

Victor Eduardo Cury Silva

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO ESTADO TRÓFICO DE UMA LAGUNA
COSTEIRA SUBTROPICAL: LAGOA DA CONCEIÇÃO, FLORIANÓPOLIS,
SANTA CATARINA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do Grau de mestre em
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Davide Franco

Coorientador: Prof. Dra. Alessandra Larissa D'a
Fonseca

Florianópolis
2016

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

Cury, Victor Eduardo Silva ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO ESTADO
TRÓFICO DE UMA LAGUNA COSTEIRA SUBTROPICAL: LAGOA DA
CONCEIÇÃO, FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA

/ Victor Eduardo Cury Silva Silva ;
orientador, Davide Franco ; Coorientadora, Alessandra Fonseca.
- Florianópolis, SC, 2016. 97 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Inclui referências 1. Engenharia Ambiental. 2. Lagunas Costeiras.
3. Eutrofização. 4. Lançamento de Efluentes. 5. Cargas de nutrientes.
I. Franco, Davide. II. Fonseca, Alessandra. III.
Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Victor Eduardo Cury Silva

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO ESTADO TRÓFICO DE UMA LAGUNA
COSTEIRA SUBTROPICAL: LAGOA DA CONCEIÇÃO, FLORIANÓPOLIS,
SANTA CATARINA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre ” e aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Florianópolis, 5 de maio de 2016.

Prof. Dr. Willian Gerson Matias
Coordenador do Curso

Prof.^a Dr. Davide Franco
Orientador
UFSC

Prof.^a Dr.^a Alessandra Fonseca
Corientadora
UFSC

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Henry X. Corseuil
UFSC

Profa. Dra. Alexandra R. Finotti
UFSC

Prof. Dr. Mauricio Petrucio
UFSC

Dr. Luis H.P. Garbossa
EPAGRI

Este trabalho é dedicado á minha família, aos meus amigos e a todos que não poupam esforços em buscar uma convivência saudável com os outros, consigo mesmo e com a biosfera.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus pela vida e por essa oportunidade de me qualificar neste trabalho. Agradeço aos meus pais, Wagner e Deise pelo apoio e dedicação incondicional. Aos meus irmãos Wagner e Vinicius que foram parceiros e conselheiros de todas as horas. A minha companheira Laura e ao meu amado filho Miguel que compartilham todos meus sonhos, alegrias e preocupações de todo caminho que percorri durante os dois anos de duração deste trabalho e que me fizeram amadurecer muito. A Carol e as minhas sobrinhas Flora e Alice pelas lições de alegria, afeto e expertise. Aos meus avós Salim, Palmira e a avó Ruth pelos exemplos de simplicidade e persistência na vida, aos meus tios e tias e ao sogro Hermes e a sogra Meire que de sua forma me incentivaram a conduzir este trabalho da melhor maneira possível. Aos amigos, Leandro, João, Kike, Felipe, Eduardo, Ivan, Tiago, a Fabí e a Sofi pelo exemplo e pela força!

Agradeço ao LaHiMar, ao professor Davide Franco que aceitou me orientar e fez isso em conteúdo e perspicácia de pesquisa e muito esforço de campo, a você professor, muito obrigado. Ao Laboratório de Oceanografia Química, á professora Alessandra Fonseca que colaborou muito com seu conhecimento, orientando o uso de equipamentos e análises em seu laboratório, além das inúmeras correções dos artigos.

Este trabalho contou com o banco de dados e levantamentos em campo onde muitas vezes as condições climáticas e logísticas foram difíceis, em sol e chuva, até a madrugada. Trabalhos maçantes por longas horas no laboratório, por isso gostaria de registrar a suma importância da colaboração de muitos pesquisadores que se tornaram amigos, devo citar aqui aos companheiros e as companheiras de laboratório, Carol, Alejandro, Anna, Pietro, Ana Carolina, Thiago, Rita, a professora Maria Luiza e a todos os demais amigos e professores.

Todos vocês são como faróis que vão iluminando o caminho, cada um à sua maneira, mas todos colaborando, muito obrigado!!!!

Á todos, muito obrigado.

"Nós somos o que pensamos.
Tudo o que somos surge de nossos pensamentos.
Com o pensamento, construímos e destruimos o mundo.
O pensamento nos segue como uma carroça segue a parelha de
bois. Nós somos o que pensamos.
Nossa imaginação pode lhe causar mais danos que o pior inimigo.
Mas, uma vez que conseguimos controlar o pensamento, temos a
ajuda mais poderosa, que nem mesmo nossos pais podem nos
dar."

(Autor: Buda Sidarta Gautama, 500 a. C.)

RESUMO

A entrada de nutrientes de fonte terrestre em corpos de água superficiais é um fenômeno natural, porém o aumento da população humana e a expansão das áreas urbanizadas sem planejamento urbanístico promove um incremento nas cargas de lançamento, acelerando o processo de eutrofização natural desses ambientes. Altos níveis de eutrofização em lagunas costeiras devido à atividade antrópica têm sido documentados em todo mundo, provocando impactos que podem levar a floração de algas tóxicas, hypoxia, anoxia, mortalidade de peixes, redução da biodiversidade e perda do estoque pesqueiro. A Lagoa da Conceição é uma laguna costeira estrangulada localizada em uma bacia hidrográfica urbanizada na região leste da ilha de Santa Catarina. A população residente da bacia hidrográfica que em 2000, segundo dados da prefeitura municipal de Florianópolis, era de 47mil chegou a 92mil habitantes em 2015. A taxa anual de crescimento populacional de 6,5% ao ano resulta mais de quatro vezes maior que o crescimento populacional médio do estado de Santa Catarina (1,5% ao ano). Esta dissertação avaliou a evolução do estado trófico da Lagoa da Conceição nos últimos 15 anos a partir da integração dos dados coletados em campo por vários autores ao longo do período. O diagnóstico do estado atual (2015) da laguna foi estimado por meio da medição de cargas lançadas para o corpo de água, em treze campanhas amostrais realizadas em cinco rios da bacia hidrográfica e quatro campanhas amostrais realizadas no corpo lagunar ao longo do ano. A análise da evolução do estado trófico com base no índice TRIX demonstrou dois períodos bem distintos. Até 2005 a laguna apresentava oligo-mesotrofismo, mas a partir de 2007 passou a ser eutrófica. As regiões da laguna mais afetadas estão na porção sul da laguna, onde foram registrados os máximos valores de índice trófico (hiper-eutrófico) e no subsistema central que apresenta hipoxia e anoxia nas águas de fundo, intensificadas pela forte estratificação da coluna d'água nesta região. Verificamos um aumento da estratificação vertical dessa região nos últimos anos, fato atribuído ao aumento gradual da salinidade de fundo e redução da salinidade da superfície, tornando o fundo deste setor mais suscetível ao acúmulo de nutrientes. A partir das campanhas realizadas em 2015 foram estimadas cargas anuais de lançamento de nutrientes de fonte terrestre que resultaram em 20,2 toneladas de nitrogênio na forma inorgânico dissolvido (NID) e 1,3 toneladas de fósforo na forma inorgânico dissolvido (PID). A produção de carga específica de nutrientes por unidade de área da bacia hidrográfica resultou de aproximadamente 260g N/m²ano e 17g P/m²ano, sendo maiores do que os valores de referência para risco de eutrofização. As regiões da Bacia Hidrográfica que possuem maior impacto nas cargas de lançamento de nutrientes foram a região norte (alta densidade demográfica) que apresentou as maiores cargas de NID (60,5%) e a segunda maior carga de PID (14,1%) com a menor vazão relativa a total (15,69%) e a região centro-sul (alta densidade urbana e populacional) que apresentou elevada proporção das cargas de NID (27,4%) e a maior carga de PID (44%), sendo que sua vazão é a segunda menor (17,72%). Sendo assim, sugere-se que ações de gestão dos sistemas de tratamento do esgoto sanitário deveriam ser priorizadas nestas duas áreas, já que estas representam grande parte das contribuições de efluente sanitário que podem ser tratados diminuindo assim os impactos antrópicos da urbanização da bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Laguna Costeira Estrangulada, Eutrofização, Anoxia, Cargas de nutrientes, Monitoramento Ambiental

ABSTRACT

The input of terrestrial source nutrients in surface water bodies is a natural phenomenon, but the increase of human population and the expansion of urbanized areas without urban planning promotes an increase in the nutrient loads, accelerating the natural eutrophication process of these environments. High eutrophication levels in coastal lagoons due to human activity have been documented worldwide, causing impacts that may lead to blooming of toxic algae, hypoxia and anoxia, fish mortality, reduction of biodiversity and stock of fishing. The Lagoa da Conceição is a choked coastal lagoon located in an urbanized watershed in the eastern region of the island of Santa Catarina. The resident population of the river basin in 2000, according to the Florianópolis prefecture, was 47 thousands reached 92 thousands habitants in 2015. The annual population growth rate of 6.5% per year results more than four times the growth average rate of the state of Santa Catarina (1.5% per year). This paper evaluated the evolution of the trophic state of Lagoa da Conceição in the last 15 years from the integration of data collected in the field by various authors over the period. The diagnosis of the current state (2015) of the lagoon was estimated by measuring rivers loads into the water body, through thirteenth survey campaigns in five rivers and four campaigns in the lagoon all over the year. The analysis of the evolution of the trophic state based on TRIX index showed two distinct periods. Until 2005 the lagoon had oligo-mesotrofismo, but from 2007 became eutrophic. The most affected lagoon regions are in the south of the lagoon portion where were recorded the maximum trophic index values (hyper-eutrophic) and the central subsystem that features hypoxia and anoxia in the bottom waters that are intensified by the strong vertical stratification of the water column in this region. We found an increase in stratification of the region in recent years, which was attributed to the gradual increase in the bottom salinity and reducing the salinity of the surface, making the bottom of this sector more susceptible to accumulation of nutrients. From campaigns in 2015 they were estimated annual nutrient loads release of terrestrial source resulted in 20.2 tons of nitrogen in the dissolved inorganic form (NID) and 1.3 tons of phosphorus in the dissolved inorganic form (PID). The production of specific nutrient load in the river basin area resulted approximately 260g N / m²ano and 17g P / m²ano, being higher than the reference values for risk of eutrophication. The regions of the basin that have greater impact on release of nutrient loads were the northern region (high population density) that had the highest loads of NID (60.5%) and the second largest PID load (14.1%) with the reduced flow on total (15.69%) and the south-central region (high-density urban and population) that showed high proportion of cargo NID (27.4%) and the highest PID load (44%), and second lowest flow rate of the basin (17.72%). Thus, it is suggested that management actions of the sewage treatment systems should be focused on these two areas, as these account for most of sanitary effluent contributions that can be treated so reducing human impacts in the basin.

Keywords: Choked Coastal Lagoons, Eutrophication, Anoxia, Nutrient loads, Environmental Monitoring

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área De Estudo E Mapa Batimétrico. Fonte: O Autor.	12
Figura 2 - Normais Climatológicas De Florianópolis. Fonte: Inmet, 1992	13
Figura 3 - Bacia Hidrográfica Da Lagoa Da Conceição – Unidades Hidrológicas E Bacias Hidrográficas: Fonte: Bier (2013).	15
Figura 4 - Tipo De Solo Na Bacia Hidrográfica Da Lagoa Da Conceição. Fonte: Lemétayer, 2011.....	17
Figura 5 - Padrões De Circulação Hidrodinâmica Residual Da Lagoa Da Conceição. As Setas Escuras Indicam Fluxos Residuais Dos Extremos Para A Porção Centro-Leste Da Laguna. Setas Veres E Vermelhas Indicam A Presença De Vórtices Ciclônicos E Anticiclônicos Respect	20
Figura 6 - Esquema Ilustrativo Das Dimensões Do Vertedor E Coleta De Amostra No Local (Sbh-30).....	25
Figura 7 - Pontos De Amostragem Para Campanha Integrada. Fonte: O Autor.....	26
Figura 8 - Esquema Conceitual Para O Cálculo De Estimativa De Cargas.....	30
Figura 9 - Vazão Dos Rios E Chuva Nas Sbh De Controle Da Bacia Hidrográfica Da Lagoa Da Conceição No Período De Monitoramento.....	36
Figura 10 - Vazão Média, Mínima E Máxima Estimada Para As 36sbh – As Cores: Vermelha – Uh Norte, Amarelo – Uh Leste, Preto – Uh Canal, Alaranjado – Uh Arenosa, Azul – Uh Centro Sul, Verde – Uh Oeste.	38
Figura 11 - Evolução Temporal Das Concentrações De Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (Nid) Nas Sbh De Controle Da Bacia Hidrográfica Da Lagoa Da Conceição No Período De Monitoramento.	40
Figura 12 - Evolução Temporal De Nh/Nid Nas Sbh De Controle Da Bacia Hidrográfica Da Lagoa Da Conceição No Período De Monitoramento.	41
Figura 13 - Evolução Temporal Das Concentrações De Pid Nas Sbh Da Bacia Hidrográfica Da Lagoa Da Conceição No Período De Monitoramento.....	42
Figura 14 - Evolução Temporal Da Razão N:P Nas Sbh Da Bacia Hidrográfica Da Lagoa Da Conceição No Período De Monitoramento– A Seta Vermelha Sinaliza O Valor De N:P = 16	43
Figura 15 - Concentração De E. Coli Nas Sbh – A Seta Vermelha Sinaliza O Valor De 1000 Nmp/100ml E A Seta Alaranjada De 200 Nmp/100ml.....	45
Figura 16 - Carga De Nid E Pid Por Sbh (Kg/Dia)	47
Figura 17 - Box-Plot Das Concentrações De Nitrogênio E Fósforo Da Entrada E Saída Da Ete Barra Da Lagoa. Fonte: Casan	50
Figura 18 - Box-Plot Das Concentrações De Nitrogênio E Fósforo Da Entrada E Saída Da Ete Lagoa Da Conceição. Fonte: Casan.....	51
Figura 19 - Mapa De Concentrações De Nitrogênio Na Forma Inorgânica Dissolvida (Nid) Na Lagoa Da Conceição No Ano De 2015 – Não Foram Utilizados Dados No Oceano, Portanto Os Valores Apresentados Nesta Região Podem Ser Desconsiderados.	55

Figura 20 - Mapa De Concentrações De Fósforo Na Forma Inorgânica Dissolvida (Pid) Na Lagoa Da Conceição No Ano De 2015 – Não Foram Utilizados Dados No Oceano, Portanto Os Valores Apresentados Nesta Região Podem Ser Desconsiderados.	57
Figura 21 - Mapa De Concentrações De Clorofila-A Na Lagoa Da Conceição No Ano De 2015 – Não Foram Utilizados Dados No Oceano, Portanto Os Valores Apresentados Nesta Região Podem Ser Desconsiderados.	58
Figura 22 - Mapa Da Razão Entre N:P Na Lagoa Da Conceição No Ano De 2015 – Não Foram Utilizados Dados No Oceano, Portanto Os Valores Apresentados Nesta Região Podem Ser Desconsiderados.	60
Figura 23 - O Mapa Com A Distribuição Dos Pontos Amostrais Utilizados Para Análises Da Qualidade Da Água Da Lagoa Da Conceição De 2001 Á 2015 – Estão Separados Por Quatro Regiões E Oito Setores Hidrodinâmicos.	62
Figura 24 - Índice De Estratificação Nos Setores Hidrodinâmicos	64
Figura 25 - Agrupamento Pelo Índice De Estratificação Para Os Setores Hidrodinâmicos Da Lagoa Da Conceição Utilizando O Método De Ligação Completa E Distancia Euclidiana	65
Figura 26 - Evolução Temporal Do Índice De Estratificação Na Laguna Ao Longo Do Período Avaliado. A Partir De 2003 É Possível Observar Um Aumento Gradativo Na Média Na Variância Dos Valores De Estratificação.	66
Figura 27 - Evolução Da Estratificação Da Coluna D'água No Setor C2 Da Laguna Ao Longo Do Período Avaliado.	67
Figura 28 - Evolução Da Temperatura Na Superfície E Fundo Do Setor C2	68
Figura 29 - Evolução Da Salinidade Na Superfície E Fundo No Setor C2.	69
Figura 30 - Dendograma Dos Oito Setores Hidrodinâmicos Da Lagoa Da Conceição Sobre Os Dados De Índice Trófico (Trix) De 2001 À 2015.....	70
Figura 31 - Resultados Obtidos A Partir Do Índice De Estado Trófico (Trix) Encontrados Na Lagoa Da Conceição No Período De 2001 Á 2015.	72
Figura 32 - Bloxplot Das Concentrações De Clorofila Por Setor Hidrodinâmico	73
Figura 33 - Evolução Temporal Dos Valores Do Trix Para A Lagoa Da Conceição Para O Período Monitorado. A Seta Evidencia O Aumento Significativo Do Nível Trófico Encontrado Ao Longo Do Período.	74
Figura 34 - Concentração De Nid E Pid Na Lagoa Da Conceição – De 2001 Á 2005.....	76
Figura 35 – Concentração De Nid Com Pid – De 2007 E 2015	77
Figura 36 - Mds Dos Dados De Parâmetros Nutricionais - Fatores Períodos E Localidade.....	78
Figura 37 - Mds Com Escala De Tamanhos Para Concentração De Oxigênio Dissolvido	79
Figura 38 - Mds Com Escala De Tamanhos Para Concentração De Clorofila-A.....	79
Figura 39 - Mds Com Escala Para Concentração De Nid	80
Figura 40 - Análise De Componentes Principais Para Todos Os Dados Segregados Por Localidade E Período De Amostragem. Os Dados Foram Sinalizados Pelo Período	

Amostrado – Período 1 Mesotrófico (2001 Á 2006) E Período 2 Eutrófico (2007 E 2015) – E Pelos Setores Da L	82
Figura 41 - Representação Das Mudanças Na Cadeia Alimentar Com O Processo De Eutrofização. Fonte: Adaptado De Effects Of Changing Environmental Conditions On Lagoon Ecology. Gamito 2005	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese Por Regiões Da Caracterização Hidrológica E Morfométrica Da Bacia Hidrográfica. Fonte: Bier (2013).	16
Tabela 2 – População Residente Por Distrito (Fonte: Campanário, 2007)	18
Tabela 3 - Descrição Das Ete'S Da Casan. (Fonte: Plano Municipal Integrado De Saneamento Básico De Florianópolis, Pmf – 2011)	18
Tabela 4 – Informações Integradas No Banco De Dados	22
Tabela 5 – Caracterização Geográfica E Populacional Das Sub-Bacias De Controle E Unidades Hidrológicas Monitoradas	23
Tabela 6 - Dados Levantados Nas Campanhas De Monitoramento Das Descargas Dos Rios	24
Tabela 7 - Descrição Dos Pontos De Amostragem	27
Tabela 8 - Limites De Concentração De N E P (Conama 357/05) Para Corpos De Água Salobra De Classe 2	31
Tabela 9 - Valores De Referência Para Estado Trófico De Lagos. Fonte: Adaptado De Wetzel (1983)	31
Tabela 10 - Distribuição Espacial Dos Dados E Estações Amostrais Seleccionados Para Análise De Tendência Espacial E Temporal	33
Tabela 11 - Valores Do Trix E Classificação Do Nível Trófico	34
Tabela 12 - Vazões Médias E Específicas Das Sbh De Controle – Foram Utilizadas Médias Geométricas Para Melhor Representar Os Valores Obtidos Pela Distribuição Lognormal Das Vazões.	37
Tabela 13 - Vazão Média Total Agrupada Por Região	39
Tabela 14 - Matriz De Correlação Não Paramétrica De Spearman Rnak Order Para As Variáveis Normalizadas	44
Tabela 15 - Cargas De Nid E Pid Estimadas Nas Sbh De Controle Monitoradas No Ano De 2015	46
Tabela 16 - Cargas Específicas Por Habitante E Por M ² Para As Uh Monitoradas	46
Tabela 17 - Cargas De Nid, Pid Estimadas E Contribuições Relativas De Cargas, Vazão, Área E População Por Unidade Hidrológica Para Bh Da Ldc	48
Tabela 18 - Eficiências De Tratamento Das Ete's Da Casan Localizadas Na Bacia Hidrográfica Da Lagoa Da Conceição	51
Tabela 19 – Concentrações De N E P Nas Entradas E Saídas Da Ete Barra Da Lagoa	52
Tabela 20 - Concentrações De N E P Nas Entradas E Saídas Ete Lagoa Da Conceição	52
Tabela 21 - Valores Médios Dos Parâmetros De Qualidade Da Água Medidos No Corpo De Água Da Lagoa Da Conceição Em 2015	53
Tabela 22 - Valores De “P” Das Múltiplas Comparações Para O Teste Post Hoc De Kruskal Wallis	67
Tabela 23 - Valores De “P” Para As Múltiplas Comparações Para O Teste Post Hoc De Kruskal Wallis	75

Tabela 24 - Valores De P Para Os Testes De Kolmogorov-Smirnov E Wald-Wolfowitz	75
Tabela 25 - Auto-Valores E Variâncias Explicadas Para Os Fatores Da Pca - Dados Do Período Oligo E Mesotrófico (Antes De 2006)	81
Tabela 26 - Correlação Das Varáveis Nutricionais E De Biomassa Planctonica Com Os Fatores Da Pca	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CASAN – Companhia Catarinense de Água e Saneamento
ETE – Estação de tratamento de Esgoto
FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Florianópolis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INME – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
LaHiMar – Laboratório de Hidráulica Marítima
MDS – Matriz de dissimilaridade dos dados
PCA – Análise de Componentes Principais
PMF – Prefeitura Municipal de Florianópolis
TRIX – Índice de Estado Trófico
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE SIMBOLOS

BH – Bacia Hidrográfica

Nh:NID – Fração da forma reduzida do nitrogênio inorgânico

NID – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido

OD – Oxigênio Dissolvido

PID – Fósforo Inorgânico Dissolvido

Razão N:P – Razão para nutriente limitante para produção primária

4SBH – Sub bacia Hidrográfica

SBHC – Sub bacia hidrográfica de Controle

UH – Unidade Hidrológica

Q_H – Componente Hidrológica da Vazão

Q_a – Componente Antrópica da Vazão

Q_{ps} – Vazão específica por unidade de área superficial da bacia de drenagem

W_{pca} – Carga específica per capta e per área superficial da bacia de drenagem

LISTA DE EQUAÇÕES

- Equação 1 – Vazão do vertedor
- Equação 2 – Vazão total das SBH
- Equação 3 – Vazão antrópica
- Equação 4 – Vazão hidrológica
- Equação 5 – Vazão antrópica específica (per capta)
- Equação 6 – Vazão hidrológica específica (per área)
- Equação 7 – Cargas por SBH
- Equação 8 – Cargas específicas (per capta, per área)
- Equação 9 – Cargas das SBH
- Equação 10 – Somatório das cargas para a BH

SUMÁRIO

SUMÁRIO	1
INTRODUÇÃO	3
1.1 Problemas de investigação	5
1.2 Campo de ação	5
2. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo Geral.....	6
2.2 Objetivos Específicos	6
3. REFERÊNCIAL TEORICO	6
3.1 Estuários	6
3.2 Laguna costeira e a influência dos fatores físicos na qualidade da água.7	
3.3 Ação antrópica na qualidade de corpos de água superficial – E. Coli.....8	
3.4 Processo de eutrofização antrópica	9
3.5 Ciclos biogeoquímicos.....	10
4. ÁREA DE ESTUDO.....	12
4.1 Ocupação do espaço urbano e Saneamento	18
4.2 Influência da circulação hidrodinâmica e implicações ecológicas	19
5. METODOLOGIA	21
5.1 Banco de dados de qualidade da água da laguna.....	21
5.2 Monitoramento dos rios	23
5.3 Amostragem no corpo lagunar	27
5.4 Métodos analíticos	28
5.5 Estimativa de lançamentos de cargas de nutrientes no corpo de água ..28	
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6.1 Vazão dos rios de controle.....	36
6.2 Concentrações de nutrientes e relações ecológicas nos rios.....	40
6.2 Concentrações de E. Coli nos rios.....	45
6.3 Estimativa de cargas de nutrientes lançadas pela BH na laguna	46

6.5 Eficiência das estações de tratamento de esgoto sanitário na Bacia Hidrográfica	49
6.6 Análise descritiva dos dados de qualidade da água da laguna em 2015	52
6.7 Setorização Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição	61
6.8 Evolução espaço temporal da estratificação da coluna d'água	63
6.9 Evolução espaço temporal do estado trófico	70
6.10 Efeitos da eutrofização nos ciclos biogeoquímicos	77
7. CONCLUSÃO	84
8. REFERÊNCIAS	85
ANEXO A –Procedimentos para análise de qualidade da água	97

1. INTRODUÇÃO

A destruição dos ecossistemas marinhos devido à ação antrópica representa um fenômeno em escala global que alcança proporções alarmantes (Halpern et al., 2008, 2015; Lotze et al., 2006) sendo que o aporte de nutrientes oriundos da indústria e da agricultura constitui uma das maiores causas da degradação em zonas costeiras (Gesamp, 2001). Por outro lado, nos países em desenvolvimento as elevadas taxas de ocupação urbana associadas a deficiências tecnológicas e à má gestão pública tornam o lançamento de descargas sanitárias uma das mais preocupantes fontes de poluição em corpos hídricos costeiros (Dsikowitzky et al., 2016; Miranda, Castro, & Kjerfve, 2002; Roversi et al., 2016; Wetz, Hayes, Fisher, Price, & Sterba-Boatwright, 2016).

Lagunas costeiras constituem ambientes aquáticos semifechados de transição com elevado valor socioeconômico o que os torna ambientes muito suscetíveis à ação do ser humano. Em particular lagunas estranguladas são caracterizadas por apresentar elevado tempo de residência associado a pequenas taxas de renovação de água o que resulta em acúmulo de nutrientes, sedimentos e matéria orgânica (Bianchi, 2006; Hung & Hung, 2003; Ekau & Knoppers, 2003; Kjerfve, 1994; Knoppers & Kjerfve, 1999; Miranda et al., 2002). Nestes ambientes a excessiva descarga de nutrientes provocam alterações que conduzem a diferentes níveis de eutrofização que resultam no declínio da biodiversidade, alteração de cadeias alimentares, danos à saúde do ser humano e prejuízos econômicos e sociais dificilmente mensuráveis (Gasalla & Rossi-Wongtschowski, 2004; Nixon, 1995; Rabalais & Turner, 2009; Tundisi, 2003).

A Lagoa da Conceição localizada na porção centro sul da costa de Santa Catarina desempenha um papel de destaque como fonte de recursos e serviços ecossistêmicos sendo local de abrigo e reprodução para diversas espécies de organismos marinhos (Borgo et al., 2015; Branco & Verani, 1997; Ledo, 1999; Ribeiro, Clezar, & Hostim-Silva, 1999). Ao mesmo tempo a laguna é amplamente utilizada para pesca, turismo e esportes diversos representando uma fonte importante de incrementos para diversos setores do comércio local bem como para o Município. bem como. Ao longo das últimas décadas este ambiente vem sofrendo com o aumento do crescimento urbano desordenado e uma notável alteração no uso e ocupação da sua bacia hidrográfica. Estudos populacionais realizados por Campanário (2010) indicam que a população urbana no entrono da laguna cresceu 93,19% do ano de 2001 á 2015 a uma taxa de 6,3% ao ano, sendo que a taxa referente ao Estado de Santa Catarina para o mesmo período foi de 1,5% ao ano

(Campanario, 2007). Além disso, segundo O Plano Municipal Integrado De Saneamento Básico, para a Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição a fração da população atendida pela rede de coleta de esgoto sanitário é de 15% (MPB, 2010). Na Lagoa da Conceição podem ser notados os efeitos da eutrofização artificial, pelo aumento da forma reduzida de nitrogênio, o N-amoniacal, a proliferação de macroalgas oportunistas e a falta de oxigênio nas águas de fundo da região central favorecida pela acentuada estratificação da coluna d'água e pela pequena troca de água com o mar adjacente (Fonseca, 2006 ; Fontes et al,2011). Atualmente eventos anóxicos se apresentam em aproximadamente 400 sistemas costeiros no mundo, incluindo a Lagoa da Conceição.

Ao longo dos últimos 20 anos diversos estudos na laguna vêm contribuindo com dados importantes para uma melhor compreensão da evolução dos impactos antrópicos neste ambiente (Fonseca, 2004; Fonseca, 2006; Fonseca, Braga & Eichler; M. L. Fontes, 2009; M. Fontes, Suzuki, Cottrell, & Abreu, 2011; Odrzeski, 2012). Contudo, a integração destes dados ainda representa uma lacuna para o conhecimento da qualidade da água do corpo de água da laguna.

Para o entendimento dos impactos da urbanização não planejada na Lagoa da Conceição, o Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMar) deu início a uma linha de pesquisa sobre este sistema estuarino, tripla interface entre continente, oceano e atmosfera, em meados de 2004. Os estudos pretendiam responder a perguntas básicas sobre os processos de advecção e dispersão no corpo de água, que dependem em menor ou maior grau de vários componentes, os quais são possivelmente influenciados pela intervenção antrópica. Os pressupostos dos trabalhos do laboratório são:

- Qualquer tipo de escoamento é conduzido pela forma e características do condutor, nesse caso a batimetria e a rugosidade de fundo da laguna.
- O gradiente de nível entre a laguna e o oceano define fluxos em entrada e saída pelo canal de acesso: o nível na laguna é controlado pelas entradas de descarga hidrológica, e o nível oceânico é definido pela maré astronômica e pelo nível meteorológico forçado por ventos paralelos à costa em escala sinótica.
- A distribuição no tempo de eventos de precipitação como as características morfológicas e o uso e ocupação do terreno da bacia hidrográfica controlam a descarga de água no corpo lagunar.
- A tensão de cisalhamento devida ao soprar do vento diretamente sobre a superfície livre da Lagoa impõe padrões de recirculação horizontal, como de mistura na coluna de água.

Evidencia-se a incidência do homem sobre todos os processos:

- Alteração da batimetria causada pela retificação do canal e construção do mole que mudou o sistema estuarino de intermitente para estacionário
- Novos padrões de hidrodinâmicos, salinidade e temperatura causados pela abertura do canal.
- O crescimento na ocupação das bordas da laguna, e a modificação no uso do solo, mudam o balanço sedimentar da laguna.
- O aumento de descargas de nutrientes difusas e pontuais (eutrofização causada pelo homem).

Seguindo os pressupostos de pesquisa do laboratório, o presente trabalho objetiva identificar a variabilidade espaço-temporal do estado trófico e dos ciclos biogeoquímicos da Lagoa da Conceição frente a crescente pressão antrópica nos últimos 15 anos.

1.1 Problemas de investigação

- Perda da qualidade da água e efeitos da urbanização na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, ;
- Falta de integração dos resultados e dados de observações experimentais de qualidade da água, morfologia e hidrologia da bacia hidrográfica, simulações hidrodinâmicas do corpo de água e estudos populacionais necessários para análise ecossistêmicas na área de estudo;
- Inexistência de informações sobre as descargas de nutrientes pelas via hidrológicas que possibilitem avaliar o impacto urbano no corpo de água em estudo.

1.2 Campo de ação

- Biogeoquímica ambiental;
- Qualidade da água;
- Hidrologia de bacia hidrográfica;
- Hidrodinâmica lagunar e estuarina;
- Estatística voltada para análise ecossistêmica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar a variabilidade espaço-temporal do estado trófico e dos ciclos biogeoquímicos de nitrogênio e fósforo da Lagoa da Conceição, frente a crescente pressão antrópica sofrida nos últimos 15 anos.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos propostos para este trabalho são:

A) Coletar e integrar resultados e dados de observações experimentais de qualidade da água, morfologia e hidrologia da Bacia Hidrográfica, simulações hidrodinâmicas do corpo de água e estudos populacionais necessários para análise ecossistêmicas nos últimos 15 anos;

B) Avaliar a produção de carga de nutrientes pela bacia hidrográfica e as condições atuais de qualidade da água;

C) Avaliar o processo de eutrofização da laguna e verificar a tendência de evolução temporal;

D) Verificar os padrões de distribuição espacial de nutrientes, oxigênio, temperatura, salinidade e clorofila e relaciona-los com a hidrodinâmica residual da laguna;

E) Verificar mudanças nos processos biogeoquímicos da Lagoa da Conceição nos últimos 15 anos.

3. REFERÊNCIAL TEORICO

3.1 Estuários

Estuários são corpos de água situados na interface entre o continente e o oceano, onde se encontram as massas d'água fluviais e oceânicas. Este ecossistema dinâmico possui uma das maiores biodiversidades e produtividade do mundo (Bianchi, 2007). A produção pesqueira e o enriquecimento por nutrientes, via as descargas estuarinas, possuem correlação positiva em muitos sistemas costeiros no mundo (Nixon et al, 1986 ; Caddy, 1993; Houde and Rutherford, 1993 aput Bianchi, 2007). Além disso por ser um corpo de água extremamente produtivo em termos de nutrientes e fitoplanctons, em geral os sistemas estuarinos servem como local de

alimentação e reprodução de muitas espécies de peixes marinhos e de água doce, podendo ou não ter todos seu ciclo de vida no estuário. (Paiva, 2009)

Pela importância da geomorfologia nos processos físicos e biogeoquímicos dos corpos de água os estuários podem ser classificados como planície costeira (apresentando áreas alagadas), rios de marés, deltas e lagunas costeiras (Bianchi, 2007).

3.2 Laguna costeira e a influência dos fatores físicos na qualidade da água

Segundo Miranda et al. (2002) lagunas costeiras são corpos de água rasos, com profundidade entre 1 à 10 metros, geralmente orientados paralelo a costa e que se comunicam com o mar através de um ou mais canais, podendo ser intermitentes ou perenes. As lagunas costeiras são ambientes transitórios e nelas ocorrem importantes processos de mistura da água continental e oceânica. Os processos de circulação interna nas lagunas e a troca de água com o oceano são aspectos relevantes para o equilíbrio desses ecossistemas (Rocha, 2007). Em geral as lagunas costeiras possuem tempo de residência de suas águas superiores aos rios de maré e deltas, o que os tornam mais suscetíveis a alterações ecológicas provocadas pelo homem (Bianchi, 2007).

Em uma escala global, as lagunas costeiras margeiam cerca de 13% da zona costeira (Miranda et al, 2002), são formações geologicamente recentes e de acordo com as suas características de ligação hidrodinâmica com o mar podem ser classificadas como:

- Lagunas sufocadas: ambiente costeiro formado por células elípticas, conectado ao mar por somente um canal estreito que funciona como um filtro, atenuando as oscilações de maré dentro da laguna.
- Lagunas restritas: ambiente costeiro amplo com dois ou mais canais estreitos e a circulação é forçada pela maré bem definida.
- Lagunas vazadas ou abertas: sistema marinho alongado com entradas múltiplas onde as amplitudes de maré são moderadas ou grandes.

Lagunas costeiras sufocadas são consideradas ambientes que apresentam energias de transporte e dispersão que variam no tempo (devido ao regime de chuvas e oscilações de nível oceânico) e no espaço (dependendo da proximidade das entradas hidrológicas, do canal de ligação com o mar e da sua batimetria) podendo caracterizar regiões bem misturadas e outras com padrões de deposição de material (Miranda et al, 2002). Ainda existem regiões que apresentam estrutura de estratificação termohalina estável, o que se apresenta como mais um fator limitante para o transporte e mistura no eixo vertical, caracterizando a existência de duas massas d'águas (Kjerfve, 1994).

Os fatores de direção e energia de um escoamento definem se existe energia cinética suficiente para haver transporte de nutrientes dissolvidos e particulados ou poluentes no ambiente, ou se estes tendem a se depositar em determinada área. Por este motivo existem regiões diferentes dentro de um mesmo corpo de água, ou seja, regiões com características hidrodinâmicas diferentes possibilitam diferentes tempos de residência de nutrientes, diferentes concentrações residuais de parâmetros de qualidade da água, e por consequência diferentes habitats no mesmo corpo d'água (Bianchi, 2007).

3.3 Ação antrópica na qualidade de corpos de água superficial – E. Coli

A carga de efluentes domésticos recebida pelo corpo de água superficial depende das características da bacia hidrográfica, primariamente da população urbana residente na bacia hidrográfica e das suas condições sanitárias. A recuperação desses ecossistemas implica em grandes gastos e seu controle dependem de ações que se iniciam nas bacias hidrográficas e nas fontes pontuais de descarga de nutrientes (Tundsi, 2003).

As características dos efluentes domésticos são bastante variadas em função dos hábitos da população, da situação econômica e social, e das condições climáticas da região. Em geral os esgotos são compostos por 99,9% de água e o restante de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e microrganismos, como bactérias, fungos, protozoário, vírus e helmintos. A presença de alguns destes microrganismos nos efluentes domésticos podem causar doenças em animais e/ou homes, como: Disenteria bacilar, Enterite, Cólera, Gastroenterite, Leptospirose, Febre paratifoide, Salmonella, Febre tifoide, Hepatite infecciosa, Doenças respiratórias, Gastroenterite, Meningite, Poliometite, Disenteria amebiana, Giardíase, Criptosporidiose, Balantidíase, Ascaridíase, Tricuríase (Von Sperling, 2005).

A *Escherichia coli* é a principal bactéria do grupo de coliformes termotolerantes, sendo abundantes nas fezes humanas e de animais. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas a contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros (WHO, 1993). Atualmente, há uma tendência em se utilizar predominantemente *E. coli* como indicador de contaminação fecal, por ser a única que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal, porém não dá garantia de que a contaminação seja humana, já que *E. coli* pode ser encontrada também em fezes de outros animais de sangue quente (Von Sperling, 2005). De acordo com Von Sperling (2005), a contribuição per capita de *E. coli* pode variar, em média, entre 10^8 e 10^{11}

organismos/habitante.dia e sua concentração em esgoto bruto é na ordem de 10^5 a 10^8 NMP/100mL. Já Metcalf & Eddy (2002) considera a concentração de E. coli em esgoto bruto na faixa de 10^6 a 10^8 NMP/100mL.

3.4 Processo de eutrofização antrópica

A eutrofização é definida como o processo de enriquecimento de nutrientes (em especial nitrogênio e fósforo) e matéria orgânica em corpos d'água além de um incremento na produção primária (Nixon, 1995). A eutrofização de ambientes aquáticos costeiros é reconhecidamente um dos principais problemas ambientais globais (Cloern, 2001 e Bricker et al, 2003). Pesquisas recentes demonstraram que 53% dos lagos europeus se encontram eutrofizados, o mesmo acontecendo a 28% dos situados na África, 48% e 41% dos que se localizam, respectivamente, na América do Norte e na América do Sul, enquanto no continente asiático essa proporção atinge 54% (Chorus & Bartram, 1999). Os impactos mais visíveis da eutrofização são a ocorrência de espumas superficiais, afloramentos exponenciais de algas ou cianobactérias e de plantas macrófitas flutuantes ou enraizadas (Santos, 2004). Porém o processo de eutrofização resulta no declínio da biodiversidade, alteração de cadeias alimentares, danos à saúde do ser humano e prejuízos econômicos e sociais dificilmente mensuráveis (GASALLA & ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 2004; NIXON, 1995; RABALAIS & TURNER, 2009; TUNDISI, 2003).

Para avaliar o processo de eutrofização foram definidos valores de referência para concentrações de nutrientes no corpo de água, desenvolvidos índices de estado trófico que combinam concentrações de nutrientes, oxigênio e clorofila-a que é indicador de produção primária (Vollenweider et al, 1998). Além de valores de referência para concentração de nutrientes e biomassa no corpo de água, também são utilizados métodos de estimação de valores de produção de cargas de nutrientes por km² de área de bacia hidrográfica por dia. Os processos que regulam as fontes (ganhos) ou sumidouros (perdas) de nutrientes no estuário são: i) os fluxos advectivos e difusivos; ii) reações químicas, (precipitação, adsorção, desorção e floculação); iii) assimilação biológica de nitrogênio e denitrificação; iv) degradação da matéria orgânica e excreção de animais (Pritchard & Schubel, 1981). A fixação de carbono e a produtividade primária são controladas, principalmente, pela entrada de nutrientes inorgânicos dissolvidos e pela radiação incidente (Jorgensen et al, 2012).

3.5 Ciclos biogeoquímicos

Ciclos biogeoquímicos envolvem as interações entre processos biológicos, químicos e geológicos na determinação de produção, consumo e fluxos de determinados elementos químicos pelos diferentes reservatórios em um ecossistema. No caso de estudos que envolvem análises ecológicas e mudanças globais por efeito antrópico os principais elementos utilizados são Nitrogênio, Fósforo e Oxigênio Dissolvido (Campos et al, 2002 e Bianchi, 2007).

O nitrogênio é uma espécie química indispensável para composição de aminoácidos e por consequência o DNA e o RNA de todos os seres vivos. Aproximadamente 80% do volume de gases que compõem a atmosfera terrestre é nitrogênio na forma não reativa N_2 . Por ser um macronutriente indispensável para o crescimento de micro e macroalgas suas concentrações controlam boa parte do metabolismo dos ecossistemas aquáticos e, portanto, influencia os ciclos de vida nesses ambientes.

Os principais processos envolvendo a entrada de nitrogênio em estuários e lagunas costeiras são:

- Fixação biológica de N_2 atmosférico.
- Entrada de efluentes urbanos
- Lixiviação natural dos ecossistemas adjacentes

No ambiente aquático ocorrem os seguintes processos:

- Amonificação - $N_{ORG} \rightarrow NH_4^+$
- Nitrificação - $NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$
- Desnitrificação - $NO_3^- \rightarrow N_2$
- Redução dissimulatória - $NO_3^- \rightarrow NH_4^+$
- Anammox - $NH_4^+ + NO_3^- \rightarrow NH_4^+$

No corpo de água ocorrem regiões com diferentes processos dominantes.

O ciclo do fósforo é especialmente importante por ser em geral o nutriente limitante da produção primária. O fósforo é constituinte do material genético (DNA e RNA) e da membrana celular (fosfolipídios), assim como das moléculas que transformam e transportam energia (ATP, ADP... etc).

As entradas de fósforo para os ambientes aquáticos podem ser na forma dissolvida ou particulada que ainda podem ser subdivididas na forma dissolvida orgânica e inorgânica (POD, PID) e nas formas particuladas orgânicas e inorgânicas (POP e PIP). Em escala de tempo ecológica as formas de fósforo tem sido estudadas em termos de fósforo reativo ou fósforo biodisponível que em grande parte é composto pela forma inorgânica dissolvida (orto-fosfato) e na forma orgânica dissolvida (açúcares fosfatados, fósforoproteínas e fosfolipídios) (Bianchi, 2007).

O armazenamento e liberação gradativa do fósforo pelos sedimentos de fundo também é de grande importância para seu ciclo. São os processos de adsorção e desorção, além dos processos de liberação do fósforo fortemente adsorvido na matriz geoquímica do sedimento. Os fatores que governam esses processos são a temperatura na coluna d'água, a salinidade, pH e as concentrações de oxigênio.

A concentração de oxigênio possui grande influência no metabolismo dos ecossistemas aquáticos. Sua presença significa maior liberação de energia livre nos processos de respiração, consequentemente, a concentração do oxigênio influencia os ciclos de nutrientes (Testa & Kemp, 2011).

Os processos que governam a concentração de oxigênio nos ambientes aquáticos de natureza física são:

- Entrada por solubilização na interface da água com a atmosfera
- Entradas de oxigênio dissolvido via fluvial ou oceânica;

As entradas de natureza biológica são:

- Fotossíntese, que é controlada pela quantidade de nutrientes e luz;
- A depleção das concentrações de oxigênio no ambiente aquático é dirigida pelos processos de:
- Oxidação da matéria orgânica
- Nitrificação
- Respiração.

4. ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa da Conceição é uma laguna costeira localizada no paralelo 27°34' de latitude sul e meridiano 48°27' de longitude oeste (Figura 1). Possui uma área de lamina d'água de 24 km², volume de 66.648.179 m³ e uma área total da bacia hidrográfica de 78 km² (Aeroconsult, 2012 ; Bier, 2013).

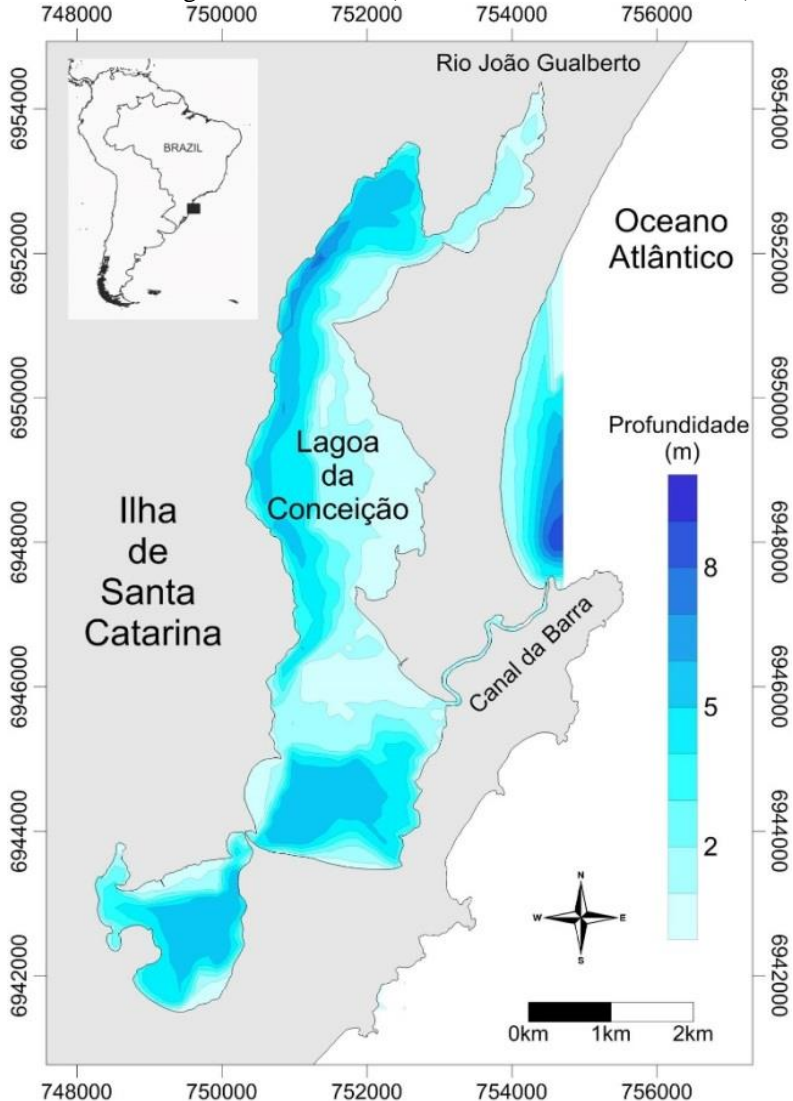


Figura 1 - Área de Estudo e mapa batimétrico. Fonte: O autor.

De acordo a classificação de Köppen, o clima na região é mesotérmico úmido de zona intermediária subtropical. Possui elevados índices pluviométricos, com precipitações significativas e bem distribuídas ao longo do ano. A Figura 2 apresenta as normais climatológicas observadas em Florianópolis de 1961 à 1990.

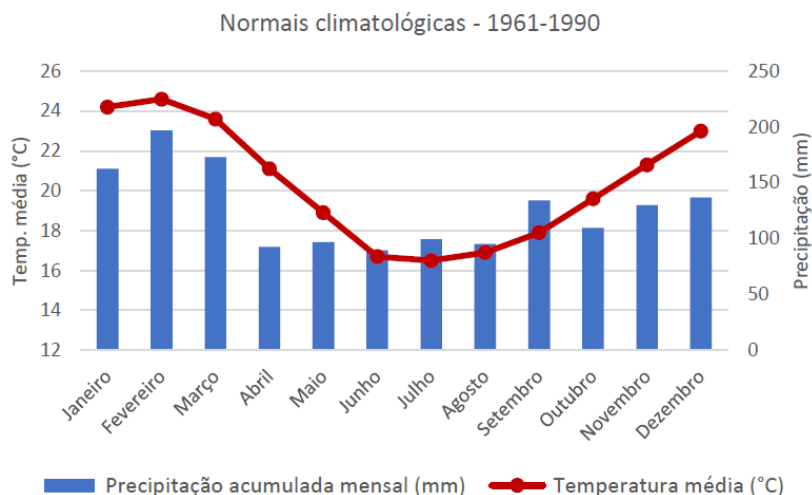


Figura 2 - Normais climatológicas de Florianópolis. Fonte: INMET, 1992

De acordo com a classificação de lagunas costeiras estabelecida anteriormente, a Lagoa da Conceição é uma laguna sufocada, formada por células elípticas, conectada ao mar por somente um canal estreito que funciona como um filtro, atenuando as oscilações de maré dentro da laguna. Um canal meandrante de 20 à 40 metros de largura e de 2,8 km de extensão (canal da Barra da Lagoa) liga a laguna ao oceano. Em 1982 o canal foi estabilizado com sua retificação, dragagem e a construção de molhes na sua desembocadura para o mar. Antes destas retificações a barra do canal fechava nos meses de menor regime de chuvas (outono / inverno) deixando o corpo de água isolado do oceano por meses. Eventos de chuva intensa e/ou ressacas de maior energia conseguiam quebrar a barra e reestabelecer o fluxo, o que ocorria geralmente nos meses de primavera e verão. Isto fazia o corpo de água ter características de intermitência entre ambientes, hora mais doces e hora mais salgadas e bem distintos devida a influência do mar não ser constante.

O Canal da Barra da Lagoa funciona como um filtro natural da maré, reduzindo a energia da maré astronômica, prevalecendo as variações na escala meteorológica (Odreski, 2012 e Silva, 2013). Após a construção dos moles do Canal da Barra, Sierra de Ledo et al. (1999) verificou que o volume de água que entra durante a preamar contribui com cerca de 4% da taxa de renovação da água da Lagoa. Segundo Porto Filho (1993) cerca de 50% da área e 53,50% do volume encontra-se em profundidades menores que 2 metros.

Bier (2013) estudou a caracterização da rede hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição para agrupar sub-bacias hidrográficas e unidades hidrológicas por semelhança de parâmetros morfométricos, de permeabilidade, de proximidade para cada curso de água sazonal ou perene. O resultado foi um mapa com 36 sub-bacias hidrográficas agrupadas em 6 unidades hidrológicas com características geomorfológicas distintas (Figura 3).

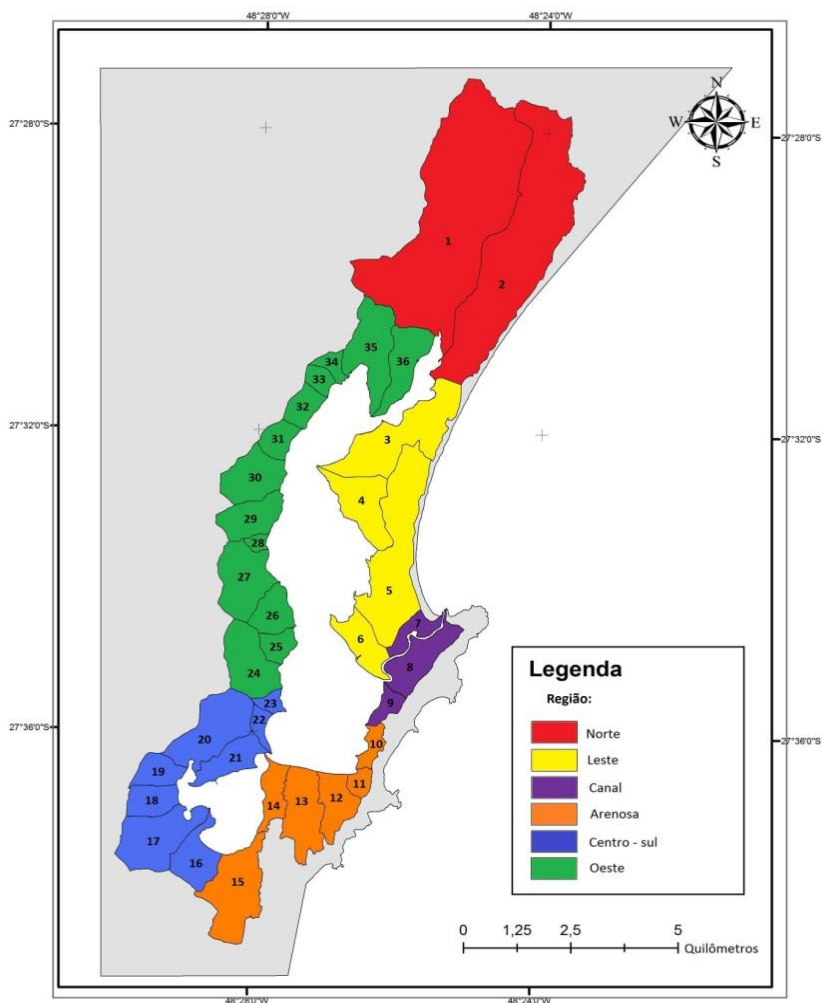


Figura 3 - Bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição – Unidades Hidrológicas e Bacias Hidrográficas: Fonte: Bier (2013).

A UH (Unidade Hidrológica) Norte compreende as duas maiores sub-bacias hidrográficas (Rio João Gualberto e Rio Vermelho) aproximadamente

35% da área de abrangência total, o que faz com que a contribuição hidrológica deste setor tenha grande relevância. A UH-Leste tem sub-bacias com uma alta permeabilidade do solo devido ao tipo de solo (areia quartzóica) e baixo índice de assentamento urbano, assim, a contribuição hidrológica é quase nula, e praticamente toda a chuva infiltra no solo, mesmo em condições de elevada umidade do solo. A UH do Canal tem solo composto de areias marinhas, sendo que grande parte do escoamento superficial nesta região é descarregada no canal da Barra da Lagoa. A UH Arenosa é uma região com baixa contribuição hidrológica, bem como no setor oriental, tem características do solo composto por dunas de areia marinha e quartzóicas, que por sua vez facilita a infiltração no solo, tendo assim baixo escoamento, no entanto esta região tem considerável urbanização. A UH centro sul engloba a parte mais urbanizada da bacia, que são os bairros do Canto da Lagoa e Centrinho Lagoa, a contribuição hidrológica é relevante, cerca de 17% do total. A UH oeste é o grupo com o maior número de sub-bacia, que são caracterizados por serem pequenos em comparação com os outros, bem arborizado, baixa urbanização e alta inclinação média de talvegue, mesmo tendo uma densa vegetação, o escoamento superficial é o mais alto da bacia, o tipo de solo é Argissolo, com uma baixa infiltração de água, portanto, um elevado escoamento. A Tabela 1 apresenta a área, declividade e uso do solo das seis unidades hidrológicas da bacia hidrográfica.

Tabela 1 - Síntese por regiões da caracterização hidrológica e morfométrica da Bacia Hidrográfica. Fonte: Bier (2013).

Unidade Hidrológica	Nº sub-bacias	Área (Km ²)	Declividade média do talvegue (m/m)	Urbanização (%)	
Norte	2	21,22	34,4%	0,021	9,7%
Leste	4	9,99	16,2%	0,003	2,9%
Canal	3	2,34	3,8%	0,137	17,0%
Arenosa	6	6,65	10,8%	0,029	11,7%
Centro Sul	8	8,57	13,9%	0,153	12,5%
Oeste	13	13,00	21,0%	0,245	0,6%
	Total	Total	Total	Média	Média
Lagoa da Conceição	36	61,77	100,0%	0,180	9,1%

Além da área, urbanização e declividade de uma bacia hidrográfica, o tipo de solo influencia as condições de permeabilidade e escoamento superficial, além do balanço de nutrientes dissolvidos. A Figura 4 apresenta

o mapa com o tipo de solo feito com dados de Lemétayer (2011), na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.

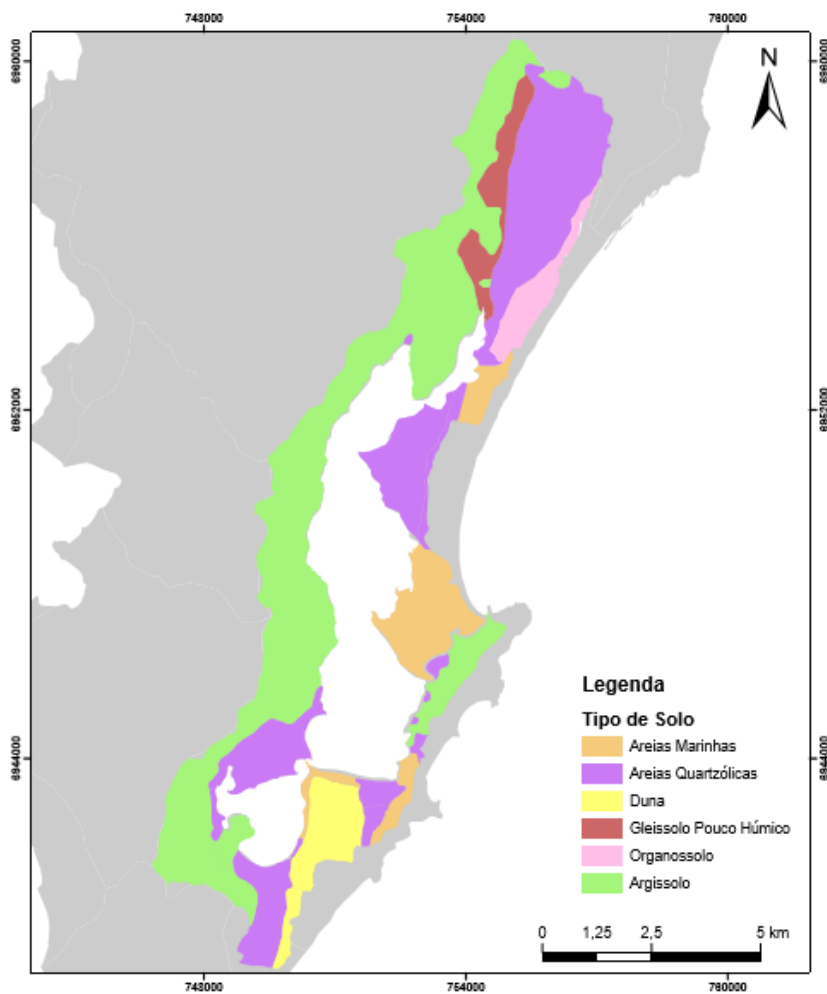


Figura 4 - Tipo de solo na Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.
Fonte: Lemétayer, 2011.

4.1 Ocupação do espaço urbano e Saneamento

A Lagoa da Conceição representa um dos maiores atrativos turísticos da Ilha de Santa Catarina, e experimentou ao longo das últimas décadas um desordenado crescimento urbano e uma notável alteração no uso e ocupação da bacia hidrográfica na qual é inserida. Estudos populacionais realizados por Campanario (2010) indicam que a população urbana na BH cresceu 93,19% do ano de 2001 á 2015, ou seja, 6,3 % ao ano, sendo o valor para o estado de 1,5% ao ano no mesmo período (IBGE 2005). Na Tabela 2 a seguir é possível verificar a evolução da povoamento e urbanização dos distritos na bacia hidrográfica.

Tabela 2 – População residente por distrito (Fonte: Campanário, 2007)

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	21.741	30.427	41.284
Porto da Lagoa	3.329	4.581	6.593
TOTAIS			
Bacia Hidrográfica da Lagoa	47.608	66.450	91.972
Crescimento relativo a 2001 (%)	0.00	39.58	93.19

A CASAN possui duas estações de tratamento de esgotos sanitários (ETE) na área de estudo. Uma localizada no distrito Lagoa da Conceição e outra localizada no distrito Barra da Lagoa. As informações sobre os sistemas de tratamento de cada uma das ETE´s estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição das ETE´s da CASAN. (Fonte: Plano municipal integrado de saneamento Básico de Florianópolis, PMF – 2011)

ETE	Pré-tratamento	Etapa anaeróbia	Etapa aeróbia	Desinfecção	Destino final
Lagoa da Conceiç	Gradeamento Caixa de areia	-	Valo de oxid: (lodos ativados)	Adição de Cloro	Dunas (evapo- infiltração)
Barra da Lagoa	Gradeamento	Reator UASB	Tanque de oxidaç (lodos ativados)	Adição de Cloro	Infiltração

Segundo o Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico (MPB, 2010), o sistema do distrito do centro da Lagoa da Conceição atende uma

população de 7.932 habitantes do total de 41.284 moradores no ano de 2015, ou seja, aproximadamente 19% dos moradores. O outro sistema de tratamento (barra da lagoa) atende 4.165 habitantes do total de 19.063 moradores dos bairros da barra da lagoa e costa da lagoa, ou seja, 21% de atendimento nestes dois bairros. Os demais distritos da bacia hidrográfica não possuem cobertura por rede de tratamento de esgoto. Ao todo são atendidas 12.097 habitantes pelas duas ETE's, sendo que em 2015 o total de moradores da bacia hidrográfica é de 91.972 habitantes, ou seja, existe uma cobertura por rede de coleta de esgotos sanitários de menos de 15% de atendimento.

Utilizando os dados históricos das análises de balneabilidade da FATMA (órgão ambiental municipal), 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.

4.2 Influência da circulação hidrodinâmica e implicações ecológicas

Além da qualidade da água, a hidrodinâmica da laguna também é governada pelas entradas de água doce distribuídas predominantemente ao longo da margem norte, oeste e sul do corpo de água, juntamente com as variações de nível do mar em escala meteorológica. Com a intenção de verificar os padrões de circulação hidrodinâmica na Lagoa da Conceição, Silva (2013) realizou um estudo de modelagem hidrodinâmica em duas dimensões. Os resultados indicam que o transporte residual se dá no sentido norte para o centro e do sul para o centro e um escoamento resultante para fora do sistema em direção ao oceano, evidenciando a importância dos aportes de água doce. Na Figura 5, podemos visualizar os padrões de circulação do corpo de água.

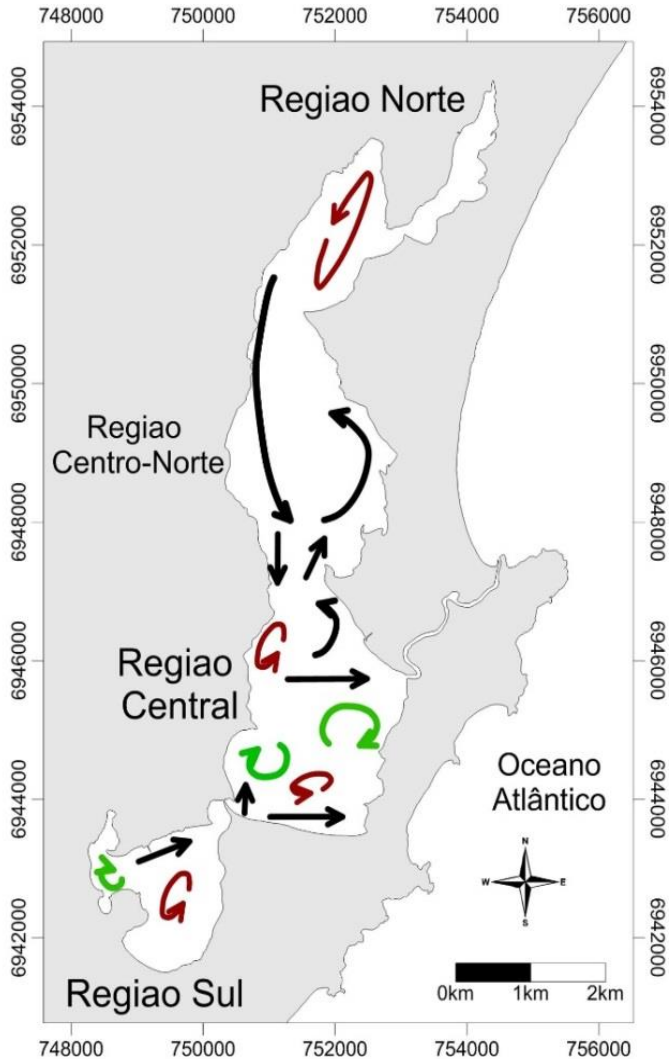


Figura 5 - Padrões de circulação hidrodinâmica residual da Lagoa da Conceição. As setas escuras indicam fluxos residuais dos extremos para a porção centro-leste da laguna. Setas verdes e vermelhas indicam a presença de vórtices ciclônicos e anticiclônicos respect

Os giros ciclônicos e anticiclônicos possuem componentes de espalhamento vertical resultante, no hemisfério sul, o giro ciclônico provoca

ressuspensão de material particulado e dissolvido no sentido do fundo para superfície, já os giros anti-ciclônicos possui componente vertical para baixo, acumulando material da superfície para o fundo do corpo de água (Gómez, 2008).

Foram verificados muitos pontos de hipoxia e anoxia em uma grande porção das águas de fundo da região central, onde existem giros anti-ciclônicos que acumulam material da superfície para o fundo, fortalecendo a estratificação da coluna d'água, que já foi verificada por outros autores (Fonseca et al, 2002, 2004, 2006; Fontes et al, 2004, 2009, 2009). Fontes 2009 encontrou uma grande predominância de bactérias anoxigênicas fototróficas nesta região que possuem metabolismo anóxico e são responsáveis pela ciclagem dos nutrientes neste compartimento. Nesses ambientes fica termodinamicamente favorável a oxidação da matéria orgânica utilizando nitrato, sulfato, e outras fontes de terminais de elétrons diferentes do oxigênio dissolvido. Este metabolismo anóxico libera menor quantidade de energia e produzem gases que são poluentes atmosféricos e podem ser tóxicos em elevadas concentrações como o - H₂, CH₄, H₂S, N₂O (Esteves, 2011).

5. METODOLOGIA

Para a realização dos objetivos foram utilizados as seguintes metodologias: A) Construção de um banco de dados da qualidade da água da laguna dos últimos 15 anos; B) Campanhas de monitoramento da vazão e concentrações de nutrientes dissolvidos, clorofila a e coliformes no exutório de cinco rios da bacia hidrográfica; C) Quatro campanhas para medição de parâmetros de qualidade da água na laguna em 2015; D) Estimativa de lançamentos de cargas no corpo de água; E) Análise espaço temporal da homogeneidade das massas de água utilizando um índice de estratificação da coluna d'água; F) Análise espaço temporal da eutrofização no corpo de água, utilizando o índice de estado trófico – TRIX ; G) Análise de agrupamento das localidades pelos dados do índice de estratificação e do índice de estado trófico através do método de cluster complete linkage. H) Para verificar os efeitos da eutrofização nos ciclos biogeoquímicos foi feita uma Análise de componentes principais (PCA) e análise de escalonamento multidimensional (MDS);

5.1 Banco de dados de qualidade da água da laguna.

Os dados dos parâmetros de qualidade da água foram coletados de três maneiras: 1) Retirada direta com o autor; 2) Compilação de dados de

tabelas publicadas em trabalhos; 3) Quatro campanhas de levantamento de dados em campo no ano de 2015.

As campanhas amostrais que levantaram dados de superfície e fundo de toda laguna foram referentes aos anos de 2001, 2003, 2005, 2007 e 2015 e totalizaram 451 amostras (Tabela 4). Os parâmetros analisados foram Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, T), Salinidade (PSU, S), a concentração de fósforo inorgânico dissolvido ($\mu\text{g/l}$, PID), amônio ($\mu\text{g/l}$, NH_4^-), nitrato ($\mu\text{g/l}$, NO_3^-), Clorofila-a ($\mu\text{g/l}$, Cl-a) e Oxigênio Dissolvido (mg/l , OD).

Os valores encontrados foram colocados em um sistema internacional de unidades. Foram calculados os valores de massa específica, concentração de saturação de oxigênio dissolvido através de equações de estado, razões de nutrição entre nitrogênio e fósforo, além de razão entre formas reduzidas e oxidadas de nitrogênio. As informações sobre latitude e longitude dos pontos de amostragem foram padronizados para o datum WGS 84 e os valores foram convertidos todos para unidades métricas (UTM).

Além dos dados de qualidade da água foi realizado levantamento de dados referente ao crescimento e densidade populacional dos bairros (Campanário, 2007), cobertura da rede de coleta de esgotos sanitários (CASAN) e informações sobre a hidrodinâmica e morfologia da laguna (Odreski, 2012 e Silva, 2013). A Tabela 4 apresenta os dados levantados para o estudo.

Tabela 4 – Informações integradas no banco de dados

ANO	Autor	Método / N de amostras	N de Campanhas / Superfície e Fundo	Parâmetros
2001	Fonseca et al (2002, 2004, 2006)	Amostragem em toda laguna / N=118	4/ Superfície e Fundo	Qualidade da água
2003	Fontes(2004)	Amostragem em toda laguna / N=155	4//Superfície e Fundo	Qualidade da água
2005	Fontes et al (2009)	Amostragem em toda laguna / N=44	2/ Superfície e Fundo	Qualidade da água
2007	Fontes et al (2011)	Amostragem em toda laguna / N=70	4/Superfície e Fundo	Qualidade da água
2012	Bier(2013) Odreski(2012)	SIG/Modelagem		Entradas Hidrológicas
2013	Silva(2013)	Modelagem		Circulação hidrodinâmica
2015	Este trabalho	Amostragem em toda laguna / N=64	4/Superfície e Fundo	Qualidade da água

5.2 Monitoramento dos rios

Foram realizados três procedimentos nas campanhas de monitoramento e coleta de água: 1) Medidas da vazão e aferição do nível do corpo d'água, 2) levantamento de parâmetros físico-químicos, 3) coleta de água para análise de nutrientes e clorofila-a.

As sub-bacias hidrográficas de controle foram escolhidas pela relevância em área e população de cada UH. Definidas as cinco SBH-C a serem monitoradas realizou-se uma saída de campo para definição exata da seção de monitoramento. A escolha do local foi determinada através da observação do curso do rio de cada SBH para identificação de um trecho próximo ao exutório onde o curso d'água fosse o mais retilíneo possível e a salinidade nula. Estas seções foram marcadas com auxílio de GPS e foram colocadas estacas de madeira tingidas para delimitar e sinalizar os limites inicial e final seção, respectivamente à montante e à jusante do trecho.

Foram monitoradas SBH em quatro das seis unidades hidrológicas. As UH não monitoradas foram a UH Leste que não possui nenhum rio perene e a UH do Canal da Barra da Lagoa pois considera-se que qualquer carga lançada no canal se dilui mais diretamente com o oceano do que com a laguna, já que o fluxo residual no canal é sentido ao oceano. A unidade hidrológica do centro sul foi amostrada em duas sub-bacias pela sua importância em área e em população (Tabela 5).

Tabela 5 – Caracterização geográfica e populacional das sub-bacias de controle e unidades hidrológicas monitoradas

UH	Unidades Hidrológicas				Sub-Bacias Hidrográficas de Controle			
	Área UH (km ²)	População UH - 201	Densidade pop. UH – 2015	N de SBH	N da SBH - Amostrada	Área SBH (km ²)	População SBH – 2015	Densidade po SBH – 2015
Norte	21.22	16.341	753	2	01	12.52	10.613	848
Leste	10	3.507	2.473	4	15	2.37	5.873	2.478
Canal	2	5.087	8.443	3				
Arenosa	6.65	7.197	1.199	6				
Centro-Sul	8.57	17.375	2.172	8	17	2.09	1.087	1.754
					20	2.17	2.951	1.360
Oeste	13	4.267	328	13	30	1.46	70	370

Foram realizadas 16 campanhas para levantamento de dados nas SBH-C. A Tabela 6 apresenta uma síntese dos dados levantados por campanha.

Tabela 6 - Dados levantados nas campanhas de monitoramento das descargas dos rios

Data	SBH 1 – João Gaulberto	SBH 15 – Porto da lagoa	SBH 17 – Canto da Lagoa	SBH 20 – Centrinho	SBH 30 – Costa da lagoa
12 de março de 2015	Seção	Seção	Seção		
13 de março De 2015				Seção	Seção
23 de março De 2015	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM
17 de abril de 2015	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM
08 de maio de 2015	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM
22 de maio de 2015	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ
19 de junho de 2015	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ
10 de julho de 2015	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ
07 de Agosto de 2015	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ
10 de Setembro de 2015	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM
01 de Outubro de 2015	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM
23 de Outubro de 2015	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM	Q/PF/PFQ/PM
13 de novembro de 2015	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ
17 de dezembro de 2015	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ
01 março de 2016	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ	Q/PF/PFQ

Em todas as campanhas foram realizadas as seguintes aferições:

- Q = vazão
- Parâmetros Físico-Químicos (PFQ) = Concentração de nutrientes (Nh₄/NO_x/Po₄/SiOH)
- Parâmetros microbiológicos (PM) = E. Coli
- Parâmetros Físicos (PF)= Temperatura/pH/ Oxigênio dissolvido

A partir do levantamento batimétrico das seções a cada 30cm, foi construída uma curva Cota x Área. Nas campanhas o nível foi medido sempre no mesmo local demarcado para inferir a área molhada no dia de observação. As velocidades de escoamento foram medidas através do método do flutuador

(Rantz et al, 1982 ; EPA, 1997). Com a área molhada e a velocidade do escoamento foram calculadas as vazões.

Para o rio da Costa da Lagoa (SBH 30) foi feita medição de vazão por meio da curva de descarga teórica do vertedor retangular. O vertedor havia sido construído para represar água potável para abastecimento, é feito em concreto e possui dimensões apresentadas na Figura 6.

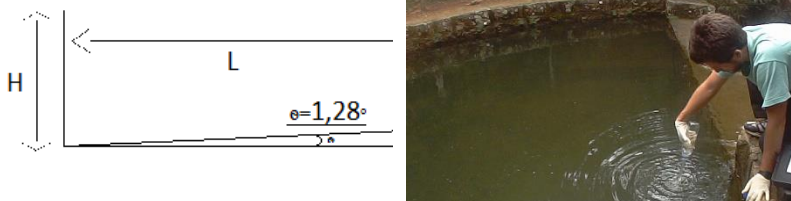


Figura 6 - Esquema ilustrativo das dimensões do vertedor e coleta de amostra no local (SBH-30)

Onde: L= Largura molhada; H=Altura da lamina d'água; θ = Ângulo de inclinação da base do vertedor. A equação utilizada para o cálculo da vazão no vertedor foi adaptada de (Santos et al 2001) e é apresentada a seguir:

Equação 1

$$Q = 1,823 * (L - 0,2 * H) * H^{1,5}$$

sendo $L = H * \tan(1,28)$.

Onde:

Q é a vazão em m³/s

L é a largura

H é a altura da lamina d'água 1 metro á montante do vertedor

As estações de amostragem estão ilustradas na Figura 7.

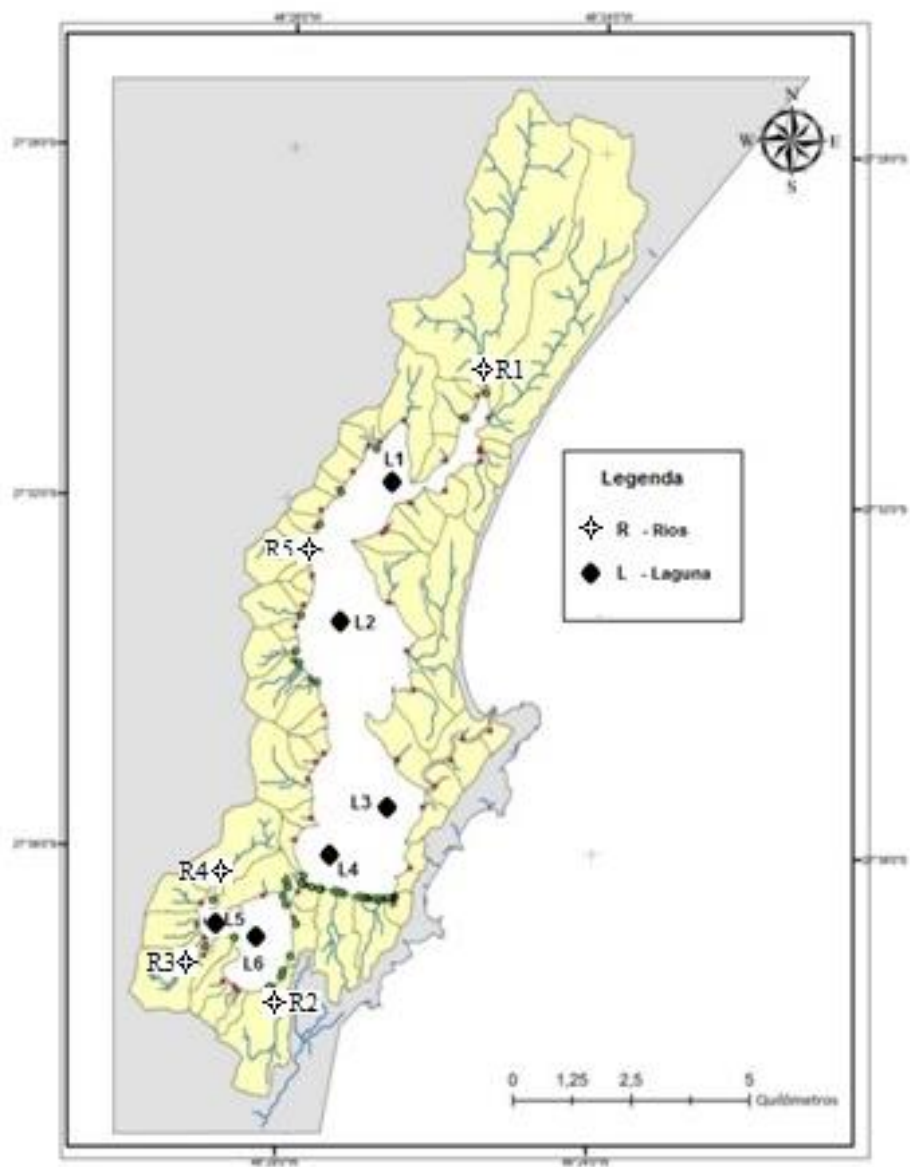


Figura 7 - Pontos de amostragem para campanha integrada. Fonte: O autor.

5.3 Amostragem no corpo lagunar

Foram realizadas quatro campanhas de coleta de amostras para análise de qualidade da água na Lagoa da Conceição. Em cada estação de coleta foram realizados três procedimentos pela tripulação de embarque: 1) Medida de profundidade da coluna de água, utilizando um ecobatímetro da marca fishtaker; 2) Medidas de temperatura e salinidade na coluna de água (a cada 0,5 m); 3) Coleta de amostras de água com garrafa de Van Dorn de fechamento horizontal para análise de nutrientes e clorofila-a em superfície e fundo de cada estação de amostragem.

As coletas foram realizadas nos dias 27/03, 19/08, 27/08 e 28/09 de 2015 para que fosse caracterizada as condições de qualidade da água em meses de contribuição da população residente na Bacia Hidrográfica (meses de baixa temporada - março a novembro). Os pontos foram escolhidos por representar de forma homogênea todo corpo de água (Fig 7), considerando os padrões de circulação e dispersão hidrodinâmicos apresentados na Figura 5. A descrição das seis estações amostrais estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Descrição dos pontos de amostragem

Estação	Região	Profundidade(m)	Características
L1	Norte	8	Transporte efetivo devido a ser exatamente no início do canal de maior profundidade na costa oeste da laguna.
L2	Centro Norte	4	Ponto de transição entre a região norte e central.
L3	Central	2,5	Próxima a entrada das massas d'água oceânicas pelo canal da barra.
L4	Central	6	Nas proximidades do subsistema sul, região altamente impactada apresentando anoxia nas águas de fundo (Fonseca, 2004).
L5	Sul	3	Apresenta provável deposição e acumulação de matéria orgânica devido ao represamento provocado pela estreita conexão com o restante da laguna. Recebe as cargas da região urbana densamente povoada.
L6	Sul	5	Pouca circulação e provável acumulação de material proveniente da região urbana adjacente (detergentes e esgoto doméstico).
C1/C2/C3	Canal da barra	1,5 ; 1,5 ; 5	Foram escolhidos por caracterizar a massa d'água que entra e sai do corpo lagunar para o oceano adjacente.

5.4 Métodos analíticos

As amostras foram preservadas em caixa térmicas com gelo, ao abrigo da luz até o processamento em laboratório (Lana et al, 2006). Em laboratório, as amostras de água foram filtradas conforme os procedimentos descritos em Strickland e Parsons (1972), utilizando filtro de microfibras de vidro de 47mm GF-5. Após a filtração, as amostras foram congeladas a -20°C. Foi estimado o nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) pela soma das concentrações de N-amoniacoal (NH₄), nitrato (NO₃) e nitrito (NO₂), sendo essas estimadas por métodos colorimétricos, cuja precisão é de 0,7 µg/L (Grasshoff et al., 1983). O NID foi utilizado neste estudo, pois é a fração assimilável pelo fitoplâncton.

O ortofosfato, fósforo inorgânico dissolvido (PID) e silicado (SiOH), foram quantificados pelo método colorimétrico, com precisão de 0,9 µg.L⁻¹. As absorbâncias foram lidas em espectrofotômetro de duplo feixe Hitachi UV-290, a partir de calibração com soluções certificadas Merck® (Grasshoff et al., 1983).

A biomassa fitoplantônica (clorofila-a) foi quantificada por fluorimetria (Fluorômetro Turner Designer-Trilogy) (Strickland e Parsons, 1972).

Para E.Coli foi utilizado o método Colilert (Idexx, 2008).

Os parâmetros físico-químicos medidos em campo foram : Temperatura, Salinidade, pH e Oxigênio Dissolvido. Para tal foram utilizados: Termosalinômetro da marca YSI modelo Ecosense; pHmetro de marca YSI modelo Ecosense; Oxímetro da marca Instrument KM do modelo MO-900.

5.5 Estimativa de lançamentos de cargas de nutrientes no corpo de água

As cargas de nutrientes que foram calculadas considerando o estudo hidrológico realizado por Bier (2013), onde foram caracterizadas na Bacia Hidrográfica(BH) da Lagoa da Conceição 6 Unidades Hidrológicas(UH), e 36 sub-bacias hidrográficas (SBH). Sendo que foram monitoradas 5 SBH (SBH-C).

As vazões (Q) produzidas para cada SBH, foram consideradas como a soma de uma vazão hidrológica característica da UH a qual a SBH pertence (QH) e de uma vazão antrópica (Qa), proporcional á população residente da SBH.

As equações utilizadas para o cálculo são as seguintes:

Equação 2

$$Q_{SBH} = Q_{a(sbh)} + Q_{H(SBH)}$$

Segundo o sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS, 2015) o consumo de água per capita médio dos últimos 8 anos para o município de Florianópolis é $q_{PC} = 175$ L/hab.dia. A vazão antrópica produzida é dada por:

Equação 3

$$Q_{a(SBH)} = q_{PC} * P_{(SBH)}$$

Onde: $P_{(SBH)}$ = População residente (Hab.)

A vazão hidrológica produzida pela SBH é dada por:

Equação 4

$$Q_{H(SBH)} = q_{ps} * A_{(SBH)}$$

Onde: $A_{(SBH)}$ = Área (km²)

E a vazão específica por unidade de área superficial (q_{ps}) da UH á qual a SBH-C pertence foi estimada a partir dos dados das SBH-C a partir da seguinte equação:

Equação 5

$$q_{ps} = \frac{\bar{Q}_{(SBH\ Controle)} - Q_{a(SBH\ Controle)}}{\text{Área}_{(SBH\ Controle)}}$$

Onde: $\bar{Q}_{(SBH\ Controle)}$ = Média geométrica das vazões medidas na SBH de controle ; $Q_{a(SBH\ Controle)}$ = Vazão antrópica da SBH de controle.

Para estimar a carga de nutrientes das SBH foi calculada uma carga específica per capita e per área superficial (W_{pcpa}) para cada SBH de controle. O sistema de equações considera que esta produção de carga específica é constante em cada unidade hidrológica da bacia em estudo. O esquema ilustrativo apresentado na figura 8 apresenta o modelo conceitual utilizado.

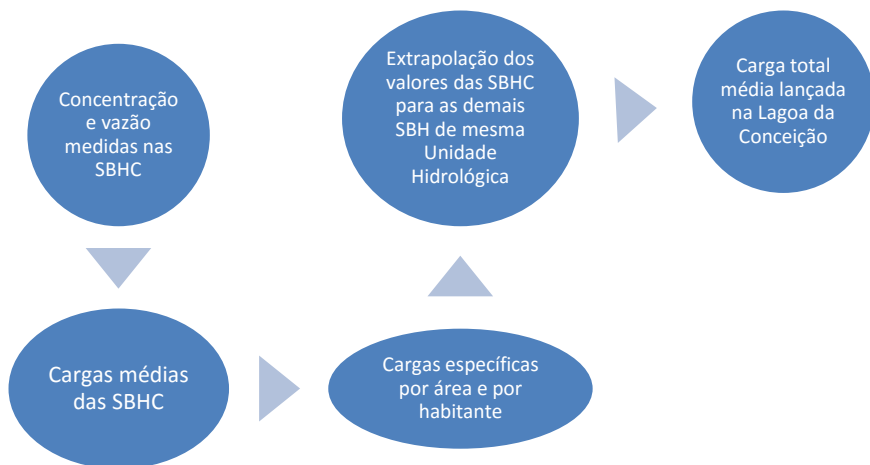


Figura 8 - Esquema conceitual para o cálculo de estimativa de cargas

A carga produzida por SBH é dado por:

Equação 6

$$W_{(SBH)} = W_{pcpa(SBH)} * A_{(SBH)} * P_{(SBH)},$$

Onde: $A_{(SBH)}$ = Área (km²) ; $P_{(SBH)}$ = População (Hab.).

A carga específica per capita/área superficial foi estimada pela seguinte equação:

Equação 7

$$W_{pcpa(SBH)} = \frac{\bar{W}_{(SBHC)}}{A_{(SBH)} * P_{(SBH)}}$$

E a carga produzida nas SBH de Controle são dadas por:

Equação 8

$$W_{SBHC} = Q_{SBHC} * C_{SBHC}$$

Onde: Q_{SBHC} = Vazões medidas na SBH de controle ;
 C_{SBHC} = Concentração de nutriente medido na SBH de controle .

Fazendo a soma das cargas de todas as SBH temos a carga total lançada para o corpo lagunar, como mostra a equação a seguir.

Equação 9

$$W_{BH} = \sum W_{SBH}$$

Utilizando o método de krigagem foi calculado valores interpolados para as concentrações de nutrientes e clorofila-a no corpo de água. Foram utilizados os valores médios de concentração de nutrientes nos exutorios das 36 SBH, além dos valores encontrados nas quatro campanhas de coletas de dados do mesmo período. Nesta metodologia está implícita a hipótese de estado estacionário para todas as contribuições (valores médios). Os valores encontrados foram comparados com os limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357/05 para corpos de água salobra de classe 2 (Tabela 8).

Tabela 8 - Limites de concentração de N e P (CONAMA 357/05) para corpos de água salobra de Classe 2

Parâmetro	Concentração (ug/L)
Nitrato	700
Nitrito	200
Amônio	700
Fósforo total	186

Também foram utilizados para comparação valores de referência para diferentes níveis tróficos de lagos dados por Wetzel (1983) (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores de referência para estado trófico de lagos. Fonte: Adaptado de Wetzel (1983)

Estado trófico	Clorofila A (mg/L)	P- Total (ug/L)	N-Total (ug/L)
Oligotrófico	<0,5	<5	<250
Mesotrófico	2-10	5-10	250-600
Eutrófico	10-500	10-30	600-1100
HiperEutrófico	>500	>30	>1100

A relação do nutriente limitante para produção primária foram adotadas obedecendo a lei do mínimo estabelecida por Liebig (Odum, 1987). Para completar a análise foi feita solicitação de dados históricos de concentração de nutrientes na entrada e saída de cada uma das ETE's da CASAN. A companhia disponibilizou apenas dados referentes a 25 amostras de entrada e saída de cada uma das ETE's para os meses de março á dezembro do ano de 2014. Considerou-se que este foi um ano representativo para os padrões de tratamento e lançamento das ETE's . Segundo (Zanatta et al, 2004) a lagoa de evapo-infiltração que recebe o esgoto tratado da ETE Lagoa da Conceição. Esta foi formada pela deposição do efluente nas dunas e seu leito

se encontra saturado pelas formas reduzidas de nitrogênio desde o ano de 2003. Através da análise da hidrodinâmica e da qualidade da água subterrânea Zanatta et al (2004) verificaram um fluxo longitudinal constante no sentido do corpo de água central da Lagoa da Conceição. Segundo resultados encontrados no citado trabalho as concentrações de N-NH₄ que chegam na laguna são da ordem de 50% do valor encontrado na lagoa de evapo-infiltração. Para o N-NO₃ a redução é de 90% e para P-PO₄ de 70%. Estes valores foram adotados como referência para o cálculo das eficiências de remoção de Nitrogênio e Fósforo das ETE's na laguna.

5.6 Análise espaço temporal da qualidade da água da LdC

Segundo Campanário (2007), a população na Ilha de Florianópolis dobra ou até triplica em alta temporada - meses de dezembro, janeiro e fevereiro - para estimar o estado trófico da Lagoa da Conceição sob a pressão da população residente (fixa) foram selecionados para as análise de padrões temporais e espaciais apenas os dados dos meses de baixa temporada (de março à novembro). Foram selecionados aleatoriamente 32 dados por ano (limitação encontrada no ano de 2005) buscando um equilíbrio entre a quantidade de dados para cada região da laguna. O resultado quantitativo desta seleção se encontra na Tabela 10.

Tabela 10 - Distribuição espacial dos dados e estações amostrais selecionados para análise de tendência espacial e temporal

ANO	Dados por região					Meses amostrados	Estações amostrais	Estações com dados de superfície e fundo
	N	CN	C	S	T o t a l			
2001	7	3	10	12	32	5, 8, 9, 11	17	15
2003	8	8	8	8	32	6,7	17	15
2005	8	8	8	8	32	7	17	15
2007	4	4	13	11	32	4,5	16	16
2015	8	4	10	10	32	8,9	16	16
Tota l	35	27	49	49	160	4,5,6,7,8,9,11	83	77

Com os dados de temperatura e salinidade da água foi possível calcular a massa específica da água para todas as amostras através da equação fundamental de estado com o pacote de rotinas em MatLab TEOS 10 (McDougall et al, 2009). Utilizando esses dados foi possível verificar a homogeneidade das massas de água, calculando diferença entre as massas específicas das amostras de superfície e de fundo para cada uma das 77 estações amostrais que possuíam dados na coluna d'água, a essa variável é dado o nome de índice de estratificação da coluna d'água (Miranda, 2002).

Com o objetivo de verificar as localidades onde existe estratificação efetiva foram testados o agrupamento das localidades através do método de “cluster complete linkage” utilizando distancias euclidianas. Quando verificada uma região com estratificação então procedeu-se a análise temporal descritiva para verificar a evolução da estratificação ao longo do tempo e suas possíveis causas. A identificação de períodos distintos foi feita através do teste de Kruskal Wallis, com $p=0,05$.

Para avaliar do processo de eutrofização no corpo de água, foi utilizado o índice de estado trófico – TRIX. O índice foi proposto por Vollenweider et al. (1998) para avaliar o estado nutricional e impactos humanos em corpos de água costeiros da Itália e é amplamente utilizado em todo o mundo para esta finalidade (Penna et al, 2004 ; Coelho, 2007; Caruso

et al, 2010 ; Cotovicz, 2013). Ele combina fatores nutricionais, de produção primária e respiração como apresentado na equação 10. São utilizados os seguintes parâmetros para seu cálculo:

- Clorofila-a: [mg.m⁻³] como forma objetiva de medir a produção primária fitoplanctonica;
- Oxigênio dissolvido como desvio absoluto [%] da saturação: [|100-%OD| = [aOD%]; Como forma de medir o balanço entre produção e respiração;
- Fatores nutricionais por macronutrientes - nitrogênio inorgânico dissolvido como N-(NO₃-2+NO₂+ NH₄-) [µg/l] e fósforo inorgânico dissolvido como P-PO₄-3 [µg/l].

O cálculo é feito através da seguinte equação:

Equação 10

$$TRIX = \frac{[(\log(\text{Chla} * aD\% O * N * P) - (-1,5)]}{2}$$

Onde: a=-1,5 e b=2 – São os fatores de padronização dos valores para mapear o estado trófico;

A classificação para águas estuarinas usando o TRIX (Tabela 11) pode ser feita comparando corpos de água com características semelhantes ou comparando os resultados com valores limiaries propostos por Penna et al. (2004), estes são adotados pela Legislação Ambiental da Itália (Caruso et al, 2010).

Tabela 11 - Valores do TRIX e classificação do nível trófico

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

Com base nos valores de TRIX encontrados foram testados o agrupamento de localidades através do método de cluster complete linkage com distancias euclidianas. Depois disso foi feita uma análise temporal descritiva para verificar a evolução do estado trófico. Após esta análise foi realizada um teste de comparação de variâncias de Kruskal Wallis, para identificação de períodos diferentes ao nível de confiança de 95%.

Para verificar os efeitos das mudanças no estado trófico da laguna nos ciclos biogeoquímicos foi feita uma análise de escalonamento multidimensional (MDS). É um método de ordenamento multivariado, com base numa matriz de similaridade, gerando uma representação gráfica da similaridade (ou distância) entre os pontos amostrais. Estas análises foram geradas pelo pacote estatístico PRIMER (Plymouth Routine in Multivariate Ecological Research – Plymouth University). A análise de correlação simples de Pearson e não paramétrica de Spearman foi utilizada para averiguar a correlação entre as variáveis físico-químicas e biológicas. A relação entre as variáveis ecológicas foi verificada através de uma análise de componentes principais (PCA) sobre todos os dados amostrados, sinalizando as regiões da laguna e períodos amostrados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Vazão dos rios de controle

Os rios monitorados se apresentaram como corpos de água rasos, com profundidade máxima de um metro e largura média de dois metros. As vazões monitoradas nas cinco SBH mantiveram uma proporcionalidade entre elas, variando de 20 a 200 L/s até o oitavo mês de monitoramento (Figura 9). Após o oitavo mês houve um aumento da vazão em todas as sub-bacias. Segundo os dados de chuva do INMET no ano de 2015 a precipitação acumulada mensal em São José foi de 224 mm, ou seja, aproximadamente 78% maior do que a normal climatológica da região que é de 126 mm mensais (INMET, 1992)

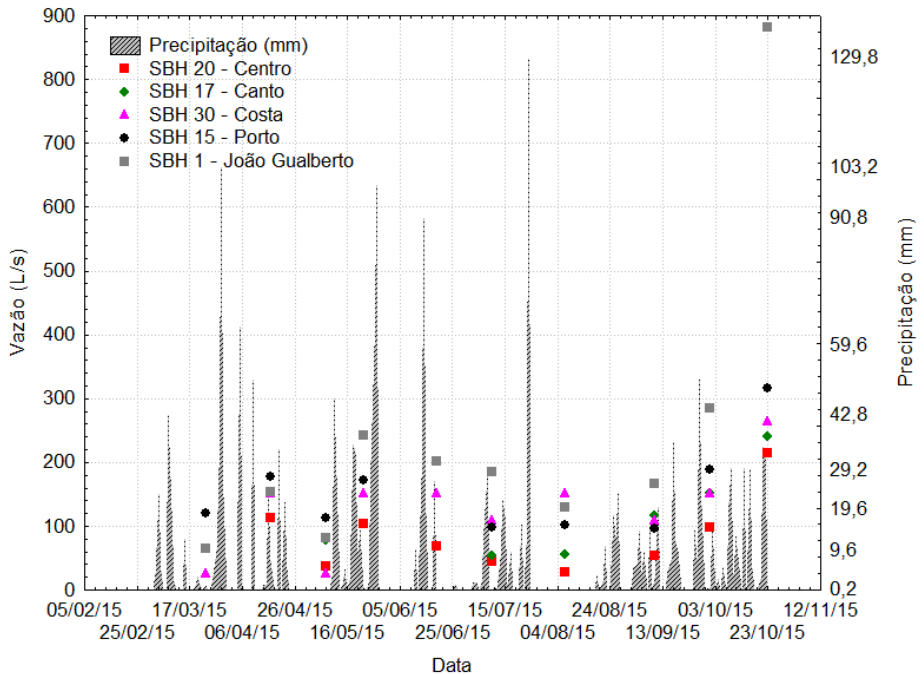


Figura 9 - Vazão dos rios e chuva nas SBH de controle da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição no período de monitoramento.

A proporcionalidade entre as vazões foi mantida em praticamente todas as campanhas. A característica do rio João Gualberto em termos de resposta aos eventos de chuva foi diferente das demais bacias, tanto pela área da bacia, como pelas características de baixa declividade fez com que suas vazões pudessem continuar aumentando em ritmo maior do que as outras sub-

bacias no último período. As vazões média, mínima e máxima, e as vazões específicas para cada unidade hidrológica estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Vazões médias e específicas das SBH de controle – foram utilizadas médias geométricas para melhor representar os valores obtidos pela distribuição lognormal das vazões.

SBH/UH	Q media geométrica (L/s)	Q min. (L/s)	Q Max. (L/s)	Q antrópica 2015 (L/s)	Qa/Q (%)	Q ps (L/s *km ²)
01 - UH Norte	182,3	64,7	881,7	15,1	8,28	13,4
15 - UH Arenosa	147,7	96,1	316,8	8,3	5,62	58,8
17 - UH Centro Sul	100,1	53,3	240,9	0,7	0,70	47,6
20 - UH Centro Sul	69,8	28,0	214,3	4,2	6,02	30,2
30 - UH Oeste	106,0	26,9	263,9	0,0	0,00	72,6
Média da 17 e 20 - UH CentroSul						38,9

É possível verificar que as vazões antrópicas assumem um papel importante nas contribuições hidrológicas representando até 8,3% da vazão total média para a SBH-1. As vazões específicas mostram que apesar da maior área a SBH-1 possui a menor contribuição de vazão, já a SBH 30 apresentou o maior valor, isto se deve às características de tipo de solo argiloso da bacia. As UH Arenosa e Centro Sul, possuem valores intermediários, pois apesar do tipo de solo ser predominantemente arenoso possuem considerável ocupação urbana, o que aumenta a área de drenagem. Com os valores de vazão específica e antrópica foram calculadas vazões médias, mínimas e máximas para todas as 36-SBH, o resultado está apresentadas na Figura 10. **Fonte de referência não encontrada..**

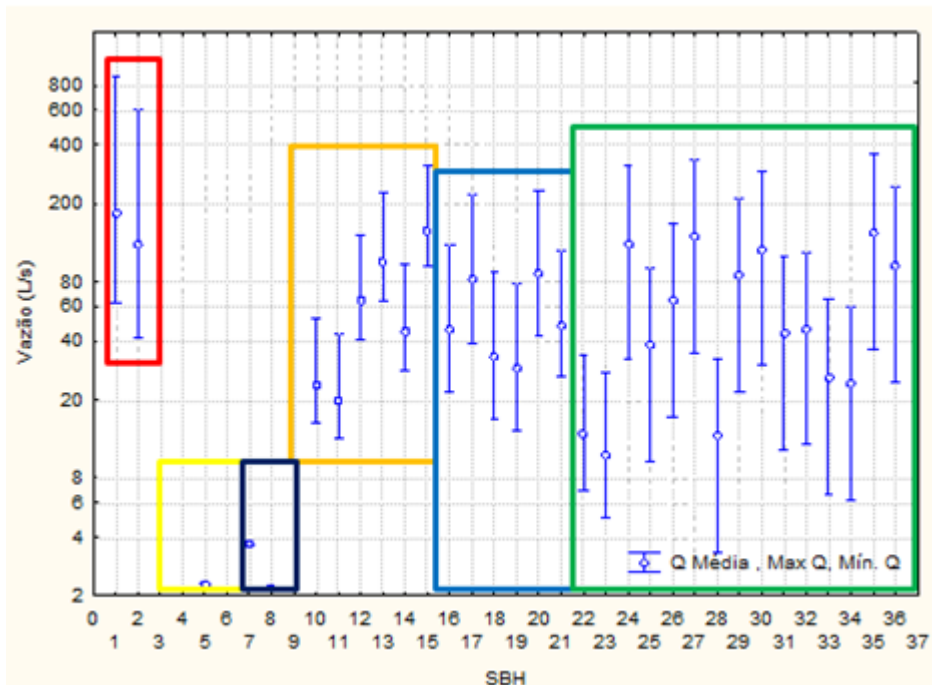


Figura 10 - Vazão média, mínima e máxima estimada para as 36SBH – As cores: Vermelha – UH norte, Amarelo – UH Leste, Preto – UH Canal, Alaranjado – UH Arenosa, Azul – UH Centro Sul, Verde – UH Oeste.

As maiores vazões se encontram nos exutórios da UH Norte (1 e 2 em vermelho). As sub-bacias de 3 á 6 são das bacias leste (amarelo) que possuem apenas rios intermitentes. As bacias 7,8 e 9 da UH do Canal (roxo) não foram medidos valores de vazão, pois estes não entram efetivamente no corpo lagunar e sim no canal muito próximo ao oceano, não sendo considerada sua influência na hidrodinâmica e qualidade da água da laguna. As SBH de 10 á 36 possuem valores da ordem de dez vezes menor do que a SBH 1 e são referentes a UH Arenosa (alaranjado) – áreas menores e com tipo de solo arenoso com pequena ocupação urbana ; UH Centro Sul 5(azul) – tipo de solo arenoso porém grande ocupação urbana ; e UH Oeste (verde) – SBH pequenas, porém a declividade é alta e o tipo de solo é argiloso, o que favorece o escoamento superficial.

A vazão total de água doce que entra na laguna pelas entradas hidrológicas é de 2020 L/s, sendo que 63% da vazão drena da região norte e 37% da região sul. A vazão antrópica total é de aproximadamente 70 L / s, que representa 4% de toda água doce que entra no corpo de água.

A Tabela 13 apresenta o valor da vazão média hidrológica e vazão antrópica total por Unidades Hidrológicas.

Tabela 13 - Vazão média total agrupada por região

	Vazão hidrológica (L/s)	Vazão antrópica (L/s)	% da Vazão da BH	% Area da BH	% População Da BH	% de Area Urbanizada
Total da Bf	2032	100				
Q UH Norte	307	33	15,7	21,2	21,7	9,7
Q UH Leste	-	-	-	10,0	7,1	2,9
Q UH Cana	-	-	-	2,3	10,4	17,0
Q UH Arenosa	403	17	19,8	6,7	17,5	11,7
Q UH Centro Sul	353	28	17,7	8,6	28,1	12,5
Q UH Oeste	957	4	45,7	13,1	4,0	0,6

Verifica-se que a UH Oeste é responsável por 45% da vazão lançada para a laguna, mesmo representando apenas 8,6% de área de superfície da BH. As SBH desta UH apresentam alta declividade, baixa urbanização (menos de 4% da população residente na BH) e baixa permeabilidade pelo tipo de solo argiloso.

Segunda UH para vazão produzida (~ 20% da vazão total) é a Arenosa, que possui apenas 6,7% da área superficial da bacia e tipo de solo arenoso, porém a urbanização é de 11,7% o que reduz a permeabilidade do solo e aumenta o escoamento superficial. A UH Centro Sul possui também aproximadamente 18% da vazão total com 8,6% da área da BH, o tipo de solo é argiloso e urbanização de 12,5% da UH, mostrando relevância da impermeabilização do solo. A UH Norte possui cerca de 15,7 % da vazão mesmo tendo 21,2% da área total da BH e uma área urbanizada de 9,7%, porém com baixa declividade e alta permeabilidade.

6.2 Concentrações de nutrientes e relações ecológicas nos rios

As concentrações dos nutrientes se apresentaram praticamente constantes ao longo dos meses de monitoramento para cada SBH de controle, porém mostrando considerável diferenças entre as SBH, demonstrando a relevância da separação das UH como fontes diferentes de descarga de nutrientes. As concentrações de nitrogênio na forma inorgânica dissolvida (NID) e a razão entre NH_4/NID que foram encontradas nos rios estão apresentadas na Figura 11 e Figura 12 á seguir.

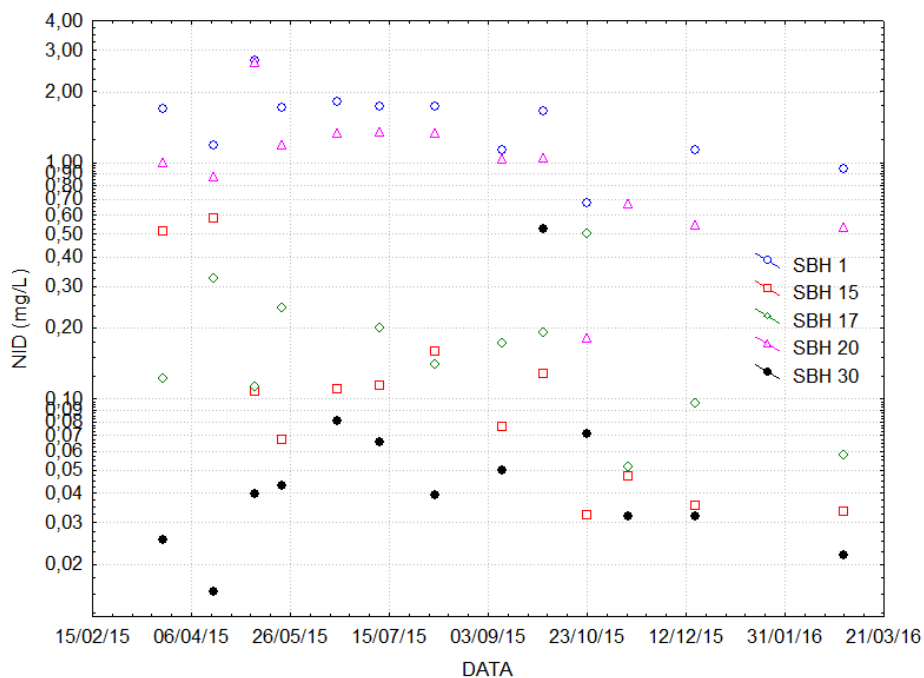


Figura 11 - Evolução temporal das concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nas SBH de controle da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição no período de monitoramento.

O rio João Gualberto (SBH 1) que apresenta concentração média de NID de 1,50 mg/l. do Centrinho (SBH-20) também se destaca com concentração média de 1,05 mg/l. Os demais rios apresentam concentrações médias de 0,18 mg/l o Canto (SBH 17), 0,15mg/l o Porto (SBH 15) e 0,08mg/l na Costa (SBH 30).

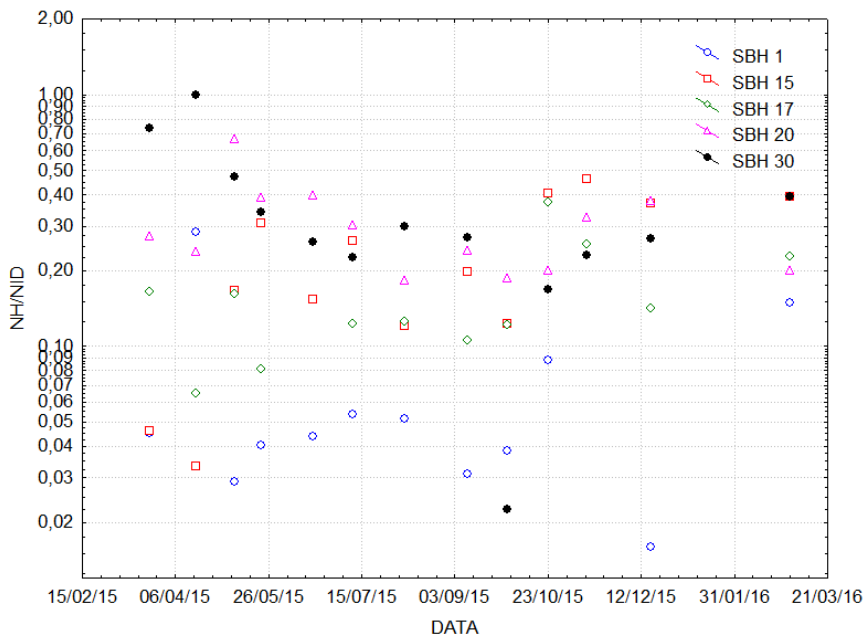


Figura 12 - Evolução temporal de NH/NID nas SBH de controle da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição no período de monitoramento.

Na Figura 11 é possível observar que as formas oxidadas de nitrogênio são preponderantes o que sugere que durante o processo de transporte dos nutrientes pelas SBH até o exutório na laguna ocorre o processo de nitrificação das formas amoniacais (presentes em maior abundância no esgoto sanitário). Os valores de NH/NID do rio João Gualberto sugere uma relevância das características de área da SBH-1 para este processo, já que este rio possui a maior área de drenagem entre os rios monitorados.

A Figura 13 apresenta as concentrações de PID para as SBHC.

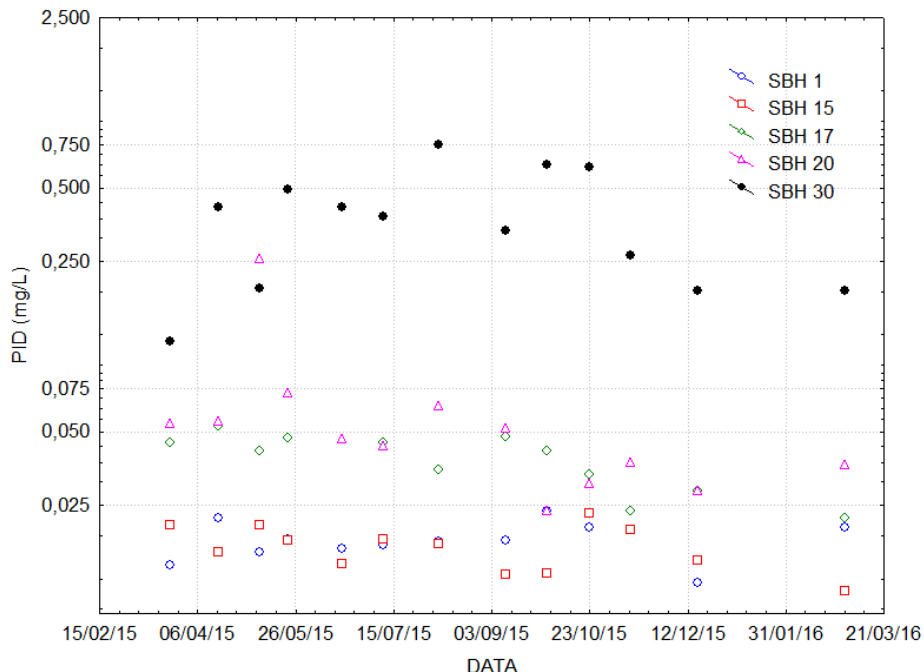


Figura 13 - Evolução temporal das concentrações de PID nas SBHC da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição no período de monitoramento.

A figura 13 mostra que as concentrações de fósforo são mais estacionárias para cada SBHC do que as concentrações de nitrogênio. O rio da Costa (SBH 30) apresentou maiores concentrações de fósforo com média de 0,38 mg/l, o rio do Canto (SBH 17) apresentou a segunda maior média de 0,06 mg/L, o rio do o Centrinho (SBH-20) apresentou o terceiro maior valor com média de 0,04 mg/l. Os demais rios, João Gualberto (SBH 1), e o Porto (SBH 15) apresentam médias inferiores a 0,02mg/L. O tipo de solo argiloso e a cobertura florestal das SBH de controle localizadas nas UH Oeste e Centro Sul aparentam favorecer no acréscimo das concentrações de fósforo.

A razão de Redfield para plâncton marinho tem sido comumente utilizada ainda hoje em estudos que visam avaliar a suficiência-deficiência nutricional dos organismos fitoplanctônicos. Quando um sistema possui sua razão N:P $\geq 16:1$, assume-se que esse sistema seja limitado por P, entretanto, quando N:P $< 16:1$ assume-se que a limitação é por N (Louro, 2011). Outros

autores utilizam razão N:P de 10:1 (Carapeto, 1999). A razão molar média entre NID e PID é apresentada na Figura 14.

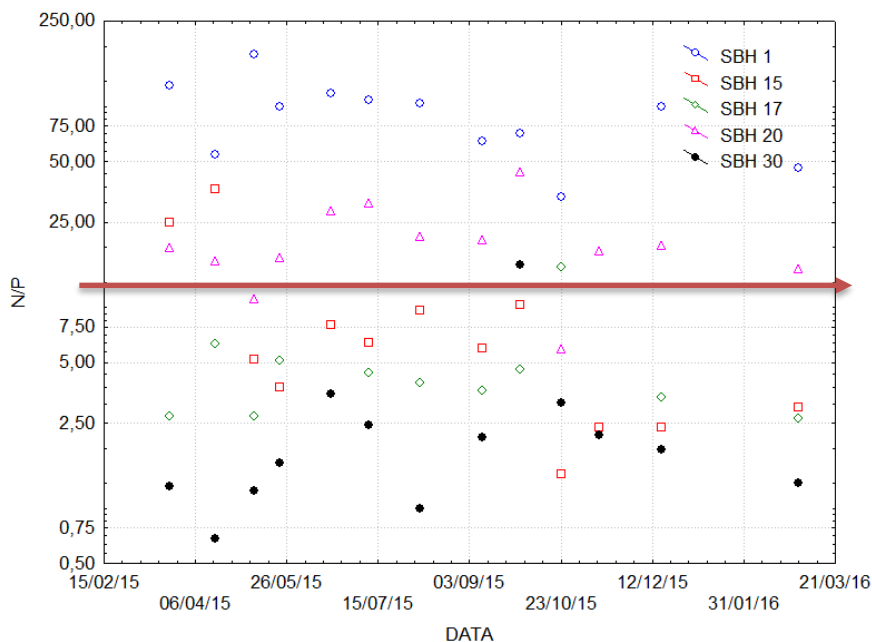


Figura 14 - Evolução temporal da Razão N:P nas SBHC da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição no período de monitoramento– A seta vermelha sinaliza o valor de N:P = 16

O rio João Gualberto (SBH 1) e o rio do Centrinho (SBH-20) possuem em média maiores deficiências de fósforo ($N:P > 10$). O rio do Porto (SBH 15) apresenta média de 9,8, ou seja muito próximo do ideal para o fitoplâncton segundo Odum, 2001. Os rios do Canto (SBH 17), a Costa (SBH 30) apresentam limitação por nitrogênio.

A matriz de correlação não paramétrica de Spearman Rank Order foi calculada para as validar as relações encontradas. Os valores significativos com 95% de confiança se encontram em **negrito** na Tabela 14.

Tabela 14 - Matriz de correlação não paramétrica de Spearman Rnak Order para as variáveis normalizadas

	Clorofila	NID	PID	SiOH	OD	pH	Vazão
Clorofila	1.00						
NID	0.55	1.00					
PID	0.15	0.05	1.00				
SiOH	0.14	0.14	0.88	1.00			
OD	-0.45	-0.14	-0.07	-0.01	1.00		
pH	-0.03	-0.23	0.28	0.34	0.04	1.00	
Vazão	-0.10	0.08	-0.51	-0.52	0.15	-0.36	1.00

É possível verificar a relevância das concentrações de NID para produção primária, o que sugere que o nitrogênio pode ser o nutrientes limitante para produção primária na maioria dos rios amostrados (Sterner & Elser, 2002 ; Vrede, 2004; Esteves, 2011). Além disso observa-se uma correlação negativa entre clorofila-a e as concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD), o que sugere que os aportes de nutrientes orgânicos das sub-bacias provocam uma depleção nas concentrações de OD pelo processo de mineralização nesses ambientes, e que este processo é mais expressivo no consumo de oxigênio, do que a produção primária no incremento das concentrações de OD. Observa-se também uma correlação positiva e acentuada entre as concentrações de PID e SiOH, o que sugere um incremento mineral da concentração destes nutrientes por parte da característica das SBH que possuem tipo de solo argiloso e considerável cobertura florestal em maior parte pelas SBH das UH Oeste e Centro Sul. As correlações negativas da vazão com PID e SiOH mostra que existe uma diluição dos nutrientes com a chuva, o que sugere que os minerais são dissolvidos das rochas a taxa constante nestes ambientes.

6.2 Concentrações de E. Coli nos rios

As concentrações de E. Coli nos rios estão apresentadas na Figura 15 a seguir.

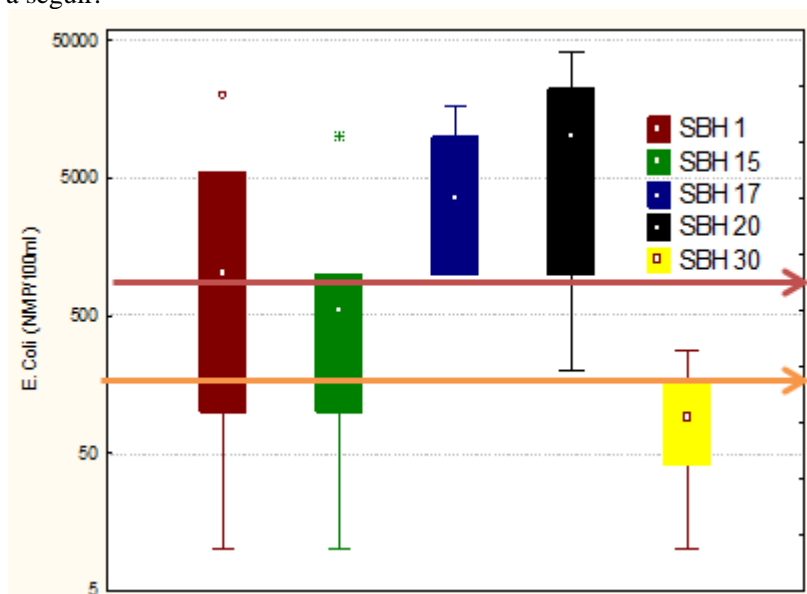


Figura 15 - Concentração de E. Coli nas SBHC – A seta vermelha sinaliza o valor de 1000 NMP/100ml e a seta alaranjada de 200 NMP/100ml

É possível observar maiores concentrações de E. Coli nas SBH 17 e 20, que pertencem a UH Centro Sul, demonstrando maior emissão de efluentes domésticos nestas duas SBHs. Pela legislação CONAMA 357/2005 os limites para concentração de E. Coli para rios de Classe 2 (SBH 1, SBH 15, SBH 17, SBH 20) o limite de concentração de E. Coli é de 1.000 NMP/100ml, as SBH 1, 17 e 20 se encontram acima deste limite, indicando que não estão próprias para uso recreativo, como foi estabelecido pela portaria 24/79 do CONDEMA. O Decreto Municipal n.247/86 tombou o caminho da Costa da Lagoa como Patrimônio Histórico, Artístico e Natural do Município. Portanto a UH oeste está zoneada como Área de Preservação portanto a SBH 30 é classificado como Classe Especial sendo que o limite para concentração de E-Coli é

de 200NMP/100ml, mostrando que este se encontra nos padrões determinados pela norma para qualidade da água para consumo humano.

6.3 Estimativa de cargas de nutrientes lançadas pela BH na laguna

As cargas médias de entrada de nitrogênio e fósforo inorgânico dissolvido medidos nas SBH de controle estão apresentadas Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 - Cargas de NID e PID estimadas nas SBH de controle monitoradas no ano de 2015

		SBH 1	SBH 15	SBH 17	SBH 20	SBH 30
N de amostras		12	13	9	13	13
W NID (kg/d)	Média Geométrica	21,46	1,11	0,93	3,54	0,66
	Mínimo	9,44	0,09	0,27	0,24	0,14
	Máximo	51,41	8,96	10,46	10,66	9,51
	Desvio padrão	13,08	2,49	3,26	3,44	2,50
W PID (kg/d)	Média Geométrica	0,27	0,19	0,24	0,20	0,34
	Mínimo	0,08	0,04	0,08	0,01	0,12
	Máximo	1,54	0,64	0,70	0,82	0,75
	Desvio padrão	0,39	0,14	0,22	0,25	0,20

É possível observar a predominância das cargas de lançamento da SBH 1 e 20 para as cargas médias de NID e das SBH 30 e 1 para as cargas médias de PID. As cargas específicas por hab/m² se encontra na Tabela 16.

Tabela 16 - Cargas específicas por habitante e por m² para as UH monitoradas

	W NID mg/(d.hab.m ²)	W PID mg/(d.hab.m ²)
Norte	0,18	0,00
Arenosa	0,14	0,02
Centro Sul	0,87	0,09
Oeste	1,83	0,51

As cargas estimadas para todas 36 SBH estão apresentadas na Figura 16 á seguir.

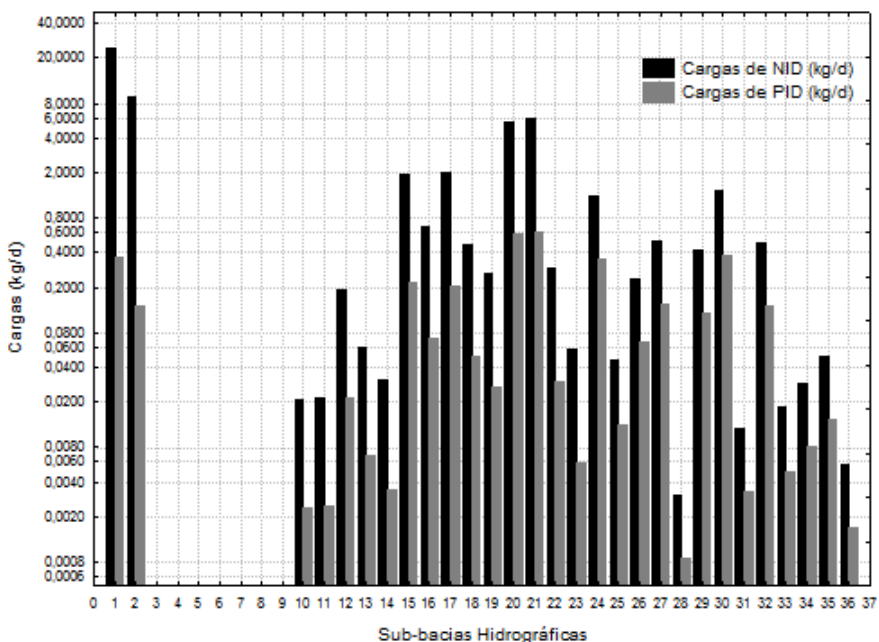


Figura 16 - Carga de NID e PID por SBH (Kg/dia)

Observa-se mais expressividade das cargas de NID sobre as cargas de PID em todas SBH. As SBH com maiores cargas foram das UH Norte e da UH Centro Sul, estas apresentam maior população e densidade demográfica. As cargas estimadas por unidades hidrológicas são reportadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Cargas de NID, PID estimadas e contribuições relativas de cargas, vazão, área e população por Unidade Hidrológica para BH da LdC

	W NID kg/dia	% NID da BH	W PID kg/dia	% PID da BH	Q %	A %	População %
Norte	33,6	60,5	0,5	14,1	15,69	27,21	21,66
Arenosa	0,23	1,98	0,22	7,86	19,77	8,53	17,45
Centro Sul	15,2	27,4	1,6	44,0	17,72	10,99	28,14
Oeste	2,3	4,1	0,3	7,2	45,66	16,85	3,99
BH LdC	55,5	-	3,6	-	-	-	-

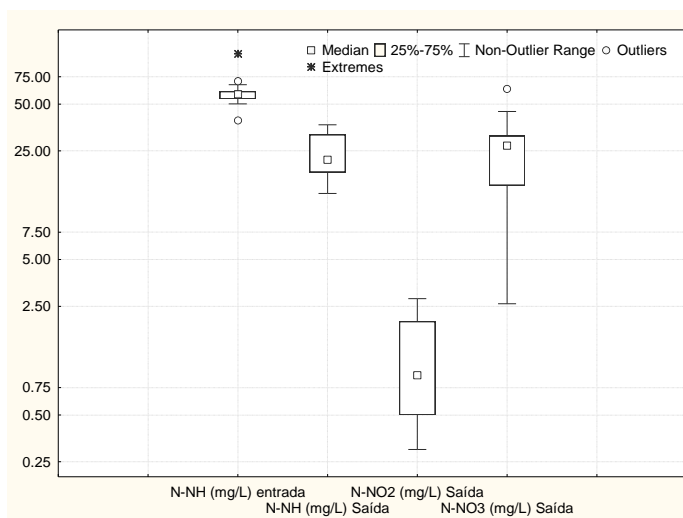
A Unidade Hidrológica Norte apresenta as maiores cargas de NID (60,5%) e a segunda maior carga de PID (14,1%) sendo que sua vazão é a menor (15,69%) apesar de possuir área significativa (27,21%). A Unidade Hidrológica Centro-Sul apresenta elevada proporção das cargas de NID (27,4%) e a maior carga de PID (44%), sendo que sua vazão é a segunda menor (17,72%) e área (10,99%), ou seja, ações de gestão do sistema de esgotamento sanitário deveriam ser priorizadas nestas duas Unidades Hidrológicas, já que para pequenas áreas existem grandes contribuições de efluente sanitário. A UH Oeste apresentou a maior vazão, e cargas de NID (4,1) e PID (7,2%) muito pequenas, sendo que as cargas são primariamente atribuídas a lixiviação de matéria orgânica de origem florestal e minerais do solo. A UH Arenosa apresenta as menores cargas de nutrientes (aproximadamente 2% para NID e 7% para PID) porém a vazão é cerca de 20% da vazão total, mostrando ser a área com menores descargas naturais e antrópicas o que era esperado pelo tipo de solo arenoso e pela população urbana.

A carga nutritiva média descarregada na Lagoa da Conceição através das 36 entradas hidrológicas é de aproximadamente 20 toneladas de nitrogênio inorgânico dissolvido por ano e 1,3 tonelada de fósforo inorgânico dissolvido por ano. Estas cargas correspondem aos seguintes valores médios por unidade de área da bacia hidrográfica: 259g NID/m².ano e 16g PID/m².ano. Os valores de referência para cargas específicas de lançamento que apresentam risco de eutrofização de Vollenweider et al (1998) para lagoas com uma profundidade média de até 12m, são 4,88g N/m² ano e 0,32g P/m²

ano. Sendo assim podemos observar que a Lagoa da Conceição recebe cargas de lançamento de nutrientes que se encontram acima da faixa de alto risco de eutrofização para lagoas de até 12m de profundidade.

6.5 Eficiência das estações de tratamento de esgoto sanitário na Bacia Hidrográfica

As concentrações de nitrogênio e fósforo de 25 coletas realizadas nas entradas (pós gradeamento) e saídas (pós tratamento) das ETE's Barra da Lagoa e Lagoa da Conceição fornecidas pela CASAN estão apresentados na Figura 18. É possível observar que na ETE Barra da Lagoa o efluente final sai com concentrações de N-NH₄ acima do permitido para lançamento de efluentes pela legislação CONAMA 430, que é de 20mg/L. Podemos observar a mesma situação acontece em muitos casos com a ETE Lagoa da Conceição, como mostra a figura 17.



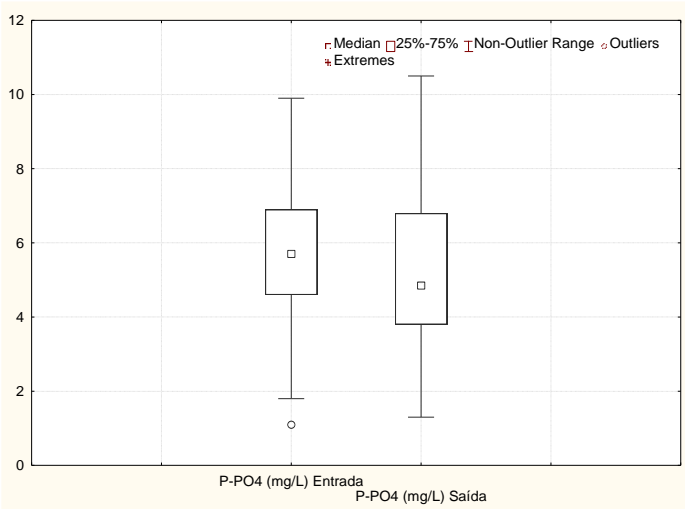
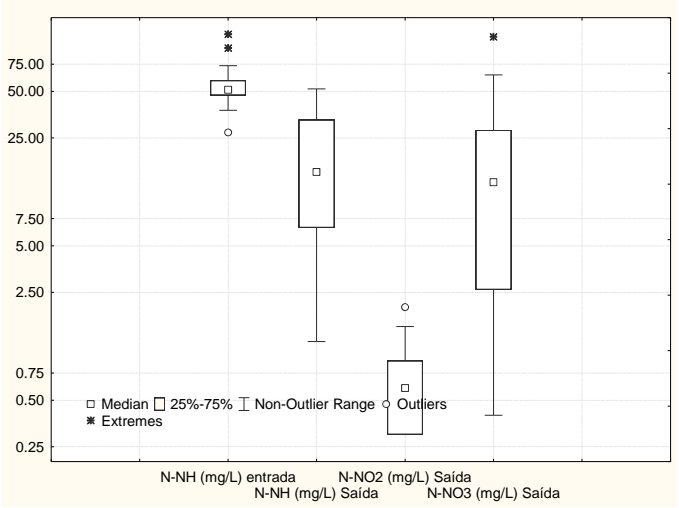


Figura 17 - Box-plot das concentrações de Nitrogênio e Fósforo da entrada e saída da ETE Barra da Lagoa. Fonte: CASAN



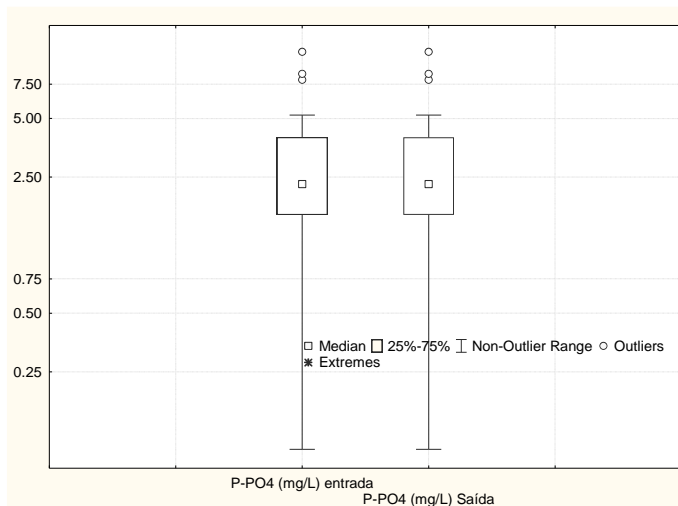


Figura 18 - Box-plot das concentrações de Nitrogênio e Fósforo da entrada e saída da ETE Lagoa da Conceição. Fonte: CASAN.

As eficiências da nitrificação e da remoção absoluta de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e fósforo inorgânico dissolvido (PID) foram calculadas, os resultados estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Eficiências de tratamento das ETE's da CASAN localizadas na Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição

	Nitrificação	Remoção de NID	Remoção de PID
ETE BARRA DA LAGOA	79%	61%	0%
ETE LAGOA DA CONCEIÇÃO	61%	27%	8%

É possível observar que nenhuma das duas ETE's está removendo as cargas de fósforo de forma suficiente, e que taxa de remoção das cargas de nitrogênio da ETE Lagoa da Conceição é muito baixa. O efluente final das duas ETE's tem destinação nas dunas, por isso os cálculos de concentrações de chegada dos nutrientes na laguna precisam considerar uma atenuação das concentrações devida aos fatores de degradação, adsorção e dispersão associados a percolação dos efluentes tratados pelas dunas até a chegada na laguna. As concentrações médias de entrada e saída das ETEs e a concentração estimadas através dos valores de atenuação encontrados por Zanatta et al (2004) para chegada do efluente tratado na laguna estão apresentados na Tabela 19 e Tabela 20.

Tabela 19 – Concentrações de N e P nas entradas e saídas da ETE Barra da Lagoa

	N-NH (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	P-po4 (mg/L)
Entrada (gradeamento)	54.09	-	-	2.40
Saída (pós desinfecção)	11.58	0.59	8.95	2.40
Chegada na laguna (após percolação nas duna)	5.79	0.06	0.90	0.72

A concentração de emissão de N-NH₄, N-NO₃ e P-PO₄ estão acima do permitido para um corpo receptor de classe 2 e água salina, pela CONAMA 357/05, que é de 0,7mg/l , 0,7mg/l e 0,186 mg/l, o mesmo ocorre com a ETE Lagoa da Conceição.

Tabela 20 - Concentrações de N e P nas entradas e saídas ETE Lagoa da Conceição

	N-NH (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	P-po4 (mg/l)
Entrada (gradeamento)	59.08	-	-	4.98
Saída (pós desinfecção)	23.34	0.96	18.92	4.59
Chegada na laguna (após percolação nas dun)	11.67	0.10	1.89	1.38

Pelas estimativas, mesmo com a percolação pelas dunas, as concentrações de amônio e fosfato lançadas estão acima do determinado pela legislação.

6.6 Análise descritiva dos dados de qualidade da água da laguna em 2015

As medias geométricas das principais variáveis medidas no corpo de água no ano de 2015 estão apresentadas na Tabela 21 abaixo.

Tabela 21 - Valores médios dos parâmetros de qualidade da água medidos no corpo de água da Lagoa da Conceição em 2015

Estação De coleta	pH	Temp. (°C)	Sal. (psu)	Massa específica (kg/m ³)	NH/ NID	NID (µg/l)	PID (µg/l)	NP	Clorofila a (mg/L)	OD (mg/L)
L1	7.87	22.09	21.03	1013.70	0.48	54.47	3.45	34	6.00	7.57
L2	8.00	22.58	21.35	1013.83	0.37	49.25	3.36	32	3.55	7.53
L3	7.65	22.03	26.00	1017.68	0.29	89.12	2.94	67	4.97	3.21
L4	8.01	22.41	26.43	1017.87	0.45	19.42	3.30	13	5.19	4.50
L5	7.73	21.68	15.93	1010.04	0.41	138.02	7.79	39	4.49	6.70
L6	7.81	21.72	15.46	1009.72	0.19	150.55	6.67	49	4.46	7.07
CB1	8.43	22.03	24.96	1017.04	0.38	31.45	4.05	17	2.25	8.67
CB2	8.47	20.59	25.25	1017.70	0.37	41.29	6.40	14	1.41	7.17
CB3	7.37	20.47	27.59	1019.47	0.24	42.75	6.69	14	1.67	6.92

É possível verificar que a Lagoa da Conceição possui um gradiente de salinidade e pH que aumentam no sentido do oceano e que o gradiente de temperatura apresenta comportamento inverso. A menor salinidade registrada nas campanhas foi de 15 psu, o que significa que todo o corpo de água é salobro, sendo que a região de menor salinidade se encontra na região sul, que é represada pelo canal de estrangulamento na conexão com a região central, favorecendo maior influência hidrológica nos padrões de qualidade da água. Os maiores valores de salinidade encontrados foram como o esperado nas proximidades do Canal da Barra da Lagoa e nas águas de fundo da região central. Isto é explicado pela forte estratificação da coluna de água, sendo que a diferença entre as massas específicas de topo e fundo foram de até 9kg/m³. As maiores concentrações de NID e PID foram encontradas na região sul, o que reforça a hipótese de enriquecimento de nutrientes por influência hidrológica/antrópica. A razão NP, (N / P > 10), mostra que a produção primária é limitada pela liberação de fósforo, pela lei dos mínimos de Leibig (Odum, 1987), o que já foi verificado por muitos autores (Fonseca et al, 2002, 2004, 2006 ; Fontes et al, 2004, 2009, 2011; Barros, 2015). As concentrações de oxigênio dissolvido indicam forte depleção na região central, principalmente nas águas de fundo da coluna d'água estratificada, onde foram encontradas concentrações de oxigênio dissolvido que caracterizam anoxia nas águas de fundo (0,27 mg/L, 0,7 mg/L, 0,92 mg/L).

Os mapas com os valores de concentrações de NID (Figura 19), PID (Figura 20), da estimativa da produção primária planctonica através das concentrações de clorofila – a (Figura 21) e da razão N:P para verificar a distribuição da limitação por nutrientes (Figura 22) no corpo de água foram gerados com valores em escala logarítmica para ajustar a escala de cores e as isolinhas de maneira que é possível verificar as regiões com condições nutricionais distintas e a relação das concentrações com a proximidade dos exutórios das SBH.

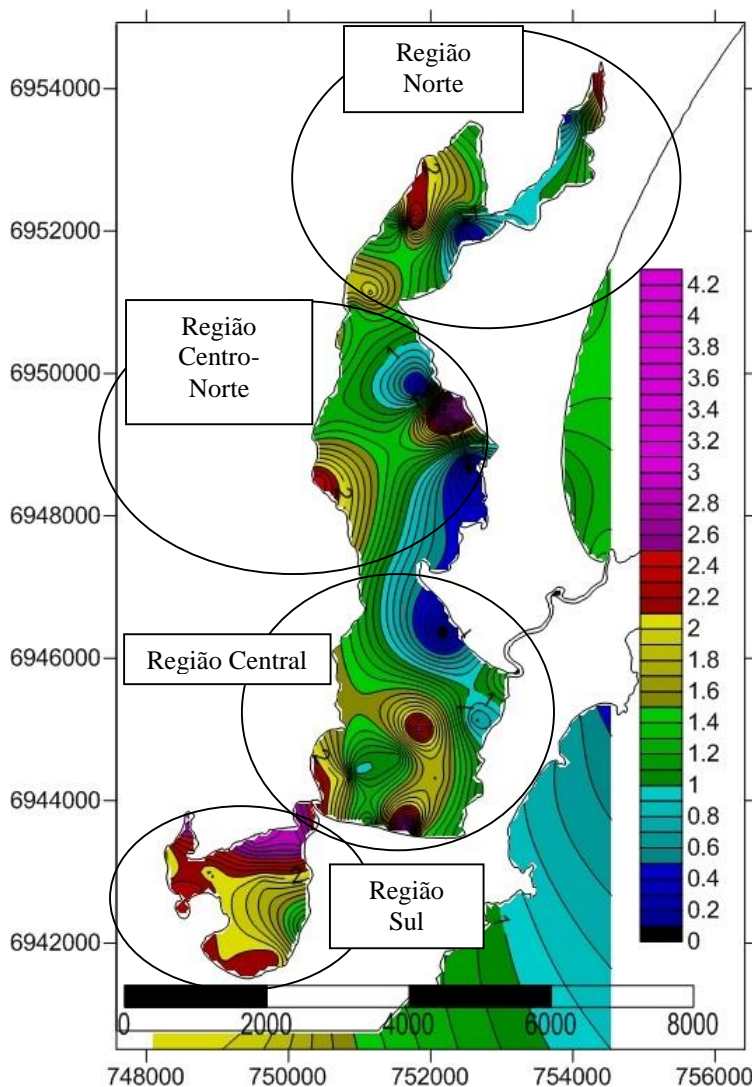


Figura 19 - Mapa de concentrações de Nitrogênio na forma inorgânica dissolvida (NID) na Lagoa da Conceição no ano de 2015 – Não foram utilizados dados no oceano, portanto os valores apresentados nesta região podem ser desconsiderados.

É possível verificar o efeito das altas cargas de nutrientes que entram na laguna nas bacias de drenagem da UH Centro Sul e Norte, além dos efeitos

do represamento na região sul na acumulação de NID na proximidade do canal de ligação com a região central. É possível também verificar pontos de acumulação na região central, centro norte e norte. Para os limites da legislação CONAMA 357/05 apenas as regiões representadas em roxo estão acima do estabelecido ($NID > 1600$). Para os limites ecológicos de nutrição estabelecido por Wetzel (1983), as regiões em vermelho e roxo estão classificadas como eutrófico e hiper-eutrófico respectivamente.

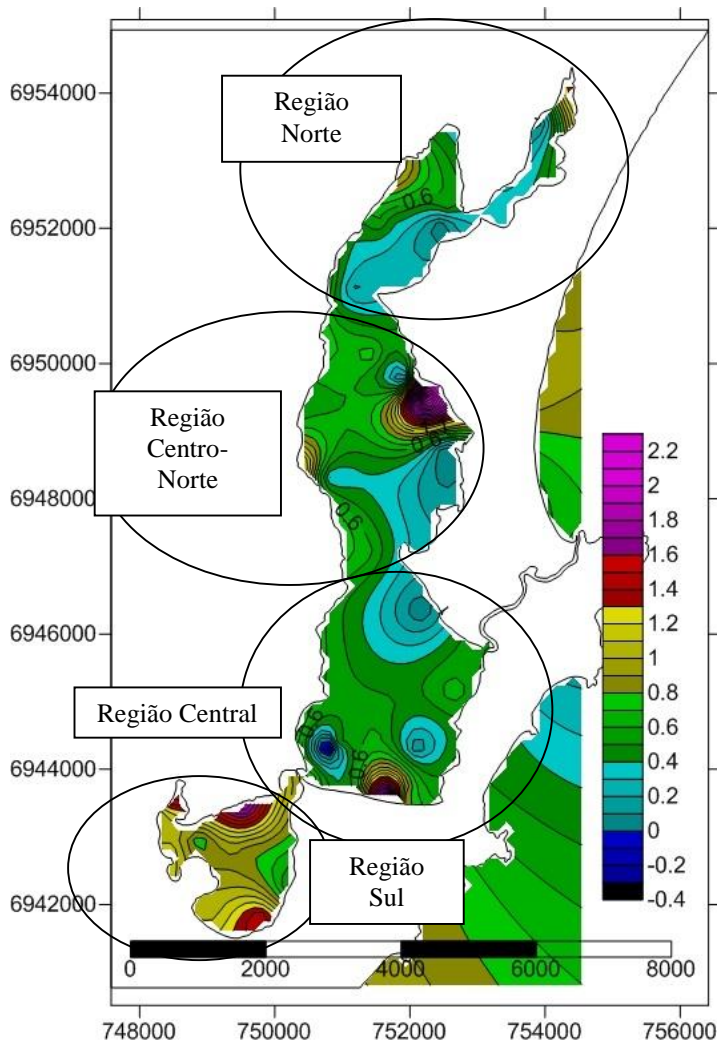


Figura 20 - Mapa de concentrações de Fósforo na forma inorgânica dissolvida (PID) na Lagoa da Conceição no ano de 2015 – Não foram utilizados dados no oceano, portanto os valores apresentados nesta região podem ser desconsiderados.

Para os limites da legislação CONAMA 357/05 não foram encontrados valores maiores para este parâmetro, porém, assim como para o NID, nos valores de referência de nutrição estabelecido por Wetzel (1983), as

regiões em vermelho e roxo estão classificadas como eutrófico e hiper-eutrófico.

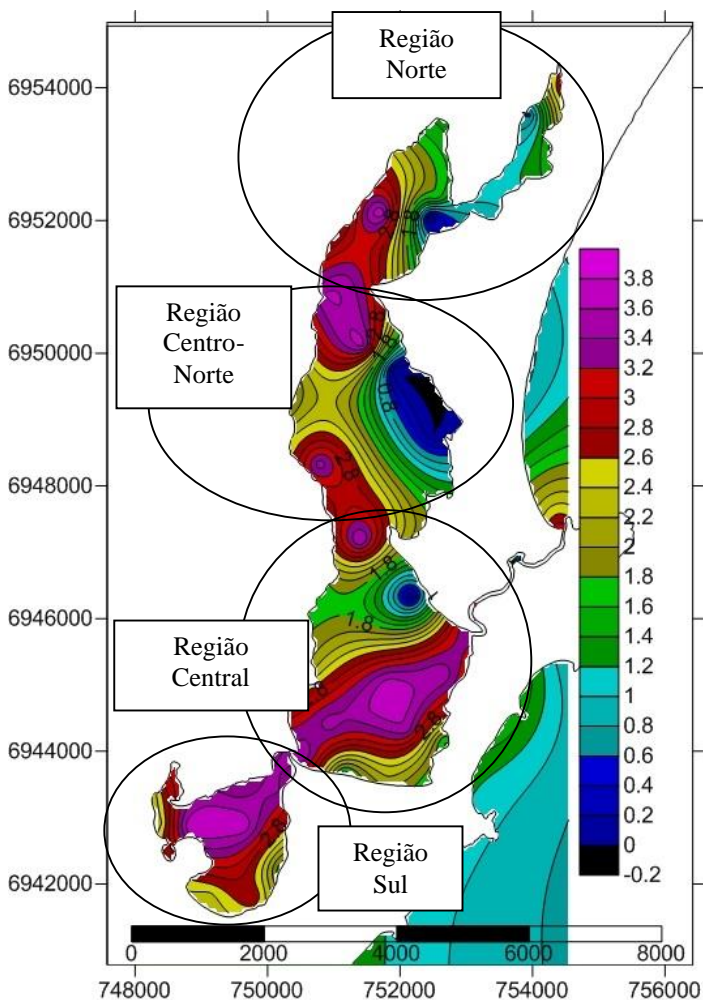


Figura 21 - Mapa de concentrações de Clorofila-A na Lagoa da Conceição no ano de 2015 – Não foram utilizados dados no oceano, portanto os valores apresentados nesta região podem ser desconsiderados.

A legislação CONAMA 357/05 não estabelece valores de referência para clorofila-a em corpos de água salobra. Porém as regiões em vermelho e

roxo estão classificadas como eutrófico e hiper-eutrófico para os valores de referência estabelecidos por Wetzel (1983).

É possível também observar, não só uma influência das cargas de lançamento como também uma grande influência dos padrões de circulação hidrodinâmica no corpo de água com as concentrações de clorofila. Nas regiões de giro anti-ciclônico onde predominam os processos de acumulação de material, como ilustrado nas setas vermelhas da Figura 5, são as mesmas regiões que possuem as mais altas concentrações de NID e clorofila-a.

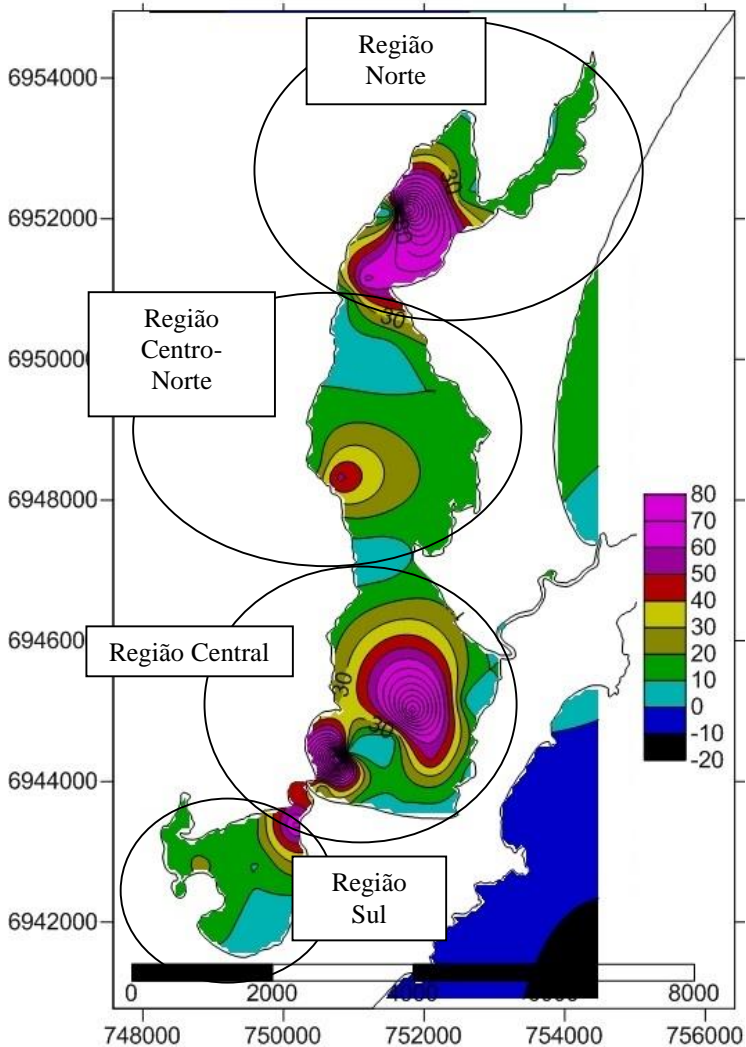


Figura 22 - Mapa da razão entre N:P na Lagoa da Conceição no ano de 2015 – Não foram utilizados dados no oceano, portanto os valores apresentados nesta região podem ser desconsiderados.

Pela lei do mínimo de Liebig (Odum, 1987), a Lagoa da Conceição se encontra limitada por fósforo, com valores de relação N/P >10. Com maior ênfase nas regiões de acumulação entre as regiões sul e central, na região

profunda central e norte, onde a tendência de sedimentação das partículas é maior.

6.7 Setorização Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição

Através dos padrões de circulação hidrodinâmica em duas dimensões da Figura 5 de (SILVA,2013) foi setorizado o corpo lagunar em oito áreas de características hidrodinâmicas semelhantes em termos de transporte e dispersão em estado estacionário. Os pontos amostrais distribuídos nos oito setores estão descritos na Figura 23.

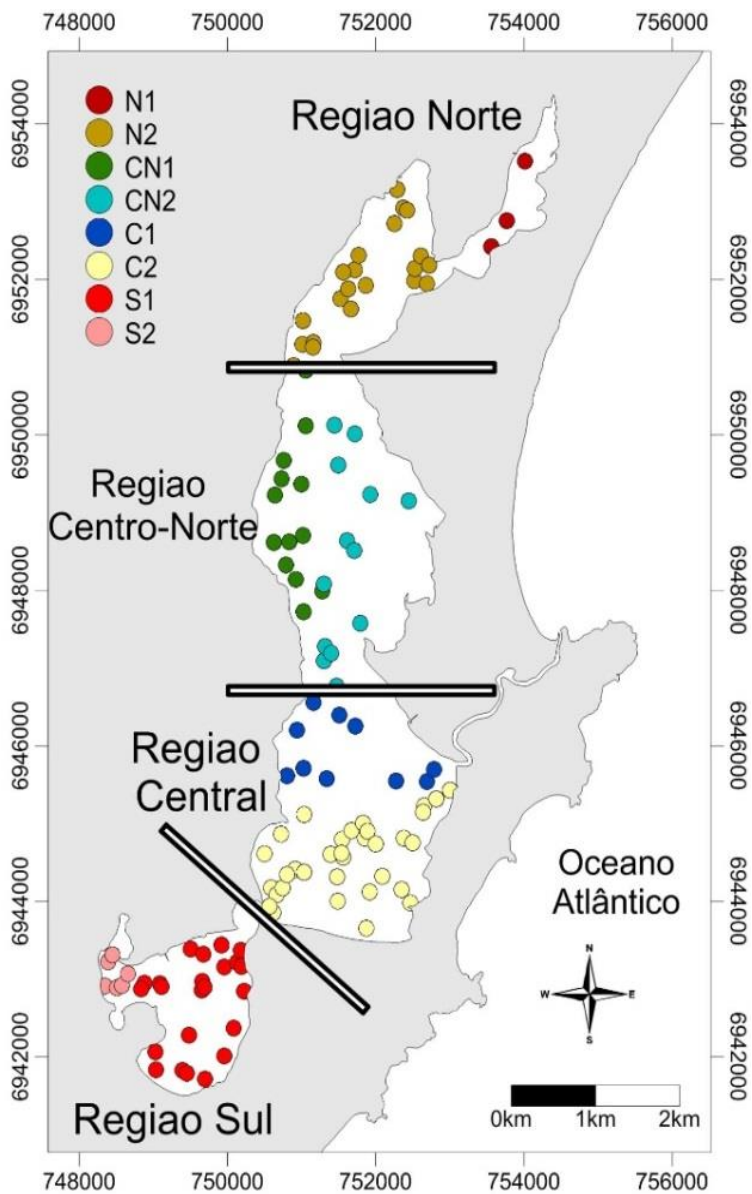


Figura 23 - O mapa com a distribuição dos pontos amostrais utilizados para análises da qualidade da água da Lagoa da Conceição de 2001 á 2015 – Estão separados por quatro regiões e oito setores hidrodinâmicos.

Cada um dos quatro subsistemas foi dividido em dois setores homogêneos, em termos de profundidade e padrões de circulação resultando em:

N1 – Setor extremo norte, rasa de transporte forçado pela entrada hidrológica da sub-bacia de maior área da bacia hidrográfica (Rio João Gualberto);

N2 – Setor norte de profundidade média, com baixa velocidade de escoamento onde o giro anti-ciclônico provoca acumulação de material;

CN1 – Setor centro norte, profunda de predominância de transporte em direção ao sul da água que se mistura no subsistema norte;

CN2 – Setor centro norte, rasa onde predomina transporte no sentido sul para norte forçado pela maré;

C1 – Setor central rasa onde predomina a dispersão forçada pela entrada de água da Setor CN e do canal da barra da lagoa;

C2 – Setor central profunda onde predomina baixas velocidades de escoamento e a presença do giro anti-ciclônico que intensifica a acumulação de material nas águas de fundo;

S1 – Setor sul rasa de influência das entradas hidrológicas das subbacias mais densamente povoadas da bacia hidrográfica (bairros do centrinho e canto da lagoa);

S2 – Setor sul profunda onde predominam baixas velocidades de escoamento e acumulação intensificada pelo giro anti-ciclônico.

6.8 Evolução espaço temporal da estratificação da coluna d'água

O Boxplot do índice de estratificação pelos oito setores hidrodinâmicos estão apresentados na Figura 24.

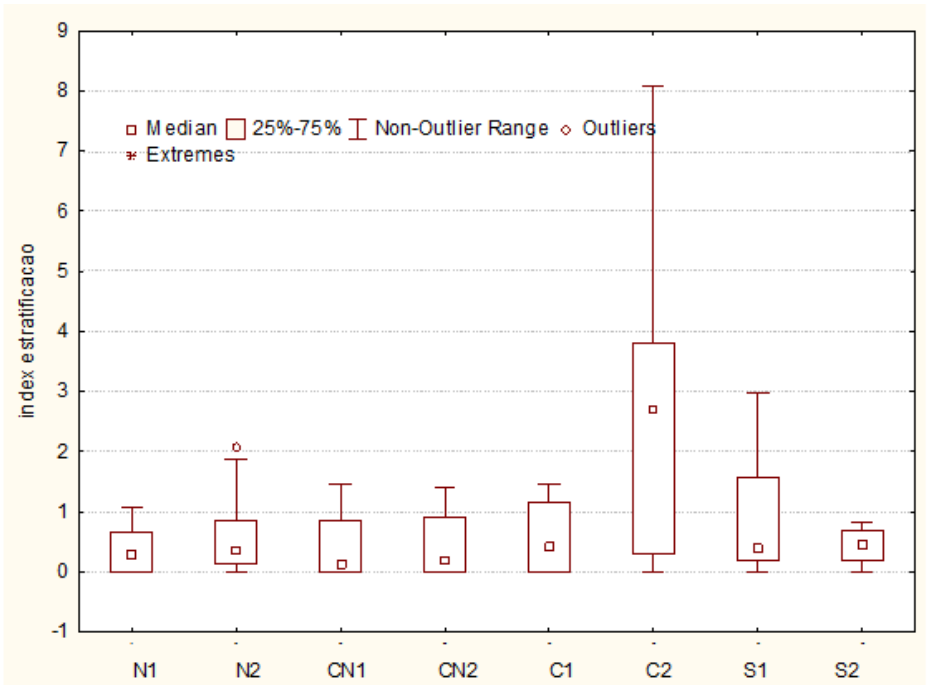


Figura 24 - Índice de estratificação nos setores hidrodinâmicos

Pode-se verificar que somente a região C2 apresenta significativa estratificação, mas vem confirmado pelo dendograma da Figura 25.

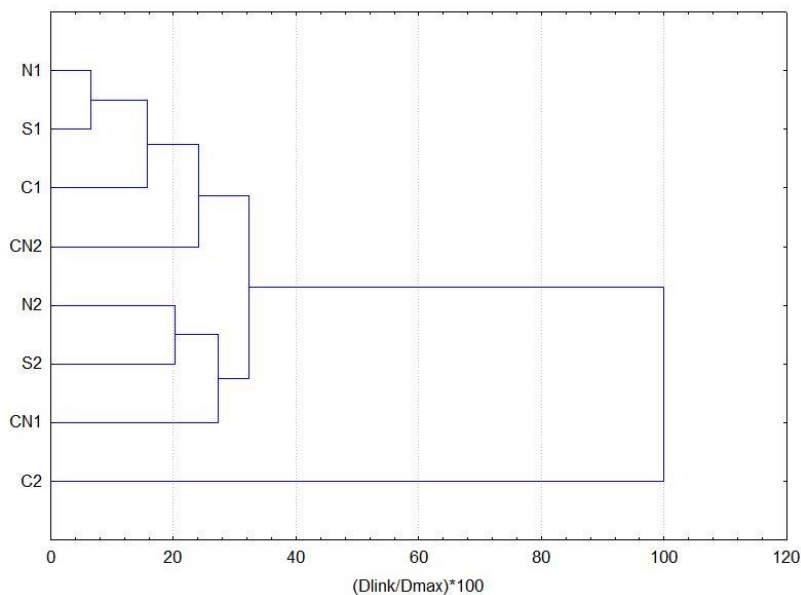


Figura 25 - Agrupamento pelo índice de estratificação para os setores hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição utilizando o método de ligação completa e distância euclidiana

Fazendo a separação em 60% da maior distância encontramos que o setor C2 é o único que apresenta um valor significativo em comparação aos demais setores que apresentam coluna d'água homogênea. Isto mostra que esta região central possui um impedimento físico à mistura das massas de água no sentido vertical. Já no restante da laguna existe homogeneidade na coluna de água.

O gráfico de Box-plot a seguir mostra a distribuição dos valores do índice de estratificação ao longo dos anos de monitoramento (Figura 26).

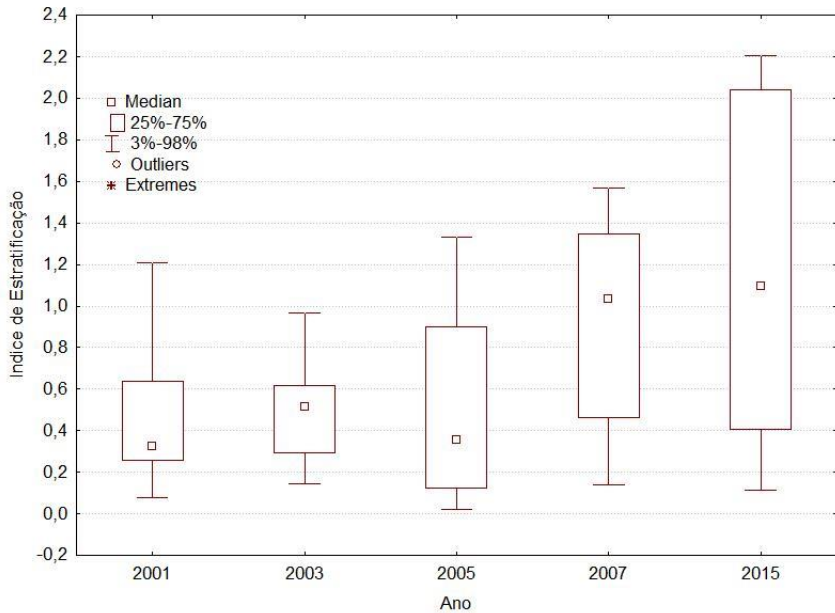


Figura 26 - Evolução temporal do índice de estratificação na laguna ao longo do período avaliado. A partir de 2003 é possível observar um aumento gradativo na média na variância dos valores de estratificação.

É possível observar a existência de um aumento gradual do valor médio e da dispersão dos valores com o passar dos anos. Porém os valores absolutos ainda são pequenos quando comparados com os resultados obtidos quando visualizamos apenas pela região C2 (Figura 27).

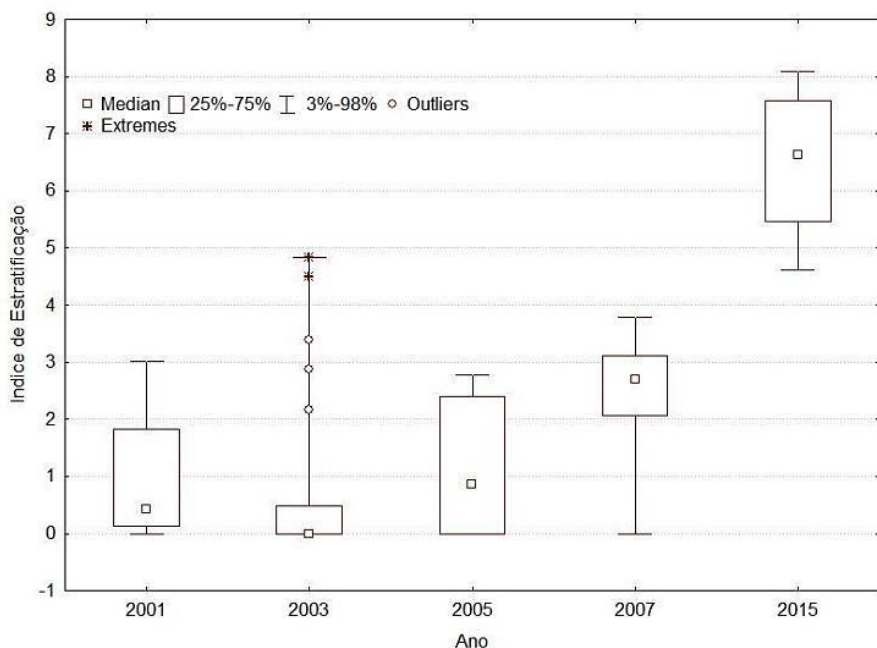


Figura 27 - Evolução da estratificação da coluna d'água no setor C2 da laguna ao longo do período avaliado.

O gráfico indica um crescimento da estratificação significativo com o tempo, principalmente a partir do ano de 2007. O resultado de p para os testes de Kruskal Wallis de comparação do índice de estratificação nos anos monitorados mostra que os valores são diferentes com 99,9% de confiança. Para verificar quais são os anos diferentes entre si foi feito o teste post-hoc de múltiplas comparações, o resultado pode ser visto na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores de “p” das múltiplas comparações para o teste post hoc de Kruskal Wallis

	2001	2003	2005	2007	2015
2001		1.00	1.00	0.05	0.00
2003	1.00		1.00	0.00	0.00
2005	1.00	1.00		0.00	0.00
2007	0.05	0.00	0.00		1.00
2015	0.00	0.00	0.00	1.00	

Os valores de $p > 0,05$ indica que os anos tiveram resultados de índice de estratificação iguais, já os valores de $p \leq 0,05$ indicam períodos onde as distribuições são diferentes. Portanto observa-se a formação de dois períodos distintos, os anos de 2001, 2003 e 2005, com valores do índice de estratificação variando entre 0 e 1 kg/m³ (coluna d'água homogênea) e os anos de 2007 e 2015 com valores variando entre 2,5 e 7 kg/m³ (coluna d'água estratificada).

Observa-se que existe uma relevância acentuada da diferença entre a salinidade de superfície e fundo para esta região, como mostram a Figura 28 e Figura 29.

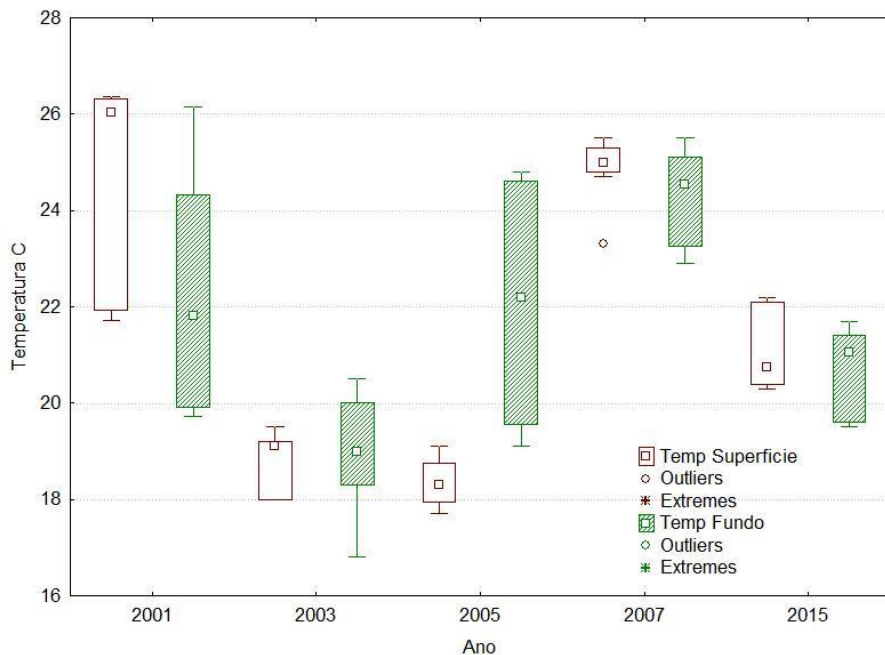


Figura 28 - Evolução da temperatura na superfície e fundo do setor C2

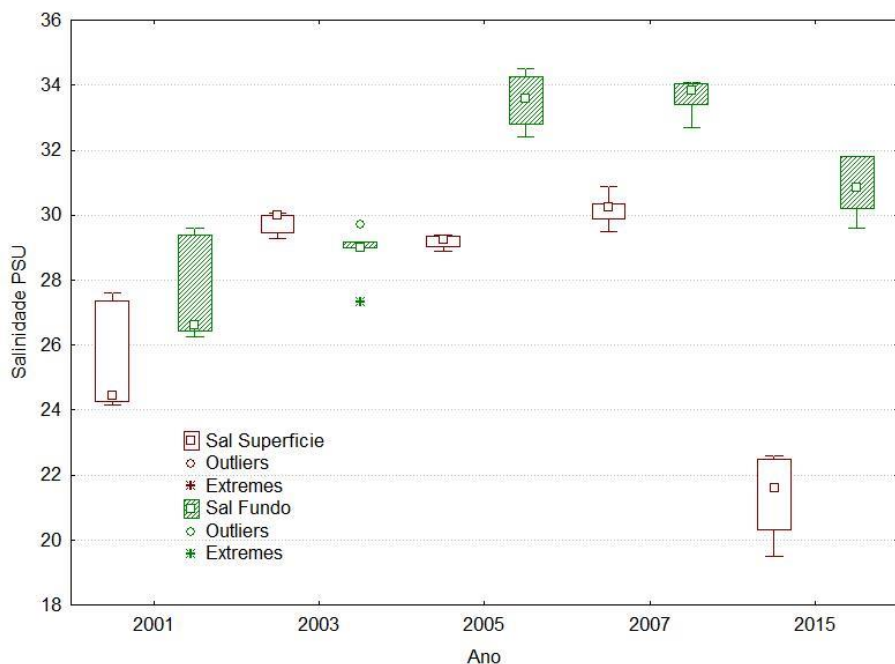


Figura 29 - Evolução da salinidade na superfície e fundo no setor C2.

Observa-se um aumento da salinidade de fundo e possível estabilização deste valor a partir de 2007 até 2015 com uma pequena redução em 2015. É possível observar também uma redução acentuada na salinidade da superfície do corpo de água no ano de 2015, o que explica os altos valores do índice de estratificação neste ano.

6.9 Evolução espaço temporal do estado trófico

O resultado do agrupamento dos oito setores hidrodinâmicos pelo índice de estado trófico (TRIX), pode ser visto no dendograma da figura a seguir(Figura 30**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

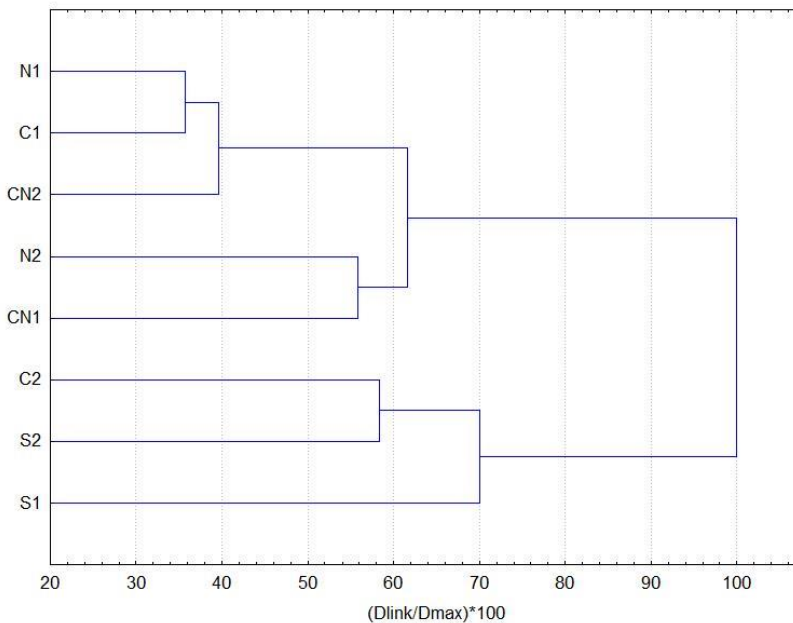


Figura 30 - Dendograma dos oito setores hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição sobre os dados de índice trófico (TRIX) de 2001 à 2015

Pelo dendrograma é possível observar a formação de dois grupos principais, os setores de influência das entradas hidrológicas ao norte (Rio João Gualberto) – setores N1, N2, CN1, CN2, e C1 - e os setores influenciados pelas entradas do sul (bacias que drenam os bairros do Canto da Lagoa e Centrinho da Lagoa) – setores C2, S2 e S1- separados pela corrente

longitudinal em direção ao Canal da Barra da Lagoa, dividindo a região central em dois setores, C1 em conexão com o norte e o setor C2 conectado com o sul.

O setor S1 se destaca por possuir os maiores valores do índice trófico, isto se deve a grande densidade urbana e altas cargas de nutrientes lançadas pelas bacias de drenagem que se localizam na região Centro-Sul. Os valores do nível trófico encontrados em cada amostra associados à circulação hidrodinâmica podem ser observados no mapa da Figura 31.

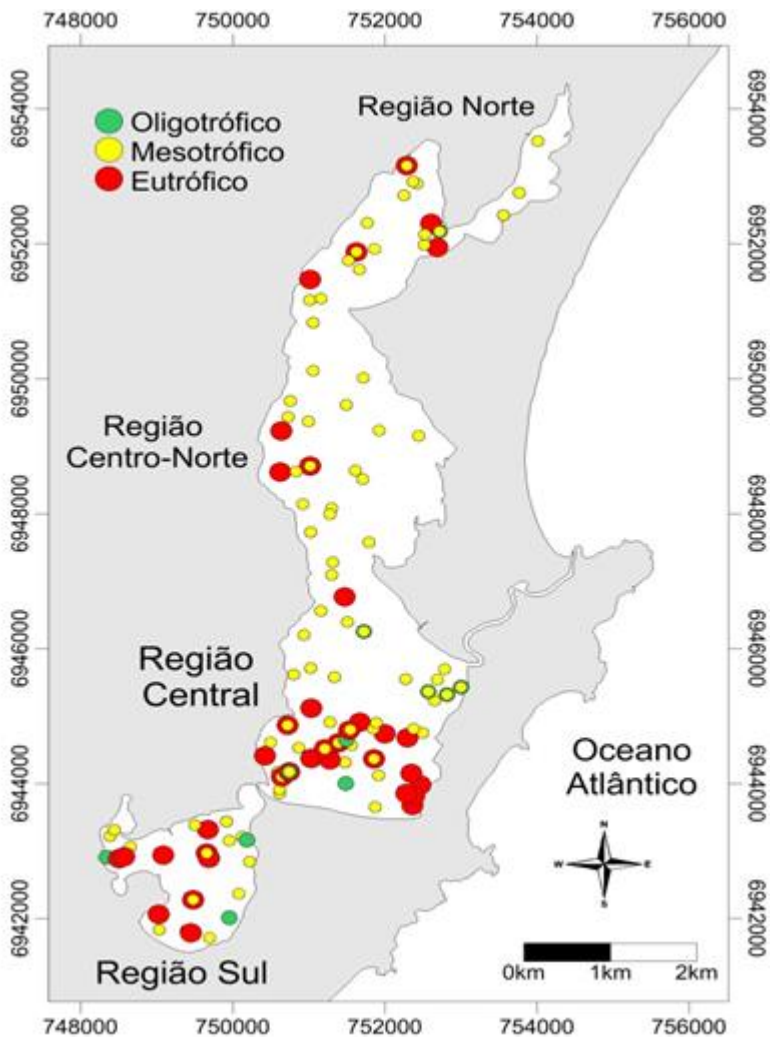


Figura 31 - Resultados obtidos a partir do Índice de estado trófico (TRIX) encontrados na Lagoa da Conceição no período de 2001 á 2015.

No setor norte os maiores valores do TRIX se encontram nas partes de escoamento lântico (alargamento no sentido do norte para o sul do extremo norte – N2). Essa massa de água que se origina no Rio João Gualberto ao norte da bacia segue pelo canal profundo (CN1) no oeste do setor centro-norte em direção ao setor central (C1), apresentando valores maiores valores do TRIX do que na área rasa leste (CN2), por efeito de diluição provocado pela

corrente de retorno que vem da parte rasa da setor central (C1). Na setor central os maiores valores são encontrados nas proximidades do canal de ligação com a setor sul e parte profunda (do giro anti-ciclônico – C2) que acumula sedimentos e materiais particulados no fundo. A localidade sul se apresenta como a mais impactada pela eutrofização, os maiores valores nas proximidades das entradas hidrológicas (S1) e no represamento próximo ao estrangulamento de conexão com a setor central (S2). O alto adensamento populacional da Unidade Hidrológica Centro e Sul explica os altos valores encontrados e a presença de macroalgas nestas regiões corrobora com os resultados encontrados.

O boxplot da clorofila pelos setores mostra a localidade S2 com maior quantidade de clorofila que as demais (Figura 32).

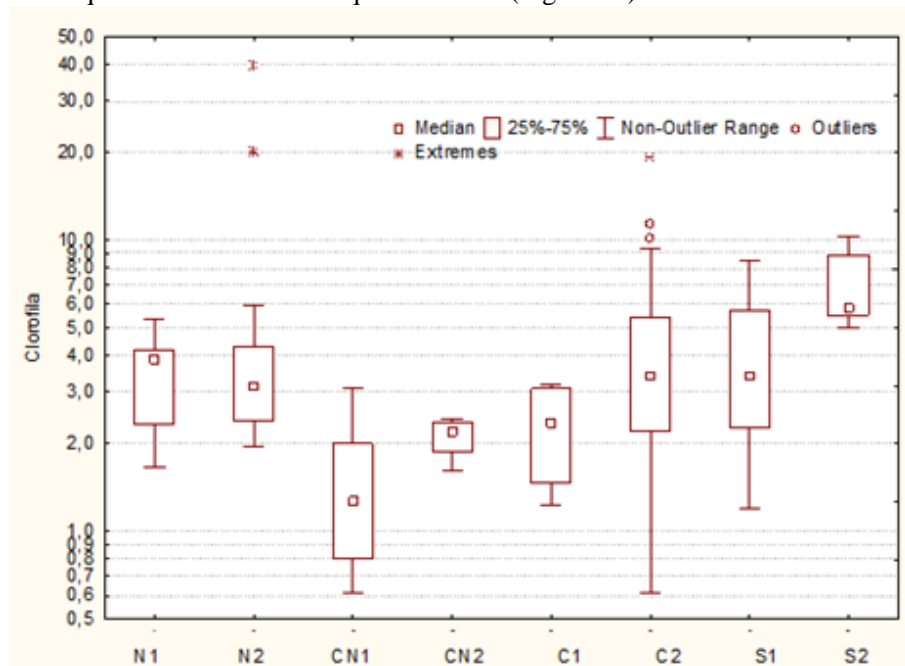


Figura 32 - BloxPlot das concentrações de clorofila por setor hidrodinâmico

É possível verificar também uma diluição nas proximidades da região 5-C1 de conexão com o canal da barra da lagoa de um lado e de outro pela maior distância das entradas hidrológicas

Após a verificação da distribuição do TIRX espacialmente, foi realizada uma análise temporal. O Box-plot a seguir mostra a evolução temporal de valores encontrados para o índice de estado tráfego de 2001 à 2015(Figura 33).

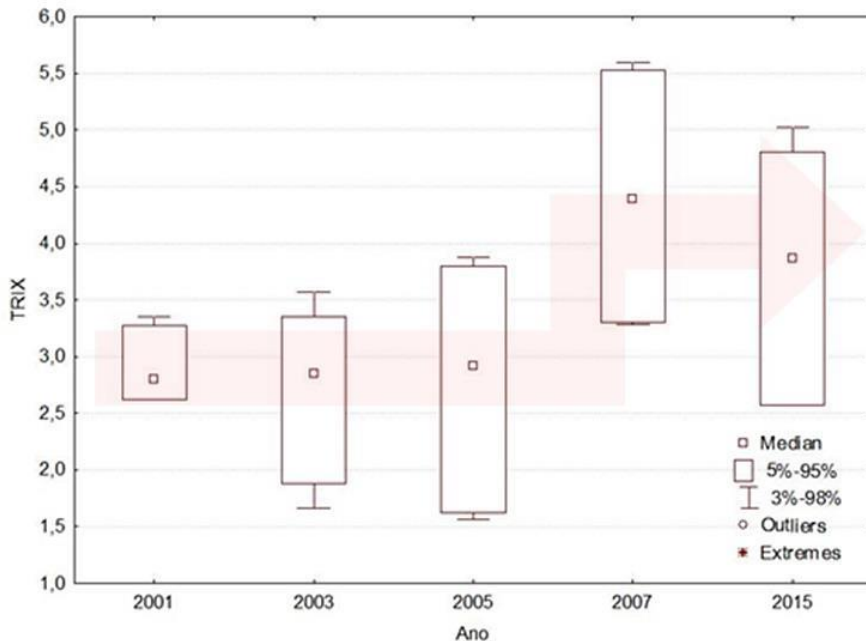


Figura 33 - Evolução temporal dos valores do TIRX para a Lagoa da Conceição para o Período monitorado. A seta evidencia o aumento significativo do nível tráfego encontrado ao longo do período.

A seta tracejada ilustra o aumento em forma de degrau da mediana dos valores a partir de 2007. Observa-se também um aumento gradual da variabilidade dos dados em torno da tendência central com o tempo (alargamento das caixas de ano a ano). Além disso, podemos verificar que no ano de 2015 existe uma redução em relação ao ano de 2007.

Pelo teste de Kruskal Wallis verificamos com 99,9% de confiança que existem diferenças significativas na distribuição dos valores de TIRX para Lagoa da Conceição nos últimos 15 anos. Para verificar quais são os anos diferentes entre si foi feito o teste post-hoc de múltiplas comparações, o resultado pode ser visto na Tabela 23.

Tabela 23 - Valores de “p” para as múltiplas comparações para o teste post hoc de Kruskal Wallis

	2001	2003	2005	2007	2015
2001		1.00	1.00	0.00	0.00
2003	1.00		1.00	0.00	0.00
2005	1.00	1.00		0.00	0.00
2007	0.00	0.00	0.00		0.20
2015	0.00	0.00	0.00	0.20	

Os valores de $p > 0,05$ indica que os anos tiveram resultados de índice trófico iguais, já os valores de $p \leq 0,05$ indica períodos com valores diferentes. Portanto observa-se a formação de dois períodos distintos, os anos de 2001, 2003 e 2005, com valores do índice trófico variando entre 1,5 e 4 e os anos de 2007 e 2015 com valores variando entre 2,5 e 5,7.

A diferença entre os dois períodos foi verificada com os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Wald-Wolfowitz. O resultado é a existência de dois períodos distintos de nível trófico 2001, 2003, 2005 (até 2005) e 2007 e 2015 (a partir de 2007) pelos dois testes (Tabela 24).

Tabela 24 - Valores de P para os testes de Kolmogorov-Smirnov e Wald-Wolfowitz

Teste	Média do TRIX		Desvio padrão do TRIX		Valor de p do teste
	Até 2005	A partir de 2007	Até 2005	A partir de 2007	
Kolmogorov-Smirnov	2.80	4.05	0.46	0.76	$p < .001$
Wald-Wolfowitz	2.80	4.05	0.46	0.76	$p < .001$

No período até 2005 a Lagoa da Conceição mostrava níveis tróficos que qualificavam o ambiente como oligotrófico a mesotrófico. Já no período a partir de 2007, os valores passaram a variar entre mesotrófico e eutrófico, o que representa um aumento significativo das concentrações de nutrientes

dissolvidos como mostram a Figura 34 e Figura 35 para as concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido e fósforo inorgânico dissolvido (NID e PID).

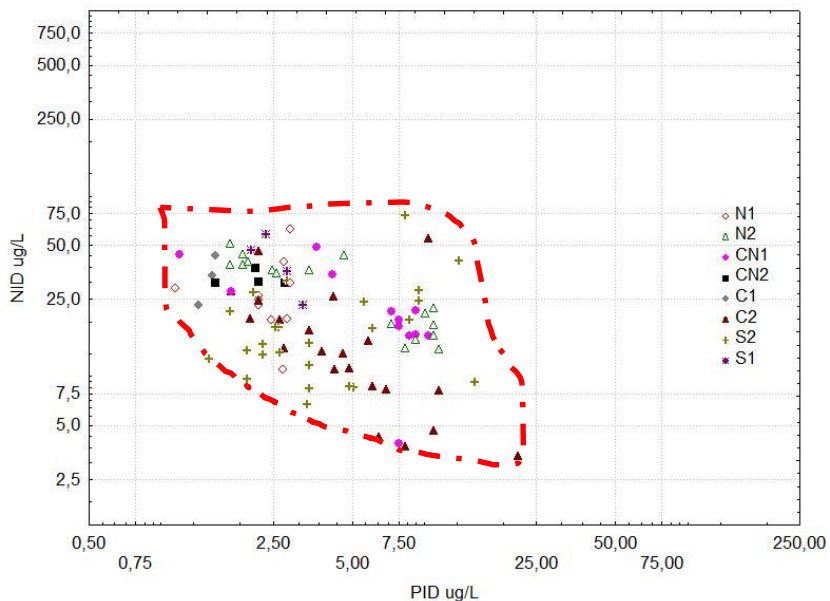


Figura 34 - Concentração de NID e PID na Lagoa da Conceição – de 2001 á 2005

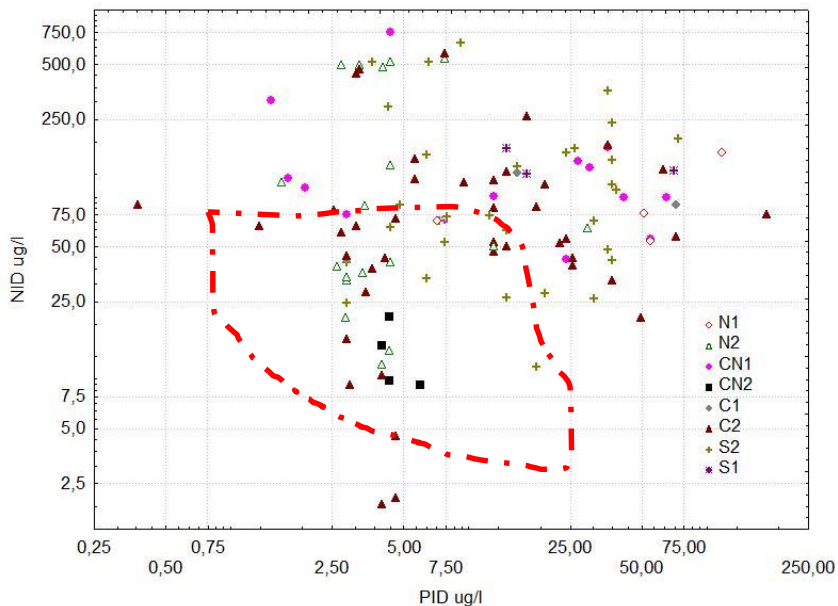


Figura 35 – Concentração de NID com PID – de 2007 e 2015

O confronto entre os dois períodos indica um aumento em 10 vezes na escala dos valores de NID e PID, sendo que a partir de 2007 a maioria dos valores extrapola os valores iniciais. As localidades do subsistema sul e central apresentam os maiores valores nos dois períodos.

6.10 Efeitos da eutrofização nos ciclos biogeoquímicos

Para identificar melhor as possíveis relações entre a variação do TRIX e os ciclos biogeoquímicos na LdC utilizou-se uma MDS sobre todas as variáveis (OD, Salinidade, Temperatura, pH, NID, PID, Clorofila-a) de amostras deste estudo.

Os resultados são apresentados em forma gráfica utilizando diversos índices de categorização. Na Figura 36 a escala de cinza representa o ano de coleta e as letras indicam o setor hidrodinâmico da LdC e a localização da amostra em termos de superfície e fundo para região central e se é do primeiro ou do segundo período, como mostra o índice a seguir:

- NP – Norte Primeiro período;
- NS – Norte Segundo período;
- CNP – Centro Norte Primeiro período;
- CNS – Centro Norte Segundo período;

- CSP – Central Superfície Primeiro período;
- CFP – Central Fundo Primeiro período;
- CSS – Central Superfície Segundo período;
- CFS – Central Fundo Segundo período;
- SP – Sul Primeiro período;
- SS – Sul Segundo período.

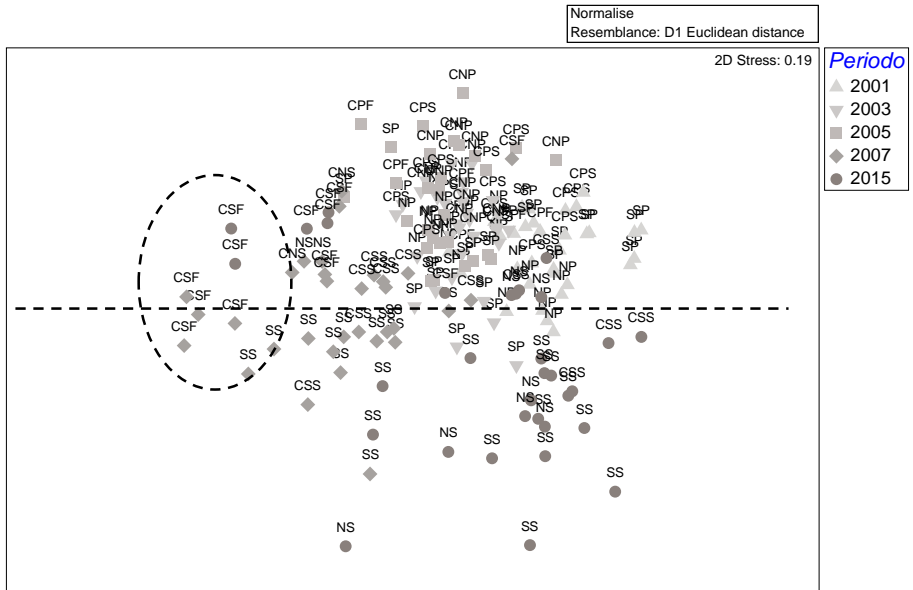


Figura 36 - MDS dos dados de parâmetros nutricionais - Fatores períodos e localidade

Podemos verificar uma tendência das amostras provenientes do período até 2005 a se localizarem muito próximas umas às outras no centro da distribuição, o que representa uma condição de poucas mudanças nos anos deste período. O eixo vertical discrimina as amostras no tempo e a separação dos períodos está identificada com uma linha tracejada. O círculo identifica as amostras de fundo do setor central que se localizaram na extrema esquerda do gráfico

Nas Figuras 37, Figura 38 e Figura 39 o tamanho dos símbolos são proporcionais ao logaritmo das concentrações de oxigênio dissolvido, clorofila-a e NID respectivamente.

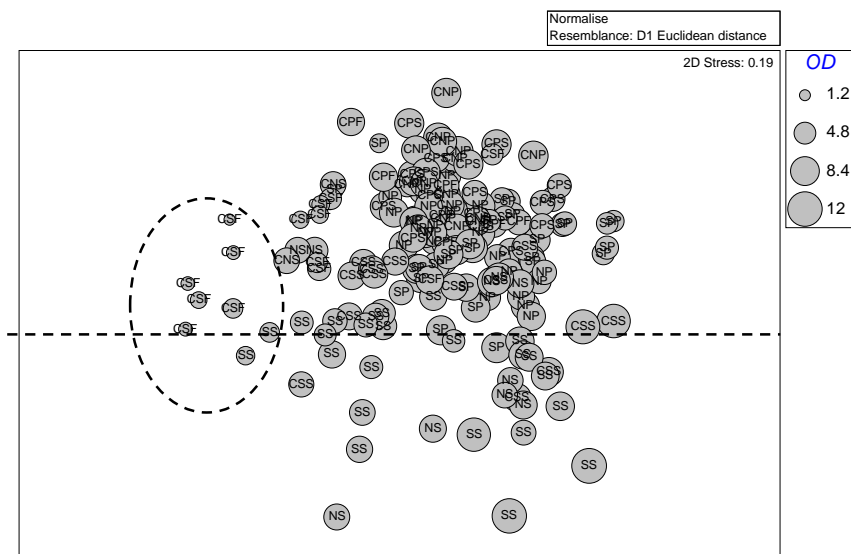


Figura 37 - MDS com escala de tamanhos para concentração de oxigênio dissolvido

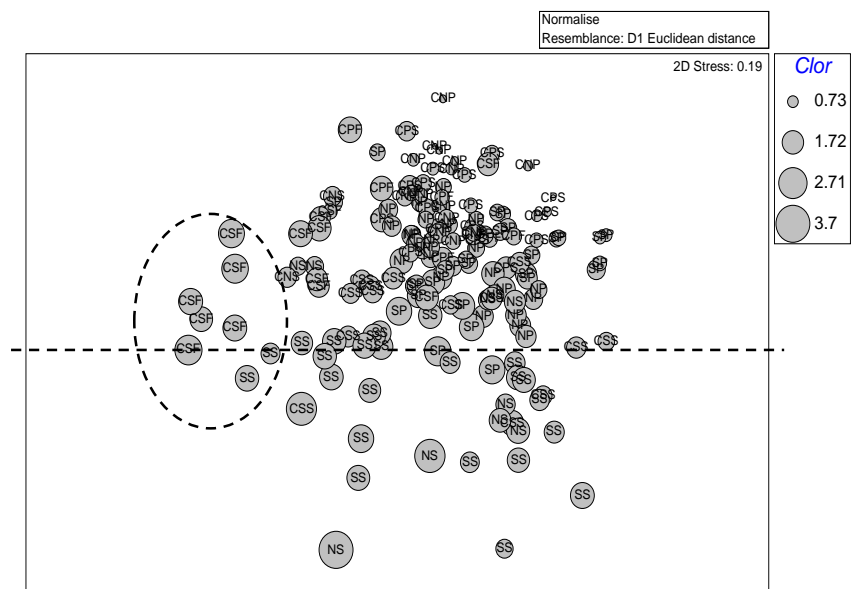


Figura 38 - MDS com escala de tamanhos para concentração de Clorofila-a

Tabela 25 - Auto-valores e variâncias explicadas para os fatores da PCA - Dados do período oligo e mesotrófico (antes de 2006)

Fator	Auto valor	% da Variância explicada	Auto valor acumulado	% da Variância explicada acumulativa
1	1,80	29,94	1,80	29,94
2	1.47	24,50	3.27	54,47
3	0,74	26,23	4,01	80,7
4	0,57	10,99	4,58	91,69
5	0,42	8,31	5	100

A Tabela 26 a correlação das variáveis com os fatores da PCA.

Tabela 26 - Correlação das variáveis nutricionais e de biomassa planctonica com os fatores da PCA

Variáveis	Componente 1	Componente 2
NH/NID	0,496	-0,367
NID	0,306	0,556
PID	0,421	0,051
Clorofila a	0,363	0,519
OD	-0,423	-0,054
Densidade	0,416	-0,531

A primeira componente apresenta uma correlação negativa com a concentração de oxigênio dissolvido e correlação positiva com NH/NID e PID, mostrando ser a componente que representa o processo de mineralização de matéria orgânica. Isto resulta do incremento das concentrações de nutrientes dissolvidos, no caso do nitrogênio na forma N-amoniaco (efluente sanitário), e uma redução das concentrações de oxigênio dissolvido.

A segunda componente apresenta correlação significativa com NID, Clorofila e uma correlação inversa com a densidade, mostrando ser a componente que representa a produção primária obtendo maiores valores na superfície (onde existe maior penetração de luz).

Na Figura 40 é possível observar um espalhamento dos dados nos ao longo da primeira e da segunda componente principal. Na primeira componente (mineralização) é possível observar principalmente as localidades central e sul que possuem os maiores valores de estado trófico (esgoto doméstico) relacionado às entradas de cargas de nutrientes. Na

segunda componente (produção primária) se destacam os setores norte e centro norte. As amostras do primeiro período se localizam no centro do gráfico, o que significa que tiveram menor variabilidade.

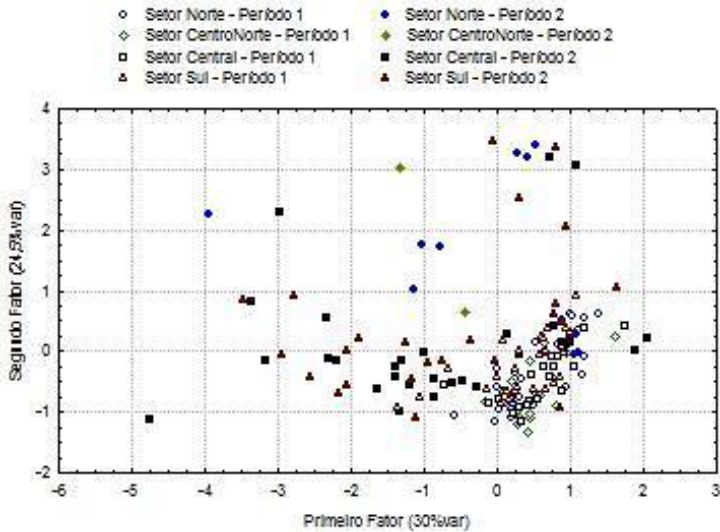


Figura 40 - Análise de componentes principais para todos os dados segregados por localidade e período de amostragem. Os dados foram sinalizados pelo período amostrado – Período 1 mesotrófico (2001 á 2006) e período 2 eutrófico (2007 e 2015) – e pelos setores da I

No processo de eutrofização ocorre o aumento em população e biomassa dos organismos que fazem a produção primária (fitoplanctons, fitobentos, cianobacterias e macro-algas), o que explica o aumento das concentrações de clorofila-a a partir de 2007. Além disso, aumentam também a quantidade de microorganismos que predam os produtores primários e fazem a oxidação da matéria orgânica contribuindo para a liberação de nutrientes inorgânicos, este processo em ciclo provoca depleção das concentrações de oxigênio dissolvido (Castel et al, 1996) e explica a relevância encontrada para o oxigênio na PCA (correlação negativa forte no primeiro fator). Esta característica metabólica encontrada caracteriza um dos efeitos, ou impactos ecológicos do processo de eutrofização na dinâmica populacional e nos ciclos biogeoquímicos do ecossistema. A Figura 41 ilustra este processo.

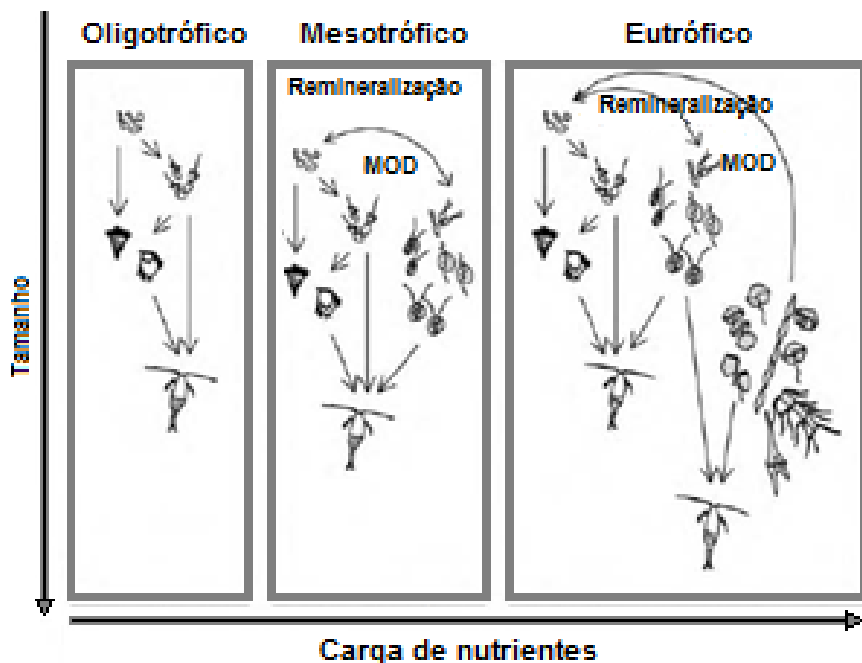


Figura 41 - Representação das mudanças na cadeia alimentar com o processo de eutrofização. Fonte: Adaptado de Effects of Changing Environmental Conditions on Lagoon Ecology. Gamito 2005

A mudança no nível trófico da Lagoa da Conceição é uma resposta ao aumento da mineralização de material celular, redução de oxigênio dissolvido e aumento das concentrações de nutrientes dissolvidos provocados pela resposta da teia alimentar planctônica com o aumento carga de nutrientes lançadas pelos rios.

A eutrofização de lagunas costeiras tem sido documentada como efeito do aumento da população antrópica (descargas de esgoto doméstico) provocando impactos ambientais dentre os quais podem ser citados anoxia e hypoxia (RABALAIS et al., 2010; RABALAIS & TURNER, 2009; SMITH et al., 2000), blooms de algas tóxicas e mortalidade de peixes e mariscos (FAUST & GULLEDGE, 2002; PATRICIA GLIBERT et al., 2005; HEILEMAN S. AND GASALLA M., 2004; WITEK & PLINSKI, 2000), doenças e perda da balneabilidade (FREITAS DE MAGALHÃES, MORAES SOARES, & AZEVEDO, 2001; ORGANIZATION, 2003; RODRIGUES & LORENZZETTI, 2001), redução da biodiversidade (BRICKER ET AL., 1999; CLOERN, 2001; PM GLIBERT, ALLEN, BOUWMAN, & BROWN, 2010; FERREIRA ET AL., 2005). Estes impactos são verificados em diversas

lagunas costeiras no Brasil (COTOVICS, 2013; SANTORO, RICCI, & ENRICH-PRAST, 2012; SMITH ET AL., 2000).

7. CONCLUSÃO

A integração dos dados de qualidade da água da laguna nos últimos 15 anos, somada as informações sobre as características da Bacia Hidrográfica e as estimativas de cargas de nutrientes no corpo de água deu embasamento necessário para o diagnóstico do nível trófico e apontamentos sobre os ciclos biogeoquímicos do nitrogênio e do fósforo na Lagoa da Conceição, verificando as alterações sofridas ao longo dos anos (em resposta ao adensamento urbano da Bacia Hidrográfica) e em suas tendências espaciais devido aos padrões de transporte e dispersão no corpo de água.

Os resultados da análise histórica da qualidade da água apontam para uma mudança expressiva no estado trófico da Lagoa da Conceição nos últimos 15 anos. Através do cálculo do índice de estado trófico (TRIX) foi possível realizar testes não paramétricos para detectar mudanças de oligo-mesotrofismo para eutrofismo a partir de 2007 ao nível de 99,9% de confiança. Além disso o diagrama de MDS mostrou uma separação entre os períodos com aumento das concentrações de nutrientes dissolvidos e clorofila expressiva, que indicam um aumento da produtividade primária neste período.

Através de uma PCA foi verificada a influência da redução das concentrações de oxigênio dissolvido no ecossistema, mostrando uma tendência ao aumento da mineralização da matéria orgânica e aumento da produção primária, porém dentre os dois processos, a mineralização se encontra em primeiro fator, explicando 30% da variabilidade dos dados, sendo que as discrepâncias entre superfície e fundo da região central se intensificam à partir de 2007. Todos os resultados corroboraram para verificação do efeito da eutrofização e anoxia estão sendo provocados pelo aumento da população na bacia de hidrográfica.

Dentre os setores da laguna mais afetadas está a porção oeste do subsistema sul (S1 - nas proximidades dos bairros do Canto da Lagoa e Centro da Lagoa), que apresenta as estações de amostragem que tiveram os maiores valores de índice trófico da laguna e o subsistema central (C2 - nas proximidades da conexão do setor central com o setor sul), que apresenta hipoxia e anoxia nas águas de fundo intensificadas pela forte estratificação nesta região. Além disso, foi verificado que a estratificação vertical da região central aumentou nos últimos anos, fato atribuído ao aumento gradual da salinidade de fundo e redução da salinidade da superfície nos últimos anos.

Estimou-se as cargas de lançamento de nutrientes de fonte terrestre, o lançamento anual (2015) de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) foi de aproximadamente 20,2 toneladas e de fósforo inorgânico dissolvido (PID) de 1,3 tonelada. A produção de carga específica de nutrientes por unidade de área da bacia hidrográfica são de 259,8g N/m².ano e 16,8g P/m².ano, sendo maior do que os valores de referência para risco de eutrofização estabelecidos por VOLLENWEIDER, 1998.

A Unidade Hidrológica Norte apresenta as maiores cargas de NID (60,5%) e a segunda maior carga de PID (14,1%). A Unidade Hidrológica Centro-Sul apresenta elevada proporção das cargas de NID (27,4%) e a maior carga de PID (44%), sendo que sua área é de apenas (10,99%). Sendo assim, sugere-se que ações de gestão do sistema de esgotamento sanitário deveriam ser priorizadas nestas duas Unidades Hidrológicas, já que para pequenas áreas foram verificadas grandes contribuições de efluente sanitário.

8. REFERÊNCIAS

ACQUAVITA, A., Aleffi, I., Benci, C., & Bettoso, N. (2015). Annual characterization of the nutrients and trophic state in a Mediterranean coastal lagoon: The Marano and Grado Lagoon (northern Adriatic Sea). *Regional Studies in*.

AEROCONSULT – Aerolevantamento e Consultoria – Relatório final da batimetria – distrito administrativo da Lagoa da Conceição e Barra da Lagoa. Florianópolis, SC. 2001.

ANDERSON, M. J., Gorley, R. N., & Clarke, K. R. (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. 2008, 214.

ANDRADE, R. C. Estudo da circulação hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2001.

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

BARROS, Georgia. Distribuição dos nutrientes e fixação do carbono em uma laguna subtropical formadora de zona anóxica (Lagoa da Conceição/SC). 2015. Universidade Federal de Santa Catarina.

BEM, Carla Cristina. Determinação do estado de eutrofização de um lago raso: Estudo de caso do Lago Barigui-Curitiba.. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba., 2009.

BIANCHI, Thomas S. Biogeochemistry of estuaries. Oxford University Press, 2006.

BORGO, D., Cattani, A. P., Ribeiro, G. C., Pichler, H. A., Hostim-Silva, M., Clezar, L., ... Spach, H. L. (2015). Os padrões de distribuição dos peixes de uma laguna costeira aberta no Atlântico oeste subtropical são influenciados pelas variações espaciais e sazonais? *Biotemas*, 28(3), 93–105.

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.

BRANCO, J., & Verani, J. (1997). Dinâmica da alimentação natural de *Callinectes danae* Smith (Decapoda, Portunidae) na Lagoa da Conceição, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *Rev. Bras. Zool.*

BRANDINI, F. P., & Fernandes, L. F. (1996). Microalgae of the continental shelf off Paraná State , southeastern Brazil : a review of studies The Paraná littoral and plane region. *Revista brasileira de oceanografia*, 44(1), 69–80.

BRICKER, S. B.; FERREIRA, J. G.; SIMAS, T. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological modelling*, v. 169, n. 1, p. 39-60, 2003.

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.

CAMPOS, Maria Lúcia Arruda. Introdução à biogeoquímica de ambientes aquáticos. Atomo, 2010.

CAÑEDO-ARGÜELLES, M., Rieradevall, M., Farrés-Corell, R., & Newton, A. (2012). Annual characterisation of four Mediterranean coastal lagoons subjected to intense human activity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 114, 59–69.

CARAPETO, Cristina. Poluição das águas. Lisboa: Universidade Aberta, 1999.

CARUSO, Gabriella, Leonardi, M., Monticelli, L. S., Decembrini, F., Azzaro, F., Crisafi, E., ... & Vizzini, S. Assessment of the ecological status of transitional waters in Sicily (Italy): first characterisation and classification according to a multiparametric approach. *Marine pollution bulletin*, v. 60, n. 10, p. 1682-1690, 2010.

CASTEL, Jacques; CAUMETTE, Pierre; HERBERT, Rodney. Eutrophication gradients in coastal lagoons as exemplified by the Bassin d'Arcachon and the Étang du Prévost. *Hydrobiologia*, v. 329, n. 1-3, p. ix-xxviii, 1996.

CHORUS, Ingrid and Jamie Bartram. Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. Spon Press, 1999.

CLOERN, James E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine ecology progress series*, v. 210, n. 2001, p. 223-253, 2001.

COELHO, Susana; GAMITO, Sofia; PÉREZ-RUZAFÁ, Angel. Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 71, n. 1, p. 218-231, 2007.

CONAMA 357/05 – Resolução normativa do Conselho Nacional do Meio Ambiente sobre qualidade da água de corpos de água superficial, Brasil. 2005

COSTA, M. F., & Barletta, M. (2016). Special challenges in the conservation of fishes and aquatic environments of South America. *Journal of Fish Biology*. <http://doi.org/10.1111/jfb.12970>

COTOVICZ JR, Luiz Carlos. Comparação de Modelos e Índices para Avaliação do Estado Trófico do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba,(AL). *Geochimica Brasiliensis*, v. 26, n. 1, 2013.

CHAPRA, S. C. *Surface Water Quality Modeling*. McGraw-Hill Companies, Inc. 1997.

DIAZ, R., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *science*.

DSIKOWITZKY, L., Ferse, S., Schwarzbauer, J., Vogt, T. S., & Irianto, H. E. (2016). Impacts of megacities on tropical coastal ecosystems — The case of Jakarta, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.060>

DUARTE, A. A. L. S.; VIEIRA, J. M. P. *Caracterização dos Ambientes Estuarinos. Mistura em Estuários*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga, Portugal. 1997.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Volunteer stream monitoring: a methods manual*. Washignton: EPA 1997. Cap. 1, p. 134-138.

EKAU, W., & Knoppers, B. A. (2003). A review and definition of the large marine ecosystems of Brazil. In *Large Marine Ecosystems of the World – Trends in Exploitation, Protection and Research* (Vol. 12, p. 355–374).

ESTEVEES, Francisco de Assis et al. *Fundamentos de limnologia*. 2011.

FAUST, M., & Gulledge, R. (2002). Identifying harmful marine dinoflagellates. *Contributions from the United States national*.

FERREIRA, J., Wolff, W., Simas, T., & Bricker, S. (2005). Does biodiversity of estuarine phytoplankton depend on hydrology? *Ecological Modelling*.

FONSECA, A. L. O. Braga, E. S., & Eichler, B. B. *Distribuição espacial dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da biomassa fitoplanctônica no sistema*

pelágico da Lagoa da Conceição, Santa Catarina, Brasil (Setembro, 2000). *Atlântica*, v. 24, n. 2, p. 69-83, 2002.

FONSECA, A. L. O. Variação sazonal e espacial das características hidroquímicas, dos fluxos de nutrientes e do metabolismo na interface água-sedimento na Lagoa da Conceição. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil, 182pp. 2004.

FONSECA, A. L. O. Efeito da drenagem urbana nas características físico-químicas e biológicas da água superficial na Lagoa da Conceição (Florianópolis, SC, Brasil). *Biotemas*, v. 19, n. 2, p. 7-16, 2006

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

FONTES, Maria Luiza Schmitz; ABREU, Paulo C. Spatiotemporal variation of bacterial assemblages in a shallow subtropical coastal lagoon in Southern Brazil. *Microbial ecology*, v. 58, n. 1, p. 140-152, 2009.

FONTES, M. L. S., Suzuki, M. T., Cottrell, M. T., & Abreu, P. C. Primary production in a subtropical stratified coastal lagoon—contribution of anoxygenic phototrophic bacteria. *Microbial ecology*, v. 61, n. 1, p. 223-237, 2011.

FREITAS de Magalhães, V., Moraes Soares, R., & Azevedo, S. M. F. O. (2001). Microcystin contamination in fish from the Jacarepaguá Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): ecological implication and human health risk. *Toxicol*, 39(7), 1077–1085. [http://doi.org/10.1016/S0041-0101\(00\)00251-8](http://doi.org/10.1016/S0041-0101(00)00251-8)

FUJIOKA R.S.; HASHIMOTO H.H.; SIWAK E.B.; YOUNG R.H. Effect of sunlight on survival of indicator bacteria in seawater. *Applied and Environmental Microbiology*. Mar; 41(3) :690-6. 1981.

GASALLA, M. A., & Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B. (2004). Contribution of ecosystem analysis to investigating the effects of changes in fishing strategies in the South Brazil Bight coastal ecosystem. *Ecological*

Modelling, 172(2–4), 283–306.
<http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.09.012>

GAMITO, S. *Effects of Changing Environmental Conditions on Lagoon Ecology*, CRC Press, 2005.

GESAMP. 2001. A sea of troubles. GESAMP Rep. Stud., 70: 1-35.

GLIBERT, P., Allen, J., Bouwman, A., & Brown, C. (2010). Modeling of HABs and eutrophication: status, advances, challenges. *Journal of marine*.

GLIBERT, P., Seitzinger, S., Heil, C., Burkholder, J., Parrow, M., Codispoti, L., & Kelly, V. (2005). The Role of Eutrophication in the Global Proliferation of Harmful Algal Blooms. *Oceanography*, 18(2), 198–209.
<http://doi.org/10.5670/oceanog.2005.54>

GODOY, F. B. *Modelagem Hidrológico-Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2009.*

GÓMEZ R. C. C., Gómez, M. A. M., & Bulgakov, S. N Efectos de los vórtices en sistemas acuáticos y su relación con la química, biología y geología. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, v. 33, n. 10, p. 741-746, 2008.

GRASSHOFF, K., M. EHRARDT, K. KREMELING. *Methods of sea water analysis*. 2 Ed. New York: Verlag Chemie. 317 , 1983.

HALPERN, B. S., Frazier, M., Potapenko, J., Casey, K. S., Koenig, K., Longo, C., ... Walbridge, S. (2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, 6, 7615.

HALPERN, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V, Micheli, F., D'Agrosa, C., ... Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science (New York, N.Y.)*, 319(5865), 948–52.

HEILEMAN S. and Gasalla M. (2004). South Brazil Shelf LME. The UNEP large Marine ecosystems report: a perspective on changing conditions in LMEs of the World's regional seas, 2nd edn United Nations Environmental

Program (UNEP). \United Nations Environmental Program., (February), 235–242.

HUNG J. J. & HUNG P. Y. Carbon and nutrient dynamics in a hypertrophic lagoon in southwestern Taiwan. *Journal of Marine Systems*; 42:97-114. 2003

IDEXX LABORATORIES, INC. Validação do método Colilert®-18/Quanti-Tray® para contagem de *E. coli* e bactérias coliformes em água. Maine, EUA, 2008

INMET. 1992. Normas Climatológicas. 155p.

JORGENSEN, S.E., Marchi, M., Pulselli, F. M., Marchettini, N., & Bastianoni, S. *Fundamentals of Ecological Modelling. Development in Environmental Modelling*, 4a ed. Elsevier, Amsterdam, 2012.

KJERFVE, Björn. *Coastal lagoons. Elsevier oceanography series*, v. 60, p. 1-8, 1994.

KOEFENDER, F. *Análise Numérica da Influência Batimétrica no Padrão de Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC. Dissertação (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.*

LANA, P. da C. Bianchini, A., Oliveira Ribeiro, C. A., Niencheski, L. F. H., Fillmann, G. S. C. S. G., & Santos, C. S. G., *Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas*. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2006. 156 p.

LAURENTI, A. *Plano de Atividades: “Monitoramento e modelagem hidrológica-hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC”*. Relatório de Projeto de Pesquisa, Florianópolis. 2011.

LEDO, S.-S. de. (1999). *Ecosistemas de Marismas da Lagoa da Conceição III. A Produção Primária*. In S. de Ledo & S. S. E. J (Orgs.), *O ecossistema da Lagoa da Conceição (SDM/FEPEMA*, p. 343–357). Florianópolis.

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.

LINO, J.F.L. Análise Numérica da Influência de Forçantes Meteorológicas e Oceanográficas sobre a Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC. Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC. 2005.

LOTZE, H. K., Lenihan, H. S., Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R. G., Kay, M. C., ... Jackson, J. B. C. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science* (New York, N.Y.), 312(5781), 1806–9.

LOURO, Respostas Relacionais Entre Nitrato, Ortofosfato E Biomassa Fitoplanctônica Da Lagoa De Cima (Rj): Uma Abordagem Experimental. 2011.

MCDUGALL, T. J. T. J., Feistel, R., Millero, F. J., Jackett, D. R., Wright, D. G., King, B. A., ... & Seitz, S. The International Thermodynamic Equation Of Seawater 2010 (TEOS-10): Calculation and Use of Thermodynamic Properties. *Global Ship-based Repeat Hydrography Manual, IOCCP Report No, v. 14, 2009.*

METCALF & EDDY INC.. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.* 4. ed. China: Mc Graw Hill, 2003. 540 p.

MIRANDA, LB de; CASTRO, BM de; KJERFVE, Björn. *Princípios de oceanografia física de estuários.* São Paulo: EDUSP, v. 414, 2002.

MOHID, *Water Quality Manual,* Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2006.

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

NIXON, Scott W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, v. 41, n. 1, p. 199-219, 1995.

ODRESKI, L. F. R. *Alterações da Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis - SC.* Monografia (Graduação em

Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

ODRESKI L. F. R. Influência Hidrológica nos processos hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina. 2012.

ODUM, H.T. Model for National, International, and Global System Policy. In: Braat, L.C.; Van Lierop, W.F.J. (Eds.), Economic – Ecological Modeling. Elsevier Sci. Publ., New York, 1987, p. 202-251.

PAIVA e Andréa. Ecologia de peixes estuarinos-recifais e caracterização ambiental dos estuários de Pernambuco. 2009.

PENNA, N.; CAPELLACCI, S.; RICCI, F. The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, v. 48, n. 3, p. 321-326, 2004.

PEREIRA, M. L. M., Estudo da dinâmica das águas do canal da Barra – Barra da Lagoa – Florianópolis, SC. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

PRITCHARD, D.W. e SCHUBEL What is an estuary: physical viewpoint 1981.

PORTO FILHO, E. Sedimentologia e Algumas considerações sobre a Biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Geografia), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 1993.

RANTZ, Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge, USGS, 1982.

RABALAIS, N., DIAZ, R., LEVIN, L., & TURNER, R. Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences*, v. 7, n. 2, p. 585-619, 2010.

RABALAIS, N., & TURNER, R. Global change and eutrophication of coastal waters. *ICES Journal of Marine Science*, v. 66, n. 7, p. 1528-1537, 2009.

RIBEIRO, G. C., CLEZAR, L., & HOSTIM-SILVA, M. Comunidade Ictíica, sua variacao espacial e sazonal na Lagoa da Conceicao e área adjacente, Ilha de Santa Catarina, SC, Brail. In *O ecossistema da Lagoa da Conceição Florianópolis*, NEMAR, SDM/FEPEMA, 1999, p. 261–273.

ROCHA, C. B. M. Implementação e uso do modelo Mike 21 na análise de cenários hidrodinâmicos na Lagoa da Conceição – SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2007.

RODRIGUES, R. R. & LORENZZETTI, J. A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. *Continental Shelf Research*, v. 21, n. 4, 371–394, 2001.

ROVERSI, F., Rosman, P. C. C., Harari, J., Roversi, F., Rosman, P. C. C., & Harari, J. Análise da renovação das águas do Sistema Estuarino de Santos usando modelagem computacional. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 11, n. 3, 2016. p. 566.

ROZEN, Y. & BELKIN, S. Survival of enteric bacteria in seawater. *FEMS Microbiology Reviews* Volume 25, Issue 5, pages 513– 529, December. 2001.

SANTORO, A., RICCI, R. & ENRICH-PRAST, A. Lagoa rodrigo de Freitas: Passado e presente. *Oecologia Australis* v. 16, n. 3, p. 334-338, 2012.

SANTOS, Irani dos. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: Cehpar - Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza, 2001. 372p.

SANTOS, Maria da Conceição Raimundo. M. D. C. R., Pacheco, D. M., Santana, F. J. P., & Rodrigues, A. M. F A Eutrofização das Lagoas das Sete-Cidades e Furnas (S. Miguel–Açores). Análise evolutiva entre 1988 e 2002. In: *Actas do 7o Congresso da Agua*. 2004.

SIERRA DE LEDO, B. Soriano-Serra E. *O Ecossistema Da Lagoa Da Conceição*. Emar/Ccb/Ufsc, Sdm/Fepema. Florianópolis, 1999

SILVA, J. C. 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. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SMITH, S. V, DUPRA, J. I., MARSCHALL, C., & CROSSLAND, C. J. Estuarine Systems of the South American Region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes. Netherlands. LOICZ Reports and Studies, v. 15, 2000.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Série Histórica. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/serieHistorica>. Acesso em: 25 de outubro de 2015.2015.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 1999.

STERNER, Robert Warner; ELSER, James J. Ecological stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere. Princeton University Press, 2002.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, 1972, p. 167.

TESTA, J. M.; KEMP, W. M. Oxygen–dynamics and biogeochemical consequences. Treatise on Estuarine and Coastal Science, v. 5, p. 163-199, 2011..

TROUSSELLIER, M. et al Responses of enteric bacteria to environmental stresses in seawater. *Oceanologica Acta* 21, 965–981. 1998.

TUNDISI, José Galizia. Água no século XXI: enfrentando a escassez. Rima, 2003.

VILLANUEVA, ADOLFO O. N. Balanço Oferta-Demanda para Gerenciamento do Sistema Mirim-Mangueira. Anais do Congresso Nacional Del Água. 1998.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 3. ed. Belo Horizonte: Segrac, 2005. 243 p.

VOLLENWEIDER, R. A. Giovanardi, F., Montanari, G., & Rinaldi, A. 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*, v. 9, n. 3, p. 329-357, 1998.

VREDE, Tobias et al. Fundamental connections among organism C: N: P stoichiometry, macromolecular composition, and growth. *Ecology*, v. 85, n. 5, p. 1217-1229, 2004.

WETZEL, R. G. *Limnology*. 2^o ed. United State of America – Philadelphia: Saunders College Publishing. 1983.

WETZ, M. S., HAYES, K. C., FISHER, K. V. B., PRICE, L., & STERBA-BOATWRIGHT, B. Water quality dynamics in an urbanizing subtropical estuary (Oso Bay, Texas). *Marine Pollution Bulletin*, v. 104, n. 1–2, p. 44–53, 2016.

WITEK, B. & PLINSKI, M. The first recorded bloom of *Prorocentrum minimum* (Pavillard) Schiller in the coastal zone of the Gulf of Gdańsk. *Oceanologia*. v. 42, n. 1, p. 29-36 , 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Guidelines for drinking-water quality. Volume 1. Recommendations. WHO, Geneva. 2 ed. 188 p. 1993.

ZANATTA, Lauro César; LAPOLLI, Flávio Rubens; RIBEIRO, Leda Freitas. Qualidade Da Água Do Lençol Freático, Com Infiltração De Efluente Doméstico Tratado. *Águas Subterrâneas*, n. 1.2004

ANEXO A –Procedimentos para análise de qualidade da água

Clorofila a

Para a análise de clorofila a os filtros devem ser colocados em frascos de 20 mL com 10 mL de acetona a 90% e armazenados em refrigerador durante 24h para a extração do pigmento. Passadas às 24h procede-se a leitura no espectrofotômetro (LANA et al., 2006). A fórmula utilizada para o cálculo da concentração de clorofila a está apresentada a seguir:

$$Clo a \left(\mu \frac{g}{L} \right) = \frac{(A \times K(665 - 665a) \times V)}{V_f \times p} \quad (3)$$

Onde, A é o coeficiente de absorção da clorofila a = 11,0, K é a constante de redução da absorbância para a concentração inicial de clorofila a = 2,43, 665 é a absorbância antes da acidificação, 665 a é a absorbância após a acidificação, V é o volume de acetona usado para a extração (mL), V_f é o volume da amostra filtrada e p é o passo ótico da cubeta (cm). Observações: dos valores de absorbância 665 e 665 a deve ser descontado as absorbâncias 750 e 750 a, quando estes últimos valores forem positivos (LANA et al., 2006).

Material particulado em suspensão

Para análise do material particulado o princípio consiste em filtragem de um volume determinado por um filtro pré-pesado e seco. Realiza-se a calcinação do filtro o que possibilita a volatilização do material orgânico. O filtro, agora seco, é repesado (LANA et al., 2006). Posteriormente utiliza-se a seguinte fórmula para identificação do material em suspensão total:

$$\frac{mg}{L} MS Total = \frac{[(P2 - Br) - P1] \times 10^6}{V} \quad (4)$$

Onde, P2 (g) é o peso do filtro com o material em suspensão seco, P1 (g) é o peso do filtro limpo e seco, V (mL) é o volume de amostra filtrada e 10⁶ é o fator de conversão de unidade de g/ mL para mg/ L (LANA et al., 2006).

Nitrito

O princípio da determinação de nitritos consiste em uma reação destes íons com a sulfanilamida em meio ácido (pH < 2). Posteriormente, este composto reage com o N-naftil etiliodiamina para formar um segundo composto,

colorido, cuja absorção máxima é a 543 nm. Para ambientes estuarinos realiza-se uma bateria de padrões com concentrações de 0 até 4 μM e lê-se em cubetas de 5 ou 10 cm de TO (LANA et al., 2006).

Com os dados de absorbância e concentração obtidos calcula-se a equação da Reta Padrão de N-NO^{-2} ; cada valor de absorbância lido deve ser substituído na equação da reta obtendo-se assim a concentração, em $\mu\text{M N-NO}^{-2}$, de cada amostra (LANA et al., 2006).

Nitrato

Para análise do nitrato o método baseia-se na dosagem dos íons nitritos obtidos por redução quantitativa dos íons nitratos presentes na amostra. Posteriormente verifica-se a soma das concentrações dos íons nitritos e nitratos. O complexo colorido deve ser lido num comprimento de onda de 543 nm. Identifica-se a concentração em nitrato, subtraindo-se o nitrito original da amostra da concentração de nitrito total dosado (somatório destes NO NO^{-2} com o NO NO^{-3} , reduzido). A redução do nitrato é realizada a partir da passagem da amostra por uma coluna redutora preenchida por grãos de cádmio revestidos por cobre. Para ambientes estuarinos realiza-se uma bateria de padrões com concentrações de 0 até 20 μM e lê-se em cubetas de 5 ou 10 cm de TO (LANA et al., 2006).

Com os dados de absorbância e concentração obtidos calcula-se a equação da Reta Padrão de N-NO^{-3} ; cada valor de absorbância lido deve ser substituído na equação da reta obtendo-se assim a concentração, em $\mu\text{M N-NO}^{-3}$, de cada amostra (LANA et al., 2006).

Amônia

Para análise da amônia o método consiste em reação do nitrogênio amoniacal da amostra com hipoclorito de sódio, em meio alcalino (pH entre 10,8 a 11,5) para formar monocloramina. Posteriormente a monocloramina reage com fenol, na presença de um excesso de hipoclorito e também do nitroprussiato de sódio (catalisador), formando o azul de indofenol, cuja absorção máxima é a 630 nm (LANA et al., 2006). Para ambientes estuarinos realiza-se uma bateria de padrões com concentrações até 10 μM e lê-se em cubetas de 1 cm de TO (LANA et al., 2006)

Para cada amostra utiliza-se um valor tabelado, respectivo ao seu valor de temperatura, pH e salinidade, calculando assim a concentração de NH_3 a partir da fórmula que segue (LANA et al., 2006).

$$[N - NH_3] \text{ em } \mu\text{M} \\ = \left(\% N - \frac{NH_3}{100} \right) \times (\text{conc. do. nit. amoniacal total dosado})$$

Fosfato inorgânico

Para análise do fosfato o método consiste em formação do ácido molibdofosfórico que em reação com o ácido ascórbico irá resultar no complexo de fosfomolibdênio de cor azul cuja quantidade é proporcional à concentração de fosfato inorgânico presente na amostra analisada. A absorção máxima deste composto é 885 nm (LANA et al., 2006). Com os dados de absorbância e concentração obtidos calcula-se a equação da Reta Padrão de P- PO_4^{3-} ; cada valor de absorbância lido deve ser substituído na equação da reta obtendo-se assim a concentração, em $\mu\text{M P-}PO_4^{3-}$, de cada amostra (LANA et al., 2006).

Análise de Concentração de E. coli

Em cada um dos pontos de medição de vazão foram coletadas amostras d'água para quantificação da concentração de E. coli. As amostras foram coletadas em frascos de vidro branco, boca larga, com tampa de vidro esmerilhada e bem ajustada, previamente esterilizados. Os frascos foram conservados em bolsa com gelo a fim de manter suas propriedades. No laboratório é realizada diluição das amostras a fim de não extrapolar o limite máximo de detecção da metodologia. Na quantificação final é feita a multiplicação pela diluição realizada. O método de quantificação de E. coli foi o Colilert-24/QuantiTray, desenvolvido pela IDEXX Laboratories. O método identifica as bactérias coliformes como aquelas que produzem coloração amarela por meio da ação da β -galactosidase sobre o ortonitrofenil- β -Dgalactopiranosídeo (ONPG), e a E. coli é definida como uma bactéria coliforme que apresenta fluorescência azul sob luz UV devido à ação da β -glicuronidase sobre o 4-metilumbeliferil- β -D-glicuronídeo (MUG). (IDEXX, 2005). Para a quantificação utiliza-se as cartelas Quanti-Tray (IDEXX) que são compostos por flaconetes com meios de cultura e cartela estéreis com 50 cavidades. O método permite quantificar o número mais provável (NMP) de 1 a 200 coliformes (E. coli) por 100 mL. Os resultados de coliformes totais e E. coli são obtidos simultaneamente, consultando tabelas apropriadas para se determinar o NMP. A quantificação final é o NMP multiplicado pela diluição realizada.

