MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Estação Ecológica de Carijós

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade- PIBIC/ICMBio

Relatório de Final

(2014-2015)

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA CARIJÓS: DINÂMICA DO FÓSFORO NO RIO PAPAQUARA

Estudante IC: Alondra Beatriz Alvarez Perez

Orientador: Luis Otávio Frota da Rocha

Florianópolis

08-2015

Resumo

A bacia hidrográfica do rio Papaquara está localizada no norte da Ilha de Santa Catarina, SC, e suas águas deságuam naturalmente na Estação Ecológica de Carijós. O estuário do rio Papaquara recebe poluentes provenientes da ocupação urbana de sua bacia hidrográfica, além dos efluentes de uma estação de tratamento de efluentes, tendo estes poluentes o potencial de afetar a homeostasia dos ambientes protegidos pela UC. Os resultados indicam que o rio Papaquara apresenta concentrações de fósforo total acima do máximo estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 e que a carga de fósforo proveniente da ETE Canasvieiras agrava esta situação. A análise estatística demonstrou que o incremento populacional no período de veraneio se reflete na qualidade da água do rio Papaquara, ocasionando o aumento nas concentrações de fósforo. A dinâmica do fósforo no estuário é diretamente afetada pela presença de um grande banco de macrófitas na Zona de Rio e pela ação da maré, que influência nos processos de diluição e floculação na Zona de Mistura do estuário. Nos pontos mais a montante do rio a fração de fósforo dominante é a particulada, passando a dominar a fração dissolvida quando o rio encontra o canal que recebe o efluente da ETE. Com o aumento da salinidade, a fração particulada aumenta e a concentração de fósforo total diminui. As concentrações de fósforo encontradas são comparáveis àquelas encontradas em ambientes hipereutróficos, o qual é um indicio que medidas protetivas devem ser tomadas para evitar que a qualidade da água do rio Papaquara se agrave.

Palavras-chave: Estuário, Fósforo, Poluentes.

Abstract

The hydrographic basin of the Papacuara river is located in the north of Santa Catarina island, SC, and water which comes from there naturally flows into Carijós Ecological Station. The estuary of the Papacuara river gets pollutant loads from urban occupation on its hydrographic basin, Besides the effluent of a sewage treatment plant. All these pollutants are potentially able to affect the homeostasis in the protected habitats. Results indicate that the river has phosphorus concentrations above the maximum level set by CONAMA 357/05 resolutions and that the phosphorus load that comes from ETE Canasvieiras effluent makes this situation worse. The statistical analysis show that population increment during summer time is reflected on the quality of the water in the Papaquara river, causing an increment in phosphorus concentrations. River phosphorus dynamic is directly affected by the presence of a large bank of macrophytes, in the river zone, and the action of the tides, which influences the dilution and flocculation processes, in the mixing zone estuarine. On upstream areas the dominant phosphorus fraction is particulates, whereas where the river meets the canal that receives the ETE´s effluent, the dissolved fraction becomes dominant. With increasing salinity, the particulate fraction increases and the concentration of phosphorus decreases. The phosphorus concentrations found are comparable to those found in hipereutróphic environments, which is an indication that protective measures should be taken to prevent the water quality of the river Papaquara getting worse.

Key words: estuary, phosphorus, pollutants.

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

FIGURA 1- Localização da área de estudo. (10)

FIGURA 2- Boxplot das frações de fósforo na saída da ETE. (14)

FIGURA 3- Dados medianos de PT, PID, POD, PTP, PTD e salinidade, encontrados ao longo do rio. (15)

FIGURA 4- Imagens do trecho P1-P5 (16)

FIGURA 5- Resultado do modelo matemático (17)

FIGURA 6- Sctterplot das concentrações de PTP e PTD em função da salinidade (18)

FIGURA 7- Boxplot comparando período de pré-veraneio (PV) e veraneio (V) (19)

TABELA 1- Dados medianos das frações de fósforo, salinidade e seus respectivos parâmetros legais. (13)

TABELA 2- Dados de PT encontrados na literatura para vários estados de trofía. (19)

LISTA DE ABREVIATURAS

A_{bacia}	Área total da bacia
CASAN	Companhia Catarinense de Água e Saneamento
E.E.	Estação Ecológica
E	Coeficiente de dispersão longitudinal
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
F_{doce}	Fração de água doce no trecho modelado
F_{sal}	Fração de água salgada no trecho modelado
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes da Conservação da Biodiversidade
K_{Sop}	Coeficiente de remoção do fósforo orgânico por sedimentação
P	Fósforo
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PID	Fósforo inorgânico dissolvido
POD	Fósforo orgânico dissolvido
POD.M	Fósforo orgânico dissolvido no estuário a montante
PT	Fósforo total
$PT_{calc.}$	Concentração de PT obtido pela modelagem
$PT_{corr.}$	Concentração de PT corrigido pelo efeito de diluição da água da Baía
PT_{mar}	Concentração de PT da Baía Norte
PTD	Fósforo total dissolvido
PTP	Fósforo total particulado
Q	Vazão
SES	Sistemas de Esgoto Sanitário
UC	Unidade de Conservação
U	Velocidade
W_{POD}	Carga de fósforo orgânico
W_{runoff}	Carga de fósforo do deflúvio superficial
Δx	Comprimento do trecho
ZC	Zona costeira
ZM	Zona de mistura
ZR	Zona de rio

SUMÁRIO

Introdução 6
Objetivos 9
Materiais e métodos 10
Resultados 13
Discussão e Conclusão 21
Recomendações para o manejo 24
Agradecimentos 25
Citações e referências bibliográficas 26

Introdução

O Plano de Manejo da Estação Ecológica de Carijós foi aprovado pela portaria IBAMA 49/03N de 15/09/2003, elencando como prioritária a avaliação do risco de contaminação de suas águas, mediante o monitoramento da água das Bacias Hidrográficas do rio Ratones e do Saco Grande.

O rio Papaquara pertence à bacia hidrográfica do rio Ratones e suas águas deságuam no interior da unidade de conservação, sendo sua sub-bacia de aproximadamente 30 km². O rio Papaquara é caracterizado como estuário por sofrer a influência das águas marinhas da costa adjacente. Assim, caracteriza-se o estuário como um ambiente costeiro de transição entre o continente e o oceano adjacente, onde a água do mar é diluída pela água doce de drenagem continental (MIRANDA, 2002), produzindo um gradiente mensurável de salinidade (TUNDISI, 2008). O ambiente estuarino desempenha um papel importante para numerosas espécies. Com os rios carregando nutrientes para o oceano, a flora e a fauna dos estuários são externamente ricas (SAVENIJE, 2005), sendo a Esec de Carijós responsável pela proteção dos últimos resquícios de manguezais presentes na ilha de Santa Catarina. Kjerfve (1987) *apud* Miranda (2002) subdivide o estuário em três zonas: Zona de maré de rio (ZR) sendo a parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita a influência de maré; Zona de mistura (ZM) região onde ocorre a mistura da água doce da drenagem continental com a água do mar e Zona Costeira (ZC) sendo a região costeira adjacente. Os limites entre as diferentes zonas, ZC, ZM e ZR, sempre buscam um equilíbrio em resposta a diferentes forçantes, como a descarga fluvial, o vento e a altura da maré (MIRANDA, 2002).

A sociedade utiliza os estuários de forma variada, tais como fonte alimento ou como uma ligação entre o rio e o mar (SAVENIJE, 2005). A urbanização aliada à falta de saneamento básico adequado nestas regiões tornou-se um problema socioambiental. No ano 2000, os distritos Canasvieiras e Cachoeira do Bom Jesus, onde está localizada a bacia do Papaquara, tinham 41,7 % e 10,25 %, respectivamente, de suas residências ligadas à rede de esgoto (NERI, 2008).

Estes distritos ainda sofrem um crescimento populacional considerável nos meses de verão, devido a serem destinos turísticos. De acordo com Guarda (2012), no período de alta temporada, a população do distrito de Canasvieiras chega a aumentar em 300 %, enquanto a população do distrito de Cachoeira do Bom Jesus aumenta em 150% no mesmo período, em relação à baixa temporada (população residente). Este incremento populacional está

diretamente ligado ao aumento do volume de esgoto produzido e à pressão exercida sobre o sistema de tratamento de efluentes.

Na bacia hidrográfica do rio Papaquara, desde o ano 1995, está instalada uma Estação de Tratamento de Efluentes Domésticos (ETE Canasvieiras), pertencente ao Sistema de Esgotamento Sanitário - SES de mesmo nome, administrada pela Companhia Catarinense de Água e Saneamento – CASAN. A mesma encontra-se 6,5 km dos limites da Gleba de Ratones da Estação Ecológica de Carijós. No projeto inicial o SES atendia a praia de Canasvieiras com uma população de projeto de 24.600 habitantes e vazão média de 42 l/s, sendo os efluentes tratados lançados num canal artificial, o canal DNOS, que percorre 1,6 km até desaguar no rio Papaquara. A ETE Canasvieiras está passando um processo de ampliação desde 2012, onde passará a atender uma população no final do projeto, em 2027, de 80.213 habitantes com uma vazão média de 156 l/s (ICMBio, 2011).

Em regiões urbanizadas, as entradas de nutrientes representam um dos maiores problemas ambientais em rios e estuários (BIANCHI, 2007). De acordo com Esteves (1998) o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio nos ecossistemas aquáticos pode dar origem à eutrofização. Este é um processo natural que ocorre em ecossistemas aquáticos, tanto continentais como costeiros, porém este processo se acelera com a atividade antrópica, recebendo, neste caso, o nome de eutrofização artificial, cultural ou antrópica. A eutrofização artificial ocasiona o aumento da produtividade em termos da biomassa, diminuição da diversidade de espécies, grandes flutuações de oxigênio dissolvido, dióxido de carbono e pH durante o ciclo dia-noite, aparição de alta densidade de macrófitas, diminuição da zona eufótica e aumento da biomassa em decomposição em curtos períodos de tempo (ROLDAN, 2008). Logo, a eutrofização artificial é um processo dinâmico, no qual ocorrem profundas modificações em todos os níveis do sistema aquático, podendo ser considerada uma forma de contaminação (ESTEVES, 1998).

A dinâmica do fósforo será objeto deste estudo por ser o principal fator limitante na produção primaria de águas continentais e por vir sendo apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial (ESTEVES, 1998). A origem natural do fósforo na água se dá de várias formas, como a decomposição da matéria orgânica, a dissolução de rochas, lixiviação do solo, muito embora esse elemento seja relativamente escasso na crosta terrestre (VON SPERLIN, 2007). A atividade antrópica contribui para as altas concentrações de fósforo devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados empregados em larga escala doméstica constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal que é rica em proteínas (PIVELI, 2006).

O fósforo pode apresentar uma variedade de formas químicas e frações no ambiente aquático. Devido a isso, atualmente a maioria dos pesquisadores tem utilizado uma classificação mais sumária, que agrupa as várias frações em apenas cinco: fósforo total particulado (PTP), fósforo orgânico dissolvido (POD), fósforo inorgânico dissolvido ou ortofosfato (PID), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT) (ESTEVES, 2008). O PID é uma fração que assume grande relevância por ser a principal forma de fósforo assimilada pelos vegetais aquáticos, o fósforo orgânico é aquele complexado à matéria orgânica; já o PT é a somatória de todas as formas de fósforo presentes numa amostra.

A Resolução CONAMA n° 357/05 é responsável por dispor sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento no Brasil. De acordo com essa norma, as águas com salinidade de até 0,5‰ classificam-se como doces, águas com salinidade entre 0,5-30‰ como salobras e acima de 30‰ como salinas. Nesta classificação, os corpos hídricos ainda são divididos segundo de seu uso (classes) e são estabelecidos para cada uma o limites da concentração de fósforo total. A mesma resolução delega aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos a prerrogativa para classificação dos corpos hídricos de âmbito estadual, no entanto estabelece que enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2 e as salobras de classe 1. As águas doce de classe 2 são aquelas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional e à proteção das comunidades aquáticas; Já as águas salobra classe 1 águas que podem ser destinadas à recreação de contato primário e à proteção das comunidades aquáticas, à aquicultura e à atividade de pesca, assim como a classe 1 para águas salinas.

Neste trabalho foram analisadas medições de diversas frações de fósforo e de salinidade ao longo rio Papaquara com o propósito de compreender a dinâmica do fósforo neste corpo hídrico. A partir destas informações será possível avaliar a influência da estação de tratamento de esgoto e do incremento populacional no período de veraneio quando comparado com o pré-veraneio sobre as águas do rio. Visto que a Estação Ecológica de Carijós é o destino final das águas do Papaquara, este trabalho objetiva também ser uma ferramenta para a tomada de decisões a fim de conservar as características naturais da Unidade de Conservação e minimizar os impactos negativos sobre esta área sensível a modificações do ecossistema.

Objetivos

Este relatório tem por objetivo geral efetuar um diagnóstico da situação atual da qualidade da água do estuário do rio Papaquara com base na concentração das frações de fósforo analisadas bem como investigar a influência do despejo de efluentes no rio.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Avaliar a dinâmica do fósforo no rio Papaquara e entender seu comportamento ao longo do curso d'água;
- Verificar o enquadramento do rio Papaquara nos limites estabelecidos para sua classe correspondente, segundo a CONAMA 357/2005;
- Avaliar as condições tróficas do estuário do rio Papaquara com base nas concentrações de fósforo;
- Avaliar se há diferenças significativas na concentração entre os períodos de baixa e alta temporada;

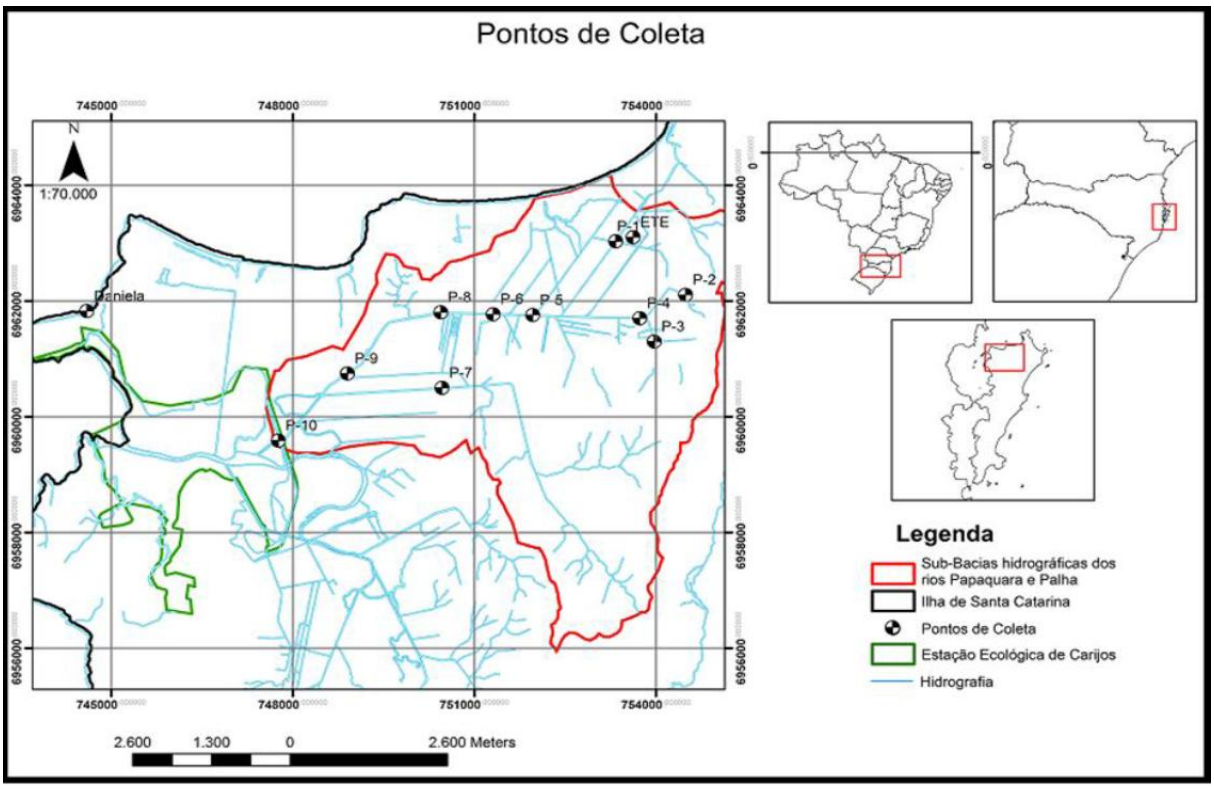
A partir do cumprimento destes objetivos pretende-se fornecer um conjunto de informações que sejam úteis para a proteção da qualidade da água da Estação Ecológica de Carijós, subsidiando o cumprimento de metas de enquadramento aos limites e padrões ambientais vigentes.

Materiais e métodos

A pesquisa deu-se pela realização de nove campanhas amostrais entre os meses de agosto de 2014 até fevereiro de 2015. As campanhas amostrais foram divididas em dois períodos, sendo: a partir do mês de agosto até a segunda semana dezembro, o período de pré-veraneio, e da segunda quinzena de dezembro até o mês fevereiro, quando ocorre o término do carnaval e o fluxo de turistas se reduz drasticamente, o período definido como veraneio.

As coletas da água foram realizadas em 12 pontos amostrais na bacia do rio Papaquara (Figura 1). Destes pontos, sete deles se encontram no rio principal (Papaquara) e outros três em seus principais afluentes, rio Palha (P7), canal DNOS (P1) e um canal artificial que percorre o conjunto habitacional Vila União. Os dois pontos restantes se encontram na praia Daniela e na estação de tratamento de esgoto. Na ETE Canasvieiras foram coletadas amostras do efluente final, já tratado, totalizando 12 pontos amostrais. As amostras da praia Daniela forneceram as concentrações de fósforo que adentram no estuário do rio Papaquara, proveniente do mar adjacente da Baia Norte.

Figura 1. Localização da área de estudo na bacia hidrográfica do rio Papaquara. Fonte: arquivo pessoal.



Análise laboratorial

As amostras foram coletadas utilizando uma garrafa de Van Dorn Vertical em locais onde a coleta é feita sobre pontes e em locais onde não há pontes foi utilizando extensor metálico. As amostras foram armazenadas em garrafas de polietileno de alta densidade (PEAD), foram refrigeradas a 4ºC até a chegada ao laboratório e em seguida foram congeladas à -10°C.

Com as amostras de água foram realizadas análises das concentrações de PT, PTD e PID, e estimadas as concentrações de PTP e POD, a partir da diferença entre PT e PTD e a diferença entre PTD e PID, respectivamente.

As frações de fósforo total e fósforo total dissolvido foram determinadas conforme metodologia descrita em Valderrama (1981). A solução resultante foi analisada pela metodologia descrita na norma ABNT/NBR 12772/1992. A concentração de fósforo inorgânico dissolvido foi determinada pela metodologia descrita na mesma norma.

A salinidade das amostras foi medida em laboratório, logo após a coleta, com o uso de um Refratômetro Manual, modelo REF201/211/201bp, com escala de medição entre 0-100‰.

Modelagem da dinâmica do fósforo.

A investigação dos cenários futuros da dinâmica do fósforo na área, foi dada com auxilio do modelo matemático do decaimento de fósforo. O modelo de fósforo é representado pelos seguintes processos: 1) sedimentação do fósforo orgânico particulado; 2) conversão do fósforo orgânico particulado para fósforo inorgânico dissolvido e 3) liberação do fósforo inorgânico dissolvido pelo sedimento (VON SPERLING, 2005). A equação que representa o decaimento do PT é dada como:

$$\mathrm{PT} = \left(\mathrm{POD}.M + \frac{W_{\mathrm{POD}}}{Q.\sqrt{1 + \frac{4K_{Sop}.E}{U^2}}} \right).e^{\left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{4K_{Sop}.E}{U^2}}\right).\frac{U}{2E}.\Delta x} + PID + P_{T_{runoff}}$$

Os valores de PT modelados serão corrigidos considerando os fenômenos de mistura e diluição que as águas do mar trazem para o estuário, a partir de:

$$PT_{\mathrm{corr.}} = (PT_{\mathrm{calc.}} x F_{doce}) + (PT_{\mathrm{mar}} x F_{sal})$$

Onde: $\mathbf{K_{Sop}}$: Coeficiente de remoção do fósforo orgânico por sedimentação em dia^{-1}; **E**: Coeficiente de dispersão longitudinal em dia^{-1}; **U**: Velocidade em $m.d^{-1}$; **POD.M:** Fósforo orgânico dissolvido no estuário a montante em $mg.l^{-1}$; **POD** :Fósforo orgânico dissolvido na posição "X" em mg/l; **PID**: Fosforo inorgânico dissolvido no trecho em mg/l **Δx**: comprimento do trecho em metros; **Q**: vazão em $m^3.d^{-1}$; $\mathbf{W_{POD}}$: Carga de fósforo orgânico em $g.d^{-1}$;$PT_{\mathbf{corr}}$: Concentração de PT corrigido pelo efeito de diluição da água da Baía Norte em $mg.l^{-1}$; **PTmar**: Concentração de PT da Baía Norte

em $mg.l^{-1}$; $\mathbf{F_{doce}}$: Fração de água doce no trecho modelado; $\mathbf{F_{sal}}$: Fração de água salgada no trecho modelado.

Para a execução do modelo, o rio Papaquara foi dividido em sete trechos, onde cada trecho funciona como um reator de mistura completa com fluxo disperso, resultando em um sistema em série. Outra suposição adotada foi a condição de regime permanente ou estacionário (VON SPERLING, 2005). Estimativa das vazões de cada trecho em estudo foi feita por meio da regionalização de vazões proposta por Santa Catarina (2006).

A mistura resultante das variações de velocidades e concentração a partir da média na direção longitudinal é o principal mecanismo de dispersão (VON SPERLIRN, 2005). O coeficiente de dispersão, E, foi obtido empiricamente por equações propostas por Miranda (2002), baseadas em concentrações de salinidade, e pelo Método de Fisher, para regiões sem salinidade.

A carga de fósforo total Proveniente do escoamento superficial (*runoff*) foi estimada pela seguinte relação:

$$W_{runoff} = \left[\left(taxa_{PT_{urb.}} x\ \%urb\right) + \left(taxa_{PT_{aber.}} x\%aber.\right)\right] x A_{bacia}$$

Onde: $taxa_{PTurb}$ é a taxa de PT produzida em áreas urbanizadas; $taxa_{PTaber}$ é a taxa de PT produzida em áreas abertas ou rurais, e A_{bacia} é a área total da bacia de drenagem do rio Papaquara.

Chin (2006) relata cargas de PT para áreas urbana de 1,1 kg.ha-1.ano-1 e para áreas abertas, ou de floresta, valores de 0,15 kg.ha-1.ano-1.

Análise estatística

A normalidade da distribuição dos dados foi avaliada com o teste estatístico Shapiro-Willks. Assim, testou-se a correlação linear entre os parâmetros avaliados, bem como a hipótese de ocorrência de diferenças significativas nas concentrações das frações de fósforo em função do período de veraneio. Para isso utilizamos testes estatísticos não paramétricos Kruskal-Wallis, ou teste H. Para a realização das análises estatísticas utilizou-se um nível de significância 95 % ($\alpha = 0,05$).

Resultados

As concentrações das frações de fósforo quantificadas nas amostras coletadas no rio Papaquara demonstraram uma dispersão dos dados não paramétrica. Diante disto, foram utilizados, para este trabalho, dados medianos de cada fração, por serem estes mais representativos. Estes dados de concentração das frações de fósforo, assim como os valores medianos de salinidade, e seus respectivos máximos e mínimos, assim como os limites legais de fósforo total se encontram na Tabela 1.

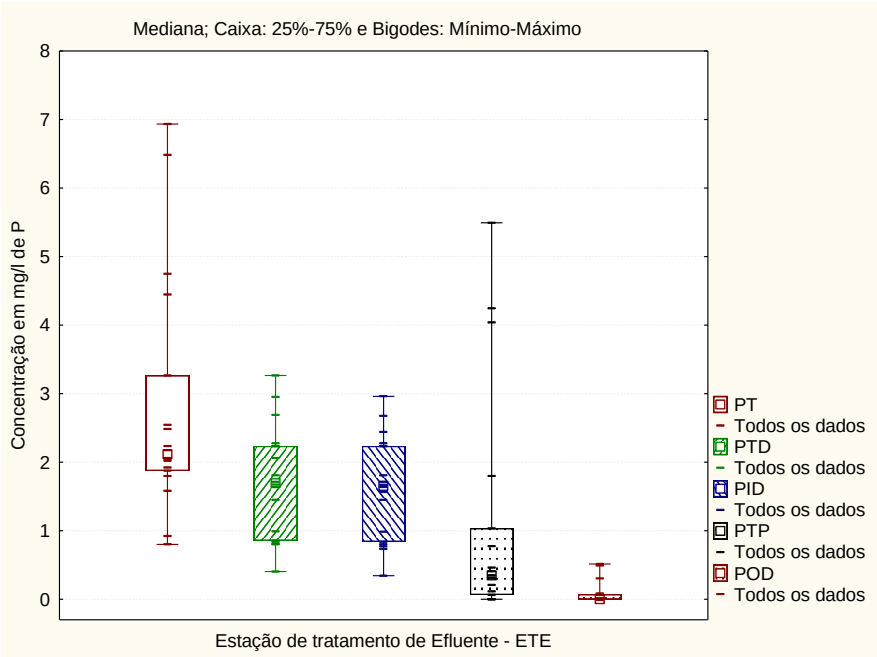
Tabela 1. Dados medianos das frações de fósforo, salinidade e seus respectivos parâmetros legais.

Ponto	$PT_{(mg/l)}$	PTD(mg/l)	$PID_{(mg/l)}$	$POD_{(mg/l)}$	$PTP_{(mg/l)}$	Salinidade ‰	Limite Legal P_T (mg/l)
P1	**3,97** (0,88-5,56)	2,95 (0,83-5,53)	2,72 (0,50-4,90)	0,23 (0,00-2,59)	1,02 (0,02-2,15)	0,00 (0,00-0,00)	**0,05**
P2	**0,67** (0,54-1,07)	0,42 (0,26-1,07)	0,40 (0,22-1,02)	0,01 (0,00-0,09)	0,26 (0,00-0,33)	0,00 (0,00-0,00)	**0,05**
P3	**0,47** (0,24-0,69)	0,14 (0,01-0,69)	0,10 (0,01-0,69)	0,04 (0,00-0,04)	0,33 (0,00-0,54)	0,00 (0,00-0,00)	**0,05**
P4	**0,36** (0,17-0,63)	0,07 (0,03-0,19)	0,07 (0,02-0-19)	0,01 (0,00-0,05)	0,29 (0,12-0,56)	0,00 (0,00-0,00)	**0,05**
P5	**0,80** (0,53-1,01)	0,80 (0,53-1,00)	0,74 (0,47-1,00)	0,06 (0,00-0,07)	0,00 (0,00-0,11)	0,50 (0,00-5,00)	**0,124**
P6	**0,78** (0,48-0,99)	0,77 (0,33-0,92)	0,75 (0,32-0,92)	0,02 (0,00-0,08)	0,00 (0,00-0,15)	0,50 (0,00-10,0)	**0,124**
P7	**0,11** (0,05-0,22)	0,03 (0,02-0,05)	0,02 (0,01-0,03)	0,01 (0,00-0,03)	0,09 (0,03-0,20)	0,00 (0,00-0,00)	**0,05**
P8	**0,78** (0,37-0,88)	0,71 (0,29-0,88)	0,71 (0,29-0,87)	0,00 (0,00-0,27)	0,07 (0,00-0,17)	1,50 (0,00-12,5)	**0,124**
P9	**0,57** (0,35-0,83)	0,40 (0,23-0,77)	0,38 (0,19-0,77)	0,03 (0,00-0,07)	0,17 (0,00-0,18)	8,00 (0,00-16,0)	**0,124**
P10	**0,30** (0,12-0,66)	0,12 (0,04-0,43)	0,08 (0,03-0,39)	0,04 (0,01-0,07)	0,18 (0,07-0,27)	21,00 (5,00-35,0)	**0,124**
Dani	**0,08** (0,02-0,10)	0,05 (0,2-0,06)	0,01 (0,01-0,03)	0,04 (0,01-0,05)	0,03 (0,00-0,07)	35,00 (32,0-35,0)	**0,062**
ETE	**2,12** (0,80-6,93)	1,69 (0,4-5,53)	2,05 (0,34-3,35)	0,00 (0,00-3,97)	0,42 (0,00-5,49)	0,00 (0,00-0,00)	**4,00**

Os pontos P5, P6, P8, P9 e P10 apresentaram valores de salinidade acima de 0,5, sendo esta a zona de mistura (ZM) do rio, e classificado como salobro classe 1 pela CONAMA 357/2005, sendo permitido um limite de 0,124 mg/l de PT. Enquanto que nos pontos P1, P2, P3, P4 e P7 não foram encontrados dados de salinidade, característico da zona de rio (ZR), classificados como água doce classe 2 com limites de 0,05 mg/l de PT pela mesma norma. Já para as águas salinas classe 1 a norma apresenta limites de 0,062 mg/l, sendo a praia Daniela a zona costeira (ZC) do estuário. Quando o rio Papaquara entra na Esec de Carijós sua classificação muda para Classe especial, que é destinada à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

A Lei Estadual 14.675/09 determina que lançamentos de efluentes em trechos de lagoas, lagunas e estuário dever observar o limite de 4 mg/l de concentração de fósforo total. A concentração de PT no efluente final da ETE superou os 4 mg/l em quatro análises, como vemos na Figura 2. No entanto, a própria Lei prevê que este valor pode ser superado desde que operando com eficiência mínima de 75% na remoção de fósforo, o qual tal avaliação não faz parte deste trabalho.

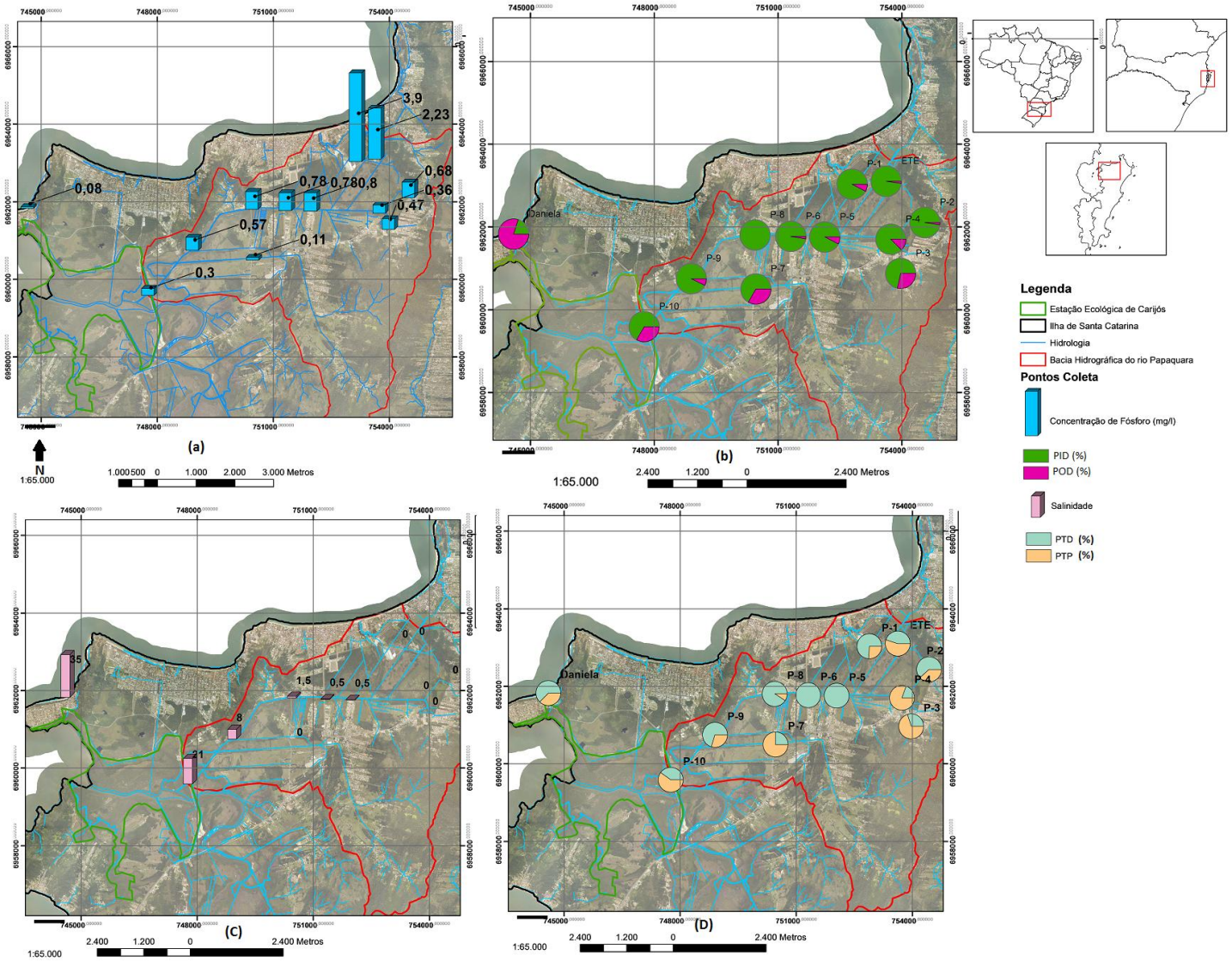
Figura 2. Boxplot das frações de fósforo na saída da ETE



No efluente da ETE, a fração de PID foi dominante sobre a concentração de PTD, enquanto que, a concentração de POD se manteve sempre abaixo das demais (Figura 2). Já a concentração de PTP apresenta valores mais distribuídos que o PTD, alcançando concentrações bem mais elevadas.

Na Figura 3 são apresentados os dados medianos das concentrações de PT (a), a relação percentual entre POD e PID (b), as concentrações medianas de salinidade (c) relação percentual entre PTD e PTP (d). Observamos que a concentração de fósforo total foi menor no ponto mais a montante (P3), dominando a fração particulada, aumentado com a entrada na área mais urbanizada, dominando a fração dissolvida, e logo diminuindo a partir do (P8) ate a U.C, quando novamente a fração do PTP aumentou. No canal que recebe o efluente da ETE, a concentração de PT é muito maior que o restante do rio (3,9 mg/l); No entanto, até alcançar o P5, esta carga foi amortizada, mantendo-se quase constante, com valores menores que 0,80 mg/l, até P8.

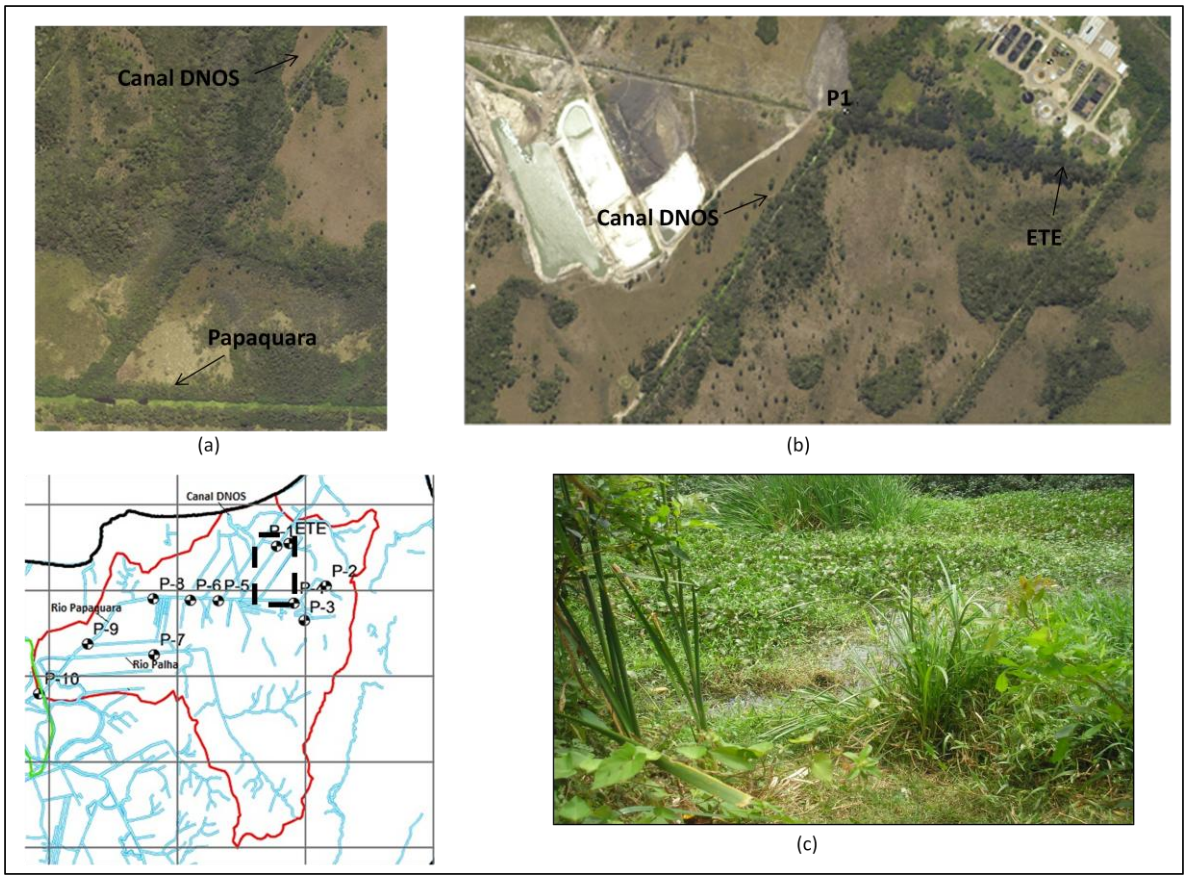
Figura 3. Dados medianos de PT, PID, POD, PTP, PTD e salinidade encontrados ao longo do rio.



Observou-se ainda a existência de um grande banco de plantas aquáticas (macrófitas) ao longo do trecho entre o P1 e o P5, principalmente da espécie *Eichhornia crassipes*, macrófita flutuante característica de águas doces. As imagens de satélite disponibilizadas pelo *software Google Earth*, no mês de outubro de 2014, mostraram que a concentração desta vegetação cobre completamente a lâmina de água desse trecho do rio. A partir do ponto P5 a concentração destas macrófitas diminui, até desaparecer completamente a partir do P8. A Figura 4 mostra onde o canal DNOS encontra o rio Papaquara (a), o canal DNOS próximo à ETE (no mês de outubro de 2014) (b), e a situação do ponto P5 (c) no dia 25 de novembro de 2014.

Os pontos de coleta P3, P7 e P10 se caracterizam por pertencer a áreas com menor influência urbana. Neste pontos, a fração dominante de fósforo foi a particulada, além de apresentarem os maiores percentuais de POD (Figura 3).

Figura 4. Imagens do canal DNOS (Outubro de 2014) e do ponto P5 (novembro de 2015)

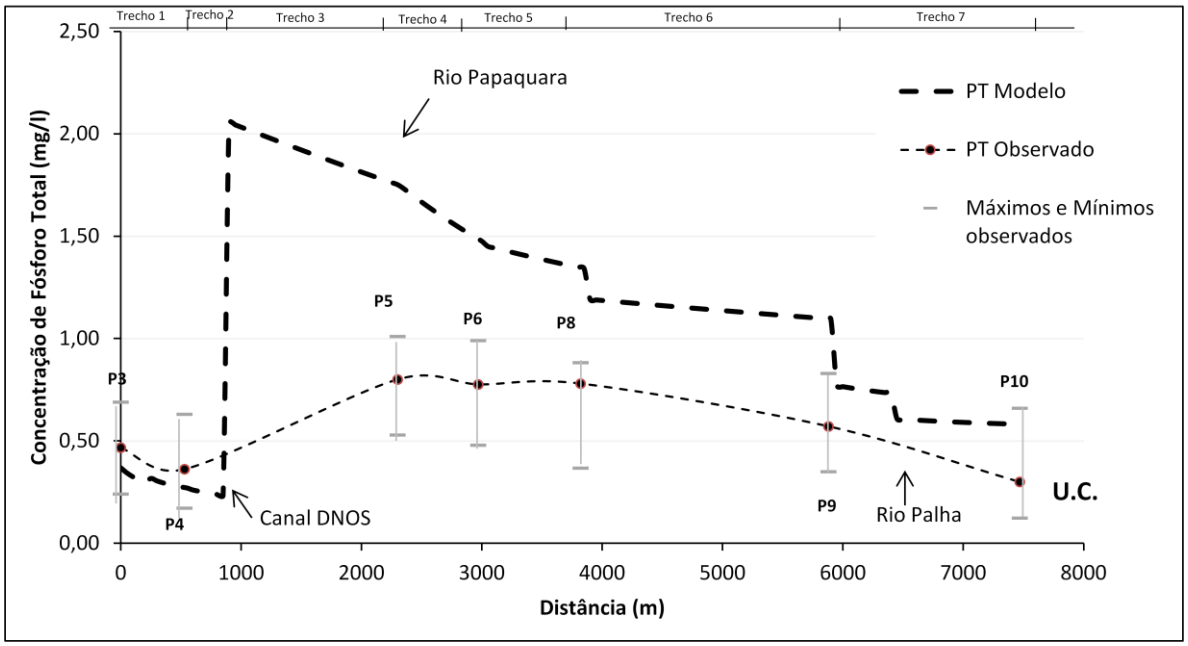


Como resultado do modelo matemático adotado neste estudo (Figura 5) tem-se os valores máximos, mínimos e medianos de PT em cada ponto em que se realizaram as coletas sobre o rio Papaquara; a linha tracejada representa o decaimento do fósforo total previsto pelo modelo, ao longo do rio Papaquara, até o ponto de encontro com a U.C.

O modelo de fósforo utilizado não foi capaz de explicar toda a dinâmica do fósforo do rio Papaquara. Este fenômeno pode estar relacionado ao fato de o modelo ser limitado, não considerando dinâmicas que são relevantes, como a dinâmica com o sedimento e a interferência da biota, principalmente o papel das macrófitas. A calibração do modelo não foi possível, visto que somente o ajuste dos parâmetros de decaimento de POD não é suficiente para ajustar os dados do modelo aos dados reais.

Os trechos 1 e 2 estão dentro do máximo e mínimo medido, no entanto, quando o canal DNOS, o qual recebe o efluente da ETE, encontra com o rio principal o PID sofre um incremento abrupto, passando de 0,05 mg/l para 1,55 mg/l, de acordo com a previsão do modelo. Ao longo do trecho 3 esta carga sofreu um decaimento que não é explicado pelo modelo e que interfere no restante do curso do rio, superestimando a concentração de PT.

Figura 5. Resultado do modelo matemático

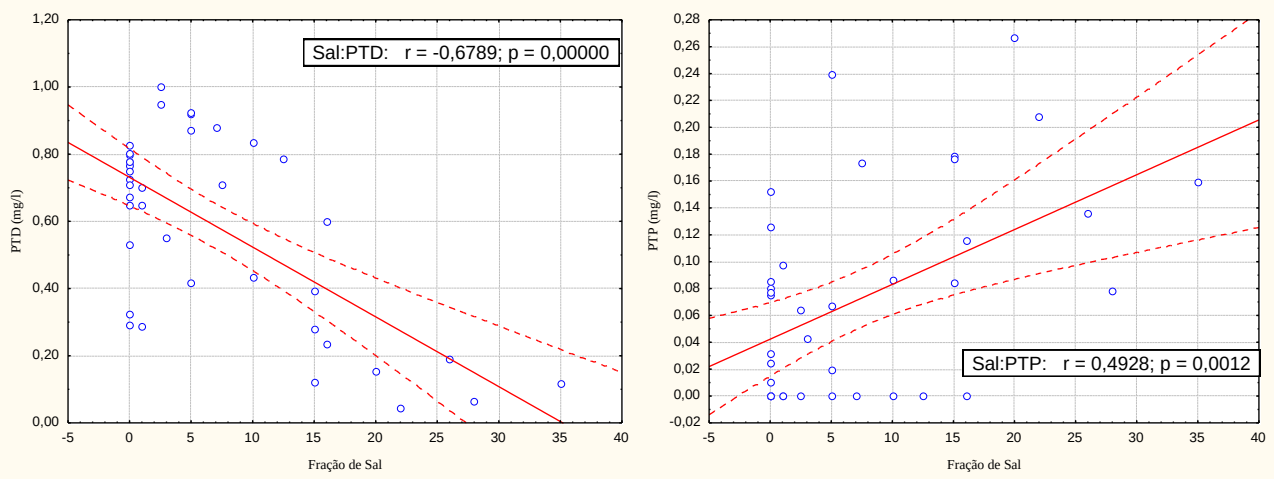


A pesar de não ser possível prever cenários futuros com o modelo não calibrado, este resultado segue a mesma tendência de decaimento que os dados observados em campo.

Quando comparamos os dados de salinidade com os dados de fósforo determinados na ZM do rio Papaquara, constatamos que existiu uma correlação significativa entre estas concentrações. A salinidade correlaciona inversamente para PTD e positivamente com PTP; Assim, quando temos os maiores valores de salinidade também encontramos os maiores valores de PTP e as menores concentrações de PTD. Já os maiores valores de PTD são encontrados quando há os menores valores de PTP e de salinidade. Não foi possível

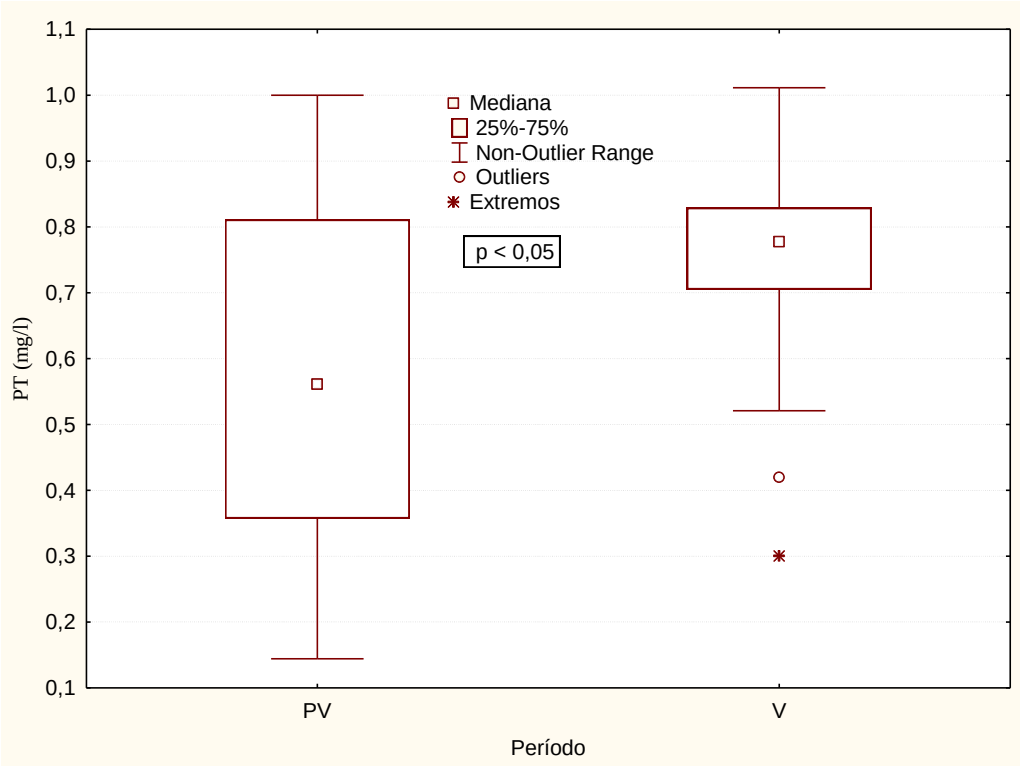
estabelecer uma correlação significativa para a fração de POD. Na Figura 6 vemos os resultados dos testes aplicados para PTD e PTP.

Figura 6. Scttergplot das concentrações de PTP e PTD em função da salinidade



Das concentrações de todas as frações de fósforo, quando comparados nos período de pré-veraneio (PV) e veraneio (V), somente o fósforo total mostro uma correlação significativa entre os dois períodos ($p<0,05$). Na Figura 7, estão os gráficos *Box Plot* de P_T para cada período, vemos que para o pré-veraneio as frações PT são bem mais distribuídas, havendo grande variação nas concentrações. Já no período de veraneio, as concentrações apresentam menor dispersão, porém a concentração mediana é mais elevada.

Figura 7. Boxplot comparando período de pré-veraneio (PV) e veraneio (V)



Na Tabela 2 temos valores de PT encontrados por diversos autores em diferentes níveis tróficos. Sendo ultraoligotrófico o menor estado trófico e hipereutrófico o maior.

Tabela 2. Dados de PT encontrados na literatura para vários estados de trofía

Fonte	A	B	C	Da	Db
Estado trófico	PT (mg/l)	PT (mg/l)	PT (mg/l)	PT (mg/l)	PT (mg/l)
Ultraoligotrófico	≤ 0,013	< 0,005			
Oligotrófico	0,013 < P ≤ 0,035	0,005 a 0,01	< 0,01	< 0,03	0,002 a 0,02
Mesotrófico	0,035 < P ≤ 0,137	0,01 a 0,03	0,01 a 0,035	0,03 a 0,05	0,01 a 0,03
Eutrófico	0,137 < P ≤ 0,296	0,03 a 0,1	0,035 a 0,1	> 0,05	0,01 a 0,09
Supereutrófico	0,296 < P ≤ 0,640				
Hipereutrófico	0,640 < P		> 0,1		
Poltrófico		> 0,1			

A - Classificação do estado trófico de rios segundo o indice de Carlson (CETESB (2006) *apud* Von Sperling (2007))

B - Concentração de P-total em relação ao estado trófico de lagos (Vollenweider (1968) *apud* Esteves (1998)

C Biogeochemistry of wetlands: science and applications (Reddy KR, Delaune RD, 2008)

Da - Organização Pan-americana da saúde e da organização Nacional da Saúde (1986) *apud* Tundisi & Matsumura Tundisi (2008)

Db - Índice de classificação do estado trófico (Sakamoto (1966) *apud* Tundisi & Matsumura Tundisi (2008))

Os dados encontrados de PT (Tabela 1) são compatíveis com os valores de fósforo total encontrados na literatura. As concentrações de PT nos pontos P2, P3, P4, P5, P9 e P10

são característicos de ambientes supereutróficos e os pontos P1 e P8 são característicos de ambientes hipereutrófico, de acordo com CETESB (2006) *apud* Von Sperling (2007). Enquanto que no P7, a concentração de fósforo total foi compatível com ambientes mesotróficos de acordo com o mesmo autor, no entanto, Reddy & Delaune (2008) encontrou valores equivalentes ao do P7 em ambientes hipereutrófico.

Discussão e Conclusão

A resolução CONAMA 430/2011, artigo 4º Inc. I, define a capacidade suporte de um corpo receptor como o valor máximo de determinado poluente que o corpo hídrico pode receber, sem comprometer a qualidade da água e seus usos determinados pela classe de enquadramento. Com isso, em nenhum trecho do rio Papaquara foram encontrados valores de PT que se enquadrassem nos limites propostos pela legislação. No atual contexto fica claro que o rio Papaquara não tem capacidade suficiente para receber os efluentes da ETE, visto que mesmo antes da entrada do canal DNOS no rio Papaquara, pontos P3 e P4, já se encontraram concentrações de fósforo acima dos limites estabelecidos para sua classe (Tabela 1), assim, o aumento da vazão do rio pela entrada do afluente não é suficiente para amortizar esta carga, mesmo com o efluente da ETE dentro dos limites legais. Como a expansão da rede coletora de esgoto, que só será concluída em 2027, e sem nenhum tratamento adicional para remoção de fósforo, é de esperar-se que a eficiência de ETE diminua, aumentando a concentração de fósforo no rio Papaquara.

A resolução CONAMA 430/2011 estabelece que nas águas de classe especial seja vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluidoras, mesmo que tratados. Existe um impasse aqui, devido à classificação do rio ser de águas doce de classe 2 e alternar para salobra classe 1 no P5 e para classe especial quando adentra na UC. As condições impostas legalmente para proteger um rio de classe especial se mostram insuficientes se somente parte do curso hídrico encontra-se nesta categoria. Visto que, evidentemente, não existe um limite físico que demarque até onde podem propagar-se os compostos contaminantes.

O modelo aplicado neste estudo não foi capaz de explicar a dinâmica do fósforo ao longo do rio devido à queda brusca nas concentrações de fósforo inorgânico dissolvido que ocorrem no trecho entre o P1 e o P5. Acredita-se que a presença de um grande número de plantas aquáticas esteja atuando com um sorvedouro de fósforo, retirando-o da coluna d'água. Estudos realizados com *Eichhornia crassipes* para tratamento de águas residuarias urbanas mostraram uma redução de fósforo na água de 65%, Chica (2003) *apud* Pinto (2008). Estes vegetais podem armazenar uma grande quantidade de fosfato em sua biomassa e este mecanismo torna-se ainda mais pronunciado em ecossistemas que sofrem aportes de fósforo (BENTO, 2007). Devido ao baixo escoamento do canal DNOS, uma parte do PTP sofre decantação, enquanto o restante é detido pela barreira física formada pelas plantas.

Na transição entre a ZM e a ZR do estuário existe uma região onde existe menor escoamento e elevada concentração de sedimento em suspensão de origem fluvial é conhecida como zona de máxima turbidez (MIRANDA, 2002). A interfase da água salina-doce promove a floculação de inúmeras partículas, tanto orgânicas como inorgânicas (TUNDISI, 2008). Esta dinâmica pode ser observada entre o P8 e o P10, quando,à entrada da maré, ocorrem dois processos distintos: diluição e floculação. Estes dois efeitos ocorrem simultaneamente e são demonstrados por uma correlação linear negativa entre salinidade e PTD e positiva entre salinidade e PTP (Figura 6). Logo, com a entrada da água marinha, o processo de floculação estaria diminuindo a fração PTD da coluna d'água, principalmente o PID, e aumentando a fração de PTP. A diluição da água fluvial pela água salina ocorre devido às baixas concentrações de fósforo no mar adjacente, fazendo com que com a entrada da maré, e consequentemente o aumento da vazão na calha, as concentrações de fósforo no rio diminuam.

A diferença significativa entre as concentrações de fósforo no período de veraneio e pré-veraneio confirmam a hipótese de que o incremento populacional no período de veraneio aumenta as concentrações de fósforo no rio Papaquara. Segundo Silva (2015), ao estudar a qualidade das águas do rio Papaquara, encontrou correlações significativas entre os mesmos períodos para o ano de 2013/2014. Com isso, Von Sperling (2007) relata que os valores para a produção de fósforo total por habitante estão na ordem de um grama por habitante dia (g/hab.dia). Assim, a carga de concentração de fósforo é potencializada com a chegada da população flutuante de veraneio, que acaba por sobrecarregando os sistemas de tratamento, refletindo-se na qualidade da água do rio.

A vazão de efluentes tratados na ETE Canasvieiras, após a conclusão da ampliação da rede coletora 2027, é de 156 l/s. Considerando-se que a vazão natural do trecho 2 é de 175 l/s, com a entrada da vazão da ETE a vazão de água doce neste trecho quase duplicaria, refletindo-se ao longo de todo o rio. Este volume incremental de água doce no rio poderia interferir diretamente no poder de diluição e floculação da maré, visto que a frente de água doce diminui a salinidade. Além disso, Miranda (2002) apresenta formulações para balanço de salinidade, sempre demonstrando que a salinidade tem proporção inversa à descarga fluvial dentro do estuário. Ou seja, em épocas de grandes descargas de água doce a ZM pode ser deslocada para jusante (neste caso, para dentro da U.C.). O mais preocupante é que a expansão da rede coletora de esgoto só será concluída em 2027 e já foram encontradas vazões na ETE acima dos previstos em projeto, chegando a 187 l/s em 12 de janeiro de 2015. Isso é um indicio de que o projeto da ETE Canasvieiras pode estar subestimado para a ampliação

pretendida, e este imprevisto pode alterar toda a dinâmica da maré dentro do rio, e consequentemente a dinâmica do fósforo, pelo acréscimo de água doce não previsto. Dado que a maioria dos pontos analisados no rio Papaquara apresentaram concentrações de fósforo comparáveis com ambientes supereutróficos (Tabela 2), o deslocamento da ZM pode aumentar ainda mais o nível de trofia em locais onde haveria diminuição da salinidade.

A pesquisa realizada por Pagliosa (2004) encontrou diferenças significativas nas concentrações de fósforo em um estudo que comparava rios urbanizados e não urbanizados na Ilha de Santa Catarina, onde todas as frações de fósforo se mostraram maiores em rios urbanizados. Igualmente a Parizotto (2009) que encontrou concentração média no estuário do Ratones de 0,08 mg/l e de 0,13 mg/l no rio Itacurubi (pertencente a uma região urbanizada). Souza et. al. (2009) ao estudar a distribuição de nutrientes no estuário do Rio Cachoeira, na Bahia, que recebe efluentes de uma ETE, encontrou concentrações médias de PT no estuário interno de 0,1 mg/l. Ou seja, as concentrações de PT encontradas no rio Papaquara são maiores que aquelas encontradas em ambientes sabidamente antropizados, sendo que, neste trabalho foram encontradas concentrações de fósforo total entre 1,07 mg/l e 0,17 mg/l.

A presença de poluentes dentro dos estuários é uma realidade que pode trazer danos irreparáveis aos manguezais ali presentes. Necessitando esta área do conhecimento prévio e interdisciplinar na avaliação dos impactos antropogênicos na qualidade da água dos corpos hídricos, devendo ser aplicados para gerenciar a tomada de decisões sobre a melhor utilização dos recursos naturais. Vale ressaltar que, conforme previsto pela Lei Estadual 14.675/09, art. 2º, compete ao Poder Público Estadual e Municipal e à coletividade promover e exigir medidas que garantam a qualidade do meio ambiente, da vida e da diversidade biológica no desenvolvimento de sua atividade, assim como corrigir ou fazer corrigir os efeitos da atividade degradadora ou poluidora**.**

Recomendações para o manejo

É primordial destacar que o conhecimento da dinâmica dos poluentes que entram na unidade conservação é subsídio importante para tomada de decisão com vistas ao uso sustentável destes mananciais estratégicos.

A fim de preservar as águas do rio Papaquara, deveria ocorrer uma reavaliação da classe em que se enquadra este corpo hídrico. Três classificações diferentes em um único rio trás como consequência a dificuldade do respeito aos limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005. Pelo fato de que parte do rio se encontra dentro de uma estação ecológica, recomenda-se a classificação integral do rio Papaquara como classe Especial, de forma a garantir o uso mais restritivo do rio.

A presença de elevada concentração de plantas aquáticas entre o P1 o P5 atua de forma positiva, complementando a retirada de fósforo da coluna d'água; No entanto, seu crescimento desordenado pode ter o efeito contrário, funcionando como uma bomba de fósforo com quando há morte destas. Tendo em vista que a Prefeitura Municipal de Florianópolis realiza recorrentemente o desassoreamento dos rios e canais do Norte da Ilha, é recomendável evitar a total remoção destas macrófitas e executar o manejo adequado desta vegetação. Sem a presença destas plantas a carga proveniente da ETE seria distribuída ao longo do rio, chegando com concentrações ainda maiores que as atuais na Estação Ecológica de Carijós.

Por meio de sua competência legal, recomenda-se que o ICMBio articule juntamente com a CASAN e a FATMA a alteração do destino do efluente da ETE Canasvieiras, haja visto que a ETE tem potencial de afetar a dinâmica da salinidade e do fósforo no estuário do rio Papaquara, como demonstrado nos resultados deste trabalho.

Os modelos matemáticos de simulação podem contribuir de maneira significativa em vários instrumentos de gestão, como por exemplo, definição da localização de estações de monitoramento ou análise de outorga de lançamento de efluentes e escolha de técnicas adequadas de manejo e uso. Na prática, a utilização de modelos matemáticos limitada pelas dificuldades de calibração e confirmações adequadas. Recomenda-se a continuidade deste trabalho incluído a dinâmica da biota que se mostrou ser de vital importância para a calibração do modelo. Os resultados apontam para uma estrutura correta do modelo, porém, ainda simplista demais.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a meus pais, pela força que vem me dando durante minha graduação e que nunca me deixaram desistir, mesmo nos momentos difíceis.

Agradeço a Claudinei Rodrigues pela paciência, por todo o conhecimento que me proporcionou, pela amizade e pelos bons chimarrões que compartilhamos.

Agradeço a Manuela de Abreu Farias, pela cumplicidade, a parceria e pelos bons momentos. Também a Aichely Rodrigues, pela alegria e pela sabedoria.

Gostaria de agradecer à ICMBio pela oportunidade de aprendizado que me forneceu, mas principalmente a todos os servidores da Estação Ecológica Carijós por me receberem de braços abertos e sempre estarem dispostos a tirar minhas dúvidas ou simplesmente conversar.

Citações e referências bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12772. **Águas - Determinação de fósforo – Método de ensaio** .Rio de Janeiro, 1992. 9p

BENTO Luiz; Marotta Humberto; ENRICH-PRAST Alex; **O papel das macrófitas aquáticas emersas no ciclo do fósforo em lagos rasos.** Laboratório de biogeoquímica, Depto. de Ecologia, Inst. de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, 2007.

BIANCHI, Thomas S. **Biogeochemistry of estuaries**. New York, Oxford. 2007. 706 p.

CHIN, David A. **Water-quality engineering in natural systems.** John Wiley & Sons, Inc. 2006. 610p.

ESTEVES, F. A.; **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed., Interciência: Rio de Janeiro, 1998.

GUARDA Antônio; **Gestão urbana: Projeção da População flutuante.** COBRAC 2012, Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC, Florianópolis. 7 à 11 de Outubro 2012. 10 p.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Processo administrativo nº 02078.000040/2011-44**, Assunto: Avaliação; Interessado: CASAN. 2011.

MIRANDA, Luis B.; CASTRO, Belmiro M.; KJERFVE Björn; **Princípios de Oceanografia Física de Estuários.** Universidade de São Paulo, 2002. 411 p.

NERI Marecelo C.; **Trata Brasil: Saneamento, Saúde, Educação, Trabalho e Turismo. O caso Santa Catarina.** Rio de Janeiro: FGV/IBRE, CPS, 2008. 35p.

PAGLIOSA Paulo R.; **Variação espacial nas caracterisiticas da áua, dos sedimentos e da macrofauna bentônica em áreas urbanizadas de conservaçãode Naía da Ilha de Santa Catarina.** São Carlos: UFSCar, 2004. 100p.

PARIZOTTO, Bianca Alves Dias Martins. **Qualidade da água sob enfoque do balanço de nutrientes e distribuição espacial de foraminíferos bentônicos em estuários das baías norte e sul de Santa Catarina (SC-Brasil).** 2009, 242f. Tese (Doutorado em Geografia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas, da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2009.

PINTO Jonnathan A. C.; NIÑO Luswin J. O.; **Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de águas residuales con *Eichhorin Crasssipes,* para el postratamiento del efluente del reactor anaeróbico a flujo de pistón de la universidad pontificia bolivariana de Bucaramanga.** Bucaramanga, Bolivia, 2008. 169 p.

PIVELI, Roque Passos; KATO, Mario Takayuki. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos.** São Paulo; ABES; 2006. 285 p.

REDDY K.R.; Delaune R.D. **Biogeochemistry of wetlands: science and applications.** CRC, Taylor and Francis Group, Boca Raton. 2008, 774p

ROLDAN, Gabriel Perez. Embalses. Roldan, P. G. ; Ramirez, J.J.R. **Fundamentos de limnologia neotropical**. 2ª edición. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia, 2008. p 111 – 139.

SANTA CATARINA, Secretaria de Estado de desenvolvimento Sustentável. **Estudo dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio para sua implementação: Regionalização de Vazões das Bacias Hidrográficas Estaduais do Estado de Santa Catarina**. vol.1 - Texto. 2006. 141p.

SANTA CATARINA. Lei Estadual Nº 14.675, de 13 de abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.

SILVA, Aichely R.; **Avaliação da qualidade ambiental e do processo de eutrofização na bacia hidrográfica do Papaquara, Ilha de Santa catarina, SC**. Florianópolis, SC, 2015. 123 p.

SOCIOAMBIENTAL CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA. **Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Impacto Ambiental Empreendimento Sapiens Parque**. Volume V. Florianópolis, 2004.

SOUZA, Marcelo Friederichs Landim de; EÇA, Gilmara Fernandes; SILVA Maria Aparecida Macedo; AMORIM, Fábio Alan Carqueija; LÔBO, Ivon Pinheiro. **Distribuição de nutrientes dissolvidos e clorofila-a no estuário do rio cachoeira, nordeste do Brasil.** Atlântica, Rio Grande, 31(1) 107-121, 2009.

TUNDISI, José Galizia; **Água no século XXI enfrentando a escassez**. São Carlos, SP. Rima. 2003. 247p.

VALDERRAMA, J. C. **The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural water**. Mar.Chem., v.10, p. 109-122, 1981.

VON SPERLING, Marcos. **Estudo e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte, MG. Ed. UFMG. 2007. 588p.