquadramento para rios classe 2 de acordo com CONAMA 357.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

ENS – Engenharia Sanitária e Ambiental

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

FATMA – Fundação do Meio Ambiente

GPS – Global Positional System

LAHIMAR – Laboratório de Hidráulica Marítima

LIMA – Laboratório Integrado de Meio Ambiente

MPS – Material Particulado em Suspensão

NID – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido

OD – Oxigênio Dissolvido

PID – Fósforo Inorgânico Dissolvido

SBH – Sub-Bacia Hidrográfica

TRIX – Trophic Index

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UH – Unidade Hidrológica

URH – Unidade de Resposta Hidrológica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	OBJETIVO GERAL	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA	5
3.2	POLUIÇÃO DAS ÁGUAS	6
3.2.1	Poluição em termos de carga	7
3.2.2	Eutrofização	8
3.3	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	9
3.3.1	Vazão	10
3.3.2	Temperatura	10
3.3.3	Material Particulado em Suspensão	11
3.3.4	pH	11
3.3.5	Oxigênio Dissolvido	12
3.3.6	Demanda Bioquímica de Oxigênio	12
3.3.7	Nitrogênio	13
3.3.8	Fósforo	13
3.3.9	Clorofila	13
3.3.10	Silício	14
3.4	MONITORAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	14
3.5	ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA	16
3.5.1	IET	17
3.5.2	TRIX	18
3.6	LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	19
3.6.1	Panorama geral	19
3.6.2	Classes e padrões de qualidade da água	22
4	METODOLOGIA	25

4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
4.2	PONTOS DE AMOSTRAGEM	32
4.3	CAMPANHAS AMOSTRAIS	35
4.4	MEDIÇÃO DE VAZÃO	36
4.5	MEDIÇÕES EM CAMPO.....	38
4.6	ANÁLISE DOS PARÂMETROS EM LABORATÓRIO	39
4.6.1	DBO.....	40
4.6.2	Nitrito-Nitrato	41
4.6.3	Amônia.....	42
4.6.4	Fosfato Inorgânico Dissolvido.....	43
4.6.5	Silicato Inorgânico Dissolvido.....	44
4.6.6	Clorofila-a.....	45
4.6.7	MPS.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1	CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS	48
5.1.1	Vazão.....	48
5.1.2	Temperatura	50
5.1.3	pH.....	52
5.1.4	Oxigênio dissolvido	54
5.1.5	DBO.....	56
5.1.6	NID.....	58
5.1.7	PID	60
5.1.8	Silicato.....	62
5.1.9	Clorofila-a.....	64
5.1.10	MPS.....	66
5.2	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	67
5.3	CARGA DE NUTRIENTES.....	71
5.4	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (TRIX).....	75
5.5	COMPARAÇÃO COM CONAMA 357	77

5.6	DIAGNÓSTICO DE QUALIDADE DA ÁGUA	78
6	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

O aumento das populações humanas associado à falta ou insuficiência de planejamento dos espaços urbanizados, podem causar impactos nocivos à qualidade e quantidade dos recursos hídricos. O diagnóstico e a recuperação da qualidade desses ambientes dependem de ações provenientes de órgãos públicos, tomadores de decisão e pela sociedade civil como um todo, configurando um problema de alta complexidade para o nosso tempo. Por isso é necessário um olhar sistêmico, que leve em consideração a qualidade de vida dos seres humanos, integrado à qualidade da água na natureza. Rios poluídos podem se tornar propagadores de doenças, pois há inúmeros microrganismos patogênicos que podem ser transmitidos por veiculação hídrica, afetando consideravelmente a saúde humana. Para realizar a gestão efetiva dos corpos hídricos, é necessário monitorar e diagnosticar os ambientes lóticos, pois são fontes alimentadoras das lagunas, além de fontes de abastecimento de água para consumo humano e em muitos casos, receptores de despejos de esgotos. Assim, o monitoramento dos rios, passa por critérios de escolha dos pontos de análise, parâmetros, indicadores e ferramentas para análise estatística e interpretação dos dados (FINOTTI, 2009).

A área de estudo desse trabalho está situada na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, em Florianópolis (SC), uma laguna estrangulada de clima subtropical inserida em uma bacia hidrográfica em estágio avançado de urbanização. Assim busca-se caracterizar as unidades hidrológicas, principais fontes alimentadoras de escoamento superficial para a laguna, com o foco na avaliação da qualidade das águas superficiais para a realização de um diagnóstico dos rios, mais especificamente da carga de nutrientes e do estado trófico, avaliando as diferenças entre pontos amostrais escolhidos próximos a nascente e a foz de cada rio. Com essa caracterização entre montante e jusante, pode-se identificar como cada comunidade urbana está impactando o corpo hídrico. Para responder ao diagnóstico pretendido neste trabalho foram realizadas três campanhas amostrais em dias distintos para cada rio, totalizando doze campanhas. Em cada uma delas foram coletadas amostras em dois pontos, um próximo à nascente e outro próximo à foz, totalizando oito pontos de amostragem. São quatro rios em análise, onde cada um está situado em uma SBH de características distintas com variações nos níveis de urbanização, na cobertura de saneamento, nos tipos de solo e na hidrodinâmica do ambiente lagunar receptor.

Esse estudo têm o objetivo de contribuir com a compreensão dos estudos sobre ciclos biogeoquímicos na laguna, como a tese de doutorado de Victor Eduardo Cury Silva e demais pesquisas do Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMar) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) coordenado pelo prof. Dr. Davide Franco.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um diagnóstico da qualidade da água e da carga de nutrientes de quatro rios com níveis de urbanização distintos, situados na bacia da Lagoa da Conceição em Florianópolis (SC).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os parâmetros de qualidade da água e comparar o resultado com as concentrações máximas permitidas para o enquadramento de cada rio de acordo com a legislação vigente.
- Obter o estado trófico de cada ponto amostral e estimar a carga antrópica de nutrientes em cada rio.
- Realizar um diagnóstico da qualidade de água na bacia hidrográfica comparando o estado encontrado na nascente e na foz de cada rio, relacionando-o ao nível de urbanização de cada SBH.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão está organizada em tópicos que apresentam os efeitos da problemática da qualidade da água de rios em áreas urbanas, passando pela definição e quantificação da poluição, o monitoramento de recursos hídricos, uma breve descrição dos parâmetros e índices utilizados nesse trabalho. Por fim é apresentada a legislação brasileira no que tange os recursos hídricos.

3.1 EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA

Durante o último século a população urbana no Brasil passou de 9,4% para 81,23%, o crescimento desordenado das cidades está causando diversos impactos na natureza e na saúde humana. A falta de planejamento implica em diversos impactos no meio ambiente (FINOTTI, 2009). Em muitas regiões urbanas, há omissão do poder público na hora de oferecer estruturas de saneamento básico, como o tratamento de esgoto, sistema de drenagem urbana e gestão dos resíduos sólidos. De acordo com a Constituição Federal e a Lei 11.445/07, o serviço público de saneamento básico, deveria ser ofertado a toda população brasileira incluindo todos os custos para a implantação da infraestrutura necessária, garantindo assim o Princípio da Universalidade dos serviços públicos. A falta desses serviços está diretamente ligada à poluição dos corpos hídricos e a questão de saúde pública (LAHOZ, 2015).

A urbanização é responsável por aumentar a impermeabilização do solo, causando alterações nos padrões de escoamento superficial e de recarga dos aquíferos, realizando assim, alterações nos padrões de fluxo e na quantidade da água no ciclo hidrológico. Além disso, a remoção da mata ciliar causa um impacto na qualidade da água do deflúvio, pois retira o *filtro natural* dos rios, responsável por absorver nutrientes e atuar na homeostase do sistema. Além das questões envolvendo a drenagem urbana, efluentes industriais e domésticos quando não tratados e encaminhados corretamente, atingem os rios e alteram a qualidade da água. Nas áreas urbanas, o esgoto doméstico é umas das principais fontes de poluição dos recursos hídricos, sendo constituído principalmente de matéria orgânica e nutrientes, responsáveis pela redução do oxigênio dissolvido e criação de condições favoráveis para a ocorrência da eutrofização. Além disso, há diversos microrganismos patogênicos que são responsáveis pelo alto índice de mortalidade

infantil e doenças de veiculação hídrica na água. Outro problema é a gestão dos resíduos sólidos, aliada à falta de educação da população, o que têm provocado o acúmulo de lixo e produtos recicláveis que vão parar nos rios, constituindo um problema para a qualidade da água (FINOTTI, 2009).

Portanto, deve-se cobrar do poder público e buscar soluções onde os serviços de saneamento básico não são fornecidos. Em locais onde não há rede coletora de esgoto, soluções sustentáveis de tratamento descentralizado podem ser muito eficientes. Tecnologias sociais, de baixo custo e fácil implementação, como o uso de zonas de raízes, fossa ecológica, banheiro seco, sistemas de segregação e tratamento de águas cinzas, já são utilizadas em muitos países desenvolvidos e têm se mostrado uma solução para países em desenvolvimento, especialmente nos locais onde há omissão do poder público quanto aos serviços de saneamento. Portanto, é preciso uma conscientização do poder público junto à sociedade civil, para a adoção de métodos eficazes na solução do saneamento básico urbano (VAN KAICK, 2002).

3.2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A poluição das águas é um tema amplo, por isso está sujeito a diferentes interpretações. Uma definição prática e informal de poluição das águas apresentada por Finotti (2009) é que: *poluição das águas é a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos*. Essa é uma definição que associa a poluição ao conceito de uso e de prejuízo. O conceito de poluição varia de acordo com a cultura, por exemplo, um homem indígena que viveu em uma reserva toda a sua vida, terá um conceito diferente de um homem que sempre viveu em ambiente urbano. Para uma definição mais formal dentro da nossa legislação, pode-se utilizar da Lei 6.938, de 31 de Agosto de 1981 que dispõe da Política Nacional de Meio Ambiente:

Poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante das atividades que direta ou indiretamente:

- a) *prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;*
- b) *criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;*

- c) *afetem desfavoravelmente a biota;*
- d) *afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;*
- e) *lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.*

Degradação da qualidade ambiental: *a alteração adversa das características do meio ambiente.*

A poluição pode ocorrer de duas formas: pontual ou difusa. Na poluição pontual, o corpo d'água recebe os poluentes de forma concentrada em um espaço. Enquanto na poluição difusa os poluentes atingem os corpos d'água distribuídos ao longo de um trecho da sua extensão. Para mitigar os impactos da poluição em rios, é importante realizar uma prevenção diretamente na fonte poluidora, por exemplo, atuando no tratamento de esgoto, reduzindo assim a poluição pontual (VON SPERLING, 2005).

Além disso, a poluição varia de acordo com a chuva, que é responsável por “lavar” o rio, responsável por lixiviar contaminantes de origem antrópica e materiais orgânicos e inorgânicos do próprio rio durante o início da chuva, fenômeno conhecido como *first flush*. Portanto as chuvas têm um papel importante na qualidade das águas, alterando as características ao longo do rio, bem como a variabilidade dos parâmetros durante o período chuvoso (FINOTTI, 2009).

3.2.1 Poluição em termos de carga

É necessário quantificar os poluentes para avaliar o impacto da poluição e da eficácia das medidas de controle. Por isso são necessários: dados físicos da bacia, informações sobre o comportamento hidráulico dos corpos d'água, uso e ocupação do solo, caracterização social, econômica, usos múltiplos das águas, diagnóstico da qualidade da água, podendo adicionar outros aspectos. A quantificação dos poluentes na legislação é utilizada em termos de concentração, mais também pode ser apresentada em termos de carga, expressa em massa por tempo e pode ser calculada por diferentes métodos, dependendo do tipo de problema em análise, da origem do poluente e dos dados disponíveis (VON SPERLING, 2005).

A equação utilizada nesse trabalho será o produto da concentração pela vazão, conforme a equação 1.

$$carga\left(\frac{kg}{d}\right) = (concentração\left(\frac{mg}{L}\right) \times vazão\left(\frac{m^3}{d}\right)) / 1000 \left(\frac{g}{Kg}\right) \quad (1)$$

3.2.2 Eutrofização

A eutrofização é um fenômeno considerado um dos problemas ambientais globais de grande importância na atualidade em ambientes aquáticos costeiros. A eutrofização consiste no processo de ocorrência de excesso de nutrientes em corpos d'água, principalmente nitrogênio e fósforo, além de matéria orgânica, que ocasiona o aparecimento de espumas superficiais, afloramentos exponenciais de algas, cianobactérias e plantas macrófitas enraizadas e flutuantes. Quando o rio ou lago se encontra com um alto nível de eutrofização, a penetração dos raios solares é impedida, ocasionando assim diminuição nas reações de fotossíntese e consequentemente diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido, podendo acarretar na morte de peixes e até do próprio corpo hídrico (SILVA, 2016).

A eutrofização pode ocorrer de forma natural, mais geralmente ocorre devido ao impacto antrópico, como por exemplo, o despejo de esgotos nos rios e o uso intensivo de fertilizantes na agricultura. Quando o ecossistema está ocupado por matas e florestas, há um balanço natural da concentração de nutrientes, mais sem essa proteção a sua capacidade de resiliência se encontra desequilibrada. Para avaliar o processo de eutrofização, além de uma percepção quanto às propriedades organolépticas, há também índices que podem ser usados para quantificar e classificar corpos d'água quanto ao nível de eutrofização (FINOTTI, 2009). Os índices IET e TRIX são utilizados para identificar o estado trófico de um determinado ponto em um corpo hídrico, relacionando concentrações de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, como também oxigênio dissolvido e clorofila-a que é um indicador de produção primária. Ambos serão explicados adiante no tópico 3.5 desse trabalho.

A Figura 1 apresenta a foz do rio APA, um dos pontos de amostragem desse trabalho. Na figura, é possível identificar uma construção próxima à margem do rio, ausência da mata ciliar em alguns pontos e um leve crescimento de algas, primeiros indícios visíveis do surgimento da eutrofização.

Figura 1 - Rio com primeiros indícios de eutrofização (Rio APA).



Fonte: O autor (2018).

3.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água pode ser analisada em diversos parâmetros, classificados em físicos, químicos e biológicos. Cada parâmetro possui a função de representar em um valor, um determinado aspecto da água, variando sua unidade de medida. Existem diversos métodos de análise para quantificar o parâmetro escolhido, variando desde aparelhos digitais sofisticados até métodos manuais simplificados. O tipo de água também define a escolha dos parâmetros, por exemplo, no caso de águas residuárias, que são aquelas que contêm esgoto humano, é esperada uma quantidade de nutrientes e microrganismos patogênicos. Portanto a escolha dos parâmetros e o rigor nos protocolos de análise são de grande importância para a pesquisa de análise da qualidade da água (VON SPERLING, 2005).

Para a escolha dos indicadores é importante analisar levando em conta duas propriedades fundamentais dos contaminantes nos corpos hídricos: capacidade de dissolução e capacidade de transporte (FINOTTI, 2009). Por exemplo, a bactéria *Escherichia coli* (*E. coli*), a principal do grupo de coliformes termotolerantes, é um microrganismo

abundante nas fezes de animais de sangue quente, incluindo os seres humanos. Essa bactéria pode ser encontrada em esgotos, efluentes tratados e atividades agropecuárias, sendo assim, um indicador de contaminação fecal, mas não exclusivamente humano (SILVA, 2016). Devido aos recursos disponíveis desse projeto de pesquisa, não foi possível analisar E. Coli, o que também impediu de ser realizado o cálculo do IQA, índice de qualidade da água desenvolvido pela CETESB.

Para esse trabalho serão detalhados os seguintes parâmetros: Vazão, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Oxigênio dissolvido, Amônia, Nitrito, Nitrato, Clorofila-a, Fósforo Inorgânico Dissolvido, Silicato, pH, Temperatura e Material Particulado em Suspensão.

3.3.1 Vazão

A vazão é um aspecto hidrológico muito importante, geralmente não é considerado um parâmetro nas literaturas, mas no monitoramento de recursos hídricos é um aspecto essencial para identificar alterações na quantidade e qualidade do corpo hídrico monitorado. A vazão consiste no volume de água por unidade de tempo escoado em uma determinada seção. As vazões que escoam no curso d'água são as vazões normais, enquanto aquelas que extrapolam um valor limite excedendo a capacidade normal das seções são as vazões de inundação. A medição de vazão em rios pode ser realizada de várias formas, tanto por vertedouros, equipamentos digitais e até métodos simplistas. É importante realizar medições em todas as épocas do ano, preferivelmente por mais de um ano, para obter dados de como se comporta o rio e realizar a curva-chave para estimar valores de vazão em determinados eventos (VON SPERLING, 2005).

3.3.2 Temperatura

A temperatura representa a medição da intensidade de calor. As três formas clássicas de transferência de calor são radiação, condução e convecção (atmosfera e solo). Despejos domésticos e industriais podem mudar significativamente a temperatura da água, que está relacionada com outros parâmetros de qualidade, por exemplo, o aumento da temperatura pode facilitar a proliferação de microrganismos, que conseqüentemente podem alterar as características do corpo hídrico. Elevações da temperatura aumentam a taxa das reações físicas, químicas e biológicas, diminui a solubilidade de gases como o oxigênio

dissolvido e aumentam a taxa de transferência de gases. Para análise em corpos d'água recomenda-se analisar em conjunto o oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005).

3.3.3 Material Particulado em Suspensão

O Material Particulado em Suspensão (MPS) é um parâmetro físico, importante ao balanço de massa dos sistemas hídricos. Os sólidos podem estar presentes como sólidos totais em suspensão e sólidos totais dissolvidos. Sua presença pode ocorrer de origem natural, como devido organismos animais e vegetais, processos erosivos e de decomposição, ou de origem antrópica, devido ao lançamento de resíduos e esgoto. Em relação a um despejo, os sólidos totais são definidos como a matéria que permanece como resíduo, após evaporação à temperatura de 103°C a 105°C. Quanto às dimensões são classificados em: dissolvidos (10^{-5} a 10^{-3} μm), coloidais (10^{-3} a 1 μm) e suspensos (1 a 100 μm). Podem ser voláteis ou fixos de acordo com suas características químicas, relacionados à volatilização a 550°C, onde a fração orgânica se oxida e volatiliza na forma de gases, enquanto a fração inorgânica permanece como cinza. O MPS também pode contribuir com a eutrofização dos rios, impedindo a penetração de raios solares nos corpos d'água (FINOTTI, 2009).

3.3.4 pH

O pH representa a concentração de íons hidrogênio H^+ em escala logarítmica, indicando a condição de acidez, alcalinidade ou neutralidade. As origens naturais para a mudança de pH são sólidos e gases dissolvidos, originados da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e de reações de fotossíntese (VON SPERLING 2005). Despejos domésticos e industriais também causam alteração no pH, sendo:

pH < 7: condições ácidas

pH = 7: neutralidade

pH > 7: condições básicas

Valores de pH que estejam muito ácidos ou básicos podem afetar consideravelmente a vida aquática, causando mortandade de peixes e outras espécies. Valores elevados podem estar associados à proliferação

de algas, enquanto valores baixos podem indicar a presença de efluentes industriais (VON SPERLING, 2005).

3.3.5 Oxigênio Dissolvido

O próximo parâmetro é o Oxigênio Dissolvido (OD), que é um parâmetro vital a existência de organismos aeróbios. A sua concentração pode diminuir devido às reações de respiração das bactérias, caso seja totalmente consumido pode tornar o meio anóxico. Esse parâmetro aumenta devido à dissolução de oxigênio atmosférico e processos de produção pelos organismos fotossintéticos. Fontes antropogênicas podem introduzir aeração superficial, assim como causar eutrofização modificando a produção pelos organismos fotossintéticos, por isso é considerado um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. A solubilidade do OD varia com a altitude e a temperatura. Ao nível do mar, na temperatura de 20°C, a concentração de saturação é de 9,2 mg/L, quando os valores são superiores à saturação são indicativos de presença de algas, quando bem inferiores indicam matéria orgânica em excesso. Em torno de 4-5 mg/L podem morrer alguns peixes, enquanto abaixo de 2 mg/L praticamente todos morrem (VON SPERLING, 2005).

3.3.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A DBO está associada à matéria orgânica presente nos corpos d'água, compostos de proteínas, carboidratos, gorduras, óleos, ureia, surfactantes, fenóis, pesticidas, além de outros, contém componentes orgânicos. A matéria carbonácea (carbono orgânico) divide-se em não biodegradável e biodegradável, em suspensão e dissolvida. Devido a uma grande dificuldade de quantificar a matéria orgânica o método indireto mais utilizado é a análise da DBO e DQO. Portanto a origem da matéria orgânica pode ser devido à matéria vegetal, animal e de microrganismos, enquanto a origem antropogênica é de despejos domésticos e industriais. A DBO é considerada um dos parâmetros de maior importância, inclusive indica o grau de poluição de um corpo d'água, pois apresenta o potencial do consumo de oxigênio dissolvido. Portanto, além de um parâmetro importante de qualidade de água, atua como um indicador da presença de efluentes domésticos ou industriais em corpo d'água (VON SPERLING, 2005).

3.3.7 Nitrogênio

O Nitrogênio representa um ciclo muito importante na biosfera, alternando entre várias formas e estados de oxidação, podendo ser encontrado nos corpos d'água nas formas de nitrogênio molecular enquanto evapora para a atmosfera, como nitrogênio orgânico dissolvido e em suspensão. As formas de nitrito, nitrato e amônia, compõe a forma de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID). O nitrogênio provém de origem natural como constituinte de proteínas e vários outros compostos biológicos, além de fazer parte da composição celular de microrganismos. Também provém de origem antrópica, pois está relacionado aos despejos domésticos, industriais, excrementos de animais e fertilizantes. Está intimamente relacionado ao processo de eutrofização em corpos d'água, sendo o seu excesso um causador desse processo, principalmente em rios e lagos onde há ligações de esgotos domésticos ou descargas excessiva de nutrientes (VON SPERLING, 2005)

3.3.8 Fósforo

O Fósforo se apresenta nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos compõe o Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID), que está diretamente disponível ao metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples. As formas em que se apresenta na água dependem do pH, sendo o HPO_4^{2-} a forma mais comum na faixa usual de pH. Estão presentes na forma sólida tanto em suspensão como dissolvidos. Em relação a sua origem natural, se apresenta da dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica e da composição celular de microrganismos, enquanto de origem antropogênica provém de esgotos domésticos, despejos industriais, detergentes, excrementos de animais e surfactantes. É um elemento essencial ao crescimento de algas, e com elevadas concentrações, pode ocasionar o crescimento excessivo de algas causando eutrofização. Também é um nutriente essencial para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005).

3.3.9 Clorofila

Durante o processo de fotossíntese, os fótons de luz reagem com pigmentos como carotenoides e clorofilas, as algas possuem

dependência de pigmentos fotossintéticos contidos nos cloroplastos, esses pigmentos são responsáveis por receber a energia transmitida pela luz. Existem vários tipos de clorofilas, no entanto as mais comuns são “a” e “b”. A clorofila-a é o pigmento fotossintético predominante na maior parte dos vegetais, enquanto a clorofila-b e carotenoides são pigmentos que têm a função de transportar a energia capturada da luz para a clorofila-a. Geralmente uma fração menor que um terço da energia da luz é absorvida pelos pigmentos fotossintéticos, isso ocorre devido aos processos bioquímicos da fotossíntese, enquanto a fração restante, é perdida em forma de calor. Portanto a clorofila-a está relacionada com a produção primária fitoplanctônica (RICKLEFS, 2010).

3.3.10 Silício

O silício está presente na forma sólida, aparece na argila, feldspato, granizo, quartzo e areia, tanto na forma de dióxido de silício (SiO_2) como de silicato. Sua ocorrência em rios se deve principalmente à formação geológica e o tipo de solo do local. É um elemento nutritivo para algumas espécies, pois é encontrado na composição de frústulas, espículas e outras estruturas de espécies planctônicas. Nos oceanos, a concentração geralmente é baixa chegando a cerca de $1 \mu\text{M}$, enquanto em regiões estuarinas e costeiras, a média é cerca de $150 \mu\text{M}$. O silício dissolvido encontra-se em um percentual de 95% sob a forma de ortossilício (H_4SiO_4) e 5% sob a forma ionizada SiO_4^{4-} (LANA et al., 2006).

3.4 MONITORAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

No campo da qualidade das águas, especificamente falando de rios, há inúmeras formas de realizar um monitoramento efetivo, a depender do objetivo que se busca. Segundo Sanders et al. (1983), o monitoramento de recursos hídricos pode ser classificado por: monitoramento rotineiro da qualidade das águas superficiais ou subterrâneas, monitoramento da qualidade dos efluentes, campanhas especiais periódicas e campanhas especiais motivadas por eventos de poluição. Um sistema de monitoramento de qualidade da água depende de coleta de amostras, análises laboratoriais, manipulação de dados, análise de dados, uso da informação e tomada de decisão. A função de um monitoramento pode sustentar a fiscalização no que diz respeito ao cumprimento das leis, assim como subsidiar novas políticas públicas,

sendo assim, uma ferramenta muito importante dentro do sistema de gestão municipal, estadual e federal (SANDERS, 1983).

A variabilidade dos recursos hídricos é muito alta, pois depende de vários processos como: a origem do escoamento superficial, variação espacial e temporal das precipitações, mudanças climáticas ao longo do tempo, uso e ocupação do solo nas proximidades do local de análise, além de outros fatores que alteram o aporte de vazão e a qualidade das águas. É necessário que o sistema de monitoramento apresente dados relativos às vazões dos recursos hídricos, para que seja possível encontrar a tendência de como se comportam as variáveis qualitativas, para assim, traçar uma linha de base. Estabelecendo essa linha, é mais fácil identificar alterações na tendência esperada. Por fim, é de extrema importância ferramentas de análise estatística para a determinação de tendências, regressões e até estatísticas multivariadas (FINOTTI, 2009).

Segundo Finotti (2009), há níveis hierárquicos de análise da qualidade das águas, onde é possível estabelecer relações definidas ao longo do tempo passíveis de modelagem para que seja possível a realização de inferências matemáticas. No primeiro nível estão as variáveis básicas que são quantitativas como a vazão e o nível da água. O segundo nível são as variáveis integradoras, que são referentes à qualidade, como temperatura, DBO, pH, etc. O terceiro nível consiste em variáveis geradoras dos efeitos integrados que são as que produzem os valores de certos parâmetros, por exemplo, minerais dissolvidos são variáveis que produzem turbidez. Por fim, o quarto nível é relativo a compostos específicos que interferem nas variáveis integradoras, que consiste em uma classificação mais detalhada das variáveis de qualidade da água.

Com a geração de dados no sistema de monitoramento, é necessário realizar de forma efetiva a interpretação e divulgação dos dados. Há diversos níveis de análises, por exemplo, técnicas estatísticas muito utilizadas são as produções de variados tipos de gráficos, tabelas e mapas, pois com um grande volume de dados é necessário resumir os resultados para apresentá-los de forma simples para o público em geral. Assim também é importante o uso de índices de qualidade das águas, pois com apenas um número ou uma classificação, é possível resumir toda a informação produzida para que um público leigo do assunto possa entender com maior facilidade. Por fim, é necessário divulgar e tornar essa informação acessível à população para que possa ser utilizada na educação, cultura e na gestão pública dos recursos hídricos. A divulgação pode ser realizada por meio de reuniões públicas,

apresentações em congressos e eventos no geral, além de plataformas virtuais na internet (FINOTTI, 2009).

3.5 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Como já foi dito sobre indicadores, primeiramente vamos diferenciar índice de indicador. O indicador se caracteriza por medidas simples de fatores, sob a hipótese de que essas medidas são indicativas do sistema biofísico e socioeconômico. Por exemplo, em relação à contaminação, um organismo indicador é uma espécie selecionada por sua sensibilidade aos tipos de contaminação e seus efeitos. O objetivo do índice é simplificar uma informação através de um número que possa classificar de forma descritiva uma grande quantidade de dados ou de informação. É um desafio para as pesquisas da área ambiental, pois muitas vezes é difícil resumir as condições encontradas na natureza em apenas uma faixa de números, no entanto é uma ferramenta que facilita a tomada de decisão para conhecimento público. Os índices de qualidade das águas buscam resumir os dados ambientais existentes, apresentar informações sobre a qualidade do meio afetado, avaliar a vulnerabilidade à contaminação de uma determinada categoria ambiental e centrar-se nos fatores ambientais-chave, além de servir como base para a expressão do impacto ambiental ao prever as diferenças entre o valor do índice com e sem projeto (FINOTTI, 2009).

Os índices podem servir para várias finalidades relacionadas à gestão da qualidade das águas, como por exemplo, a comparação de condições ambientais em diferentes áreas geográficas, aplicação de exigências legais, direcionamento de recursos financeiros, análises de tendências de qualidade dos recursos hídricos, comunicação social por meio da divulgação dos resultados, pesquisa científica e identificação de problemas de qualidade de água. Existem três tipos básicos de índice para os recursos hídricos: índices elaborados pela opinião de especialistas, índices baseados em métodos estatísticos e índices biológicos (FINOTTI, 2009).

Há diversos índices de qualidade de água que podem ser utilizados, como já dito anteriormente, não foi possível analisar o IQA porque não foi possível realizar a análise de E.coli. Então devido às análises de nutrientes pré-estabelecidas, foram escolhidos dois índices relacionados ao estado trófico da água, um de cunho nacional que é o IET, e outro internacional, que é o TRIX.

3.5.1 IET

O Índice de Estado Trófico (IET) está relacionado ao estado trófico da água, pois relaciona dois parâmetros importantes que indicam se a água está com excesso de nutrientes ou não. Esse enriquecimento de nutrientes causa o efeito de crescimento excessivo de algas ou macrófitas, podendo causar o fenômeno da eutrofização. Esse índice foi concebido originalmente por Carlson e modificado por Toledo, que adaptou as equações originais para os ambientes subtropicais por meio de métodos estatísticos. O índice foi adaptado pela CETESB e utiliza apenas os parâmetros clorofila e fósforo total, desprezando o uso do disco de Secchi que faz parte do método original. Isso ocorreu devido a constatação de que a transparência não apresenta relação direta com o estado trófico, pois pode ser afetada pela presença de sedimentos. É um índice mais simples quando comparado ao TRIX, no entanto é menos custoso e mais fácil de ser calculado (FINOTTI, 2009).

O cálculo do IET consiste em uma média do cálculo do IET(P) para o fósforo e do IET(CL) para a clorofila, conforme as equações abaixo.

$$IET = \frac{IET(P)+IET(CL)}{2} \quad (2)$$

$$IET(P) = 10[6 - (\ln(80,32/P)/\ln 2)] \quad (3)$$

$$IET(CL) = 10(6 - ((2,04 - 0,695 \ln CL)/\ln 2)) \quad (4)$$

Onde:

IET(P): índice de estado trófico devido ao fósforo;

IET(CL): índice de estado trófico devido à clorofila a;

P: concentração de fósforo total, medido na superfície da água (mg/l);

CL: concentração de clorofila-a, medida na superfície da água (mg/l).

Após o cálculo do IET, deve-se consultar a tabela 1 para consultar o estado trófico do rio em questão. Recomenda-se que tenha uma série de dados durante o ano para cada ponto, e o resultado possa ser expresso como um índice anual utilizado também no cálculo do Índice de Proteção da Vida Aquática (IVA).

Tabela 1 - Classificação do estado trófico segundo índice de Carlson modificado.

Estado trófico	Critério	Ptotal (mg/m ³)	Clorofila a (mg/m3)	Classe do IET
Oligotrófico	$IET \leq 44$	$P \leq 26,5$	$CL \leq 3,8$	1
Mesotrófico	$44 < IET \leq 54$	$26,5 < P \leq 53,0$	$3,8 < CL \leq 10,3$	2
Eutrófico	$54 < IET \leq 74$	$53,0 < P \leq 211,9$	$10,3 < CL \leq 76,1$	3
Hipeutrófico	$IET > 74$	$211,90 < P$	$76,1 < CL$	4

Fonte: Finotti (2009).

3.5.2 TRIX

O índice TRIX, que pode ser traduzido por índice de estado trófico ou *Trophic Index*, é utilizado para avaliar o processo de eutrofização em corpos d'água. Inicialmente proposto por Vollenweider et al. (1998) com o objetivo de avaliar o estado nutricional e os impactos antrópicos do mar adriático em regiões costeiras da Itália, ele combina uma análise de nutrientes desde a produção primária e respiração até o consumo. Os parâmetros utilizados são: clorofila-a com objetivo de medir a produção primária fitoplanctonica; oxigênio dissolvido como desvio absoluto [%] da saturação com objetivo de medir o balanço entre produção e respiração; e fatores nutricionais por macronutrientes, como nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e fósforo inorgânico dissolvido (PID) (SILVA, 2016).

O uso do índice TRIX possui diversas aplicações, por exemplo, para avaliar uma evolução trófica a longo termo em uma estação por anos ou para obter-se uma estimativa imediata. Uma tendência negativa pode ser atribuída ao decrescimento do suprimento de nutrientes durante os anos, isso pode suceder-se devido temporadas secas assim como um programa de controle do ponto de origem de fósforo por exemplo. Também é utilizado para mapear o padrão trófico espacial situado dentro de uma determinada área de base de dados ou ainda para caracterizar as condições tróficas médias por setores de atividade durante períodos prolongados de tempo. A equação 5 é utilizada para calcular o índice (VOLLENWEIDER, 1998).

$$TRIX = (LOG[Chla * aD\%O * N * P] - (a))/(b) \quad (5)$$

Onde:

a = -1,5 e **b** = 2 são os fatores de padronização dos valores para mapear o estado trófico.

Chla = Clorofila-a [$mg.m^{-3}$];

aD%O = $(100 - O_2sat\%)$; onde $O_2sat\% = 100 \times (O_{2diss} / O_{2sat})$;

N = NID [$mg.m^{-3}$];

P = PID [$mg.m^{-3}$].

Após o cálculo do índice, deve-se avaliar o valor encontrado para realizar a classificação de acordo com a tabela 2. Quanto maior a amostragem dos pontos analisados, maior confiabilidade no resultado, sendo indicado o mínimo de três amostras.

Tabela 2 - Valores do TRIX e classificação do nível trófico

TRIX	Condições	Estado Trófico
< 2	Concentração de nutrientes e produtividade primaria baixas	Oligotrófico
2 a 4	Concentração de nutrientes e produtividade primaria moderadas	Mesotrófico
4 a 6	Concentração de nutrientes e produtividade primaria altas	Eutrófico
6 a 8	Concentração de nutrientes e produtividade primaria muito altas	Hiper-Eutrófico

Fonte: Silva (2016).

3.6 LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

As atividades de monitoramento de recursos hídricos, quando amparadas por legislação oferecem suporte para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento. Há diversos instrumentos da legislação brasileira relacionadas ao meio ambiente e especificamente aos recursos hídricos, todavia não há legislação específica relacionada à questão do monitoramento da qualidade das águas (FINOTTI, 2009).

3.6.1 Panorama geral

Está escrito no Art. 225 da constituição de 1988: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para às presentes e futuras gerações.” A Lei 9.433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de

Gerenciamento de Recursos Hídricos com avanços relacionados à gestão sustentável das águas. Enquanto a resolução Conama 357/05 dispõe sobre a classificação das águas superficiais e institui padrões de lançamentos de efluentes. A tabela 3 apresenta um resumo dos instrumentos e a relação de cada um com o monitoramento de recursos hídricos.

Tabela 3 - Resumo das leis e relação com os recursos hídricos.

Instrumento	Ano	Conteúdo	Relação com o monitoramento
Decreto Federal 24.643	1934	Institui o código das Águas	
Lei Federal 6.938	1981	Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins, mecanismos, aplicação e estrutura do Sisnama	
Constituição Federal	1988	Capítulo VI - dispõe sobre o meio ambiente	
Decreto Federal 99.274	1990	Regulamenta as Leis 6.902 (1981) e 6.938 (1981), institui o Sisnama e cria o Conama	O Conama cria as resoluções que trazem os parâmetros de qualidade das águas para a sua classificação
Lei Federal 9.433	1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos	Cria o sistema brasileiro de informações de recursos hídricos, que deve ser alimentado a partir de dados coletados em sistemas de monitoramento
Lei Federal 9.605	1998	Dispõe sobre sanções penais e administrativas de atividades lesivas ao meio ambiente	O poder público pode instituir penalidades quando os parâmetros de qualidade são violados
Decreto Federal 3.179	1999	Regulamenta a Lei 9.605	
Lei Federal 9.984	2000	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional das águas	A ANA é o órgão centralizado e divulgador dos dados do SNIRH
Conama 357	2005	Dispõe sobre a classificação das águas superficiais e institui padrões de lançamentos de efluentes	Apresenta os parâmetros que devem ser observados no sistema de monitoramento de águas superficiais
Conama 397	2008	Altera o Art. 34 da Conama 357	
Conama 396	2008	Dispõe sobre a classificação das águas subterrâneas	Apresenta os parâmetros que devem ser observados no sistema de monitoramento de águas subterrâneas

Fonte: Adaptado de Finotti (2009).

Além os instrumentos apresentados na tabela 4 também existem outros com relevância ao tema, como a resolução Conama 430/11 que complementa e altera a 357/05 no que diz respeito às condições e padrões de lançamentos de efluentes. Também de extrema importância é a Lei 11.445/07, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, apresentando como princípio fundamental a universalização do acesso aos serviços públicos de saneamento. A Portaria 2.914/11 dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Por fim, apresento a lei 9.795/99 que institui a Política Nacional de Educação Ambiental, tornando-se um instrumento importante em ações efetivas de conscientização da população e do poder público quanto às questões do saneamento e proteção dos recursos hídricos.

3.6.2 Classes e padrões de qualidade da água

Para os padrões de qualidade da água utilizados nesse trabalho, utilizaremos como referência a resolução Conama 357 de 2005, que dispõe sobre a classificação das águas superficiais e institui padrões de lançamento de efluentes. Quanto à classificação de águas doces, é apresentado o Art. 4^a, de acordo com o que será utilizado na metodologia e resultados deste trabalho. São classificadas em:

I – classe especial: águas destinadas:

- a) *Ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;*
- b) *À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e*
- c) *À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.*

O Art. 13 diz que *nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.*

II – classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) *Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;*
- b) *À proteção das comunidades aquáticas;*

- c) *Á recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº274 de 2000;*
- d) *À irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas crías e sem remoção de película; e*
- e) *À proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.*

III – classe 2: águas que podem ser destinadas:

- d) *Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;*
- e) *À proteção das comunidades aquáticas;*
- f) *À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº274 de 2000;*
- g) *À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e*
- h) *À aquicultura e à atividade de pesca.*

As classes três e quatro são para usos menos restritivos ou fins menos nobres. O enquadramento em classes visa assegurar a qualidade da água necessária aos usos destinados, assim como também diminuir os custos de combate a poluição mediante ações preventivas permanentes. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) aprovou a Resolução nº 12/2000 que estabelece os procedimentos para o enquadramento dos corpos d'água, enquanto o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) no estado de Santa Catarina estabeleceu a Resolução nº001/2008 que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos do estado. O enquadramento deve passar por um processo guiado pelo comitê de bacias onde uma equipe multidisciplinar junto aos moradores locais identifiquem as características necessárias para o enquadramento. Os parâmetros medidos nesse trabalho para rios classe 2 são apresentados na tabela 4 para uma vazão de referência, que segundo a própria resolução é a vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão em relação ao uso múltiplo das águas e a articulação do SISNAMA e do SINGRH, enquanto o valor de DBO é para o valor medido após 5 dias a 20°C.

Tabela 4 - Parâmetros e limites para rios classe 2.

Parâmetros	Limites
pH	6,0 a 9,0
DBO	≤ 5 mg/L
O ₂ dissolvido	≥ 5 mg/L
Clorofila-a	≤ 30 µg/L
Nitrito	≤ 1 mg/L N
Nitrato	≤ 10 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	3,7 mg/L N, para pH $\leq 7,5$
	2,0 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$
	1,0 mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$
	0,5 mg/L N, para pH $> 8,5$
Fósforo total	$\leq 0,1$ mg/L P
Sólidos dissolvidos totais	≤ 500 mg/L

Fonte: Conama 357 (2005).

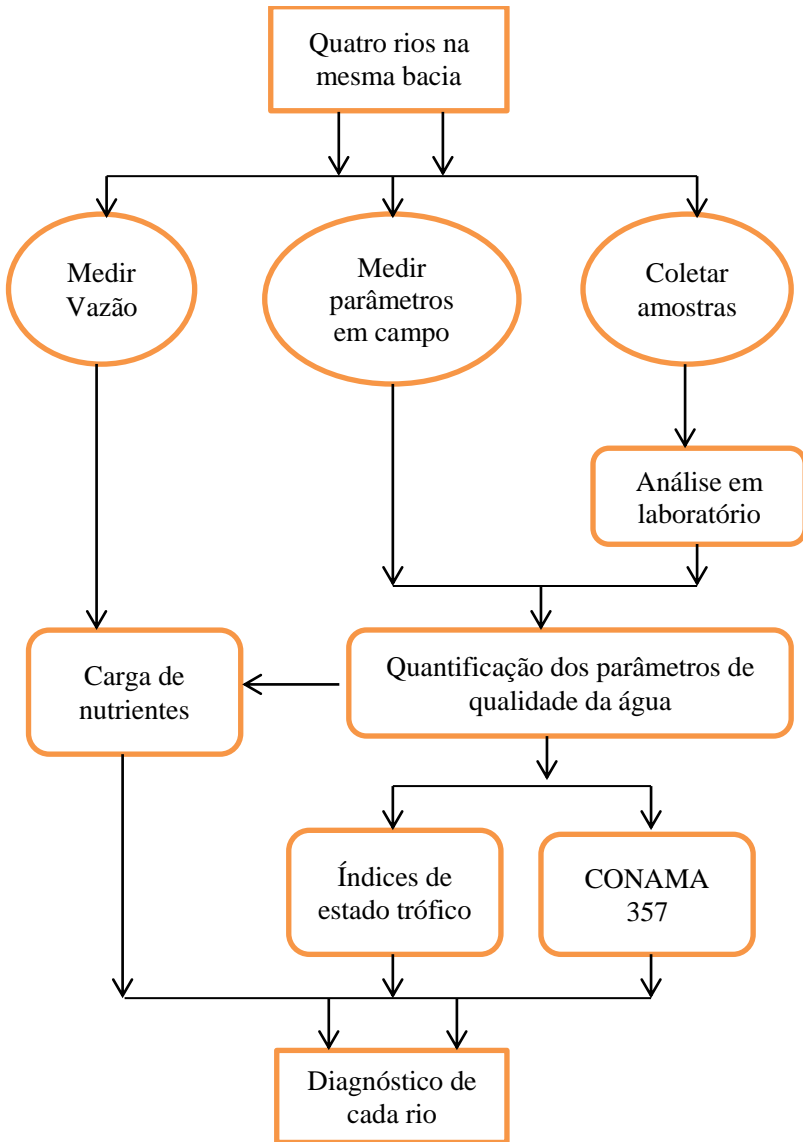
4 METODOLOGIA

O campo de análise consiste em quatro rios da mesma bacia hidrográfica, porém, com níveis distintos de urbanização. Para obter a carga de nutrientes em cada ponto, foi necessário medir a vazão e quantificar os parâmetros. Para obter o índice de estado trófico e a comparação com os parâmetros estabelecidos na legislação, também foi necessário quantificar os parâmetros de qualidade da água citados. Para isso, foram necessárias saídas a campo com a medição desses parâmetros *in loco*, assim como a coleta de amostras para análises laboratoriais.

O critério para a escolha dos parâmetros de análise foram escolhidos para o cálculo do índice trófico (TRIX) de Vollenweider et al. (1998). Ele foi utilizado para analisar o estado trófico dos rios em relação a possíveis impactos antrópicos como despejos de esgoto, por isso, além dos parâmetros considerados básicos como pH, temperatura e oxigênio dissolvido, também foram analisados os seguintes parâmetros: Vazão, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID), Silicato, Clorofila-a, Material Particulado em Suspensão (MPS) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Em adição, o trabalho busca fazer uma comparação dos resultados dos parâmetros de análise com a resolução Conama 357 de 2005 que dispõe sobre a classificação das águas superficiais.

As análises físico-químicas aconteceram no Laboratório da Oceanografia Biogeoquímica com supervisão da prof^a Alessandra Fonseca e da responsável técnica do laboratório, Sônia Marcia Kaminski, que também emprestaram o pHômetro e oxímetro para as análises *in situ*. As análises de DBO ocorreram no Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA) no aparelho cedido pela prof^a Rejane Helena Ribeiro da Costa com a supervisão da responsável técnica Elaine Mitie Nakamura. A metodologia se apresenta de forma resumida no fluxograma metodológico da figura 2.

Figura 2 - Fluxograma Metodológico.

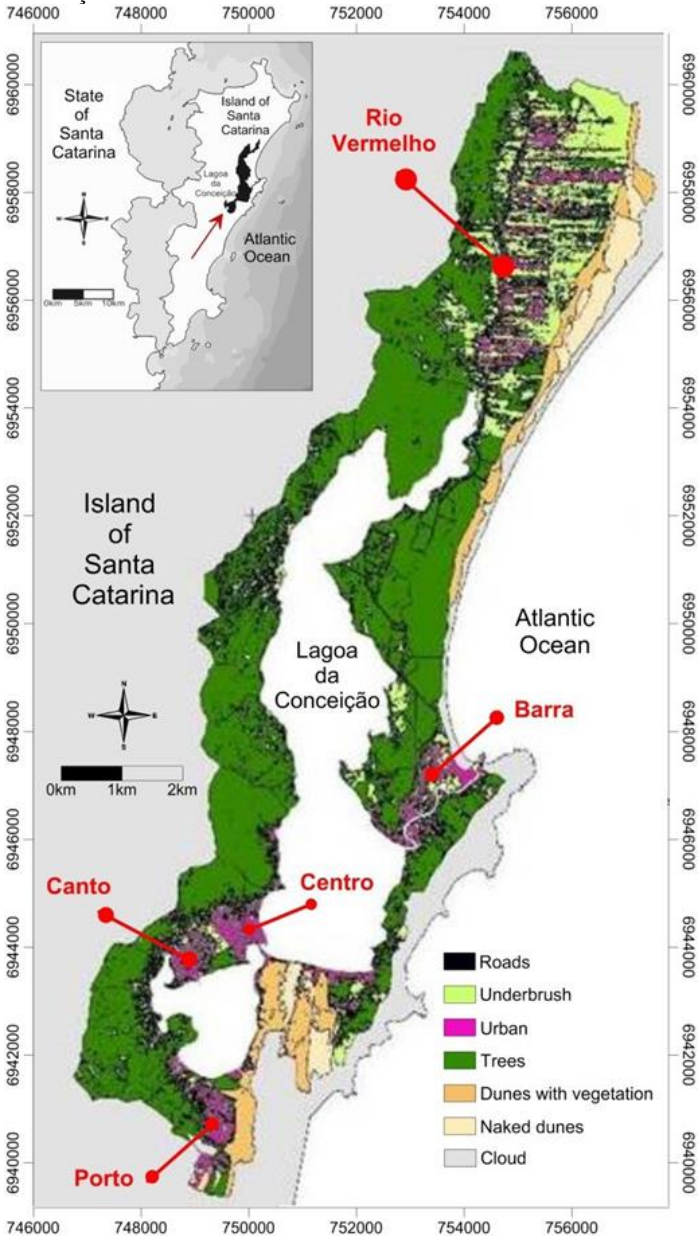


Fonte: O autor (2018).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa da Conceição é uma laguna costeira, destacando-se por ser uma região de importância ecológica, econômica e cultural. Está localizada no paralelo 27°34' de latitude sul e meridiano 48°27' de longitude oeste, na ilha de Santa Catarina no município de Florianópolis (SC). A bacia hidrográfica possui uma área total de 78 km², uma área de lamina d'água de 24 km² e um volume de 66.648.179 m³. É uma laguna sufocada, sendo o seu único acesso ao mar através do canal da Barra, esse que funciona como um filtro natural reduzindo a energia das marés, além de ser a conexão de diversas espécies de peixes marinhos que utilizam a lagoa como ambiente transitório para a reprodução. O clima na área de estudo é mesotérmico úmido de zona intermediária subtropical, contando estações bem definidas, com índices pluviométricos elevados e precipitações distribuídas ao longo do ano (SILVA, 2016). A comunidade da Lagoa é formada por uma mistura de nativos de famílias descendentes de açorianos, negros e índios, que possuem práticas econômicas que marcam a identidade cultural do local, como os *Pescadores* e as *Rendeiras*. No final do século passado muitas pessoas de distintas partes do Brasil e até de outros países também começaram a povoar o local, o que acabou tornando a região da Lagoa, alvo de turistas do mundo todo devido a sua beleza cênica, o que resulta em uma população flutuante durante o verão que pode chegar a três vezes mais quando comparado ao resto do ano. Segundo o estudo de Fontes (2004), durante os feriados de Carnaval e de Corpus Christi, a Lagoa sofre alterações consideráveis devido ao aumento da população e os níveis de nutrientes tendem a aumentar. A figura 3 apresenta a localização da lagoa na ilha de Santa Catarina e destaca os seus distritos principais: Porto, Canto, Centro, Barra e Rio Vermelho. Além disso, na região oeste da lagoa acima do centro, está situada a região conhecida como Costa da Lagoa.

Figura 3 – Mapa de localização e ocupação da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.



Fonte: SILVA, 2017.

A população urbana de Florianópolis também está crescendo, segundo projeções feitas por Campanario (2007), na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição a população cresceu 93,19% de 2001 á 2015, em uma taxa de 6,3% ao ano, enquanto no estado de Santa Catarina foi de apenas 1,5% durante o mesmo período. A tabela 5 indica a população em cada distrito e o seu crescimento de 2001 para 2015, a região do centro da Lagoa é onde está concentrado maior parte da população, seguido pela região do Rio Vermelho e da Barra (SILVA, 2016).

Tabela 5 - População residente por distrito.

Distritos	Pop. em 2001	Pop. em 2007	Pop. em 2015
São João do Rio Vermelho	10.672	16.477	25.032
Barra da Lagoa	11.866	14.965	19.063
Lagoa da Conceição (Centro)	21.741	30.427	41.284
Porto da Lagoa	3.329	4.581	6.593
TOTAL			
Bacia Hidrográfica da Lagoa	47.608	66.450	91.972
Crescimento relativo a 2001 (%)	0.00	39.58	93.19

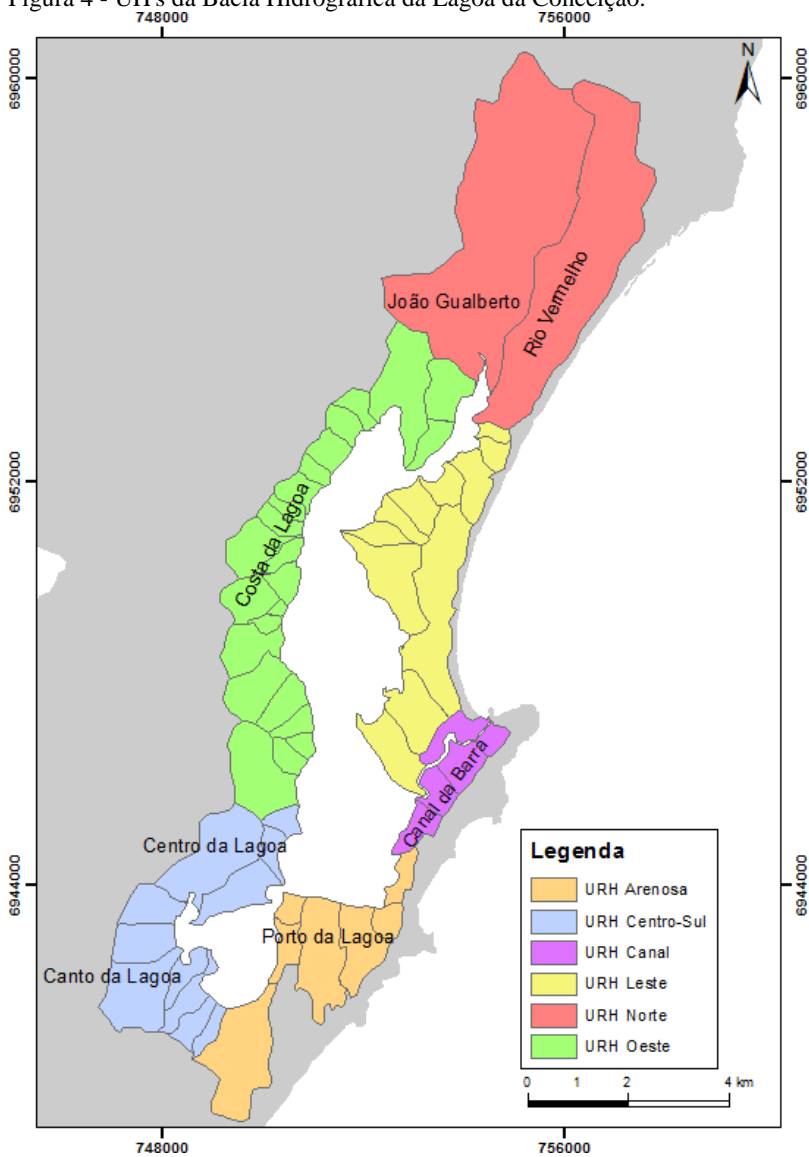
Fonte: (SILVA, 2016).

Uma pesquisa de 2014 do Ministério das cidades mostrou que apenas 58,7% da população de Florianópolis possui rede coletora de esgoto (GARBOSSA, 2014). O trabalho de Garbossa (2017) realizou um estudo em Florianópolis quanto à relação da rede de esgoto e a qualidade da água, apontando que há mais contaminação por poluição de esgoto doméstico nas regiões centrais onde o índice de urbanização é maior. Isso se deve provavelmente às ligações clandestinas e as perdas no sistema de rede coletora, mostrando a ineficiência do sistema atual. A CASAN possui duas Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETE) na área de estudo, uma na região central do distrito da Lagoa e outra no distrito da Barra da Lagoa. Utilizando os dados históricos das análises de balneabilidade da FATMA, Arcari (2015) verificou que 90% dos testes de balneabilidade realizados na região central da Lagoa da Conceição apresentaram altos índices de contaminação fecal, evidenciando perda de qualidade da água por ação antrópica nesta região.

O sistema de saneamento do distrito do centro da Lagoa da Conceição conta com apenas duas estações de tratamento de esgoto (ETE), uma está localizada no Centro da Lagoa e outra na Barra da Lagoa. A ETE da região do centro da Lagoa atende apenas 19% do total de habitantes da região, sendo uma população de 7.932 habitantes com tratamento entre um total de 41.284. O sistema de tratamento do distrito da Barra da Lagoa atende 21%, o que corresponde em 4.165 de 19.063 dos moradores locais. No total são atendidas 12.097 habitantes pelas duas Estações de Tratamento de Esgoto para o ano de 2015, o que corresponde a menos que 15% de atendimento do total de 91.972 habitantes da região. Os outros distritos da bacia não possuem cobertura por rede coletora (SILVA, 2016).

O trabalho de Bier (2013) dividiu toda a região da bacia da Lagoa em 36 sub-bacias que estão agrupadas em 6 unidades hidrológicas com características geomorfológicas distintas. Utilizando os dados de Lemétayer e Odreski (2011), o trabalho de Bier consistiu em dividir a bacia hidrográfica em regiões com tipos de solos distintos, o que também resulta em locais com usos do solos distintos, no caso da ocupação urbana, as regiões também apresentam características que diferem umas das outras. As duas maiores sub-bacias estão localizadas na UH Norte, o que compreende aproximadamente 35% da área total, é onde estão os rios João Gualberto e Rio Vermelho. A UH Leste engloba a Barra da Lagoa possui sub-bacias com baixo índice de ocupação urbana, com permeabilidade do solo alta, sendo o tipo de solo formado por areia quartzóica. A UH do Canal é a região onde a laguna está mais próxima da região oceânica, por isso é composto de areias marinhas e o escoamento superficial é descarregado no canal. A UH arenosa é composta por dunas formadas por areias quartzóicas e marinhas, possuindo baixa contribuição hidrológica e ocupação urbana considerável, sendo a região conhecida como Porto da Lagoa. A UH centro-sul engloba as sub-bacias da região do Canto da Lagoa e Centro da Lagoa, são os setores mais urbanizados e com uma contribuição hidrológica que consiste em 17% do total. A UH oeste possui o maior número de sub-bacias, é a região da Costa da Lagoa é uma região bem arborizada, com alta inclinação de talvegue e o tipo de solo é o Argissolo, por isso possui baixo coeficiente de infiltração e o maior escoamento superficial na bacia. A figura 4 apresenta o mapa das UH's delimitada por Bier (2013).

Figura 4 - UH's da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.



Fonte: Bier (2013).

Segundo o Trabalho de Conclusão de Curso de Carolina Martins realizado no ano de 2016, foram analisadas as mesmas unidades hidrológicas, estima-se que os rios estão contribuindo com cerca de 9 toneladas ao ano de NID, 0,08 de PID, sendo os principais tributários o Rio João Gualberto e o Rio APA. Já a sub-bacia do CANTO drena em torno de 14 toneladas ao ano de SiO para a Lagoa da Conceição. A dissertação de mestrado de Silva (2016) analisou os ciclos biogeoquímicos na Lagoa e constatou níveis preocupantes de alteração nos ciclos dos nutrientes. A região da Barra e do Centro-sul da Lagoa obtiveram os maiores valores de índice trófico, com regiões de hipóxia e anoxia no ambiente lagunar. No ano de 2015, foi estimado o lançamento anual de 20,2 toneladas de NID e 1,3 toneladas de PID nas unidades hidrológicas que compõe a bacia, sendo as principais o Rio João Gualberto na região Norte, o Rio APA na região central e a região de recarga do Porto da Lagoa.

4.2 PONTOS DE AMOSTRAGEM

Os locais de amostragem foram escolhidos com base nos estudos anteriores em relação ao nível de urbanização, cobertura de saneamento e a necessidade de se caracterizar diferentes regiões da Lagoa. Por isso foi escolhido unidades hidrológicas com maior aporte hídrico em diferentes regiões da bacia. Além disso, foi escolhido um ponto próximo a nascente e um próximo à foz para cada rio, para se comparar a diferença entre as cargas de nutrientes. Os pontos próximos à foz foram escolhidos em locais onde se podia acessar os rios após a ocupação urbana, buscando-se um canal retilíneo para analisar a vazão. Os pontos próximos a nascente foram escolhidos em regiões escondidas na floresta, antes das comunidades urbanas. A tabela 6 apresenta a legenda com os pontos coletados com o aparelho de GPS e os níveis de urbanização para cada UH. O cálculo da porcentagem de urbanização foi realizado a partir das áreas de cada sub-bacia e dos dados coletados por Silva (2018) em revisão.

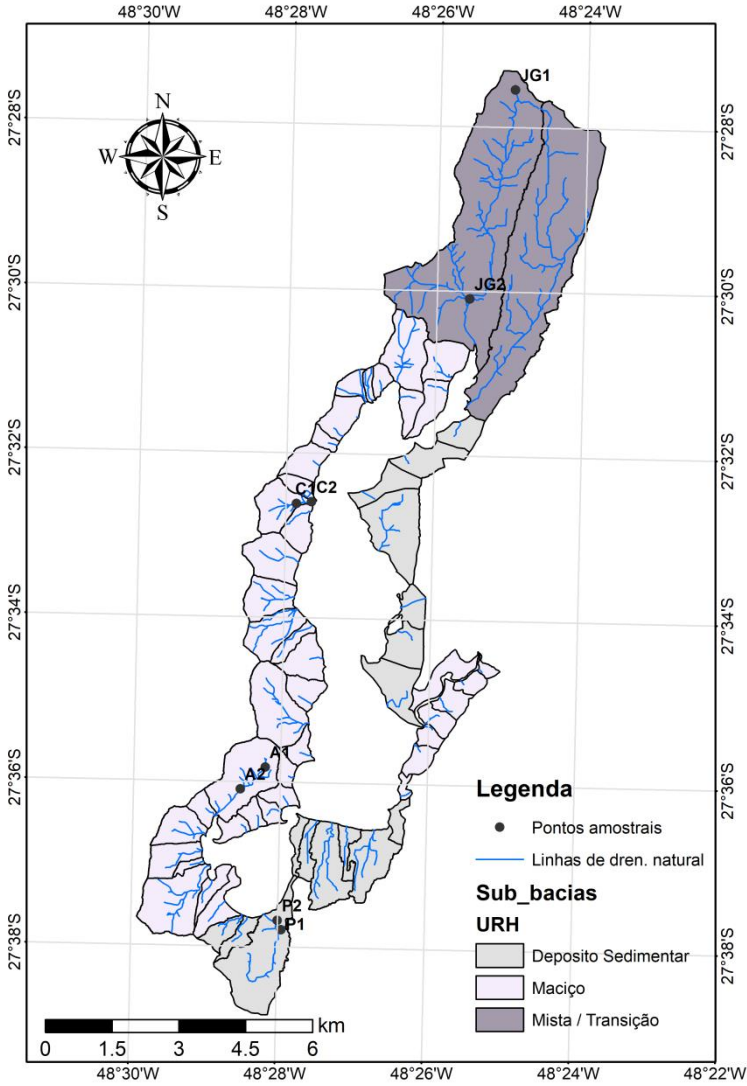
Tabela 6 – Urbanização em cada UH.

Sub-bacias	UH	Pontos	%Urbanização	Área (km ²)
Centro-Sul	APA	A1	16	2,17
		A2		
Arenosa	PORTO	P1	25	2,37
		P2		
Norte	JG	JG1	9	12,52
		JG2		
Oeste	COSTA	C1	2	1,46
		C2		

Fonte: O autor (2018).

No mapa da figura 5 é apresentado o mapa com os pontos amostrais e suas respectivas sub-bacias. Silva (2018) realizou um estudo para delimitar as URHs similar ao de Bier (2013), mais com características um pouco distintas. Utilizando as ferramentas de geoprocessamento, Silva (2018) inseriu informações das características de solo, ocupação urbana e características morfométricas da bacia, gerando três agrupamentos principais de bacias: a URH de Depósito Sedimentar, localizado na região próxima ao oceano que engloba a região do Parque Estadual do Rio Vermelho e mais ao sul do Porto da Lagoa; Maciço, caracterizado pelo maciço granítico que representa áreas continentais com regiões de grande inclinação e solo argiloso; por fim a região Mista/Transição que obteve valores intermediários entre as duas regiões formando duas grandes sub-bacias ao norte, uma no rio Vermelho e a outra no rio João Gualberto.

Figura 5- Mapa dos pontos amostrais e URHs.



Fonte: Adaptado de Silva (2018) em revisão.

4.3 CAMPANHAS AMOSTRAIS

Foram realizadas 12 campanhas amostrais em dias distintos durante os dias 24 de Agosto e 10 de Outubro, totalizando três para cada rio. Foram coletadas cinco garrafas de 500 ml em cada ponto amostral, uma para análise DBO, duas para análise dos parâmetros e duas para análises posteriores de metais pesados. As garrafas foram armazenadas em uma bolsa térmica com gelo do momento da coleta até a chegada no laboratório. Os pontos próximos as nascentes exigiram roupas apropriadas para trilhas, no caso da Costa da Lagoa, era o local de mais difícil acesso pois tivemos que ir de barco até o início da trilha e caminhar até a nascente do rio, onde haviam locais com muitas pedras e uma inclinação elevada. Com exceção da Costa da Lagoa, os pontos próximos à foz tiveram o acesso mais fácil por serem urbanizados, mais exigiram roupas apropriadas, conforme mostrado na figura 6. A preparação para os dias de coleta consistiu em protocolos pré-campo para: calcinação dos filtros, esterilização das garrafas de coleta, agendamento com os laboratórios e disponibilidade dos aparelhos de medição.

Figura 6 – Medição de vazão próxima à foz do rio Apa.



Fonte: O autor (2018).

4.4 MEDIÇÃO DE VAZÃO

A medida de vazão foi realizada de duas formas distintas, o aparelho Flowmeter foi utilizado para os rios APA, Porto e João Gualberto, enquanto para o rio da Costa, foi realizada a medição do nível de água do vertedor de concreto já construído no local. O aparelho Flowmeter é composto de três hastes de metal de um metro de comprimento cada. Na haste é conectado o sensor que mede a velocidade do fluxo que está passando a depender de quantos pontos serão medidos. Para esse trabalho foi utilizado apenas um ponto, portanto o próprio aparelho realiza o cálculo multiplicando o nível de água por 0,6 e a velocidade foi medida a 40% da superfície da água. A seção do JG é de 2,1 metros, por isso foi dividido em dez partes de 20 centímetros e uma de 10 centímetros. A seção dos rios APA e Porto são de 2 metros, por isso foi utilizado à distância de 10 centímetros de cada margem e 6 pontos de 30 centímetros. O aparelho faz o cálculo da vazão com base nos valores da velocidade e área encontrados.

Figura 7 - Aparelho Flowmeter com o sensor



Fonte: O autor (2018).

Figura 8 - Medição de vazão na foz do rio João Gualberto.



Fonte: O autor (2018).

Para o rio da COSTA a vazão foi medida pelo vertedor retangular de concreto construído no local onde foi feita uma represa para abastecimento da comunidade , onde hoje funciona como um local para os turistas se banharem. A equação utilizada para o cálculo da vazão no vertedor foi adaptada por Silva(2016) de (Santos et al 2001) e é apresentada a seguir:

$$Q = 1,823 \times (L - 0,2 \times H) \times H^{1,5} \quad (7)$$

$$L = H \times \tan(1,28) \quad (8)$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

L= Largura molhada;

H=Altura da lamina d'água;

4.5 MEDIÇÕES EM CAMPO

As medições realizadas em campo foram de Oxigênio Dissolvido (OD), temperatura e pH. Para a medição de OD e temperatura foi utilizado o Oxímetro da figura 9, a calibração do equipamento foi feita momentos antes da análise, com base na quantidade de oxigênio dissolvido disponível na atmosfera de forma automática pelo aparelho.

Figura 9 - Oxímetro utilizado para medir Temperatura e Oxigênio dissolvido.



Fonte: O autor (2018).

Para o cálculo do índice TRIX é necessário que o valor encontrado em mg/l seja convertido na porcentagem de oxigênio dissolvido aparente (ad%) com base na porcentagem de OD de saturação. Para encontrar o OD de saturação em mg/l foi consultada a tabela do *Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento da qualidade da água da Embrapa* (SISTE et al. 2011).

Assim foi feito o cálculo da seguinte forma:

$$O2sat\% = (O2diss/O2sat) \times 100 \quad (9)$$

$$ad\% = 100 - O2sat\% \quad (10)$$

Para a medição do pH foi utilizado o aparelho na figura 10, as calibrações foram feitas no dia anterior a saída de campo, utilizando as soluções padrões de calibração do próprio aparelho. Deve-se coletar a amostra do rio com um béquer, retirar a sonda da solução, lavar com água destilada e colocar no béquer até a estabilização.

Figura 10 - pHmetro utilizado para medir pH.



Fonte: O autor (2018).

4.6 ANÁLISE DOS PARÂMETROS EM LABORATÓRIO

Os métodos de análise utilizados variam para cada parâmetro, no caso das análises de Nitrito-Nitrato, Amônio, PID e Silicato foram utilizados métodos adaptados de Lana et al (2006) e Grasshoff (2009). Para MPS e Clorofila-a foi utilizado um método adaptado de Strickland e Parsons (1972). Todos os parâmetros foram analisados no Laboratório

de Oceanografia, com exceção da DBO que foi analisada no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) da Eng. Sanitária e Ambiental.

Figura 11 - Análise de NO_x com a equipe do LaHiMar.



Fonte: O autor (2018).

4.6.1 DBO

O medição da DBO foi realizada pelo método manométrico através do aparelho HACH BODTrak, que apresenta curvas cinéticas da demanda de DBO da amostra incubada por 5 dias a 20°C, apresentando o valor final em miligramas por litro. As informações disponíveis para análise foram utilizadas com base no manual do aparelho. O princípio do método consiste na medição da redução de pressão realizada pelo aparelho, enquanto os microorganismos utilizam o oxigênio para a degradação da matéria orgânica, produzem um volume equivalente de dióxido de carbono. Com a utilização de lentilhas de hidróxido de sódio, que é um álcali forte, esse absorve o dióxido de carbono, o que causa uma redução de pressão. Portanto essa diferença de pressão é medida no interior do frasco e transformada por meio de um microprocessador em concentração de O₂ consumida. As amostras foram analisadas no mesmo dia das saídas a campo, e os materiais utilizados foram um frasco âmbar com 420 ml da amostra para o ajustamento do aparelho no intervalo de 0 a 35 mg/l. Foram utilizadas três lentilhas de hidróxido de sódio para cada amostra e graxa de silicone para a vedação do frasco,

com a função de impedir a entrada de ar, quando isso acontece, a tendência é de aparecer valores negativos.

Figura 12 - Mesa para análise de DBO.



Fonte: O autor (2018).

4.6.2 Nitrito-Nitrato

O método utilizado foi adaptado de Grasshoff (1999) e Lana et al. (2006). O método de análise de nitrito-nitrato (NO_x) é fundamentado na dosagem dos íons nitritos que são obtidos pela redução dos íons nitratos que estão presentes na amostra, também conhecido como reação de Griess. O nitrato é a forma oxidada mais estável do nitrogênio, enquanto os íons nitrito representam o estado de oxidação intermediário entre o amônio e o nitrato. Para nitrito em águas costeiras é esperado valores na ordem de 0,01 a $1\mu\text{M N-NO}_2^-$, enquanto para nitrato, de 10 a $15\mu\text{M N-NO}_3^-$. Os reagentes utilizados são a Solução de Sulfanilamida-0,06 M (R1), NED ,0003 M (R2), Solução tampão de cloreto de amônio (0,2M),

para a preparação das soluções “padrão” de Nitrato e Nitrito. O método consiste na preparação da curva-chave com diluições específicas com base nos valores esperados, na utilização de uma bomba peristáltica e no espectrofotômetro para a leitura dos complexos coloridos, com comprimento de onda na ordem de 543 nm. O somatório dos valores de nitrito, nitrato e amônio representam a parcela inorgânica dissolvida de nitrogênio (NID) no corpo hídrico. Na figura 13 está a técnica Sônia responsável pelo laboratório da Oceanografia, no dia da análise com a bomba peristáltica.

Figura 13 - Bomba peristáltica com colunas de cádmio.



Fonte: O autor (2018).

4.6.3 Amônia

A análise é feita baseada no método de Grasshoff et al. (1983) e Lana et al. (2006). O método consiste em avaliar a concentração de N-NH_4^+ por técnica colorimétrica utilizando o espectrofotômetro. O princípio do método baseia-se na reação do nitrogênio amoniacal presente na amostra com o hipoclorito de sódio, em meio alcalino para formar a monocloramina. Na presença de um excesso de hipoclorito e do nitroprussiato de sódio (catalisador), a monocloramina reage com o fenol, com absorção máxima de 630 nm. Também é adicionado o complexante citrato trissódico para evitar a interferência quanto a turbidez, que poderia ser causada pela precipitação dos íons alcalinos terrosos da água. Os sulfetos são interferente quando apresentam concentrações maiores que 2 mg/l, pois podem causar aparecimento de

cor verde. A salinidade também pode interferir devido ao efeito tampão que diminui o pH. É uma análise extremamente cautelosa, pois utiliza reagentes extremamente nocivos como o Fenol e DTT. A figura 14 apresenta o bolsista Alexandre no dia da análise utilizando corretamente os EPIs.

Figura 14 - Uso de EPIs durante as análises de amônia.



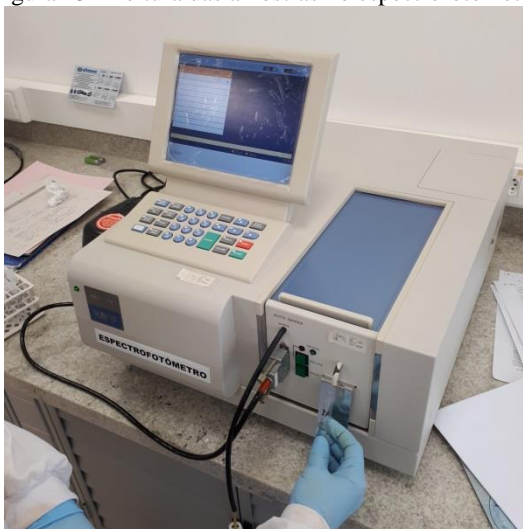
Fonte: O autor (2018).

4.6.4 Fosfato Inorgânico Dissolvido

O método utilizado foi uma adaptação de Grasshoff (1999) e Lana et al. (2006). O objetivo do método consiste em avaliar a concentração de fósforo inorgânico dissolvido (PID), utilizando um espectrofotômetro por método colorimétrico, avaliando os íons HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} . O princípio do método consiste na formação de ácido molibdofosfórico, onde primeiro é formado o ácido de cor amarela e depois ocorre a sua redução com ácido ascórbico, resultando no complexo de fosfomolibdênio de cor azul. A redução ocorre de maneira lenta, por isso é adicionado o antimonil tartarato de potássio agindo como catalisador da reação. O fósforo pode ser quantificado pela

espectrofotometria, visto que a quantidade de complexo azul de fosfomolibdênio formado é proporcional à concentração de fósforo presente como fosfato inorgânico na amostra de água. Silicatos e arsenatos são os principais interferentes, pois também formam complexos azuis com o molibdato, contudo a velocidade de reação é mais lenta, assim recomenda-se ler as amostras após 5 minutos de reação, sendo a precisão do método de 5 a 15%.

Figura 15 - Leitura das amostras no espectrofotômetro.



Fonte: o autor (2018).

4.6.5 Silicato Inorgânico Dissolvido

O método de análise é uma adaptação de Grasshoff (1999) e Lana et al. (2006). O princípio é baseado na reação da amostra com molibdato de amônio em meio ácido, resultando na formação do complexo silicomolibdídico de cor amarela. Assim é feita a adição de uma mistura redutora de metol (sulfato de pmetilamino fenol) e de sulfito de sódio, sendo reduzido ao azul de silicomolibdato, com absorvância máxima de 810 nm, para que seja realizado as leituras no espectrofotômetro. Os interferentes são principalmente os fosfatos, pois reagem com o molibdato, sendo essa interferência evitada pela adição do complexante ácido oxálico na reação. O processo de análise é parecido com o do PID,

foi utilizado o mesmo espectrofotômetro, o que difere são os reagentes e concentrações.

4.6.6 Clorofila-a

O método de análise para clorofila-a é adaptado de Strickland e Parsons (1972). Os filtros utilizados foram microfiltros de fibra de vidro de 47 milímetros e o volume de amostra variou de 250 a 450 ml. As amostras foram filtradas nos dias de coleta, utilizando uma pinça, após a filtragem os filtros foram armazenados em papel alumínio e congelados até o dia da análise. Para a análise, cada filtro é colocado em um tubo falcon, onde são adicionados 10 ml de acetona 90% (v/v). Os filtros foram macerados com um bastão de plástico para a extração dos pigmentos das células fitoplanctônicas e armazenados por 18 horas na geladeira a 10°C com um saco de lixo preto em volta para reduzir a penetração de luz. No outro dia é utilizado uma seringa para introduzir 5 ml da solução para as cubetas, utiliza-se um algodão dentro da seringa para impedir a passagem de qualquer pedaço de filtro pois pode interferir no resultado. Assim as soluções são analisadas no espectrofotômetro, começando por uma solução de acetona 90% para zerar, após cada amostra é lida pelo aparelho nos seguintes comprimentos de onda: 480 nm, 630 nm, 645 nm, 665 nm e 750 nm. As amostras devem ser acidificadas com 0,1 ml de HCL (0,3 M), sendo realizada a leitura novamente nos comprimentos de onda de 665 nm e 750 nm.

Figura 16 - Espectrofotômetro utilizado na análise de Clorofila-a.



Fonte: O autor (2018).

As duas fórmulas utilizadas para o cálculo são:

$$Cla = [(26,5 \times (a665 - a730) - (a665 - a730) \times Vf)] / (Va \times L) \quad (11)$$

Onde:

a665, a750, a645, a 630 e a480 são comprimentos de onda (m^{-1})

Va = volume de acetona (ml)

Vf = volume de amostra filtrada (ml)

L = caminho ótico da cubeta (cm)

4.6.7 MPS

O método de análise utilizado para Material Particulado em Suspensão foi adaptado de Strickland e Parsons (1972), com modificações por Sharp (1974) e V. Bodungen et al. (1991). O princípio do método por gravimetria de volatilização consiste em um volume conhecido de amostra que passa por um filtro previamente pesado, após a secagem o filtro é pesado novamente. Os filtros utilizados são do tipo microfiltro de fibra de vidro de 47 mm e foram aquecidos na mufla a 550°C por duas horas, no entanto após os primeiros 10 filtros, foi constatado que seria melhor utilizar apenas 450°C, pois os filtros

mostraram-se quebradiços ao final das filtrações das amostras. As amostras foram filtradas nos dias de coleta, foi o primeiro filtro para Clorofila-a e o segundo para MPS, apenas esse, previamente pesado. Assim a fórmula utilizada para o cálculo foi:

$$MPS = [(P2 - P1)] \times \frac{10^6}{V} \quad (12)$$

Sendo:

P2(g) = peso do filtro após a mufla, filtração e secagem

P1(g) = peso do filtro após a mufla

V(ml) = volume da amostra filtrada

10^6 = fator de conversão de g/ml para mg/l

MPS = mg/l ou ppm

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

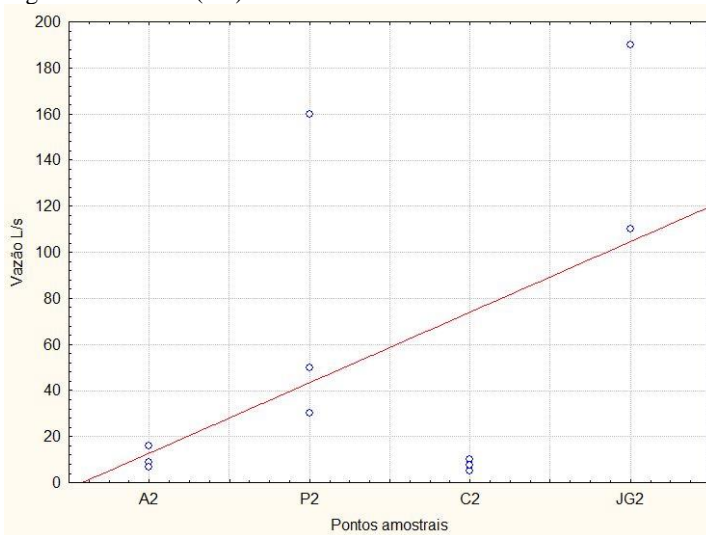
Os resultados estão apresentados em gráficos do tipo Boxplot e Scatterplot gerados a partir do software Statistic 8.0. Primeiramente são apresentados os valores encontrados para concentração dos parâmetros e uma comparação dos resultados dos pontos amostrais entre nascente e foz, que estão indicados pelos números 1 e 2 respectivamente. Na sequência são apresentados as análises de correlação, as cargas de nutrientes, os valores de índice trófico e uma comparação com os valores da legislação.

5.1 CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS

5.1.1 Vazão

A vazão dos rios foi medida apenas na foz, por representar a vazão total de cada rio, informação necessária para o cálculo das cargas de nutrientes na laguna. Os valores encontrados estão apresentados na figura 17.

Figura 17 - Vazão (L/s) encontrada nos rios monitorados.



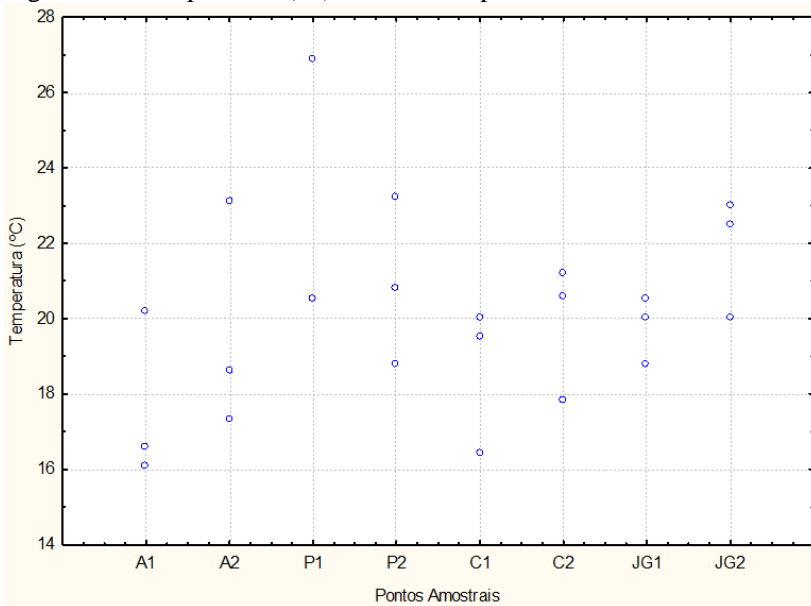
Fonte: O autor (2018).

As vazões foram majoritariamente medidas em dias sem chuva e apresentaram valores mais compatíveis com o período de estiagem observados por trabalhos anteriores. Segundo os resultados de Silva et al. (2017), as vazões para o rio João Gualberto variam de 69 L/s no período de estiagem e 750 L/s no período chuvoso, enquanto os valores encontrados neste trabalho variaram entre 100 e 200 L/s, o que demonstra que essa SBH é a de maior contribuição hidrológica entre as analisadas. Para o rio APA Silva et al. (2017) encontrou a variação de 28 a 214 L/s enquanto as vazões encontradas foram inferiores a 20 L/s, o que demonstra um período de estiagem. O rio do Porto da Lagoa apresentou uma grande variação do mínimo de 30 L/s para o máximo de 160 L/s. O rio da Costa apresentou valores inferiores a 10 L/s.

5.1.2 Temperatura

Os valores de temperatura são menores para todas as nascentes com exceção do rio Porto da Lagoa, que apresentou algumas variações devido a sua singularidade, o rio nasce em um banhado no meio das dunas com irradiação solar direta durante todo o dia. Nos outros rios, as temperaturas são mais baixas nas nascentes, pois são locais de difícil acesso e protegidos pela vegetação, onde geralmente as águas são frias. Como a maioria das campanhas foram realizadas próximas ao horário do meio dia, os valores encontrados não foram tão baixos, registrando uma mínima de 16,1°C para a nascente do rio APA e máxima de 26,9 °C para o rio do Porto da Lagoa. A figura 18 apresenta os valores para todos os pontos amostrais.

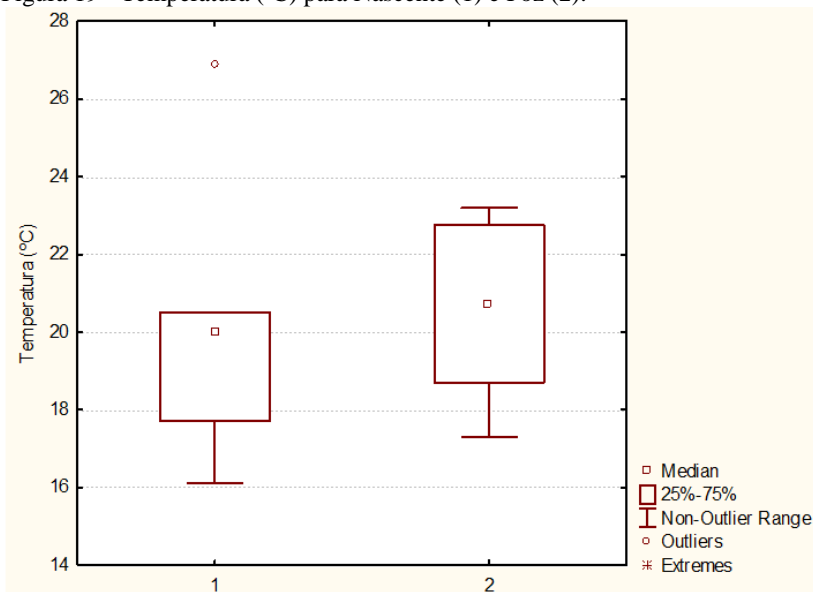
Figura 18 - Temperatura (°C) em todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

Conforme apresentado na figura 19, a variabilidade dos dados na foz é bem maior com um intervalo interquartil maior, enquanto o valor da mediana também é maior para a foz.

Figura 19 - Temperatura (°C) para Nascente (1) e Foz (2).

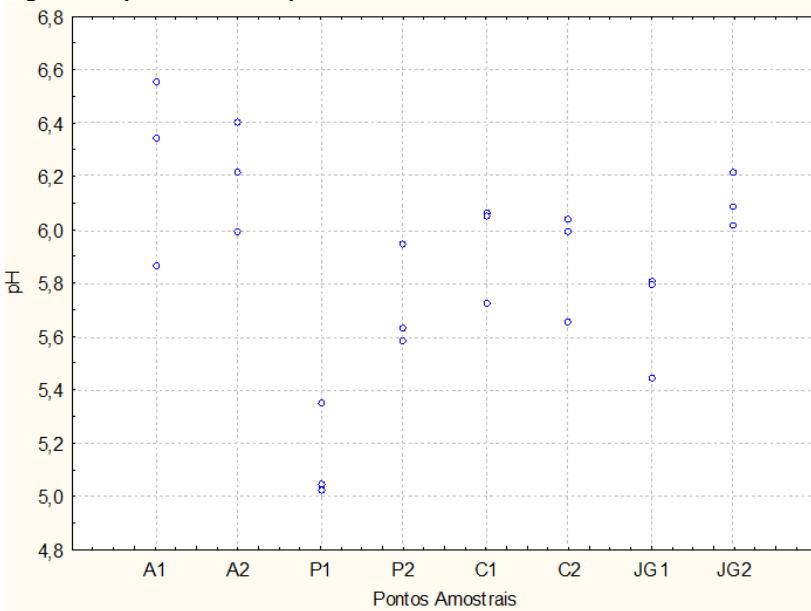


Fonte: O autor (2018).

5.1.3 pH

Os valores de pH indicaram água levemente ácida, similar ao que Martins (2016) encontrou para os mesmos rios. O valor máximo foi de 6,55 para o rio APA enquanto o mínimo foi de 5,02 para o rio do Porto da Lagoa, característica comum de corpos de água doce. As nascentes na maioria dos casos apresentaram valores um pouco mais ácidos do que a foz dos rios, no caso particular da nascente do rio do Porto da Lagoa sugere-se que este valor esteja associado a liberação de ácidos orgânicos pelas plantas presentes no banhado. Para os demais rios o pH se manteve na faixa de acidez entre 5,4 e 6,6. Conforme o trabalho de Martins (2016), o pH nessa época do ano apresentou valores similares, no entanto em outras épocas, como no caso do mês de março de 2016, os valores apresentados estavam entre a faixa de neutralidade e valores levemente básicos. A figura 20 apresenta os valores encontrados para a nascente e foz de cada rio.

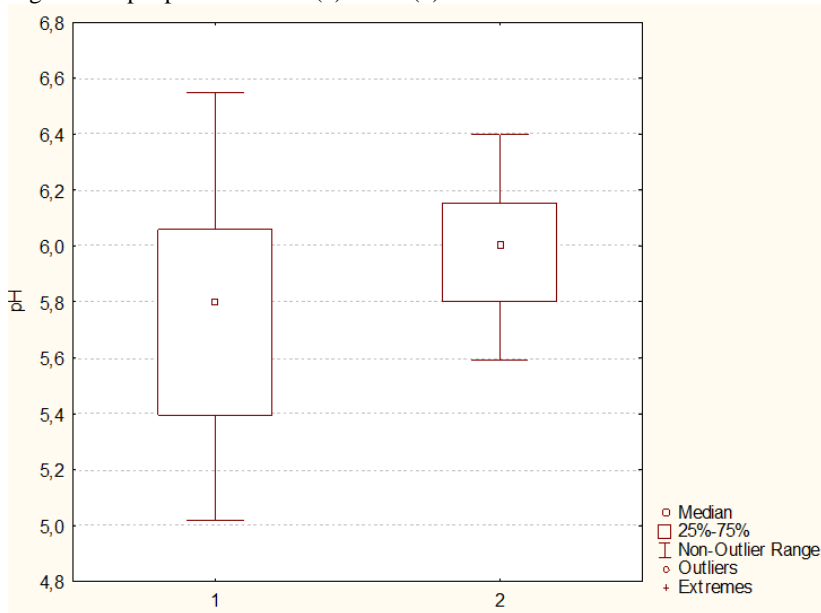
Figura 20 - pH em todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

A variabilidade dos dados na nascente é bem maior com um intervalo interquartil maior, enquanto o valor da mediana é menor para a foz. A figura 21 apresenta os valores de pH para nascente e foz.

Figura 21 - pH para Nascente (1) e Foz (2).

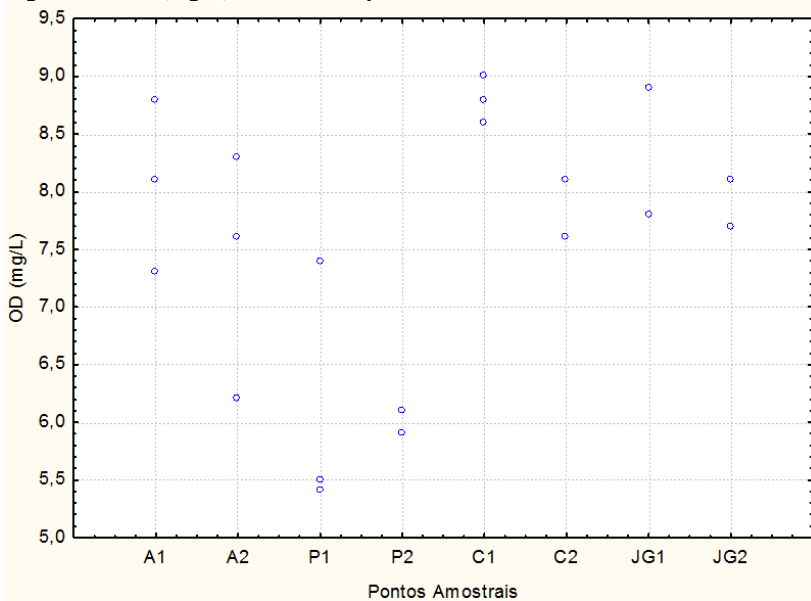


Fonte: O autor (2018).

5.1.4 Oxigênio dissolvido

O maiores valores foram para a Costa da Lagoa e para o rio João Gualberto, que obteve 8,9 mg/L, isso se deve ao fato da localização das nascentes em locais de proteção onde não há poluição expressiva como comparado a foz. O único rio que apresentou valores menores na nascente é o Porto da Lagoa, isso ocorre devido a sua nascente estar situada em um banhado que nasce nas dunas, sendo assim uma área com grande quantidade de matéria orgânica e baixo fluxo. Os valores de oxigênio dissolvido são maiores nas nascentes conforme apresenta a figura 22.

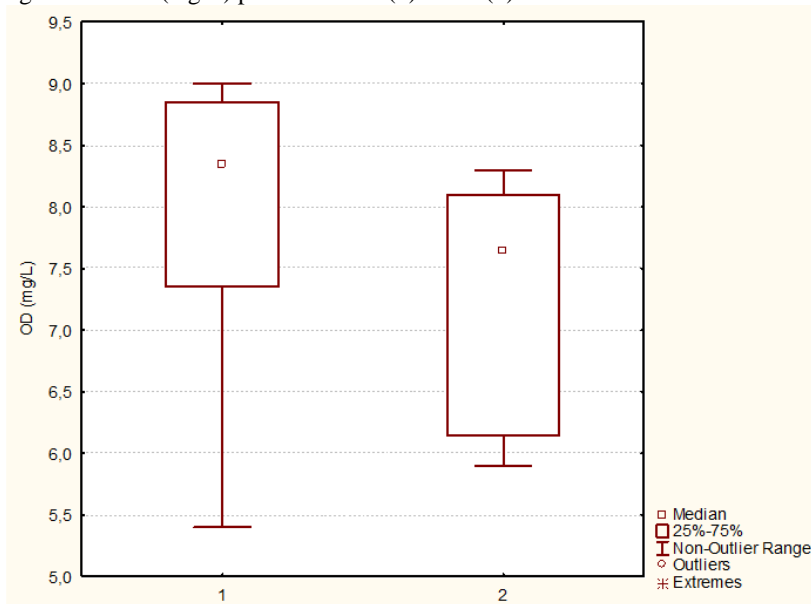
Figura 22- OD (mg/L) em todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

O intervalo interquartil para foz é maior, com uma variabilidade de dados maior, enquanto o alcance entre mínimo e máximo é maior par as nascentes, que também possui uma mediana maior. A figura 23 apresenta os valores de OD para nascente e foz.

Figura 23 - OD (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).

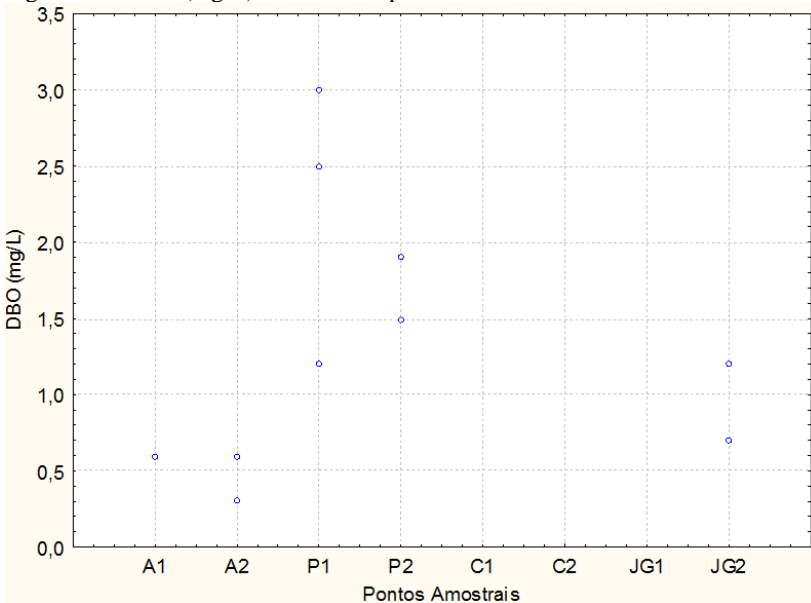


Fonte: O autor (2018).

5.1.5 DBO

As análises de DBO apresentaram valores baixos, entre zero e três, sendo o maior valor na nascente do rio do Porto da Lagoa, conforme dito anteriormente, por ser uma região de grande quantidade de matéria orgânica e baixo fluxo. Houve alguns erros de análise devido à complexidade do método, por isso algumas amostras foram descartadas. É provável que tenha ocorrido intrusão de ar nos frascos de análise durante os 5 dias do período de incubação, por isso alguns valores foram negativos. Os maiores valores de DBO são para a foz do rio do Porto da Lagoa conforme a figura 24.

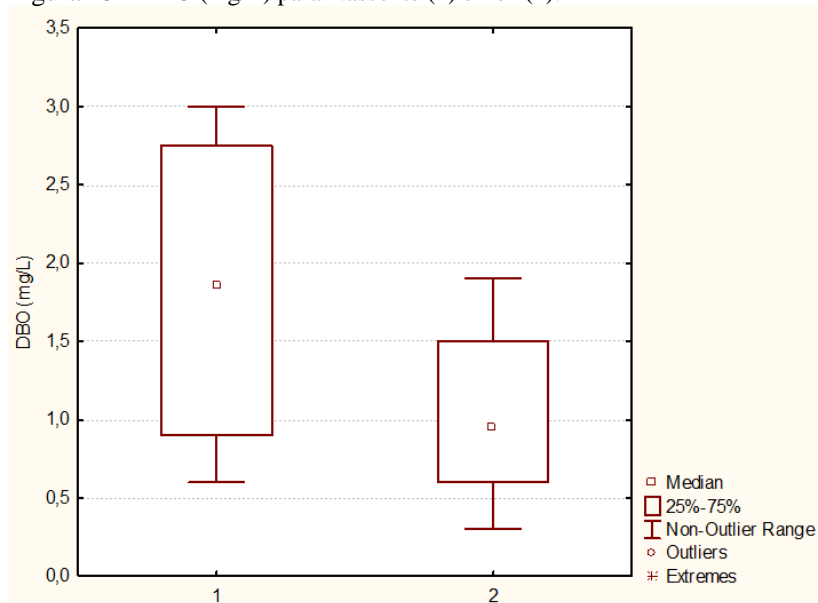
Figura 24 - DBO (mg/L) em todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

A variabilidade das nascentes é maior para a DBO, com um intervalo interquartil superior comparado a foz, assim como o valor da mediana que é quase o dobro para nascente, o que mostra que as eventuais descargas de esgoto proveniente da bacia hidrográfica chegam nos rios com baixa carga orgânica. A figura 25 apresenta os valores de DBO para nascente e foz.

Figura 25 - DBO (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).

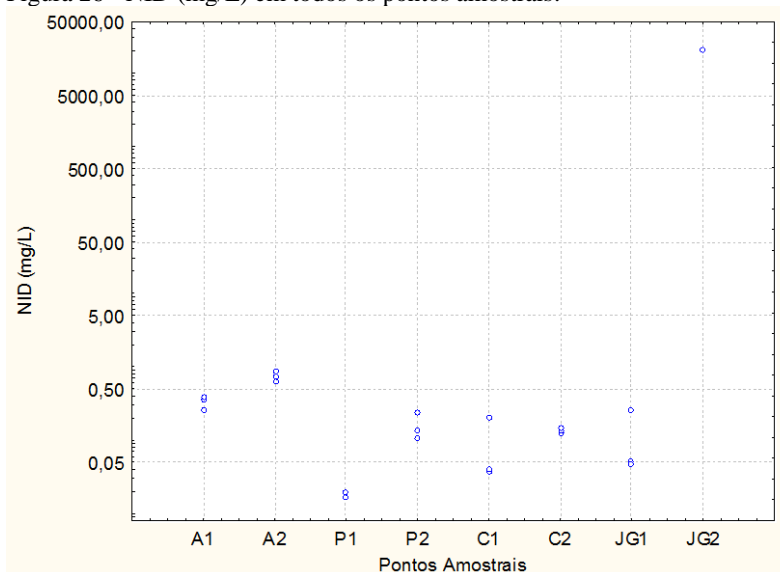


Fonte: O autor (2018).

5.1.6 NID

Os valores de NID foram maiores na foz dos rios, com destaque para o rio João Gualberto que nas três amostras obteve um valor alarmante, com mínima de 20476,12 mg/L, isso pode ter ocorrido devido ao uso de fertilizantes na agricultura da região ou por despejos de esgoto no rio. O trabalho de Martins (2016) também apresenta valores maiores para o rio João Gualberto, porém com um valor máximo de 2,72 mg/L, isso demonstra que durante o período de amostragem pode ter ocorrido algum distúrbio na região em relação ao ciclo do nitrogênio. A figura 26 apresenta os valores para todos os pontos amostrais.

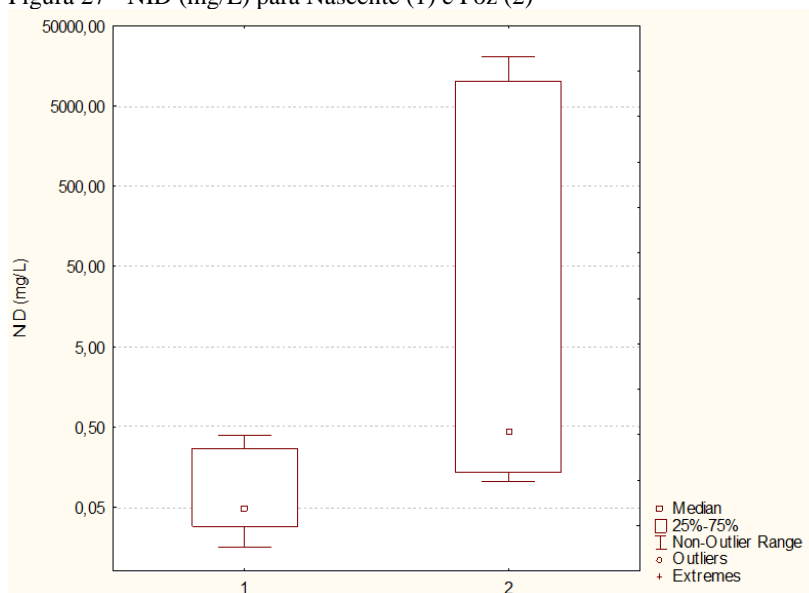
Figura 26 - NID (mg/L) em todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

Os valores de NID são majoritariamente maiores na foz, o que indica que somados os lançamentos de esgoto e fertilizantes agrícolas tem resposta maior neste parâmetro. A exceção foi o rio da Costa da Lagoa, que apresentou alguns valores de nascente e foz praticamente iguais, por não ser uma bacia hidrográfica com grandes alterações antrópicas. O rio APA apresentou valores três ou mais vezes maiores em sua foz quando comparado a nascente, enquanto o rio do Porto da Lagoa apresentou valores até maiores chegando a resultados até dez vezes maiores na foz. A variabilidade dos dados é superior para a foz, com um intervalo interquartil evidentemente maior conforme mostra a figura 27.

Figura 27 - NID (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2)

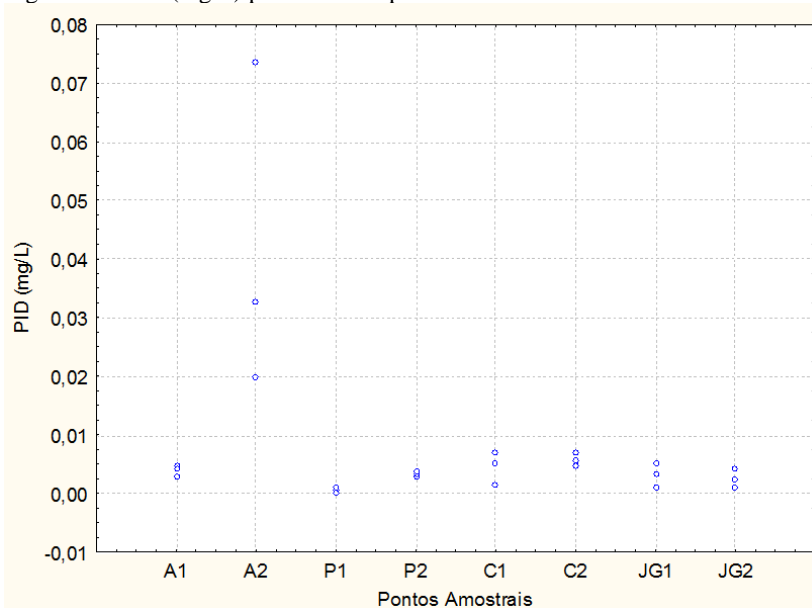


Fonte: O autor (2018).

5.1.7 PID

Assim como o trabalho de Martins (2016), os valores de PID apresentam baixas concentrações para fósforo inorgânico dissolvido, com o mínimo de 0,002 mg/L na nascente do Porto da Lagoa e máxima de 0,074 mg/L na foz do rio APA. O fato de o rio APA apresentar valores superiores na foz, pode ser devido aos despejos de esgoto doméstico, pois é uma região com porcentagem de urbanização mais expressiva em relação as outras (16%) e sistema de saneamento que apresenta ineficiências. Os maiores valores de PID são para a foz do rio APA conforme apresenta a figura 28.

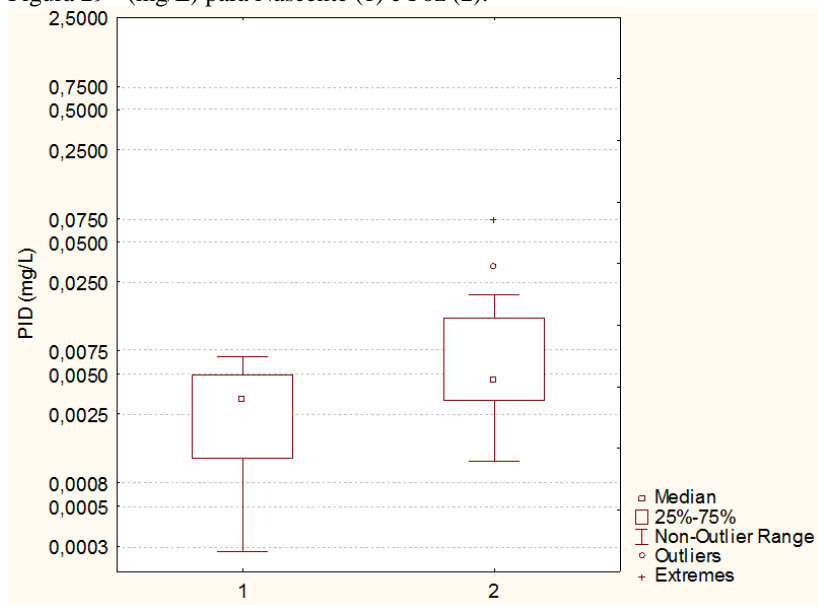
Figura 28 - PID (mg/L) para todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

No geral os valores de foz são maiores, entretanto a variabilidade dos dados é parecida, com um intervalo interquartil parecido conforme mostra a figura 29.

Figura 29 - (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).

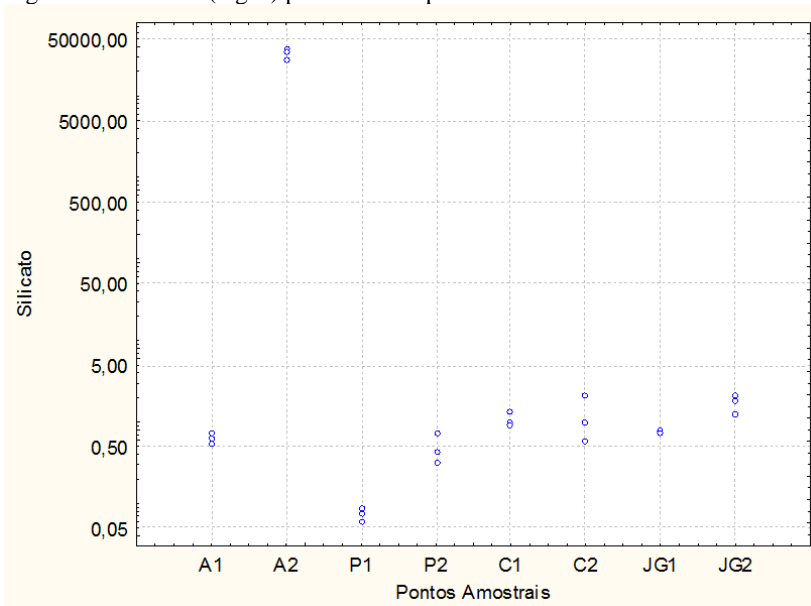


Fonte: O autor (2018).

5.1.8 Silicato

O rio da Costa apresentou poucas alterações entre nascente e foz, enquanto em todos os rios os valores encontrados da foz foram superiores, com destaque para a foz do rio APA que apresentou valores muito maiores do que aqueles que Martins (2016) e Silva (2016) encontraram. O valor mínimo foi de 28539,66 mg/L em três campanhas amostrais para três dias distintos no mesmo ponto amostral no período de um mês. As causas precisam ser estudadas, pois há uma grande diferença em relação à máxima de 0,73 mg/L registrada para a nascente. O rio João Gualberto apresentou valores duas ou até três vezes maiores na foz quando comparado à nascente, enquanto o rio do Porto apresentou valores baixos na nascente, no entanto valores na ordem de aproximadamente dez vezes maiores na foz. O silicato apresentou valores expressivos na foz do rio APA, conforme apresenta a figura 30.

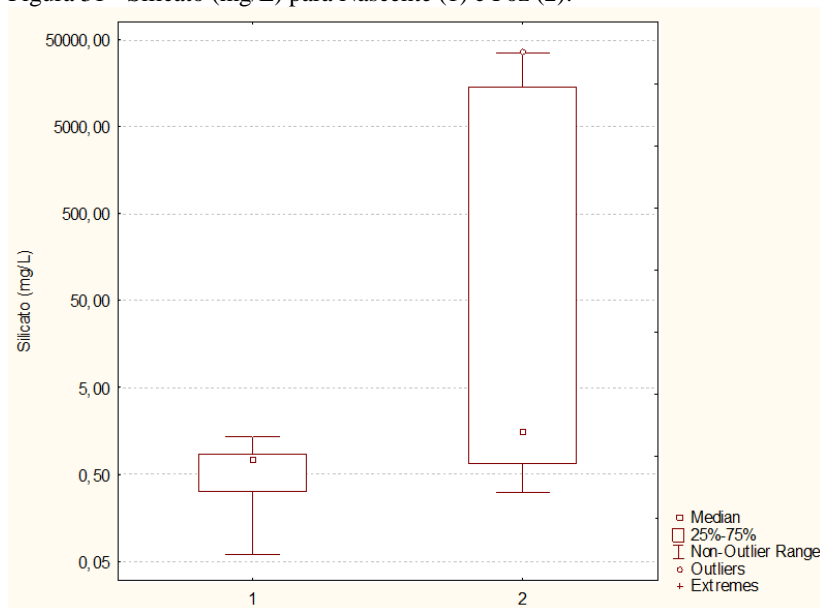
Figura 30 - Silicato (mg/L) para todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

A variabilidade dos dados é muito maior na foz, com um intervalo interquartil muito superior a nascente, conforme apresentado na figura 31.

Figura 31 - Silicato (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2).

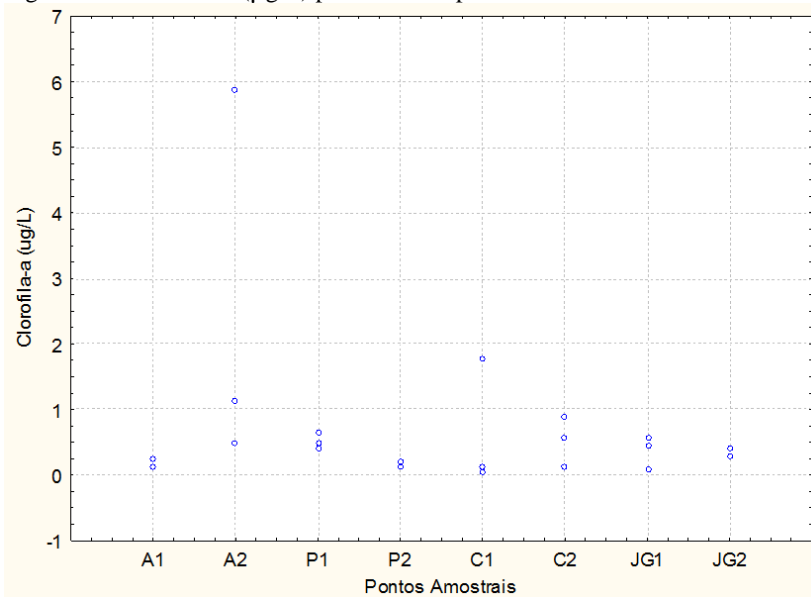


Fonte: O autor (2018).

5.1.9 Clorofila-a

Os valores estão parecidos com aqueles que Martins (2016) encontrou em sua pesquisa, com exceção da foz do rio APA que apresentou um valor consideravelmente mais alto do que todos os outros, sendo a máxima de 5,89 $\mu\text{g/L}$. O Porto da Lagoa apresentou valores maiores na nascente, o que é esperado devido à região em que o rio nasce. A mínima foi na Costa da Lagoa com o valor de 0,04 $\mu\text{g/L}$. Os valores de Clorofila-a apresentaram algumas variações conforme apresenta a figura 32.

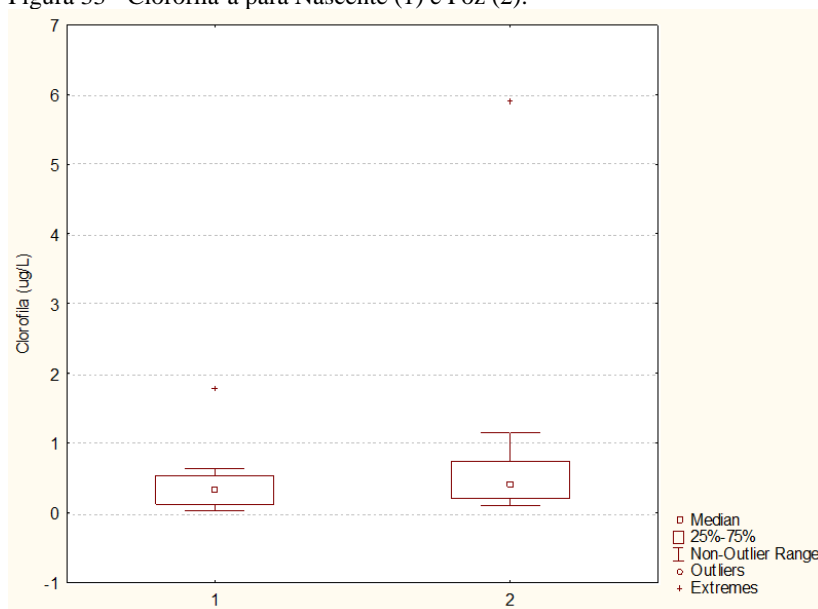
Figura 32 - Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) para todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

Os valores de Clorofila-a apresentaram pouca variabilidade em relação aos outros parâmetros, com valores do intervalo interquartil maiores para foz, enquanto a nascente apresenta menor variação entre os dados encontrados. É provável que os baixos valores de clorofila estejam associados ao baixo tempo de concentração da bacia, fazendo com que as microalgas não tenham tempo para se multiplicar e tornar sua biomassa expressiva no curto período de tempo que esta passa pelos rios até chegarem na laguna. A figura 33 apresenta os valores para nascente e foz.

Figura 33 - Clorofila-a para Nascente (1) e Foz (2).

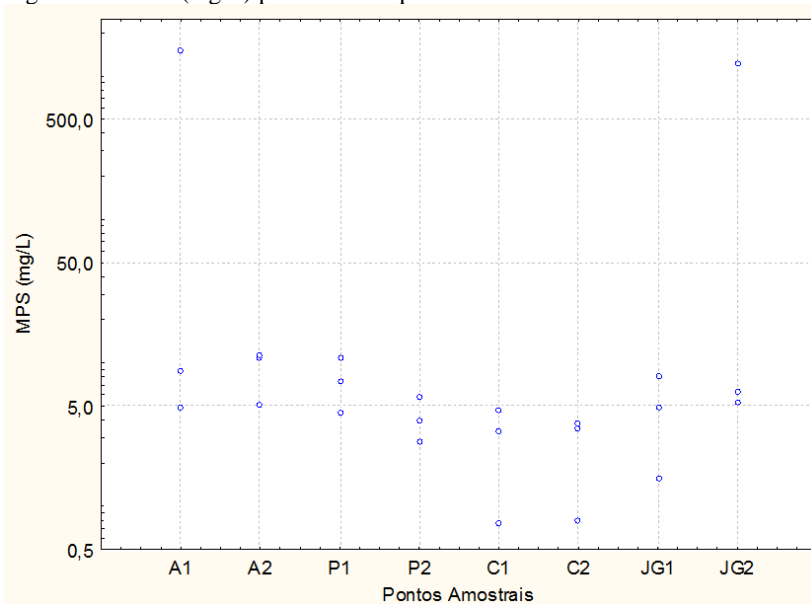


Fonte: O autor (2018).

5.1.10 MPS

Como os valores máximos para A1 e JG2 aconteceram apenas uma vez, pode ter acontecido devido ao tempo dos dias que antecederam essas coletas, pois houve chuvas intensas. Os outros rios apresentaram pouca variação, sendo a mínima da Costa de 0,75 mg/L e a máxima do APA de 1529,43 mg/L. Os maiores valores de MPS foram para a nascente do rio APA e para a foz do rio João Gualberto, conforme apresenta a figura 34.

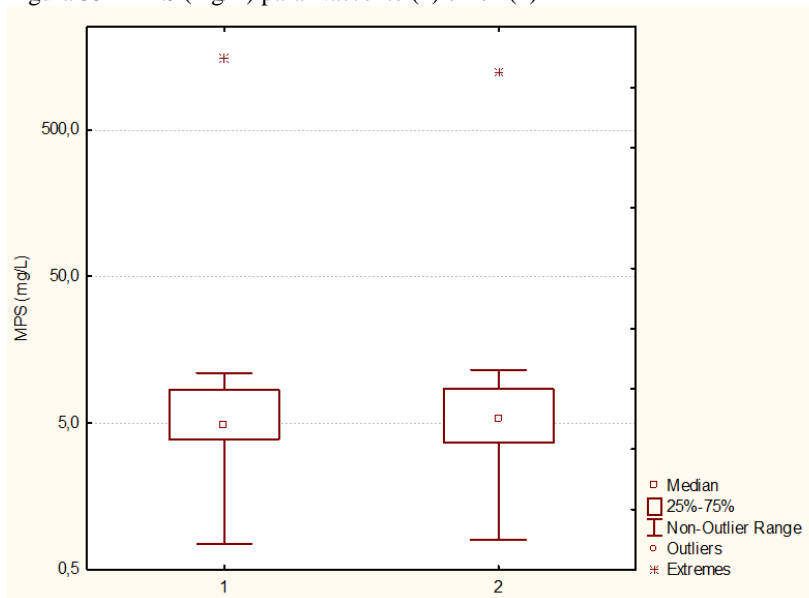
Figura 34 - MPS (mg/L) para todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

Conforme a figura 35 mostra, a variabilidade foi maior na foz dos rios com o valor da mediana um pouco acima das nascentes, enquanto o valor extremo da nascente foi maior do que a foz.

Figura 35 - MPS (mg/L) para Nascente (1) e Foz (2)



Fonte: O autor (2018).

5.2 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Por meio do software statistic 8.0 foi realizada uma análise de correlação entre os parâmetros onde as principais estão destacadas em amarelo, conforme apresenta a tabela 7.

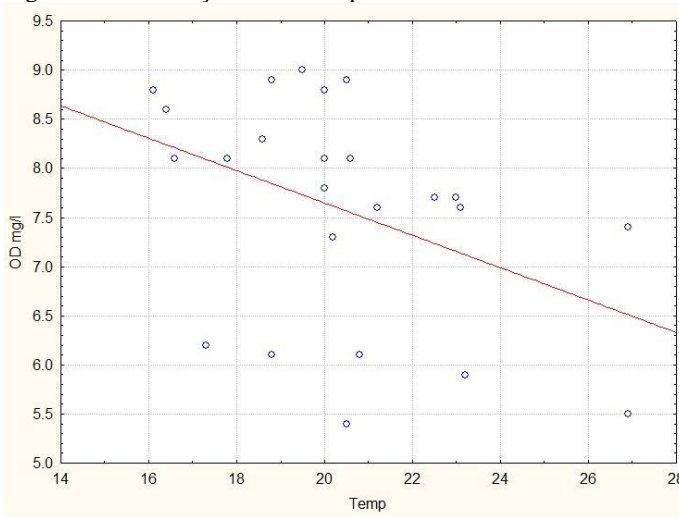
Tabela 7- Matriz de Correlação dos Parâmetros

	ph	Temp.(°C)	OD(mg/L)	PID(mg/L)	Silicato(mg/L)	Clorifila(µg/L)	MPS(mg/L)	NID(mg/L)
ph	1,000000	-0,585802	0,332680	0,336235	0,575777	0,073059	0,210481	0,742857
Temp.(°C)	-0,585802	1,000000	-0,525776	-0,372848	-0,114087	0,038319	0,040932	-0,509103
OD(mg/L)	0,332680	-0,525776	1,000000	0,335517	0,345040	-0,084624	-0,123010	0,139323
PID(mg/L)	0,336235	-0,372848	0,335517	1,000000	0,569626	0,173194	-0,121845	0,599090
Silicato(mg/L)	0,575777	-0,114087	0,345040	0,569626	1,000000	0,283478	0,089565	0,494805
Clorifila(µg/L)	0,073059	0,038319	-0,084624	0,173194	0,283478	1,000000	0,381739	0,001299
MPS(mg/L)	0,210481	0,040932	-0,123010	-0,121845	0,089565	0,381739	1,000000	0,329870
NID(mg/L)	0,742857	-0,509103	0,139323	0,599090	0,494805	0,001299	0,329870	1,000000

Fonte: O autor (2018).

A figura 36 apresenta o gráfico de correlação, onde o oxigênio dissolvido e a temperatura apresentaram uma correlação de $-0,58$, isso indica que ambos estão correlacionados pelas diferenças encontradas entre a foz e a nascente de cada rio (nascente menores temperaturas e maiores concentrações de OD e foz maiores temperaturas e menores concentrações de OD).

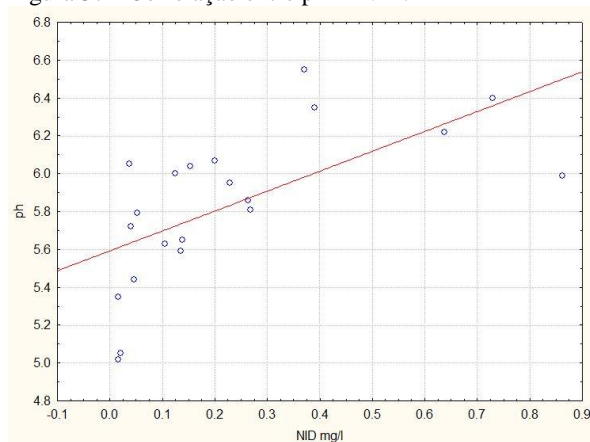
Figura 36 - Correlação OD x Temperatura.



Fonte: O autor (2018).

Os parâmetros pH e NID apresentaram a maior correlação entre todas as variáveis, (0,78) A figura 37 apresenta a linha de tendência positiva onde quanto maiores são os valores de pH, maiores são os de NID.

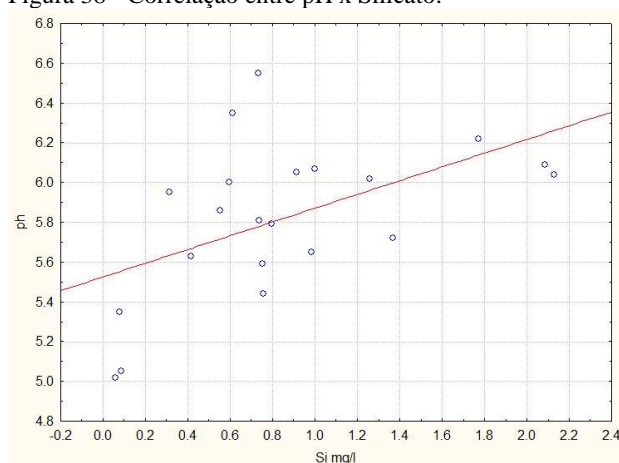
Figura 37 - Correlação entre pH x NID.



Fonte: O autor (2018).

Os parâmetros pH e Silicato apresentaram correlação positiva (0,57). Conforme os valores de silicato aumentam, os valores de pH tendem a aumentar, conforme nos mostra a figura 38.

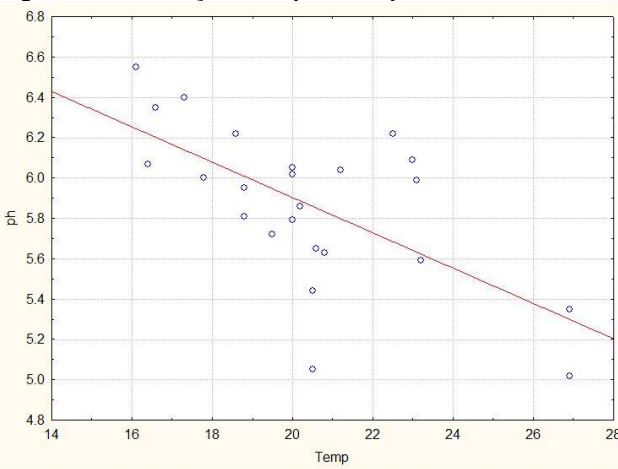
Figura 38 - Correlação entre pH x Silicato.



Fonte: O autor (2018).

Os parâmetros pH e temperatura apresentaram uma linha de tendência negativa com uma correlação de (-0,58), conforme apresentado na figura 39.

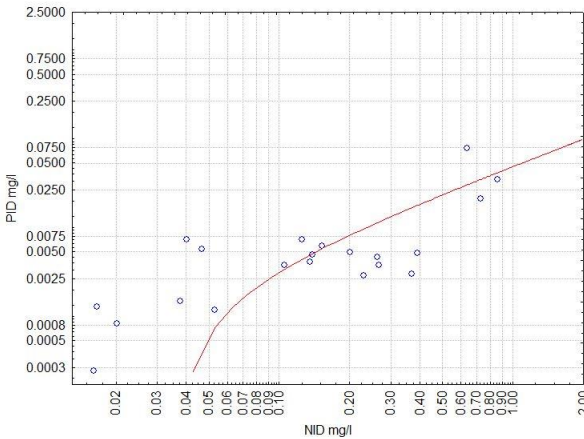
Figura 39 - Correlação entre ph x Temperatura.



Fonte: O autor (2018).

A figura 40 apresenta a análise de correlação dos parâmetros NID e PID que estão relacionados aos nutrientes inorgânicos dissolvidos, apresentando uma correlação de 0,60. Conforme aumentam os valores de NID também aumentam os de PID.

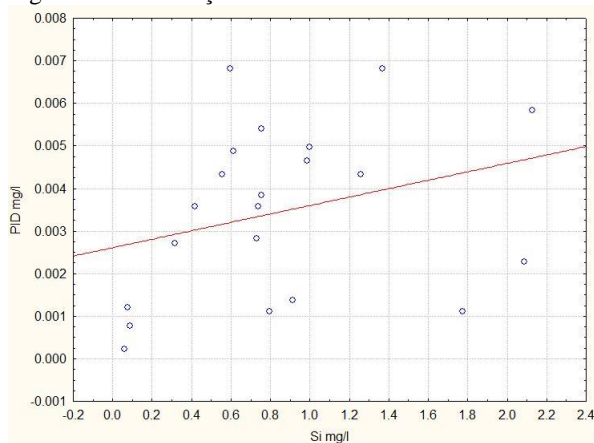
Figura 40 - Correlação entre PID e NID.



Fonte: O autor (2018).

Os parâmetros PID e Silicato apresentaram uma correlação de 0,57, conforme apresentado na figura 41.

Figura 41 - Correlação entre PID e Silicato.



Fonte: O autor (2018).

5.3 CARGA DE NUTRIENTES

A carga antrópica foi calculada com base na diferença das concentrações entre a foz e a nascente pela vazão medida. Assim a diferença entre a carga total e antrópica é a carga natural, que dividida pela área da sub-bacia apresenta a carga natural específica. Os valores de carga de NID são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Valores de Carga para NID.

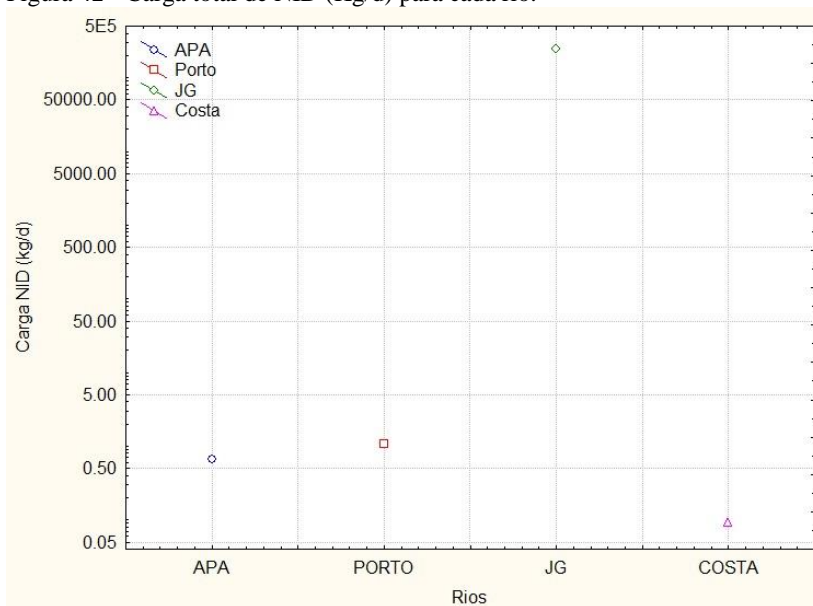
UH	Carga total NID (kg/d)	Carga antrópica NID (kg/d)	Carga natural NID (kg/d)	Carga natural esp. (Kg/d*km ²)
APA	0,672	0,364	0,309	0,142
Porto Lagoa	1,083	0,961	0,122	0,051
JG	242242,420	242240,973	1,447	0,116
Costa	0,090	0,030	0,060	0,041

Fonte: O autor (2018).

Os valores de carga para NID estão apresentados na tabela 8, sendo destaque para uma carga total de 242242,420 Kg/d para o Rio

João Gualberto. O rio da costa apresentou a menor carga para NID, seguida do rio APA e Porto da Lagoa. A figura 42 apresenta as cargas para cada rio.

Figura 42 - Carga total de NID (Kg/d) para cada rio.



Fonte: O autor (2018).

De acordo com o grau de urbanização, a sub-bacia menos urbanizada apresenta a menor carga, enquanto as bacias mais urbanizadas apresentam cargas maiores com destaque para a sub-bacia do rio João Gualberto que é a segunda mais urbanizada (9%), isso pode ter acontecido devido ao uso de fertilizantes que contém compostos de nitrogênio, pois embora a região seja menos urbanizada, está localizado em uma região com práticas agrícolas permanentes.

Os valores de carga para PID são apresentados na tabela 9, com destaque para o rio Apa com uma carga total de 0,030 Kg/d e uma carga anual de 11 Kg. O valor negativo para a carga natural do Porto da Lagoa indica que a carga antrópica é superior à carga total.

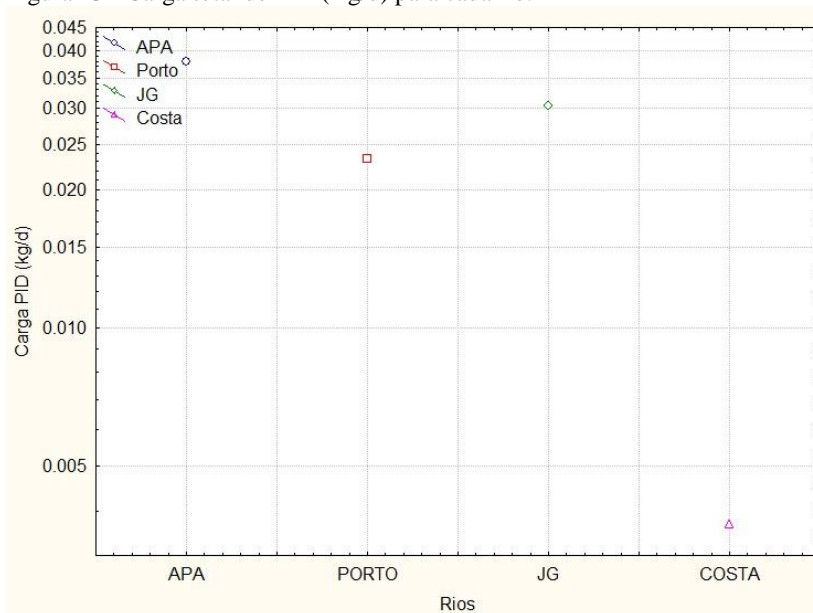
Tabela 9 - Valores de Carga para PID.

UH	Carga total PID (kg/d)	Carga antrópica PID (kg/d)	Carga natural PID (kg/d)	Carga natural esp.(kg/d*km2)
APA	0,038	0,034	0,004	0,002
Porto Lagoa	0,023	0,018	0,005	0,002
JG	0,030	-0,009	0,040	0,003
Costa	0,004	0,001	0,003	0,002

Fonte: O autor (2018).

O rio da Costa apresenta a menor carga enquanto os rios APA e Porto apresentam cargas semelhantes, sendo o maior valor para o rio João Gualberto, conforme apresenta a figura 43. A sub-bacia menos urbanizada apresentou o menor valor, com exceção do rio João Gualberto que apresentou os maiores valores, as outras sub-bacias apresentaram valores próximos visto que também possuem graus de urbanização próximos, sendo 16% para a UH do APA e 25% para a UH do Porto. Os valores do JG têm correlação com os valores de NID, podendo indicar contaminação por fertilizantes de práticas agrícolas da região ou até por despejos de esgoto.

Figura 43 - Carga total de PID (Kg/d) para cada rio.



Fonte: O autor (2018).

Os valores de carga para Silicato são apresentados na tabela 10, conforme já visto nas concentrações, o rio APA apresentou valores exorbitantes para esse parâmetro, apresentando uma carga antrópica de 30098,50 Kg/d, indicando uma estimativa de carga anual superior a 10 toneladas. O rio João Gualberto apresenta uma carga antrópica expressiva de 11,125 Kg/d, seguido pelo rio do Porto com 2,904 Kg/d e o mínimo para a região menos urbanizada que é a Costa da Lagoa com 0,092 Kg/d.

Tabela 10- Valores de Carga para Silicato

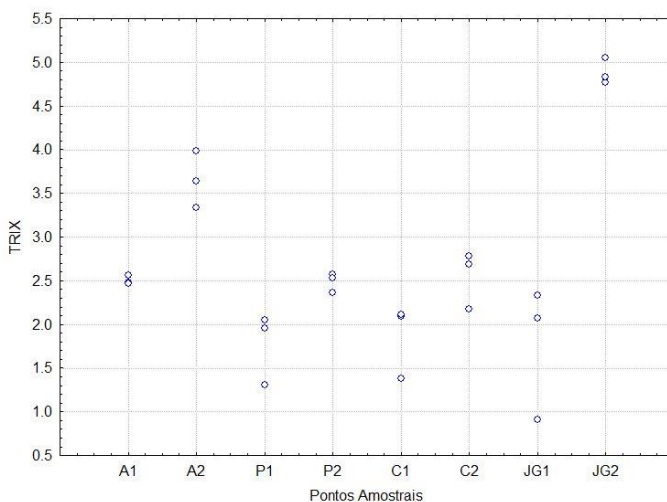
UH	Carga total Silicato (kg/d)	Carga antrópica Silicato (kg/d)	Carga natural Silicato (kg/d)	Carga natural esp. (kg/d*km ²)
APA	30099,072	30098,500	0,572	0,264
Porto Lagoa	3,425	2,904	0,521	0,220
JG	20,143	11,125	9,018	0,720
Costa	0,802	0,092	0,709	0,486

Fonte: O autor (2018).

5.4 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (TRIX)

Todos os cálculos indicaram maiores valores para a foz, onde a foz do rio APA apresentou um valor correspondente a nível eutrófico, assim como a foz do rio João Gualberto, que apresentou todos os valores para nessa classificação. Os demais valores se apresentaram na faixa de mesotróficos, com poucos valores na faixa de oligotrofismo, com valores de mínimo e máximo de 0,91 e 5,05 para nascente e foz respectivamente, ambos para o rio João Gualberto. Os valores de TRIX foram calculados para todos os pontos amostrais e estão apresentados na figura 44.

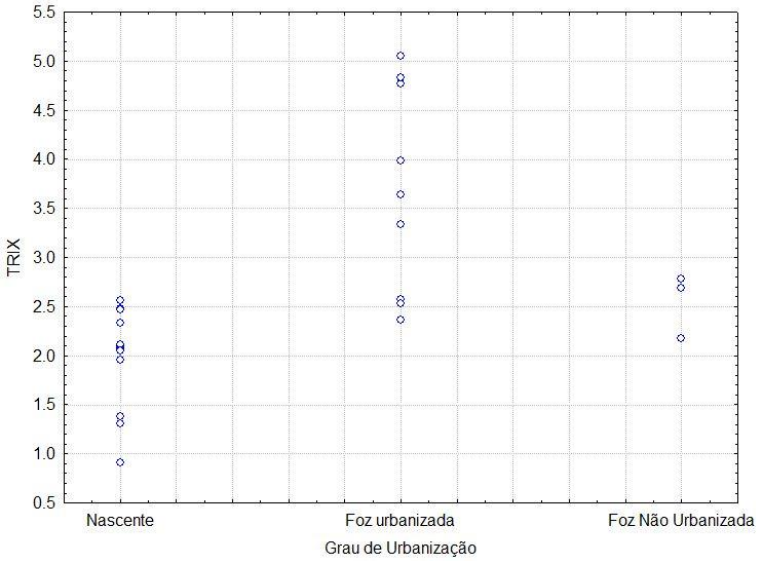
Figura 44 - Valores de TRIX para todos os pontos amostrais.



Fonte: O autor (2018).

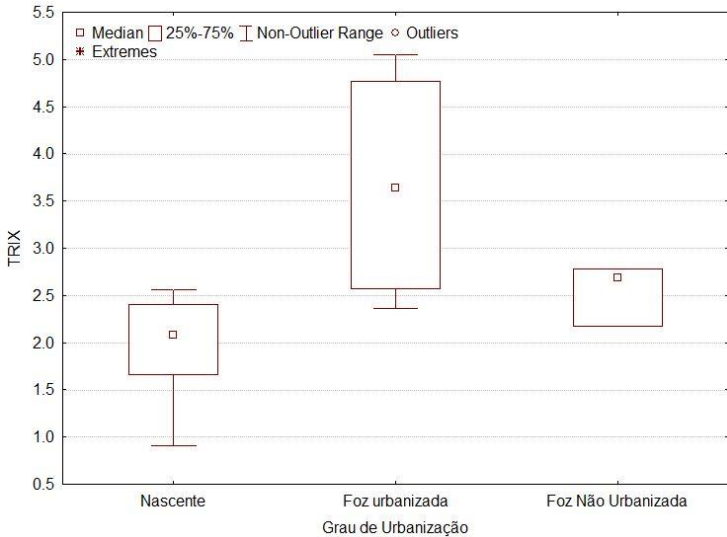
Os valores em relação ao grau de urbanização estão apresentados nas figuras 49 e 50. É possível observar que as nascentes possuem valores bem menores que a foz urbanizada, o que demonstra que o grau de urbanização está relacionado diretamente ao índice trófico dos corpos hídricos analisados. A foz não urbanizada corresponde ao rio da costa, que apresentou valores na faixa de mesotrofismo. As figuras 45 e 46 apresentam os valores de TRIX por grau de urbanização. A variabilidade é maior para a foz urbanizada indicado um intervalo interquartil superior em relação às outras.

Figura 45 - Valores de TRIX por Grau de Urbanização.



Fonte: O autor (2018)

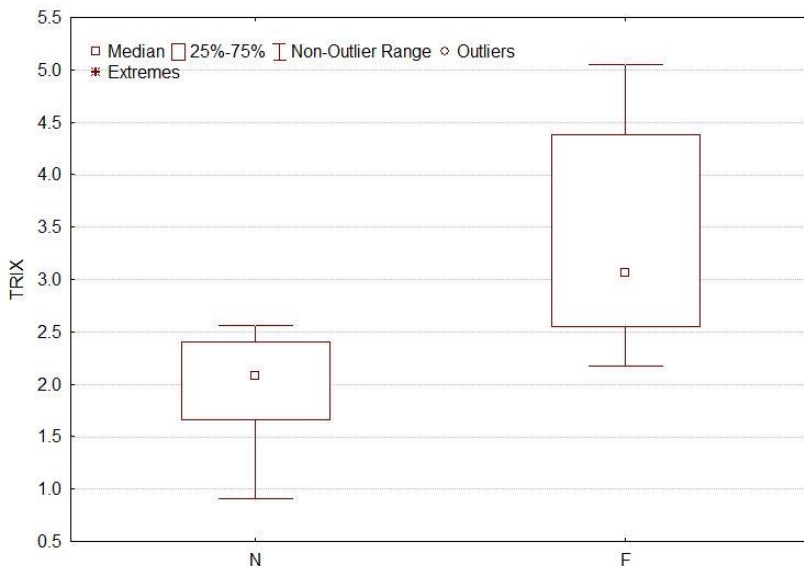
Figura 46 - Boxplot de TRIX por Grau de Urbanização.



Fonte: O autor (2018).

A figura 47 apresenta todas as foz dos rios agrupadas, o que demonstra alcances menores devido a junção com a foz não urbanizada.

Figura 47 - Boxplot de TRIX para Nascente e Foz.



Fonte: O autor (2018).

5.5 COMPARAÇÃO COM CONAMA 357

Os valores de pH apresentaram alguns valores inferiores ao estabelecido pela lei, com muitos valores na faixa de 5 e 6. Os valores de DBO, OD e Clorofila-a estão de acordo com a legislação. Os valores de Nitrato para o rio João Gualberto estão muito superiores do que aquele estabelecido pela lei. Como não foi realizado análises de Fósforo total e Sólidos dissolvidos totais, os valores foram comparados com PID e MPS, que representam uma parcela do valor total, ainda assim, o MPS apresentou dois valores acima do limite, conforme apresentado na tabela 11.

Afim de verificar se os limites estabelecidos pela legislação respeitam um rigor quanto ao seu nível de eutrofização foi feito o cálculo do índice trófico utilizando os valores de Clorofila-a, Nitrato, Fósforo total e $\text{ad}\% \text{O}_2$ com base no limite estabelecido pela CONAMA 357/04 para rios de classe 2. O valor encontrado foi de 5,32 para o índice TRIX, o que nos mostra que segundo esse índice, os valores

permitidos pela nossa legislação indicam um ambiente eutrofizado. A tabela 11 apresenta a comparação dos resultados com os limites para cada parâmetro.

Tabela 11 - Comparação com enquadramento para rios classe 2 de acordo com CONAMA 357.

Parâmetros	Limites	Resultados
pH	6,0 a 9,0	Valores abaixo de 6,0
DBO	≤ 5 mg/L	Conforme
O ₂ dissolvido	≥ 5 mg/L	Conforme
Clorofila-a	≤ 30 µg/L	Conforme
Nitrato	≤ 10 mg/L N	Valores acima do limite
Fósforo total	$\leq 0,1$ mg/L P	Valores de PID em conformidade
Sólidos dissolvidos totais	≤ 500 mg/L	2 valores de MPS acima do limite

Fonte: O autor (2018).

5.6 DIAGNÓSTICO DE QUALIDADE DA ÁGUA

As nascentes no geral apresentaram valores inferiores à foz, enquanto as SBHs urbanizadas apresentaram valores mais altos que a foz não urbanizada indicando que os rios mais urbanizados apresentam estágios elevados de eutrofização. As análises apresentaram dois destaques alarmantes, sendo um na foz do rio João Gualberto que apresentou o menor valor de 20476,12 mg/L para NID em três campanhas amostrais para três dias distintos no mesmo ponto amostral no período de um mês. A causa provável disso pode ser o uso de fertilizantes em práticas agrícolas visto que a região possui diversas

propriedades rurais com plantações de milho, cana e outras culturas, pois é conhecido que muitos fertilizantes agrícolas possuem grandes quantidades de nitrogênio e fósforo, sendo o nitrogênio muito mais solúvel, enquanto o fósforo permanece na forma adsorvida com probabilidade maior de ser encontrado no solo antes de atingir o rio. O Silicato também apresentou valores expressivos na foz do rio APA, com mínimo de 28539,66 mg/L em três campanhas amostrais para três dias distintos no mesmo ponto amostral no período de um mês. A causa do excesso de silício ainda deve ser estudada, pois o trecho entre a nascente e a foz analisado não é tão extenso, e a nascente apresentou um valor máximo de apenas 0,73 mg/L, o que indica que a contaminação ocorre entre esses dois pontos. A causa provável pode ser o despejo de algum resíduo, como por exemplo, o efluente de empresas “Lava-Car”. Além disso, a SBH do rio Apa apresentou valores bem maiores de NID e PID para a sua foz, o que mostra indícios de contaminação de águas residuárias da comunidade urbana situada entre os dois pontos. O rio do Porto da Lagoa apresenta uma nascente em condições diferenciadas dos demais, pois o rio nasce em um banhado no meio das dunas, uma região de baixo fluxo e com grande quantidade de matéria orgânica, por isso apresentou valores mais altos quando comparado às outras nascentes, ainda assim, apresentou valores maiores de NID, PID e Silicato na sua foz, o que também indica probabilidade de despejos de esgotos. O rio da Costa da Lagoa nos mostra como uma SBH não urbanizada sofre menos influências em seus corpos hídricos, pois a diferença entre os parâmetros analisados na nascente e foz deste rio se mostrou bem menor comparado às outras SBH. Os demais parâmetros apresentaram indicações de que o grau de urbanização causa influência na qualidade da água, apresentando alterações significativas entre a nascente e foz de cada rio.

O rio João Gualberto foi o que apresentou as maiores cargas, sendo 242242,420 Kg/d de NID e 0,030 Kg/d de PID, por uma estimativa grosseira, isso equivale a 88 toneladas de NID e 11 Kg de PID ao ano. O rio Apa apresentou valores altos para carga de Silicato, apresentando uma carga antrópica de 30098,50 Kg/d, indicando uma estimativa de carga anual superior a 10 toneladas. O rio João Gualberto apresenta uma carga antrópica expressiva de 11,125 Kg/d, seguido pelo rio do Porto com 2,904 Kg/d e o mínimo para a região menos urbanizada que é a Costa da Lagoa com 0,092 Kg/d. Portanto os rios estão sofrendo impacto e recebendo cargas de nutrientes de origem antrópica. Os valores de TRIX são maiores para os rios que possuem foz urbanizada, os valores mínimo e máximo são 0,91 e 5,05 para nascente e foz respectivamente, ambos do rio João Gualberto. A resolução

CONAMA 357/05 não estipula valores de carga e as concentrações quando comparadas à legislação, nos fazem questionar quão restritivos são os valores estabelecidos na legislação, pois segundo o cálculo do índice TRIX para os parâmetros de rios classe II, o valor encontrado é de 5,32, o que indica um ambiente eutrofizado.

6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentaram uma diferença significativa entre os valores para nascente e foz de acordo com os níveis de urbanização. O valor das cargas nos mostra uma via diferenciada de quantificar o impacto urbano, assim como uma forma de quantificar cargas naturais e antrópicas. Além disso, a lei não estipula limites para valores de carga, que é uma via interessante na quantificação da poluição causada por origem antrópica, enquanto os limites para os valores de concentração indicam estado de eutrofização segundo o índice de estado trófico (TRIX). Os valores encontrados indicam a classificação de estado trófico para a foz do rio João Gualberto e para a foz do rio Apa, o que indica que os rios em análise estão passando por condições de eutrofização, enquanto os demais apresentam classificação de estado mesotrófico. A causa provável do excesso de nutrientes pode ser o despejo de esgotos domésticos, enquanto para o rio João Gualberto pode ser somado ao uso de fertilizantes agrícolas. Os valores expressivos de Silicato para a foz do rio Apa podem estar associados ao despejo de algum resíduo diretamente no rio.

Espera-se que esse trabalho possa fornecer dados de pesquisa científica para auxiliar na conscientização da sociedade civil e do poder público para que se tenha mais seriedade no controle de poluição das águas. É necessário um plano de saneamento compatível com a realidade do local e uma fiscalização eficiente quanto aos impactos na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. Por fim, espero que possa contribuir em outros trabalhos de pesquisa e possa inspirar outros estudantes a contribuir com os estudos relacionados ao monitoramento e controle de poluição dos corpos hídricos.

REFERÊNCIAS

ARCARI, T. L. **Estimativa de cargas de e. coli e análise espaço-temporal da balneabilidade na Lagoa da Conceição, Florianópolis-SC.** 2016.

BIER, F. B. **Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC.** Florianópolis, 2013, 111 p., Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

BRASIL, CONAMA. **Resolução. 357, de 17 de março de 2005.** Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, v. 357, 2005.

BRASIL, Lei. 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Publicado no DOU em, v. 2, 1981.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999: **Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, v. 79, 1999.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estab lece diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Diário Oficial da União, 2007.

CAMPANÁRIO, P. **Florianópolis: dinâmica demográfica e projeção da população por sexo, grupos etários, distritos e bairros (1950-2050).** Prefeitura de Florianópolis: Instituto de Planejamento de Florianópolis (IPUF), 2007.

CONSTITUIÇÃO, BR. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

FINOTTI, A. R. et al. **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas**. Educus, Caxias do Sul, 2009.

FONTES, M. L. S., **Breve estudo espaço-temporal e de impacto do feriado de carnaval e de corpus christi sobre variáveis ambientais nas águas da Lagoa da Conceição** – Florianópolis, 2004.

GARBOSSA, L. HP. et al. **Thermotolerant coliform loadings to coastal areas of Santa Catarina (Brazil) evidence the effect of growing urbanisation and insufficient provision of sewerage infrastructure**. Environmental monitoring and assessment, v. 189, n. 1, p. 27, 2017.

GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M.(Ed.). **Methods of seawater analysis**. John Wiley & Sons, 2009.

HERRMAN, M. L. P., R. F., O., NETO, C. B. R., MENDONÇA, M., & SILVA, A. D.. **Aspectos ambientais dos entornos da porção sul da Lagoa da Conceição**. Geosul, (4), 7-41. 1987.

LANA et. al. **Avaliação ambiental de estuários brasileiros: diretrizes metodológicas/organizadores**. Paulo da Cunha Lana...[et al]. – Rio de janeiro: Museu Nacional, 2006. 156p., 28cm – (Série Livros, 22). Projeto RECOS – Uso e apropriação de Recursos Costeiros, Grupo Temática Biodiversidade e Qualidade Ambiental, 2006.

LAHOZ, R. A. L.; DUARTE, Francisco Carlos. **A universalização do serviço público de saneamento básico e a efetividade do direito fundamental à saúde**. Nomos, v. 35, n. 1. 2015.

LEMÉTAYER, M.; ODRESKI, L.F.R. **Elaboração e análise temporal espacial dos mapas de cobertura do solo da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição** – Florianópolis – SC (2011).

MARTINS, C. M. **Análise quantitativa da contribuição antrópica de drenagem fluvial na lagoa da conceição-sc**, 2016.

MPB Engenharia. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico**. Florianópolis, SC. 2010

PORTARIA, N°. 2.914. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**, Ministério da Saúde, 2011.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 6ª edição, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

SANDERS, T. G. et al. **Design of networks for monitoring water quality**. Denver, Estados Unidos: Water Resources Publications, LLC, 1983.

SILVA, J. C. et al. **Análise numérica da influência dos aportes fluviais e antrópicos sobre a hidrodinâmica residual e a qualidade da água da Lagoa da Conceição-Florianópolis-SC**. 2013.

SILVA, V. E. C. et al. **Análise espaço temporal do estado trófico de uma laguna costeira subtropical: Lagoa da Conceição, Florianópolis, Santa Catarina**. 2016.

SILVA, V. E. C. et al. **Space time evolution of the trophic state of a subtropical lagoon: Lagoa da Conceição, Florianópolis Island of Santa Catarina, Brazil**. RBRH, v. 22, 2017.

SISTE, C. E.; GIRAO, E. G.; DUNCAN, B. L. **Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento da qualidade da água-módulo III: avaliação físico-química**. Embrapa Agroindústria Tropical-Documentos (INFOTECA-E), 2011.

STRICKLAND, J. DH; PARSONS, Timothy Richard. **A practical handbook of seawater analysis**. 1972.

VAN KAICK, T. S. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná**. CEP, v. 81310, p. 900, 2002.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO**

BIOLÓGICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VOLLENWEIDER, R. A. et al. **Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index.** *Environmetrics: The official journal of the International Environmetrics Society*, v. 9, n. 3, p. 329-357, 1998.