



Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Pirai à Montante do Túnel de Tócos, na Região Hidrográfica II - Guandu, em Conformidade com o Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim

2º Relatório Trimestral

Abril a Junho de 2016



■ Cópias

01 cópia impressa para a Comitê Guandu
01 cópia digital para a Comitê Guandu
01 cópia digital para a SEA PROJECTS

■ SP 597/2016

Rev.: 1
Agosto de 2016



MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
DO RIO PIRAÍ À MONTANTE DE TÓCOS, NA
REGIÃO HIDROGRÁFICA II - GUANDU



CONTROLE DE REVISÕES				
Revisão	Data	Resumo da Revisão	Elaborado por:	Verificado por:
1	Agosto/16	Qualidade da água – Abril/16 a Junho/16	<hr/> Rodrigo Mazza Guimarães	<hr/> Bruno Peçanha A. Gonçalves
APROVAÇÃO:		LIBERAÇÃO: Comitê Guandu		APROVAÇÃO:
<hr/> Bruno Peçanha Alonso Gonçalves		<input type="checkbox"/> Liberado com comentários		FISCALIZAÇÃO
DATA: ____/____/____		<input type="checkbox"/> Liberado sem comentários		DATA: ____/____/____
		<input type="checkbox"/> Devolvido para atender comentários		



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	Condições e padrões de qualidade de água.....	13
2.1.1	Parâmetros físicos, químicos e biológicos	13
2.1.1.1	Transparência.....	14
2.1.1.2	Temperatura da água.....	14
2.1.1.3	Oxigênio dissolvido (OD).....	15
2.1.1.4	Potencial hidrogeniônico (pH).....	15
2.1.1.5	Sólidos totais (ST), Sólidos suspensos totais (SST) e Sólidos dissolvidos Totais (SDT)	16
2.1.1.6	Condutividade	16
2.1.1.7	Turbidez	17
2.1.1.8	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO)	17
2.1.1.9	Cafeína	18
2.1.2	Macronutrientes	18
2.1.2.1	Carbono orgânico dissolvido (COD)	19
2.1.2.2	Série nitrogenada e fosforada.....	19

2.1.3	Microrganismos	22
2.1.3.1	Coliformes termotolerantes.....	22
2.1.3.2	Cistos de <i>Giardia</i> e Oocisto de <i>Cryptosporidium</i>	22
3	OBJETIVO.....	23
4	MATERAIS E MÉTODOS.....	23
4.1	Área de Estudo.....	23
4.2	Caracterização das estações de amostragens	26
4.2.1	Ponto Controle (PC).....	27
4.2.2	Ponto1 (P1)	28
4.2.3	Ponto 2 (P2)	30
4.2.4	Ponto 3 (P3)	31
4.2.5	Ponto 4 (P4)	32
4.2.6	Ponto 5 (P5)	33
5	METODOLOGIA.....	35
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
6.1	Pluviosidade.....	44
6.2	Vazão	49



6.3	Temperatura da água.....	50	
6.4	Oxigênio dissolvido (OD).....	53	
6.5	Potencial hidrogeniônico (pH).....	55	
6.6	Condutividade.....	58	
6.7	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).....	60	
6.8	Sólidos Suspensos Totais (SST).....	62	
6.9	Sólidos Totais (ST).....	64	
6.10	Turbidez.....	66	
6.11	Transparência.....	69	
6.12	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	70	3
6.13	Demanda química de oxigênio (DQO).....	73	
6.14	Carbono orgânico dissolvido (COD).....	75	
6.15	Compostos nitrogenados.....	78	
6.16	Fósforo.....	84	
6.17	Coliformes termotolerantes.....	85	
6.18	Cafeína.....	88	
7	ANÁLISE INTEGRADA.....	89	
8	COMPARAÇÃO GERAL DAS CAMPANHAS.....	97	

9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
	ANEXOS.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Distribuição das áreas rurais do município de Rio Claro – RJ no ano de 2006....	25
Figura 4-2: Fontes poluidoras ao longo do rio Piraí na área de influência do monitoramento.	27
Figura 4-3: Pc – A – Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Sambaiba; B – Vista da trilha de acesso ao ponto de coleta ; C – Vista geral do Córrego da cachoeira da floresta.....	28
Figura 4-4: P1 – A – Vista a montante do ponto de coleta em P1; B – Fundo de pedras predominante; C – Vista a jusante da amostragem em P1.....	29
Figura 4-5: Mapa de localização das granjas de Frango Rica.....	30
Figura 4-6: P2 – A – Vista a justante do P2 ; B – Vista do distrito de Lídice a margem do rio Piraí; C – Lançamento de efluentes domésticos <i>in natura</i> ; D- Ponte sob o P2; E – Lançamento de resíduos sólidos nas margens do rio Piraí.	31
Figura 4-7: A – Vista a montante do P3; B – Vista a jusante do P3. C – Presença de bubalinos na margem direita a justante; D – Ponte sobre o P3.	32
Figura 4-8: A – Posto de Gasolina Cascata, visto da estrada; B – Vista do rio Piraí a montante, com destaque para o declive do rio antes do ponto de amostragem;C e D – Lançamento de efluentes a montante do ponto de coleta.....	33
Figura 4-9: A –Mapa de localização do ponto P5; B – Vista a montante do P5.....	34
Figura 5-1: A – Coleta da amostra realiza com garrafa de niskin; B – Fluxômetro utilizado para medição da vazão	36
Figura 6-1: Volume acumulado mensal de precipitação (mm) no trimestre avaliado na estação de Lídice.....	45
Figura 6-2: Volume acumulado de precipitação (mm) trinta dias antecedentes a amostragem no trimestre avaliado na estação de Lídice.	46

Figura 6-3: Volume acumulado de precipitação (mm) sete dias antecedentes a amostragem no trimestre avaliado na estação de Lídice.	47
Figura 6-4: Volume acumulado de precipitação (mm) 24 horas antecedentes a amostragem no trimestre avaliado na estação de Lídice.	48
Figura 6-5: Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	49
Figura 6-6: <i>Box-plot</i> da vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	50
Figura 6-7: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	51
Figura 6-8: <i>Box-plot</i> da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	52
6 Figura 6-9: Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	54
Figura 6-10: <i>Box-plot</i> da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	55
Figura 6-11: Potencial hidrogeniônico da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	56
Figura 6-12: <i>Box-plot</i> do potencial hidrogeniônico da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	57
Figura 6-13: Condutividade (mS.cm^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	59
Figura 6-14: <i>Box-plot</i> da condutividade (mS.cm^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	60



Figura 6-15: Sólidos dissolvido totais (g.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	61
Figura 6-16: <i>Box-plot</i> da concentração de sólidos dissolvidos totais (g.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	62
Figura 6-17: Sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	63
Figura 6-18: <i>Box-plot</i> da concentração de sólidos suspensos totais (g.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	64
Figura 6-19: Sólidos totais (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	65
Figura 6-20: <i>Box-plot</i> da concentração de sólidos totais (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	66
Figura 6-21: Turbidez (UNT) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	67
Figura 6-22: <i>Box-plot</i> da turbidez (UNT) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	68
Figura 6-23: Transparência (linhas) e profundidade (barras) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	69
Figura 6-24: <i>Box-plot</i> da transparência da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	70
Figura 6-25: Demanda bioquímica de oxigênio (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	72
Figura 6-26: <i>Box-plot</i> da demanda bioquímica de oxigênio (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	73

8

Figura 6-27: Demanda química de oxigênio (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	74
Figura 6-28: <i>Box-plot</i> da demanda química de oxigênio (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	75
Figura 6-29: Carbono orgânico dissolvido (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	76
Figura 6-30: <i>Box-plot</i> da concentração de carbono orgânico dissolvido (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	77
Figura 6-31: Nitrato (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	79
Figura 6-32: <i>Box-plot</i> da concentração de nitrato (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	80
Figura 6-33: Nitrogênio amoniacal (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	81
Figura 6-34: <i>Box-plot</i> da concentração de nitrogênio amoniacal (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	82
Figura 6-35: Nitrogênio total (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	83
Figura 6-36: <i>Box-plot</i> da concentração de nitrogênio total (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	84
Figura 6-37: Coliformes termotolerantes (NMP.100mL^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	86
Figura 6-38: <i>Box-plot</i> da concentração de coliformes termotolerantes (NMP.100mL^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraiá.	87



Figura 7-1: Índice de Qualidade da Água (IQA) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	91
Figura 7-2: <i>Box-plot</i> do índice de Qualidade da Água (IQA) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	92
Figura 7-3: Mapa de distribuição do índice de qualidade da água (IQA) médio nas campanhas de abril a junho de 2016.	93
Figura 7-4: Análise de componentes principais (PCA) das campanhas entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4-1: Coordenadas das estações amostrais no monitoramento da qualidade da água do rio Pirai à montante do túnel de Tócos.	26
Tabela 5-1: Horário de realização de amostragem nas campanhas de abril a junho de 2016..	35
Tabela 5-2: Limites de quantificação e detecção dos equipamentos utilizados <i>in situ</i>	36
Tabela 5-3: Variáveis do monitoramento da qualidade da água e respectivos métodos e limites analíticos (limite de quantificação – LQ).....	37
Tabela 5-4: Limites de classe de trofia para os resultados de Índice de Estado Trófico (IET) (LAMPARELLI, 2004).....	39
Tabela 5-5: Parâmetros e pesos relativos ao IQA.	40
Tabela 5-6: Limites de classificação do Índice de Qualidade da Água	40
10 Tabela 7-1: Índice de Estado Trófico (IET) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.	90



1 INTRODUÇÃO

O rio Piraí nasce no distrito de Lídice (município de Rio Claro - RJ) e percorre as cidades de Rio Claro, Piraí e Barra do Piraí até desaguar no rio Paraíba do Sul. Entre seus afluentes cita-se o rio das Pedras, Parado, Braço, Claro e o rio das Canoas.

Cabral (2006) menciona que o início do rio Piraí, na Serra do Sinfrônio (município de Lídice - RJ), é discutível, já tendo sido indicada a sua origem a partir do encontro do rio Papudos com o rio Alto da Serra e rio das Pedras (formado pelos córregos Grande e do Morro), na Fazenda São Sebastião.

O curso deste rio teve duas alterações significativas no seu percurso, sendo a primeira, o desvio de suas águas por uma barragem construída em Tócos (município de Rio Claro - RJ) para alimentar a represa de Ribeirão das Lajes através do túnel de Tocos, em uma vazão de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; e a segunda, a transposição das águas do rio Paraíba do Sul para o Guandu, através da Barragem de Santa Cecília, que acarreta em uma inversão no sentido natural do rio Piraí, alterando sua foz.

11

As águas desviadas do rio Piraí na altura do reservatório de Tócos, que integra o Subsistema Lajes (composto pelo reservatório de Lajes e pela Usina Fontes Nova) chegam até o reservatório de Lajes através do túnel de Tócos. O desvio de parte das águas do rio Piraí foi realizado com o objetivo de aumentar a disponibilidade hídrica do reservatório de Lajes, que recebe através do túnel de 8,5 km uma contribuição média de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do rio Piraí (LIGHT, 2011). O reservatório de Lajes, por sua vez, tem importância estratégica para o município do Rio de Janeiro e seus municípios adjacentes, para a geração de energia, e reserva hídrica estabelecida pelo setor elétrico podendo abastecer a região metropolitana do Rio de Janeiro por cerca de 8 dias em caso de interrupção no bombeamento em Santa Cecília ou acidente no rio Paraíba do Sul (SONDOTÉCNICA/ANA, 2006, GEOPROJETOS, 2007).

Parte significativa das águas do reservatório de Lajes chegaram a ser consideradas como de classe especial, devido as ótimas condições de qualidade e de proteção da bacia de

drenagem, porém estudos recentes indicam que essa classificação não se manteve com o tempo (SONDOTÉCNICA/ANA, 2006).

Dentre os motivos para a citada queda de qualidade estariam a introdução de criação de peixes em tanques-rede, a poluição gerada pelas práticas esportivas com utilização de motor a combustão e descargas de esgotos domésticos. Posto isso, se torna necessário ações para mitigar os impactos destas atividades antrópicas situadas a montante do túnel de desvio do reservatório de Tócos.

A realização desse diagnóstico, possibilitará identificar a qualidade das águas do rio, bem como, identificar a presença de fontes poluentes e suas flutuações ao longo de períodos sazonais, através da análise de diversos parâmetros químicos e microbiológicos em campanhas de monitoramento e aplicação de indicadores e índices ambientais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

12 A água doce limpa, apropriada e em quantidade adequada é de vital importância para a sobrevivência de todos os organismos vivos, bem como para o funcionamento adequado de ecossistemas, comunidades e economias. A água doce é um dos recursos naturais mais escassos e importantes, está relacionada tanto com a própria sobrevivência humana, animal e vegetal, quanto com a realização de atividades e serviços (LEAL, 1998). A utilização racional dos recursos hídricos é ainda mais relevante quando se leva em consideração que de toda a água disponível, apenas cerca de 3 % é água doce e, ainda, em termos proporcionais a distribuição da Terra é muito heterogênea (ESTEVES, 2011a).

A qualidade da água é elemento central de todos os papéis que este recurso desempenha em nossas vidas. Da beleza de um curso de água natural repleto de vida animal e vegetal, às atividades econômicas vitais que a água limpa dos rios e dos córregos proporcionam até o papel fundamental para a saúde que a água potável segura desempenha – a água de boa qualidade é de importância fundamental para toda a cadeia vital e para a subsistência humana.



As atividades humanas, assim como os processos naturais, podem alterar as características físicas, químicas e biológicas da água. Água de baixa qualidade põe em risco a saúde humana e dos ecossistemas, reduz a disponibilidade de água potável e de recursos hídricos próprios para outras finalidades, limita a produtividade econômica e diminui as oportunidades de desenvolvimento.

Portanto, é necessário que a água obtenha normatização e fiscalização do seu uso e qualidade. Devido a sua relevância é necessário o monitoramento sistemático da qualidade das águas através dos estudos de parâmetros biológicos, físicos e químicos da água para o conhecimento do ambiente e identificação dos padrões de variação das condições ambientais. O monitoramento é importante tanto dentro dos rios e reservatórios como em seu entorno, além de ter implicações nas características limnológicas como um todo.

A qualidade da água é afetada por mudanças em teores de nutrientes, sedimentos, temperatura, pH, metais pesados, toxinas não metálicas, componentes orgânicos persistentes e agrotóxicos, fatores biológicos, entre muitos outros (BAUMGARTE & POZZA, 2001). Muitos contaminantes se combinam sinergicamente para causar impactos piores ou distintos daqueles provocados de forma cumulativa por um poluente agindo isoladamente. Em último caso, o acréscimo contínuo de contaminantes levará a concentrações que excedem a capacidade do ecossistema de suportá-los, gerando alterações dramáticas e não lineares que podem ser impossíveis de reverter.

13

2.1 Condições e padrões de qualidade de água

2.1.1 Parâmetros físicos, químicos e biológicos

Os rios são transportadores de material orgânico e inorgânico e seus padrões de descarga determinam as propriedades do sistema. As variações estacionais e diurnas dependem dos ciclos climatológicas e hidrológicas, os quais são responsáveis por controlar os processos físicos, químicas e biológicas (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Diversos materiais podem ser transportados nas águas como a matéria inorgânica dissolvida (ex. alumínio, ferro, sódio e fósforo), os íons dissolvidos como o nitrogênio e silício, além da matéria orgânica dissolvida e particulada, (ex. N₂, CO₂ e O₂) e metais traços (em forma dissolvida ou particulada) (ESTEVEES, 2011a; HORNE & GOLDMAN, 1994; TUNDISI & TUNDISI, 2008). A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, os quais traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2014).

2.1.1.1 Transparência

A transparência das águas é um parâmetro muito importante na avaliação da qualidade das águas. Através da transparência é possível inferir sobre a atenuação da luz causada pela presença de material em suspensão e de maneira aproximada estimar a profundidade da zona fótica (CETESB, 2012a).

14

A transparência da água é uma característica física de fácil obtenção em campo. A utilização do disco de *Secchi* é às vezes criticada, porém sua simplicidade, custo reduzido, facilidade de transporte e principalmente o número de informações possíveis de serem extraídas a partir de sua leitura justificam sua utilização para análises de ambientes aquáticos. Assume importância também em pesquisas científicas, visto que por ser um parâmetro universal, permite comparações; além disso, juntamente com os índices de fósforo e a clorofila a, é um excelente indicador do estado trófico dos corpos hídricos.

2.1.1.2 Temperatura da água

A temperatura da água é resultado da radiação solar incidente sobre a água. A temperatura é reflexo de diferentes fatores, que são capazes de alterar seus valores em um corpo d'água (TUNDISI & TUNDISI, 2008). Em corpos hídricos de água doce a temperatura varia naturalmente, principalmente, devido a diferenças de incidência solar, por sazonalidade, regime dia/noite, latitude ou altitude local, porém, fatores externos podem ocasionar alterações nestes padrões, como os lançamentos de efluentes industriais e de usinas

termoelétricas. As alterações de temperatura influenciam em diversos processos no meio, como exemplo a diminuição da solubilidade do oxigênio quando há elevação da temperatura, e alterações nos ciclos vitais de peixes, posto que determinadas espécies possuem limitações de temperatura para migração, desova e incubação de ovos. Assim, a elevação ou redução da temperatura é capaz de alterar a taxa das reações físicas, químicas e biológicas (ESTEVES, 2011a; VON SPERLING, 2014).

2.1.1.3 Oxigênio dissolvido (OD)

As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera (interface ar-água) e a fotossíntese. Em contrapartida, as perdas desse gás são: o consumo pela decomposição de matéria orgânica, perdas para a atmosfera, respiração dos organismos aquáticos e a oxidação de íons metálicos (ex. ferro e manganês) (ESTEVES, 2011a). O oxigênio dissolvido é um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos, pois é um gás essencial para a comunidade bacteriana responsável pelos processos de autodepuração em águas naturais. Caso esse gás seja totalmente consumido nos processos de mineralização da matéria orgânica as condições do ambiente passam a ser anaeróbicas com possível geração de maus odores (CHAPMAN & KIMSTACH, 1992; VON SPERLING, 2014). Segundo Chapman & Kimstach (*op. cit.*) as concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 5 mg.L⁻¹ ameaçam o funcionamento e a sobrevivência da comunidade biológica e abaixo de 2 mg.L⁻¹ podem levar à morte da maioria dos peixes devido a hipoxia/anoxia.

15

2.1.1.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio (H⁺) em um sistema sendo indicativo sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. O pH é uma variável importante na avaliação da qualidade da água pois é capaz de influenciar diversos processos químicos e biológicos no meio (VON SPERLING, 2014). Chapman & Kimstach, (1992) destacam que a faixa de pH geralmente encontrada em águas naturais é de 6,0 a 8,5, porém valores mais baixos podem ser encontrados em águas com elevada

concentração de matéria orgânica. A entrada de ácidos orgânicos e inorgânicos no meio altera os valores de pH e áreas com maior biomassa vegetal tendem a maiores e mais rápidas alterações do pH do meio (PRADO, 2004), sendo a faixa ideal de pH para vida e crescimento dos organismos seria entre 6,0 e 9,0 (ESTEVES, 2011a).

2.1.1.5 Sólidos totais (ST), Sólidos suspensos totais (SST) e Sólidos dissolvidos Totais (SDT)

Os sólidos totais correspondem ao material residual registrado em um recipiente após a secagem da amostras a 150 °C na estufa. Nos resultados são encontrados sólidos dissolvidos e sólidos suspensos.

Os sólidos suspensos totais representam a fração do material que fica retido no filtro de porosidade de 0,45 µm após a filtração, ou seja, refere-se ao material não-filtrável (APHA et al., 1999). Sua importância está no transporte de matéria orgânica e diversos contaminantes entre ambientes e entre a coluna d'água e os sedimentos (GOÑI et al., 2005). Muitos metais se associam às partículas, caracterizando-as como veículos de transporte (BAUMGARTE & POZZA, 2001). Além disso, os sólidos suspensos são responsáveis pelo aumento da turbidez e diminuição da penetração de luz o que afeta diretamente a produção primária do meio. Em altas concentrações podem ser indicativo de despejo de efluentes domésticos (EPA, 2001).

Os sólidos dissolvidos totais correspondem aos resíduos filtráveis que passam através de um filtro de porosidade de 0,45 µm. Sua concentração normalmente é proporcional a condutividade e salinidade presente na amostra (BAUMGARTE & POZZA, 2001).

2.1.1.6 Condutividade

A condutividade ou condutância específica é a medida da capacidade da água de conduzir uma corrente elétrica, sendo sensível a variações nas concentrações de sólidos dissolvidos totais e dos íons maiores (CHAPMAN & KIMSTACH, 1992). O parâmetro condutividade refere-se à presença de substâncias dissolvidas na água que se dissociam em ânions e cátions (sais), podendo indicar indiretamente a concentração de poluentes no meio.



Brigante & Espindola (2003) mencionaram valores entre 0,01 e 0,1 mS.cm⁻¹ para condutividade de águas naturais e até 1 mS.cm⁻¹ para ambientes poluídos. A partir da medida desta variável pode-se inferir sobre a geoquímica do local e detectar fontes poluidoras em ecossistemas aquáticos, assim como, processos de produção e decomposição na coluna d'água (ESTEVES, 2011a).

2.1.1.7 Turbidez

A turbidez é uma propriedade ótica da água, ela representa a atenuação da luz ao atravessar uma determinada amostra de água (CETESB, 2012a; LENZI *et al.*, 2009). Diferente da transparência trata-se de um método menos subjetivo e mais confiável. A turbidez corresponde ao grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, entre outros.

Portanto, a turbidez resulta do espalhamento e absorção da luz incidente pelas partículas presentes na água (orgânicas ou inorgânicas), sendo os seus níveis normalmente variando entre 1 e 1.000 UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez), mas podem ser acrescidos pela presença de poluição por matéria orgânica (CHAPMAN & KIMSTACH, 1992).

17

2.1.1.8 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um indicador indireto da concentração de matéria orgânica (MO) biodegradável de uma determinada amostra (VALENTE *et al.*, 1997). Essa decomposição aeróbica tem papel fundamental para devolver os elementos ao meio (BAIRD, 2002). Assim, elevações nas concentrações de matéria orgânica, como por despejos de esgoto doméstico, por exemplo, acarretam em acréscimos nos valores de DBO.

Diferente da DBO, a demanda química de oxigênio (DQO) se refere à quantidade de oxigênio equivalente à matéria orgânica que é suscetível a oxidação por um oxidante químico

forte, sendo utilizado o dicromato de potássio (CHAPMAN & KIMSTACH, 1992; PIVELI & KATO, 2005) e não por microrganismos. Logo os valores de DQO são naturalmente mais altos que os de DBO (BAIRD, 2002).

A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais. A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos (CETESB, 2012b).

2.1.1.9 Cafeína

Estudos recentes indicam que a medição da cafeína em sistemas municipais de água proporciona uma boa estimativa de contaminação fecal causada exclusivamente por seres humanos. A concentração de cafeína é comumente correlacionada com níveis de coliformes fecais humanos visto que fontes agrícolas e industriais não liberam cafeína para o ambiente. Devido ao usual consumo de café é provável que onde há esgoto humano se ache registros de cafeína.

18

No geral os compostos denominados PPCPs (*Pharmaceuticals and Personal Care Products*) tem revelado importância expressiva na contaminação de recursos hídricos ao redor do globo. Cerca de 47 compostos estão relacionados diretamente com contaminação por efluentes doméstico não tratado como: bifenóis, codeína, coprostanol, cafeína, colesterol, antioxidantes, detergentes não biodegradáveis, fragrâncias e desinfetantes. Sua exclusividade está no fato destes compostos possuírem características singulares que distinguem de outros indicadores. A cafeína sendo um PPCP é um indicador direto da contaminação oriunda de efluentes domésticos (TUBBS *et al.*, 2004).

2.1.2 Macronutrientes

A contaminação por excesso de nutrientes tornou-se o problema de qualidade da água mais comum em todo o planeta. Essa contaminação, geralmente associada a excessos de nitrogênio e fósforo – provenientes do escoamento da agricultura e também por lançamento de esgoto e de resíduos industriais – tende a aumentar taxas de produtividade primária

(produção de matéria vegetal por meio da fotossíntese) em níveis excessivos, levando a um supercrescimento de plantas vasculares (ex.: aguapé), a aflorações de algas e ao esgotamento do oxigênio dissolvido na coluna de água, o que pode provocar estresse ou mesmo matar organismos aquáticos.

Algumas algas (cianobactérias) podem produzir toxinas prejudiciais à saúde de seres humanos de animais domésticos e selvagens que as ingerirem ou que se exponham a águas com elevados níveis de algas. A contaminação por excesso de nutrientes pode também provocar acidificação nos ecossistemas de água doce, com graves impactos para a biodiversidade. A longo prazo, o enriquecimento com nutrientes pode esgotar o oxigênio e eliminar espécies com exigências mais elevadas em termos de consumo de oxigênio, inclusive espécies de peixes, afetando a estrutura e a diversidade dos ecossistemas (BAUMGARTE & POZZA, 2001). Por causa de entradas excessivas de nutrientes, alguns rios, lagos e lagoas tornam-se hipereutróficos (ricos em nutrientes e pobres em oxigênio) com a consequente eliminação de todos os macro-organismos.

19

2.1.2.1 Carbono orgânico dissolvido (COD)

O carbono é elemento constituinte de toda a matéria viva e tem um ciclo vital complexo no meio ambiente, de onde é possível destacar o consumo de CO₂ pelas células vegetais e devolução de carbono ao ambiente em processos de respiração e decomposição do material orgânico. O carbono orgânico dissolvido (COD) nas águas dos rios pode participar de processos de adsorção, reações iônicas ou complexação. As principais fontes de carbono para o meio aquoso são a atmosfera e a biomassa (LENZI *et al.*, 2009), mas o elemento também sofre grande incremento pela poluição. Logo, é fundamental seu monitoramento com objetivo de registrar a carga orgânica assimilável no meio.

2.1.2.2 Série nitrogenada e fosforada

O nitrogênio e o fósforo são importantes ferramentas na avaliação de um corpo d'água, principalmente por serem elementos essenciais à produção primária. Além disso, permitem o

acompanhamento no aumento em suas concentrações indicando a entrada de matéria orgânica no meio que, em altos níveis, resulta em condições de eutrofização dos corpos hídricos (CAPONE *et al.*, 2008; ESTEVES, 2011a). São chamados de macronutrientes por serem necessários à fotossíntese em quantidades muito maiores que os demais nutrientes (micronutrientes) (LIBES, 2009).

2.1.2.2.1 Série nitrogenada

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes do metabolismo biológico nos ecossistemas aquáticos. Este nutriente está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas (nitrato, nitrito, amônia, íon amônio, óxido nitroso, nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico particulado e dissolvido), porém dentre as diferentes formas o nitrato e o íon amônio apresentam grande importância nos ecossistemas aquáticos pois representam as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários (CAPONE *et al.*, 2008; ESTEVES, 2011a; OLIVEIRA, 2013).

20 Em um curso d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer indicações sobre o estágio da poluição eventualmente ocasionada por algum lançamento de esgotos a montante. Nos casos onde a poluição é recente tem-se o predomínio na forma de nitrogênio orgânico ou amônia, no entanto, em casos de poluição antiga a principal forma do nitrogênio é o nitrato (VON SPERLING, 2014). Neste monitoramento são analisadas as concentrações de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal (amônia + íon amônico) e nitrato.

O nitrogênio amoniacal (NH_x) é comumente encontrado em águas naturais em baixas concentrações. Em concentrações superiores a $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ é provável que exista influência de efluentes domésticos e industriais. Do ponto de vista sanitário, a amônia é um importante parâmetro pois sua presença indica contaminação por esgotos e conseqüentemente provável contaminação por patógenos. Santiago *et al.* (2004) destacaram que elevadas concentrações de nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal são indicadoras de contaminação por esgoto com fonte próxima.



O nitrato (NO_3) é proveniente da oxidação da amônia e além do esgoto como fonte antrópica, Baird (2001) menciona o *input* de nitrato em áreas rurais, assim como o escoamento terrígeno e lixiviação de solos levando das terras agrícolas para rios resíduos oxidados de animais junto com nitrato de amônio não absorvido e fertilizantes com outras formas nitrogenadas. Segundo Santiago *et al.* (*op. cit.*) o nitrato em águas naturais aparecem na faixa de 0,1 a 10 mg.L^{-1} , em águas muito poluídas pode chegar a 200 mg.L^{-1} e em águas próximas a áreas com uso intenso de fertilizantes é possível verificar mais de 600 mg.L^{-1} .

2.1.2.2.2 Série fosforada

O fósforo pode ser encontrado na natureza sob forma orgânica e inorgânica, cita-se a ação do intemperismo das rochas fosfáticas, o material particulado da atmosfera e a decomposição de organismos de origem alóctone, e entre as antrópicas (majoritariamente em formas inorgânicas), os fertilizantes químicos nos solos, material particulado de origem industrial na atmosfera e os efluentes urbanos (domésticos ou industriais) (ESTEVES, 2011; MARINS *et al.*, 2007 e referências contidas).

O fósforo total apresenta-se na forma de fosfato orgânico (compostos orgânicos de origem fisiológica) e inorgânico (polifosfato e ortofosfato de origem principalmente dos detergentes e outros produtos químicos domésticos). O fósforo solúvel é predominantemente inorgânico, composto principalmente por polifosfatos e ortofosfatos (VON SPERLING, 2014). Esteves (2011) ressalta que todas as formas de fósforo presentes em águas naturais referem-se a fosfatos e que para estudos limnológicos o ortofosfato (referido como fosfato inorgânico dissolvido ou fosfato reativo) tem a maior relevância, visto que constitui a principal forma de fosfato assimilada pelas células vegetais. No monitoramento são analisadas as concentrações de fósforo total e fósforo total solúvel.

2.1.3 Microrganismos

2.1.3.1 Coliformes termotolerantes

Microrganismos do grupo dos coliformes são utilizados há anos como indicadores da qualidade da água. A nomenclatura de coliformes fecais se encontra em desuso, pois estes coliformes não são de origem exclusivamente fecal, no entanto, devido a sua boa correlação com o coliforme indicador de contaminação fecal *Escherichia coli* esta nomenclatura acabou se popularizando. A nomenclatura mais apropriada é a de coliformes termotolerantes (BASTOS et al., 2000) que por definição, são um subgrupo de coliformes capazes de fermentar a lactose a 44-45 °C e são excretados nas fezes de animais de sangue quente, indicando indiretamente poluição recente por fezes de humanos, mamíferos em geral e pássaros (CETESB, 2012a; SANT'ANA et al., 2003; VON SPERLING, 2014). Apesar das limitações atribuídas a este método ele ainda é amplamente utilizado como indicador da qualidade da água (BASTOS et al., 2000; CETESB, 2012a).

22

Somente a *Escherichia coli*, bactéria pertencente a este grupo, tem origem exclusivamente fecal, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenha recebido contaminação fecal. Os demais termotolerantes podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição, podendo ser encontrados igualmente em águas de regiões tropicais ou subtropicais, sem qualquer evidência de poluição por material de origem fecal. No homem, quando fora do intestino, a *E. coli* pode causar doenças, principalmente referentes ao trato urinário (GEISSLER et al., 2000).

2.1.3.2 Cistos de *Giardia* e Oocisto de *Cryptosporidium*

Os organismos pertencentes aos gêneros *Giardia* e *Cryptosporidium* são protozoários patogênicos de veiculação hídrica com ampla distribuição mundial e possuem a capacidade de causar distúrbios gastrointestinais nos animais e no homem (CRAUN et al., 1998; FAYER et al., 2000; THOMPSON et al., 2000). A giardíase e a criptosporidiose se caracterizam por



gerar nos pacientes acometidos quadros de diarreia de diversa severidade, causando sérias morbidades em seus hospedeiros, principalmente em indivíduos imunocomprometidos (LOBO *et al.*, 2009). A transmissão de ambos os parasitas se dá pela rota fecal-oral, por meio do contato direto com as fezes de pessoas infectadas ou por contato indireto por ingestão de água ou alimentos contaminados (XIAO & FAYER, 2008).

O gênero *Giardia* pertence ao filo Sarcomastigophora e é conhecido como um dos mais antigos organismos eucarióticos existentes. Sua reprodução acontece através da divisão binária e o ciclo de vida é composto pela alternância de dois estágios como o trofozoíto que é a forma vegetativa e o cisto que é a forma infectante e resistente às condições ambientais sendo eliminado a partir das fezes de seus hospedeiros (ORTEGA & ADAM, 1997). O gênero *Cryptosporidium*, por sua vez, pertence ao filo Apicomplexa com reprodução sexuada e assexuada e formação de oocistos. O oocisto é uma estrutura reprodutiva, infecciosa e de resistência do protozoário (CAREY *et al.*, 2004; SODRÉ & FRANCO, 2001).

3 OBJETIVO

O respectivo projeto tem por objetivo, caracterizar a qualidade da água no trecho do rio Piraí a montante do túnel de Tócos, distrito de Lídice (município de Rio Claro - RJ), na Região Hidrográfica II, sendo essa caracterização realizada a partir da solicitação do Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, e executado pela SEA PROJECTS.

O presente documento tem como objetivo específico avaliar a qualidade das águas no rio Piraí à montante da barragem de Tócos ao longo do segundo trimestre de 2016 (abril, maio e junho).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

Os pontos de monitoramento estão inseridos no município de Rio Claro, o qual está localizado ao sul do estado do Rio de Janeiro fazendo fronteira com os municípios

fluminenses de Angra dos Reis, Mangaratiba, Itaguaí, Piraí, Volta Redonda, Barra Mansa e o município paulista de Bananal. Rio Claro já teve outros nomes e passou por processos de emancipação e junção com outras áreas até constituir o território atual, no qual estão inclusos os distritos de Rio Claro, Getulândia, Passa Três, São João Marcos e Lídice (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO, 2011). O território atual do município corresponde a 841 km² e sua população residente é de 17.401 habitantes, sendo cerca de 79% de população urbana e 21% de população rural (IBGE, 2013).

De acordo com Geoprojetos, (2007) a região de Rio Claro e seu entorno tem altitude média 390 m, com um clima tropical de altitude, caracterizado por verões quentes, com estação seca reduzida e temperatura média anual de 21,5°C. O período de menor volume de chuva na área ocorre de abril a setembro, com destaque para os meses de junho e setembro (GEOPROJETOS, 2007). O menor volume de chuvas reflete na vazão do rio Piraí, objeto de estudo desse projeto, que de acordo com medições à montante do túnel de Tócos levantadas pela Light entre os anos de 1931 a 2006, teria vazão média de 13,5m³/s, ressaltando que ao longo do período ocorreram grandes oscilações (GEOPROJETOS, 2007)

Quanto à economia do município, após o início da colonização da região, a agricultura começou a surgir com o cultivo de produtos de subsistência e cana de açúcar na área que hoje corresponde a cidade de Rio Claro. Durante a maior parte do século XIX a região teve sua economia baseada na produção de café, porém, no final do mesmo século, com o declínio da economia cafeeira na região do Vale do Paraíba, as atividades voltaram-se para pecuária e horticultura (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO, 2011).

O censo agropecuário de 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) levantou os estabelecimentos dedicados a agropecuária na área e como se distribuem as áreas rurais do município. Cerca de 50 % da área rural é ocupado pela pecuária através de pastagens naturais ou plantadas. As áreas de matas e/ou florestas também representam um percentual alto, com 38,66 % do total. Uma observação importante é que a maior contribuição das áreas de lavoura é de forrageiras para corte, o que volta a remeter a criação de animais no município (Figura 4-1).

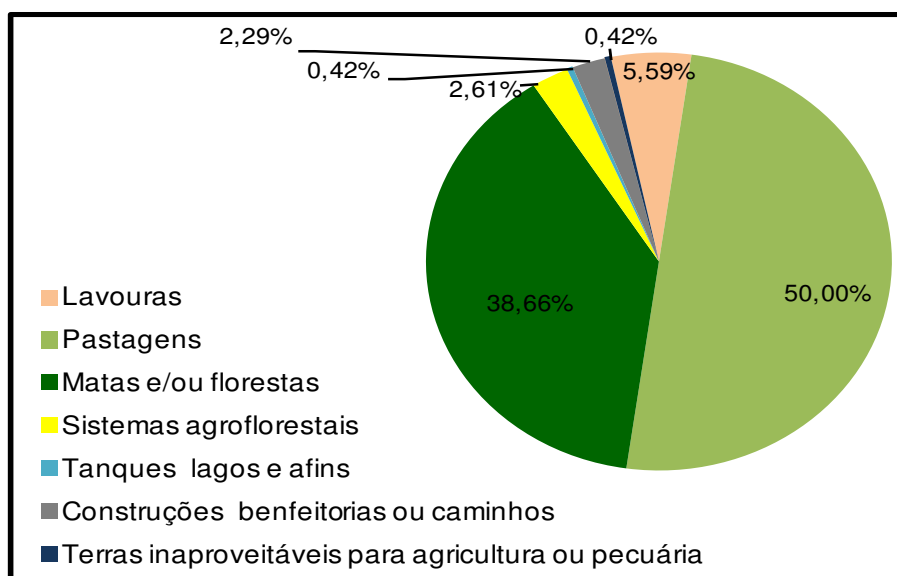


Figura 4-1: Distribuição das áreas rurais do município de Rio Claro – RJ no ano de 2006.

Fonte. Adaptação do Censo Agropecuário 2006 (SIDRA/IBGE, 2011).

Em relação a pecuária desenvolvida no município de Rio Claro destaca-se a criação de aves representada pela granjas RICA. Contudo, o efetivo de bovinos também é alto, justificando a grande ocupação do município com áreas de pastagem.

25

O município beneficia-se da Lei Estadual nº 5.100/2007 que incorpora a componente ambiental ao repasse do ICMS, através do cálculo do índice em que os municípios com melhores resultados devido a melhor gestão de suas unidades de conservação, qualidade da água de seus mananciais e gestão dos resíduos sólidos recebem maior repasse da verbas oriundas do ICMS.

Devido aos critérios adotados na Lei supracitada, o município foi pontuado devido a seus mananciais de abastecimento (bacia do Ribeirão das Lajes e do rio Santana e bacia do rio Piraí), a adequada destinação de resíduos (em aterro sanitário com vida útil maior que 5 anos e com captação e queima de gases), por não possuir vazadouros e possuir 7 unidades de conservação (APA Alto Piraí, Parque Estadual do Cunhambebe, RPPN Fazenda Sambaiba, RPPN Fazenda Roça Grande, RPPN Fazenda São Benedito, RPPN Reserva Nossa Senhora das Graças e RPPN Sítio Fim da Picada).

O incentivo do estado demonstra a importância que deve ser dada a gestão ambiental e os dados apresentados pelo município apontam para a manutenção na região de áreas voltadas para conservação e destacam a presença de importantes bacias naquela área. Um fato relevante na caracterização de Rio Claro é a gestão ambiental que ocorre em sua área de abrangência, cabendo destacar que o município correspondeu a terceira maior arrecadação de ICMS verde do estado do Rio de Janeiro no ano de 2015.

4.2 Caracterização das estações de amostragens

A malha amostral do presente estudo foi composta por cinco estações (P1 a P5) distribuídas ao longo do rio Pirai, desde o distrito de Lídice até o reservatório de Tócos, e uma estação controle (PC), localizado no afluente denominado Córrego da Cachoeira situado na RPPN Fazenda Sambaiba (Tabela 4-1). Em adição a isso, na Figura 4-2 estão representadas geograficamente as estações de amostragem e suas respectivas fontes poluidoras.

Tabela 4-1: Coordenadas das estações amostrais no monitoramento da qualidade da água do rio Pirai à montante do túnel de Tócos.

PONTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS*		ALTITUDE (m)
	LONGITUDE	LATITUDE	
P1	44W 11'44''	22S 50'56''	557
P2	44W 11'56''	22S 49'53''	546
P3	44W 10'38''	22S 47'33''	509
P4	44W 08'11''	22S 46'13''	475
P5	44W 07'42''	22S 45'14''	466
PC	44W 13'30''	22S 50'37''	568

• Datum: SIRGAS 2000

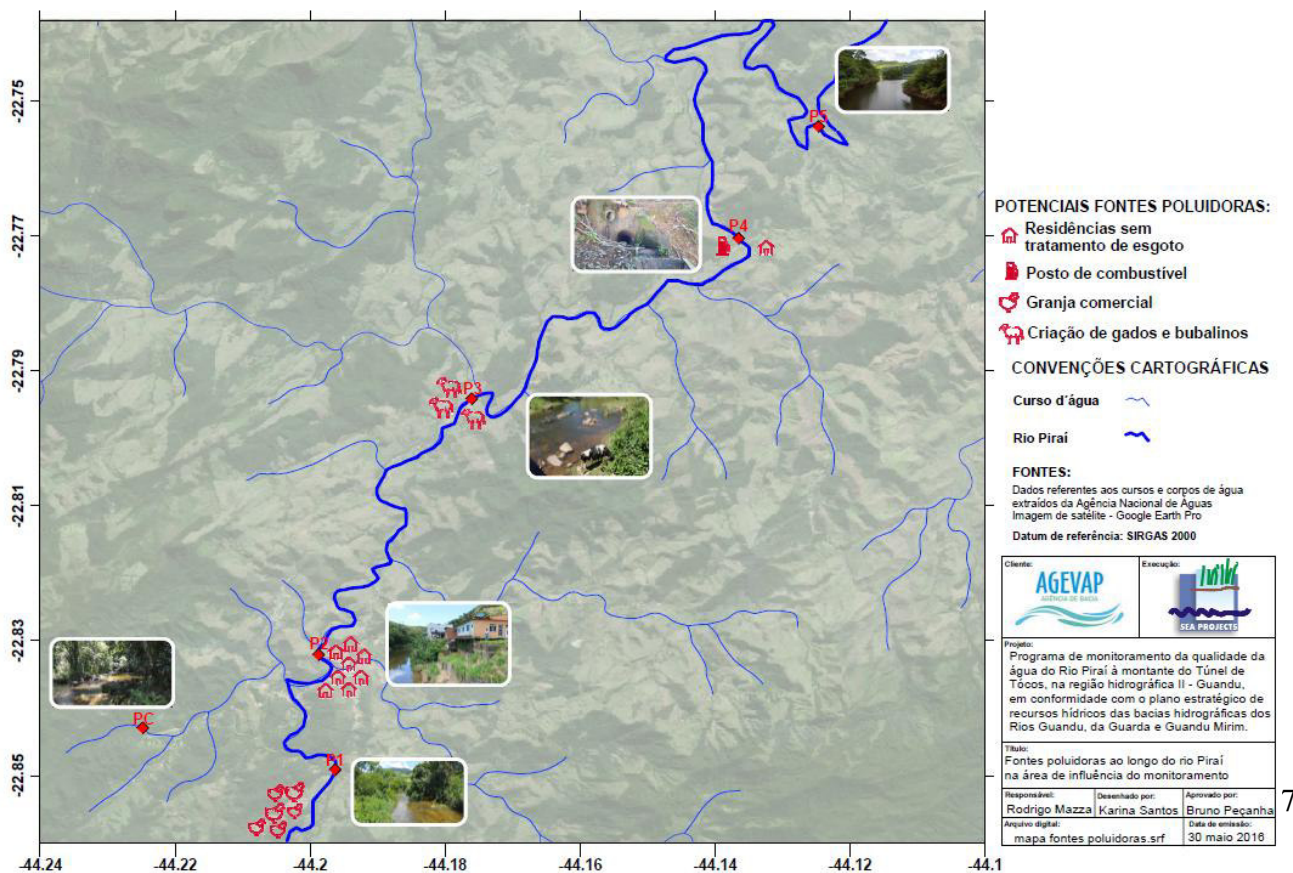
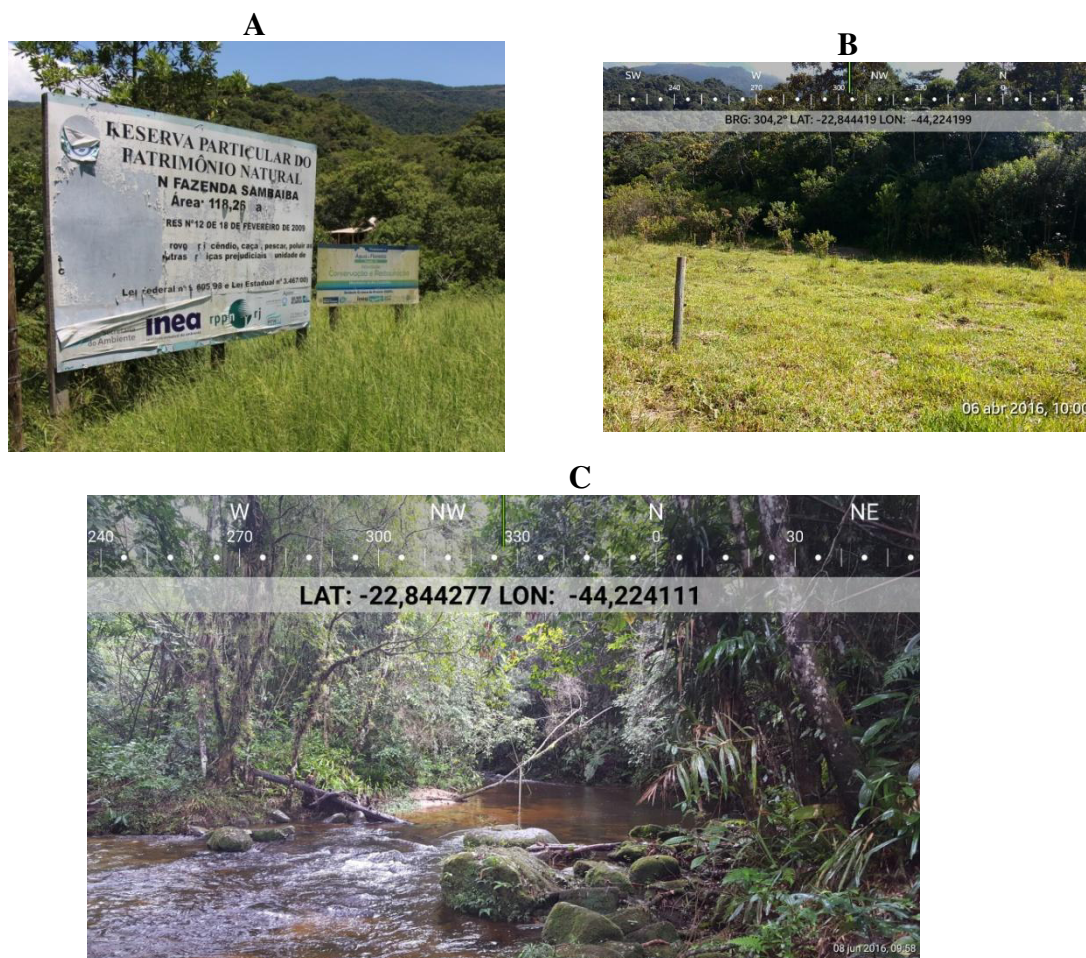


Figura 4-2: Fontes poluidoras ao longo do rio Pirai na área de influência do monitoramento.

4.2.1 Ponto Controle (PC)

O ponto controle está localizado dentro da RPPN Fazenda Sambaiba especificamente no Córrego da Cachoeira, afluente do rio Pirai (Figura 4-3). O córrego é raso (em torno de 1,5 m) com distância entre as margens de 9 m. A mata ciliar é preservada com características de vegetação ombrófila densa. O fundo predominante de pedras e folhas com pequenas áreas de areia.



28

Figura 4-3: Pc – A – Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Sambaiba; B – Vista da trilha de acesso ao ponto de coleta ; C – Vista geral do Córrego da Cachoeira da floresta.

4.2.2 Pontol (P1)

O primeiro ponto do monitoramento (P1), está localizado no distrito de Lídice na estrada Rio das Pedras sendo a estação de coleta mais a montante entre as cinco monitoradas neste estudo. O rio Piraí neste trecho chega a ser referido pela população local como rio das Pedras e tem cerca de 10 m de largura e 1,3m de profundidade apresentando em geral menor velocidade do fluxo de suas águas. O ponto monitorado localiza-se sob uma ponte que dá acesso às granjas. As granjas Frangos Rica (Reginaves Ind. e Com. de Aves) estão localizadas

cerca de 1 km a montante deste ponto (Figura 4-5). O rio passa próximo à estrada, porém trata-se de uma área pouca urbanizada com vegetação de porte baixo para médio (Figura 4-4).



29

Figura 4-4: P1 – A – Vista a montante do ponto de coleta em P1; B – Fundo de pedras predominante; C – Vista a jusante da amostragem em P1.

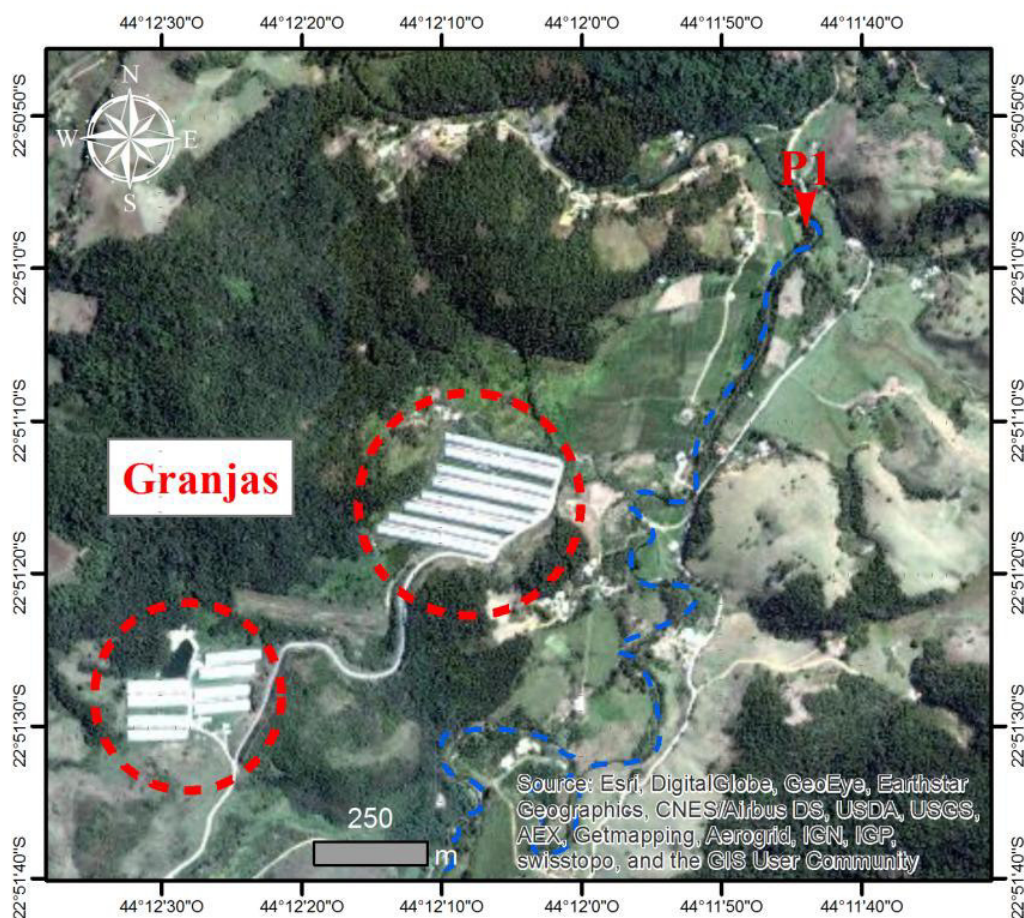


Figura 4-5: Mapa de localização das granjas de Frango Rica.

4.2.3 Ponto 2 (P2)

A estação de coleta P2 está localizado na região central de Lídice, sob a ponte da estrada Diná Carneiro Franco. Neste trecho, a profundidade do rio é de aproximadamente 1,5 m e largura de 18 m , apresentando fluxo moderado de suas águas. No entorno do respectivo trecho do rio, a presença da mata ciliar se contrapõe a influência da área urbana, como, residências e algumas lojas comerciais além do trânsito contínuo de veículos sobre a ponte. Foram observados impactos antrópicos como o lançamento de efluentes domésticos não tratados e disposição irregular de resíduos sólidos na margem (Figura 4-6).

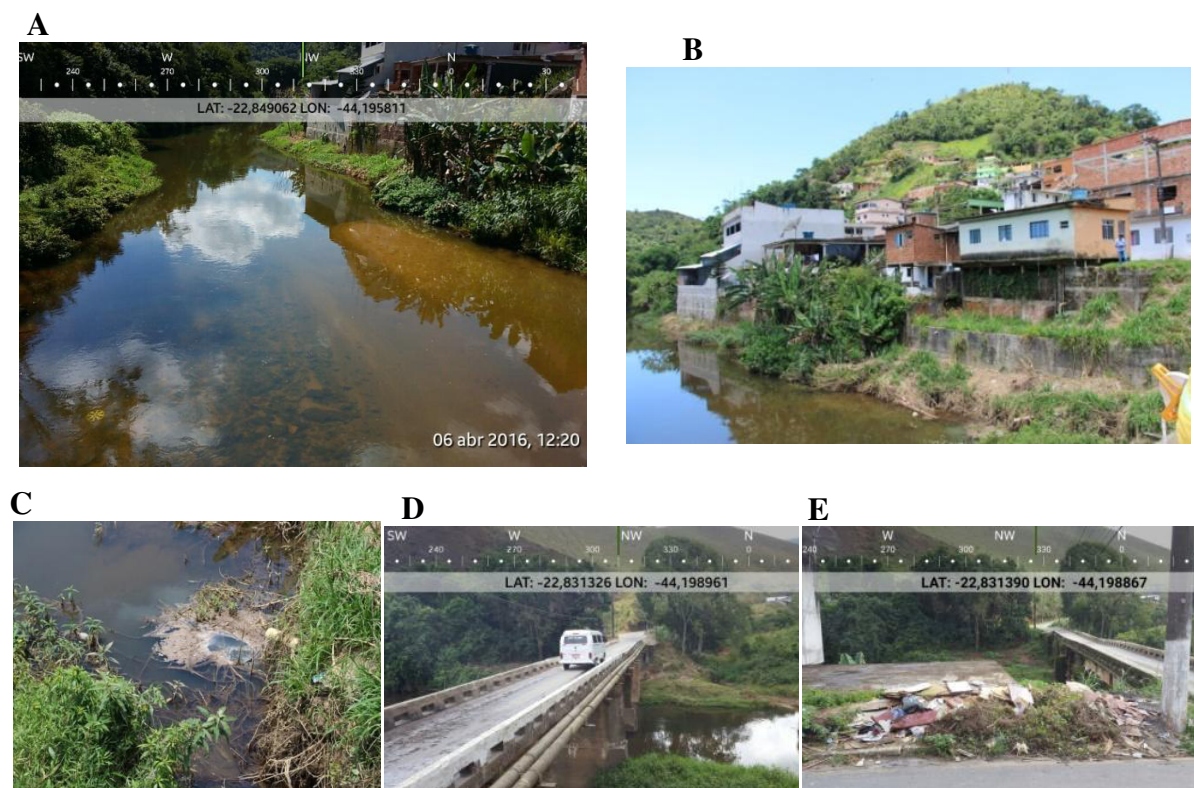
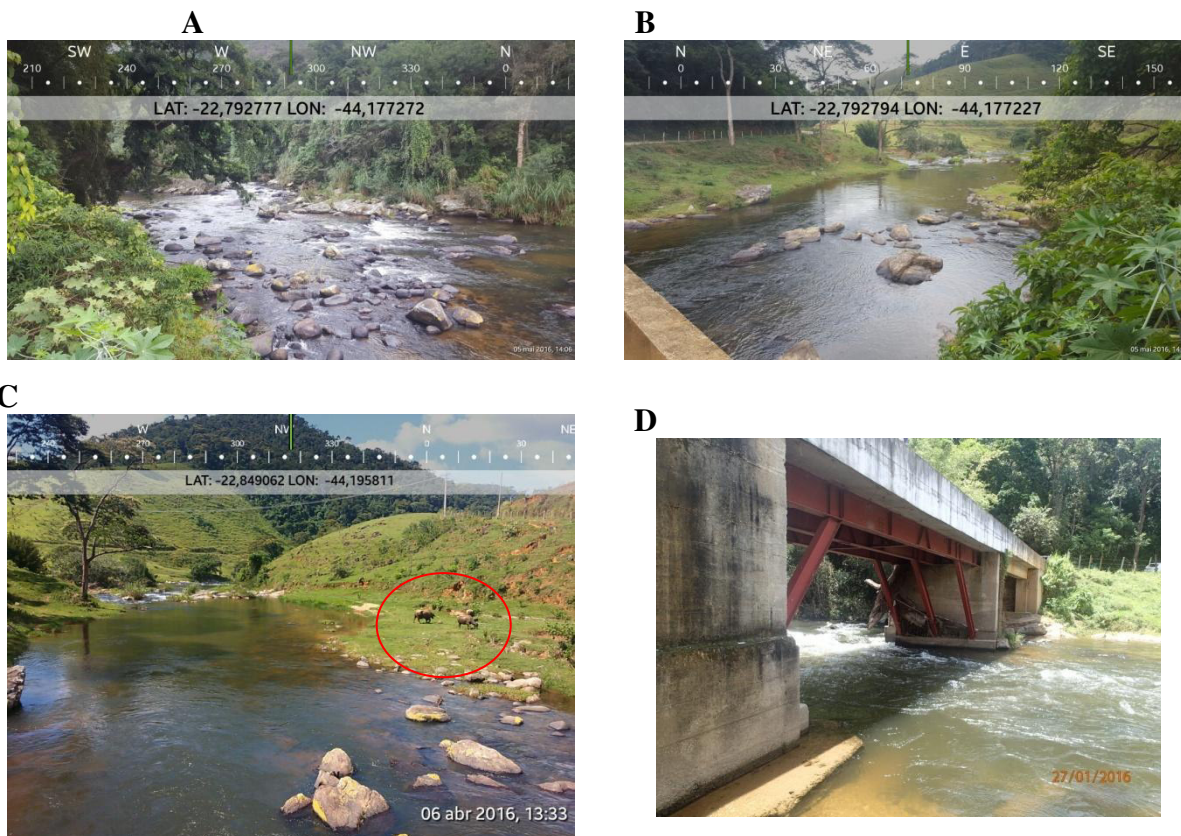


Figura 4-6: P2 – A – Vista a jusante do P2 ; B – Vista do distrito de Lídice a margem do rio Piraí; C – Lançamento de efluentes domésticos *in natura*; D- Ponte sob o P2; E – Lançamento de resíduos sólidos nas margens do rio Piraí.

31

4.2.4 Ponto 3 (P3)

A estação de coleta de P3 está localizado sob uma ponte na saída da estrada principal de acesso a Lídice, seguindo na direção do rio do Braço (Figura 4-7). O rio neste trecho tem 21,0 m de largura e 2,10 m de profundidade. As margens próximas a essa área são cercadas, limitadas por propriedade particular, onde há criação de bovinos e bubalinos, tendo sido observada a presença de animais às margens do rio Piraí. O trecho a montante apresenta maior energia (correnteza), onde verifica-se maior presença de rochas, e, em seguida torna-se mais amplo e com águas mais calmas. A jusante do ponto está localizado o encontro do rio Piraí com o rio do Braço, afluente este de águas pouco antropizadas. A vegetação no entorno é composta predominantemente por pastagem com fundo de pedras.



32

Figura 4-7: A – Vista a montante do P3; B – Vista a jusante do P3. C – Presença de bubalinos na margem direita a jusante; D – Ponte sobre o P3.

4.2.5 Ponto 4 (P4)

O trecho do rio monitorado como P4 localiza-se próximo a estrada principal (Rodovia Engenheiro Francisco Saturnino Braga), e possui um posto de gasolina instalado em sua margem direita (Figura 4-8). A distância entre as margens do rio é de 33 metros. Entre as características deste trecho de rio destaca-se: rochas nas margens e o deságue do rio Cascata a pouco metros à montante do ponto. À montante do ponto de coleta há uma pequena queda, que causa oxigenação na água, logo em seguida o rio segue com menor velocidade.

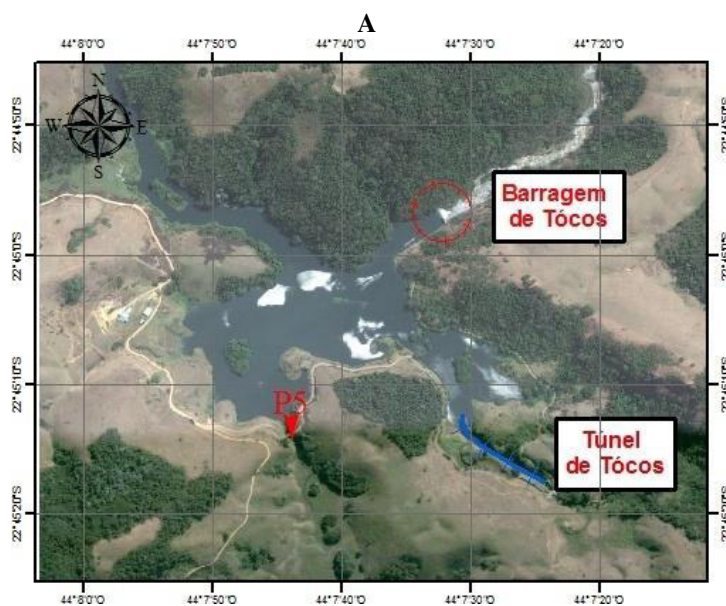


Figura 4-8: A – Posto de Gasolina Cascata, visto da estrada; B – Vista do rio Piraí a montante, com destaque para o declive do rio antes do ponto de amostragem; C e D – Lançamento de efluentes a montante do ponto de coleta.

33

4.2.6 Ponto 5 (P5)

O P5 está localizado na represa de Tócos anterior a chegada ao túnel que conduz ao reservatório de Lajes (Figura 4-9). O acesso ao ponto é possível pela estrada de terra indicada na rodovia principal por uma placa em que está escrito “Barragem de Tócos”. Por motivos de segurança a coleta é realizada na ponte de madeira localizada anterior ao estreitamento do rio que segue até as instalações da barragem. No ponto de coleta a largura do rio é de aproximadamente 20 m, o trecho é de baixa energia, ou seja, com baixa velocidade das correntes. A área de entorno do reservatório é pouco alterada com presença de vegetação nativa, entretanto, em certos trechos foram observados animais e áreas de pastagens.



34

Figura 4-9: A –Mapa de localização do ponto P5; B – Vista a montante do P5.

5 METODOLOGIA

A quarta campanha de caracterização da qualidade de água do rio Pirai a montante do túnel de Tócos, foi realizada no dia 06 de abril, a quinta em 05 de maio e a sexta campanha no dia 08 de junho de 2016. Os horários de amostragem são apresentados na Tabela 5-1.

Tabela 5-1: Horário de realização de amostragem nas campanhas de abril a junho de 2016.

CAMPANHAS	DIA DA SEMANA	HORÁRIOS	PONTOS					
			P1	P2	P3	P4	P5	PC
06/Abril/16	Quarta-feira	Hora Inicial	11:43	12:52	14:11	15:13	16:00	10:27
		Hora Final	12:05	13:10	14:30	15:20	16:07	10:42
05/Maio/16	Quinta - feira	Hora Inicial	12:14	13:05	14:01	14:54	15:38	11:02
		Hora Final	12:30	13:25	14:10	15:10	15:45	11:15
08/Junho/16	Quarta - feira	Hora Inicial	11:25	12:19	13:35	14:10	15:00	10:05
		Hora Final	11:45	12:40	14:00	14:50	15:35	10:25

35

Os parâmetros físico-químicos como a temperatura da água, total de sólidos dissolvidos, condutividade, salinidade e oxigênio dissolvido foram realizados *in situ* utilizando uma sonda multiparâmetros da marca YSI modelo 556 MPS (*Multi Probe System*) previamente calibrada antes da realização de campanha. A turbidez também foi medida *in situ* utilizando-se um turbidímetro portátil da marca HANNA, modelo HI 98703-01 previamente calibrado. Os sensores da sonda foram dispostos afastados das margens, buscando uma melhor representação do corpo hídrico. Os limites de quantificação dos parâmetros supracitados são apresentados na Tabela 5-2. A transparência da água foi medida utilizando um disco de *secchi*.

Tabela 5-2: Limites de quantificação e detecção dos equipamentos utilizados *in situ*.

PARÂMETROS	UNIDADE	FAIXA	PRECISÃO	RESOLUÇÃO
Oxigênio dissolvido	mg.L ⁻¹	0 a 50	0,2 para valores de 0 a 20 0,6 para valores de 20 a 50	0,01
Temperatura	°C	5 a 45	0,15	0,01
Condutividade	mS.cm ⁻¹	0 a 200	0,001	0,001 a 0,1
Salinidade	ppt	0 a 70	1% ou 0,1, o que for maior	0,01
pH	-	0 a 14	0,2	0,01
Turbidez	UNT	0 a 1000	Aproximadamente 2% da leitura mais 0,02 UNT	0,01 UNT de 0.00 a 9.99 0,1 UNT de 10.0 a 99.9 1 UNT de 100 a 1000

36

Após as medições *in situ* dos parâmetros físico-químicos, amostras de água em cada estação foram coletadas utilizando uma garrafa de *Niskin* (5 L) (Figura 5-1). Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em frascos específicos para cada análise (podendo conter reagentes de acordo com o parâmetro) e mantidas em caixa termoestável (≈ 4 °C) até a entrega ao laboratório em tempo hábil para a realização das análises de diversos parâmetros como previsto na legislação adotada como referência (CONAMA 357 de 17 de março de 2005). O laboratório Oceanus – Hidroquímica foi responsável pelas análises laboratoriais. Os parâmetros analisados no laboratório e suas respectivas metodologias são descritas na Tabela 5-3.

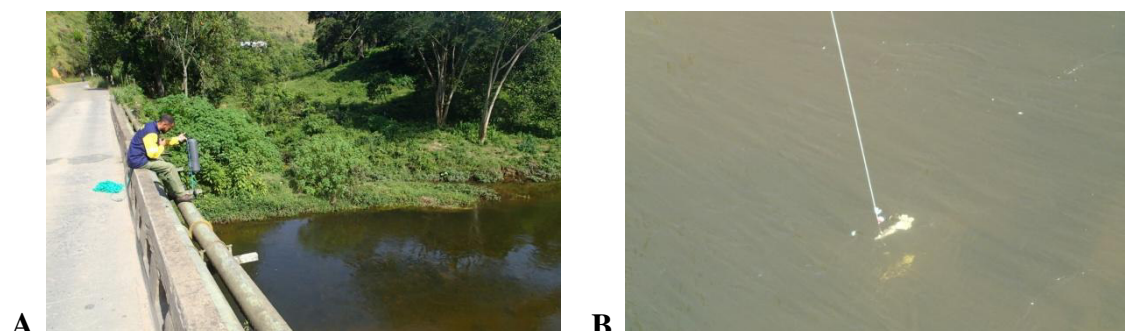


Figura 5-1: A – Coleta da amostra realiza com garrafa de niskin; B – Fluxômetro utilizado para medição da vazão

Destaca-se que a quantificação de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* apresentam periodicidades diferentes dos demais parâmetros laboratoriais, sendo avaliados na estação seca e na chuvosa, não sendo contemplada no presente trimestre.

Tabela 5-3: Variáveis do monitoramento da qualidade da água e respectivos métodos e limites analíticos (limite de quantificação – LQ).

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	MÉTODO ANALÍTICO	LQ	UNIDADE
Total de sólidos em suspensão	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 2540 D	1,00	mg.L ⁻¹
Nitrogênio total	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500-N	0,10	mg.L ⁻¹
Nitrogênio amoniacal	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500 NH ₃ - F	0,01	mg.L ⁻¹
Nitrato	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500-NO ₃ ⁻	0,01	mg.L ⁻¹
Fósforo total	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500-P E	0,02	mg.L ⁻¹
Fósforo total solúvel	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500-P	0,02	mg.L ⁻¹
Demanda química de oxigênio	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 5220-D	10	mg.L ⁻¹
Demanda bioquímica de oxigênio	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 5210-B. - 5-Day BOD Test	1,00	mg.L ⁻¹
Carbono orgânico dissolvido	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 5310A e 5310 B	1,00	mg.L ⁻¹
Cafeína	SCHORMÜLLER, 1970	0,200	mg.L ⁻¹
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	MÉTODO ANALÍTICO	LQ	UNIDADE
Coliformes termotolerantes	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 9221E	1,8	NMP.100mL ⁻¹
Cistos de <i>Giardia</i>	SMWW9711B		NMP.100mL ⁻¹
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	SMWW9711B		NMP.100mL ⁻¹

*SMEWW- Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 21 edição.

**USEPA-Unite States Environmental Protection Agency.

37

Além da coleta de água em cada estação de amostragem foi realizada o cálculo da vazão do respectivo corpo hídrico estudado. A estimativa foi feita através de fluxômetros analógicos da marca *General Oceanics*, previamente calibrado. A vazão foi estimada a partir da seguinte fórmula:

$$Q = \frac{a \times K \times n}{\Delta t}$$

Onde:

Q = Vazão (m³.s⁻¹);

a = área da secção (m²);

K = constante de calibração do fluxômetro (m/rot);

n = número de rotações do fluxômetro (rot).

Δt = tempo de imersão do fluxômetro

Em cada ponto do rio analisado foram medidas profundidade e largura para obtenção da área da secção transversal. Em relação aos fluxômetros foram utilizados dois equipamentos posicionados em 0,2 m e 0,8 m da superfície. Contudo, quando a profundidade do trecho não ultrapassava de 1 m foi utilizado apenas o primeiro fluxômetro (0,2 m).

Os dados obtidos foram representados em gráficos de barras. A discussão destes abordou a distribuição espacial dos valores e entre as campanhas já realizadas. A tendência geral foi avaliada pela média das estações de coleta \pm o desvio-padrão (abreviado com a sigla D.P.). Essa medida descreve a dispersão dos dados em torno da média, responsável por indicar a variação dos valores encontrados (VIEIRA, 2008). Assim, quando o desvio-padrão é maior do que a média, indica ampla variação dos resultados obtidos e, portanto, a média pode não ser representativa do valor real encontrado para um determinado parâmetro. Quando o resultado ficou abaixo do limite de quantificação (LQ) do método foi utilizado a metade do mesmo.

Sempre que possível utilizou-se como valores de referências os limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/05 para águas doces de classe 1 (art. 14) e classe 2 (art. 15) que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências”. Além da comparação direta foi calculado também o índice de desconformidade levando em consideração apenas os parâmetros citados no artigo 14 da Resolução CONAMA 357/05.

Para a classificação da qualidade da água da área de estudo foram utilizados o Índice de Estado Trófico (IET) e o Índice de Qualidade de Água (IQA). Ressalta-se que o IET, índice desenvolvido por Carlson (1977), foi calculado segundo a adaptação de Lamparelli

(2004) para rios (ambientes lóticos), pela fórmula abaixo (considerando as concentrações de fósforo total - PT).

$$IET(P) = 10X\left(6 - \left(0,42 - \frac{0,36X(\ln PT)}{\ln 2}\right)\right) - 20$$

As classes de trofia da água adotadas no presente estudo foram àquelas descritas por Lamparelli (2004), as quais são apresentadas na Tabela 5-4.

Tabela 5-4: Limites de classe de trofia para os resultados de Índice de Estado Trófico (IET)
(LAMPARELLI, 2004).

CATEGORIA TRÓFICA	PONDERAÇÃO (IET)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET = 52$
Mesotrófico	$52 < IET = 59$
Eutrófico	$59 < IET = 63$
Supereutrófico	$63 < IET = 67$
Hipereutrófico	$IET > 67$

39

Para o cálculo do IQA foi aplicada a metodologia proposta pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) que aplica esse cálculo desde 1975. O IQA é medido pelo produto ponderado da qualidade de água correspondentes aos parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez, calculados pela fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{wi}$$

onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100 obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida;

w_i: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Sendo “n” correspondente ao número de parâmetros que entram no cálculo do IQA. Os pesos de cada parâmetro são descritos abaixo:

Tabela 5-5: Parâmetros e pesos relativos ao IQA.

PARÂMETRO	WI
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,15
pH	0,12
DBO (5 dias a 20°C)	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Temperatura da água	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

40

Os resultados obtidos foram classificados de acordo com a CETESB, sendo a classificação do índice de qualidade da água apresentada na Tabela 5-6.

Tabela 5-6: Limites de classificação do Índice de Qualidade da Água

CATEGORIA	PONDERAÇÃO
Ótima	79 < IQA ≤ 100
Boa	51 < IQA ≤ 79
Regular	36 < IQA ≤ 51
Ruim	19 < IQA ≤ 36
Péssima	IQA ≤ 19

Fonte: (IQA) (CETESB).

Além dos indicadores supracitados também foi calculado o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment: Water Quality Guidelines*. O ICE é empregado pela Agência Nacional das Águas (ANA) com

objetivo de avaliar o cumprimento das metas de qualidade das águas dos rios brasileiros definidas pelas classes de uso em que estão enquadrados na Resolução CONAMA 357/05 (AMARO, 2009).

Através do ICE é possível avaliar se o corpo hídrico está de acordo com o enquadramento proposto e saber qual o grau de desconformidade ele se encontra: afastado, conforme ou não conforme. O seu cálculo é composto por três fatores:

F1: Representa a abrangência das desconformidades, isto é, o número de parâmetros que violaram a meta de qualidade ou limite legal pelo menos uma vez no período de observação, dado pela seguinte equação:

$$F1 = \left(\frac{\text{N}^\circ \text{ de parâmetros em desconformidade}}{\text{N}^\circ \text{ total de parâmetros}} \right) \times 100$$

F2: Representa a porcentagem de vezes que o parâmetro esteve em desconformidade em relação ao número de observações, dado pela seguinte equação:

$$F2 = \left(\frac{\text{N}^\circ \text{ de medições em desconformidade}}{\text{N}^\circ \text{ total de medições}} \right) \times 100$$

41

F3: Representa a extensão da não conformidade legal, isto é, a diferença entre o valor medido e a meta.

$$F3 = \left(\frac{snv}{0,01 \times snv + 0,01} \right)$$

A fórmula de cálculo do ICE é dada pela Equação:

$$ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$$

Após o cálculo o índice pode ser categorizado em cinco níveis: excelente (95-100), bom (80-94), mediano (65 - 79), marginal (45-64), ruim (0 -44). Quando excelente a qualidade da água é considerada protegida com condições semelhantes aos níveis naturais. O nível bom a qualidade ainda é considerada protegida com pequeno grau de impacto através de eventos considerados raros. O nível mediano indica a presença de impactos com mais

frequências. No nível marginal a qualidade da água frequentemente é ameaçada através de impactos recorrentes. O nível ruim retrata uma qualidade constantemente degradada (AMARO, 2009). Contudo, a Agência Nacional de Águas (ANA) categoriza o ICE em apenas três níveis: conforme (80 a 100), afastado (45 a 80) e não conforme (menor que 45).

Para testar a diferença significativa entre os resultados dos parâmetros encontrados em cada campanha foi utilizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis*, indicado para comparar se as medidas de duas ou mais amostras diferem entre si. Quando as diferenças foram detectadas, foi aplicado o teste *post hoc* para comparação múltipla após o *Kruskal-Wallis*. Esse teste *a posteriori* indica quais grupos se diferenciaram para o grau de significância desejado. Para todos os testes estatísticos realizados utilizou-se o nível de significância de 95 % ($p < 0,05$).

42 Sempre que julgado necessário foi utilizado a matriz de correlação de *Pearson*, sendo apresentados os valores de r (coeficiente de correlação) e p (nível de significância). O coeficiente de correlação de *Pearson* (r) mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados entre -1,0 (fraca) e 1,0 (forte). O cálculo da correlação de *Pearson* foi realizada utilizando o programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

Além dos testes descritos acima, foi calculada a linha de tendência linear para cada parâmetro em cada campanha e analisado seu coeficiente de determinação (R^2). Quanto mais próximo de 1 o r -quadrado (R^2) mais confiável é a tendência observada. Deste modo, foi analisado a existência ou não de uma tendência ao longo do rio evidenciando ou não a perda ou melhora na qualidade ambiental do recurso hídrico em questão.

Foi realizada também a complementação gráfica da análise através dos gráficos do tipo *box-plot*. No *box-plot* são apresentadas as medidas de tendência central como a média (quadrado) e mediana (linha horizontal), amplitude dos resultados (mínimo e máximo não *outlier* que são as medidas de dispersão - linhas verticais), os quartis (inferior e superior - caixa) e os resultados *outliers* (círculos fora da área da caixa).

As medidas de tendência central indicam o valor do ponto em torno do qual os dados se distribuem, enquanto que as medidas de dispersão indicam em qual faixa os dados se encontram, sendo essa variância representada pelos resultados mínimo e máximo. Os quartis são os valores que dividem um conjunto de dados em quatro partes (25 %, 50 %, 75 % e 100 %) após a ordenação dos resultados, sendo considerada pela literatura somente a faixa entre 25 % (quartil inferior) e 75 % (quartil superior). Já os *outliers* são aqueles dados que se apresentam muito afastados do conjunto, ou seja, são os resultados extremos. Em adição a isso o desvio padrão avaliada ao longo do relatório foi calculado a partir da raiz quadrada da variância, através da fórmula:

$$DP = \sqrt{S^2}$$

onde:

DP = desvio-padrão

S² = variância dos dados

43

Também foi realizada a análise de componentes principais (PCA) que é um procedimento estatístico multivariado que estabelece, a partir de uma matriz de correlação, um conjunto de fatores (eixos). Os fatores são arrumados em ordem decrescente de variância, logo o componente 1 (fator 1) é o que representa a maior variância dos resultados, diminuindo sucessivamente a cada componente (VALENTIN, 2012). A projeção das amostras pode ser baseada na matriz de correlação entre os resultados brutos e os fatores (autovalores) da PCA. Antes da PCA ser realizada, os resultados são padronizados (média = 0 e desvio-padrão = 1) devido à sensibilidade da análise a normalidade. A utilização da PCA permite a identificação da relação entre as amostras baseada nas características de cada uma delas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item apresenta e discute os resultados referentes ao segundo trimestre (abril, maio e junho de 2016) do monitoramento. Os parâmetros mensurados foram interpretados buscando a relação dos mesmos com processos no meio hídrico e seu entorno e entender suas variações ao longo das campanhas.

Destaca-se que a Resolução CONAMA 357/05 foi recorrentemente citada ao longo da descrição dos dados, para comparar os resultados encontrados com os valores recomendados na legislação de águas doces.

6.1 Pluviosidade

Os dados de precipitação foram obtidos através do *hidroweb* referente a estação 58335000 operada pela LIGHT localizada em Lídice (RJ) com as seguintes coordenadas: 22°W 49' 55"; 44°S 11' 55" (próximo ao Ponto P2 de amostragem), com o propósito de

44

realizar uma correlação com os parâmetros observados.

A pluviosidade mensal acumulada no trimestre de estudo variou de 42,80 mm (mai/16) a 45,50 mm (abr/16). O mês de jun/16 apresentou precipitação acumulada de 44,60 mm (Figura 6-1).

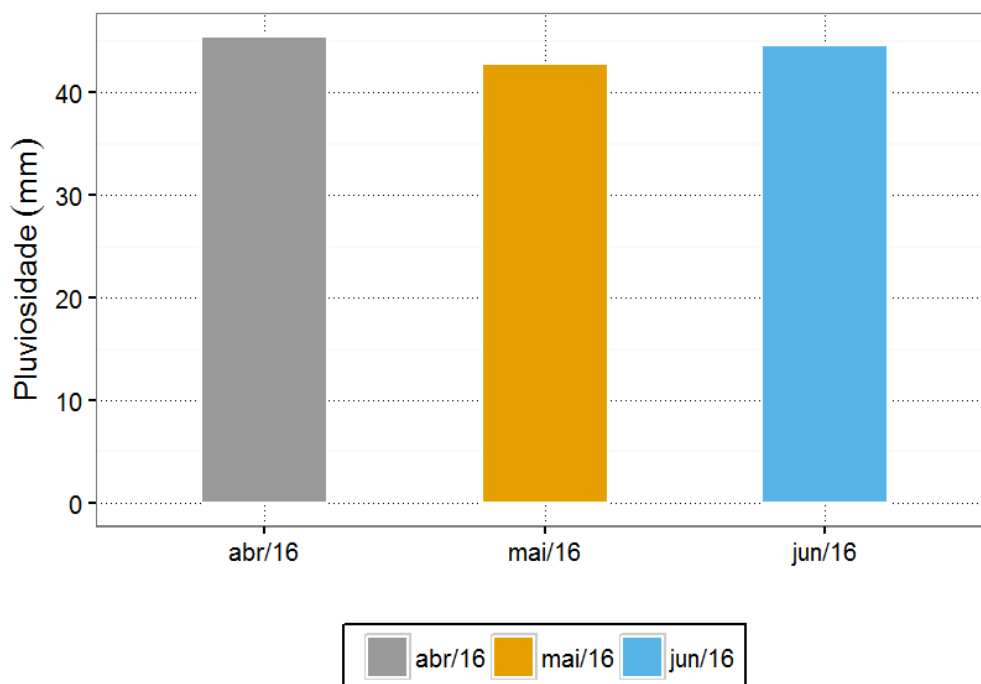
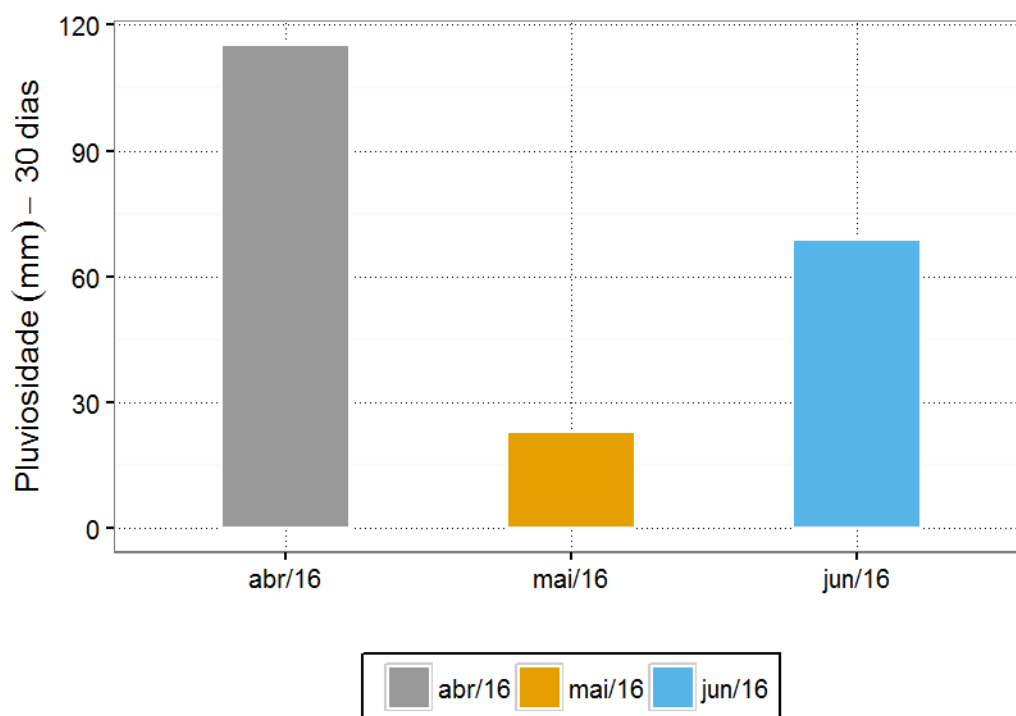


Figura 6-1: Volume acumulado mensal de precipitação (mm) no trimestre avaliado na estação de Lídice.

Ao analisar o período de trinta dias antecedentes a coleta, a amostragem realizada no mês de abr/16 continuou sendo a maior precipitação acumulada com 115 mm seguido do mês de jun/16 com 69 mm e então mai/16 com a menor precipitação de 23 mm (Figura 6-2).



46

Figura 6-2: Volume acumulado de precipitação (mm) trinta dias antecedentes a amostragem no trimestre avaliado na estação de Lídice.

Contudo, quando analisados os sete dias antecedentes o gráfico se difere. A amostragem de jun/16 apresentou maior precipitação acumulada com 31 mm seguido de abr/16 com 26 mm e então mai/16 com 14 mm (Figura 6-3).

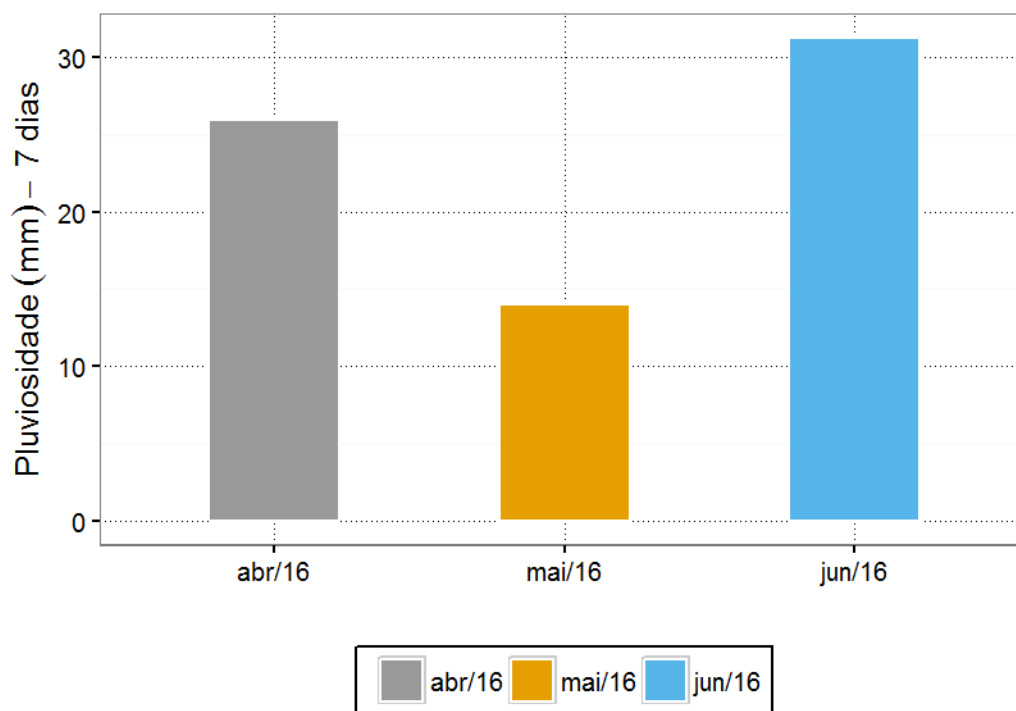
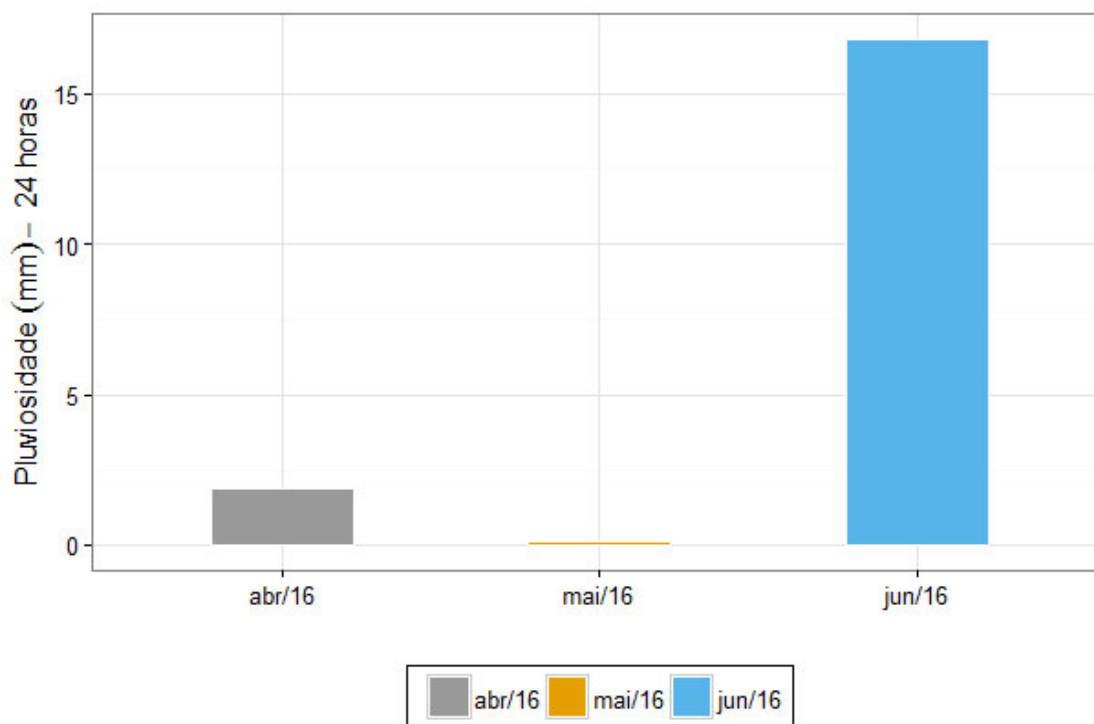


Figura 6-3: Volume acumulado de precipitação (mm) sete dias antecedentes a amostragem no trimestre avaliado na estação de Lídice.

47

Na análise pluviométrica das últimas 24 horas antecedentes as amostragens o gráfico se comportou semelhante a análises dos sete dias antecedentes. A amostragem de jun/16 apresentou maior precipitação acumulada com 16,8 mm seguido de abr/16 com 1,9 mm e então mai/16 com 0,1 mm (Figura 6-4).



48 Figura 6-4: Volume acumulado de precipitação (mm) 24 horas antecedente a amostragem no trimestre avaliado na estação de Lídice.

No geral, a precipitação foi expressiva nas campanhas de abr/16 e jun/16. Esses dados são coerentes visto que entre os meses de maio a outubro é esperado menos chuvas (período seco) enquanto nos meses de novembro a abril são esperados períodos chuvosos. Segundo Filho *et al.* (2012) os meses de abril e novembro são respectivamente os meses com maior e menor nível no reservatório de Ribeirão da Lajes sendo essa variação de até oito metros.

6.2 Vazão

No atual trimestre a vazão do rio Pirai variou de 0,89 a 16,21 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. O valor mínimo foi referente a PC na campanha de mai/16, enquanto o máximo foi registrado em P4 também na campanha de mai/16 (Figura 6-5). Vale destacar que não foi possível efetuar a verificação da vazão na estação P5 visto que se encontra em uma região de águas lânticas sem velocidade expressiva, logo, não será apresentada no gráfico a seguir.

A maior vazão média do presente trimestre foi referente a estação P4 com $15,86 \pm 0,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Em contrapartida a estação PC apresentou a menor vazão média com $1,02 \pm 0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vale destacar que P4 é o trecho com maior largura enquanto PC além de ser menor em largura trata-se de um afluente do rio Pirai reconhecido como córrego (Córrego da Cachoeira). Através do gráfico Figura 6-5 fica claro o aumento da vazão ao longo do rio.

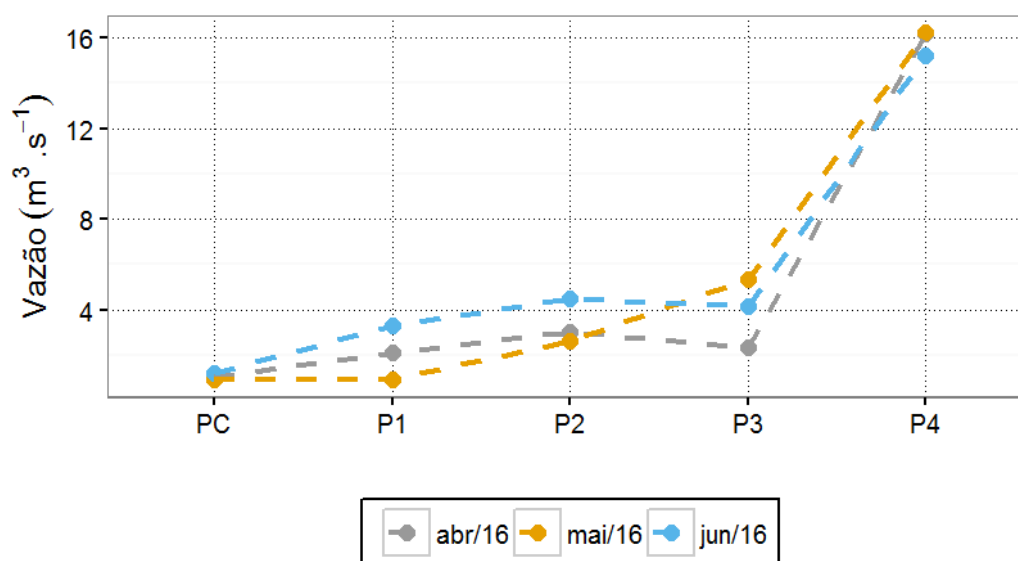


Figura 6-5: Vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação aos meses de coleta as médias foram semelhantes com $4,92 \pm 6,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em abr/16; $5,19 \pm 6,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em mai/16 e $5,66 \pm 5,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e jun/16. A similaridade entre as campanhas foi atribuída aos constantes resultados registrados em P4 descritos anteriormente.

Apesar da similaridade o teste estatístico revelou diferenças significativas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,013$), contudo, o teste *a posteriori* não conseguiu identificar as possíveis diferenças.

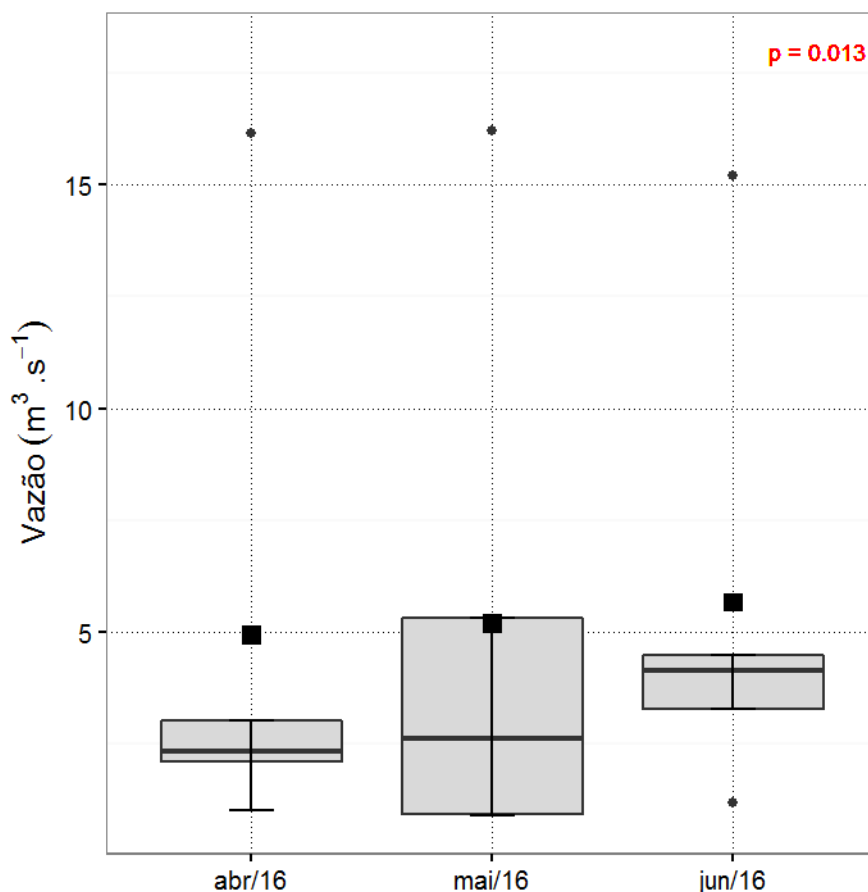


Figura 6-6: *Box-plot* da vazão ($m^3.s^{-1}$) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

6.3 Temperatura da água

A temperatura da água oscilou entre 16,65 e 29,10 °C com média geral de $20,47 \pm 3,61$ °C. O mínimo foi registrado na estação controle (PC) na campanha de jun/16 enquanto o máximo foi registrado em P5 na campanha de abr/16. A partir da Figura 6-7 é possível concluir que o ponto controle apresentou os menores valores resultando na menor média ($18,19 \pm 2,12$ °C). Enquanto o ponto P5 apresentou a maior média ($22,65 \pm 5,59$ °C).

Os menores valores reportados no ponto controle foram atribuídos a sua localização, visto que se encontra em uma região de maior altitude. Além disso, é sabido que a influência solar tem relação direta com a temperatura da água e PC apresenta uma vegetação ombrófila densa e comumente é a primeira amostragem a ser realizada no dia, logo, a temperatura registrada é coerente. Enquanto o P5 está localizado no reservatório de Tócos com a menor altitude entre os pontos, maior exposição ao sol e águas lânticas, portanto, temperaturas mais elevadas.

No geral foi possível observar uma tendência de acréscimo na temperatura ao longo do curso do rio, porém, a mesma não foi considerada significativa visto que o R^2 máximo foi obtido em jun/16 com valor de 0,80 enquanto os meses de abr/16 e mai/16 foram de 0,73 e 0,30, respectivamente. Vale destacar que os valores obtidos foram coerentes com um estudo realizado no reservatório de Ribeirão das Lajes que evidenciaram águas com temperaturas mais frias entre 16 e 34 °C e média de 22,2 °C na estação próxima ao túnel de Tócos (FILHO *et al.*, 2012).

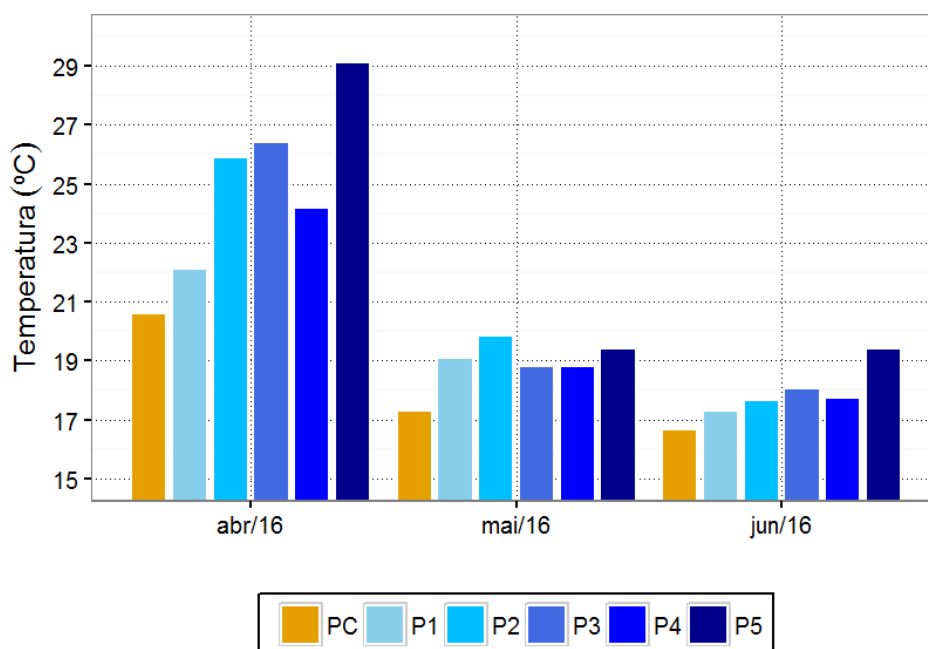


Figura 6-7: Temperatura (°C) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação aos meses monitorados o mês de abr/16 apresentou a maior média com $24,72 \pm 3,08$ °C seguido dos meses de mai/16 com $18,88 \pm 0,86$ °C e jun/16 com $17,80 \pm 0,93$ °C (Figura 6-8). Os resultados foram coerentes visto que o período amostrado é referente ao período seco e naturalmente possuem temperaturas mais baixas além da menor pluviosidade supracitada. O teste estatístico revelou diferença significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis* – $p=0,002$) e então o teste *a posteriori* identificou as diferenças sendo entre a campanha de abr/16 das demais (mai/16 e jun/16).

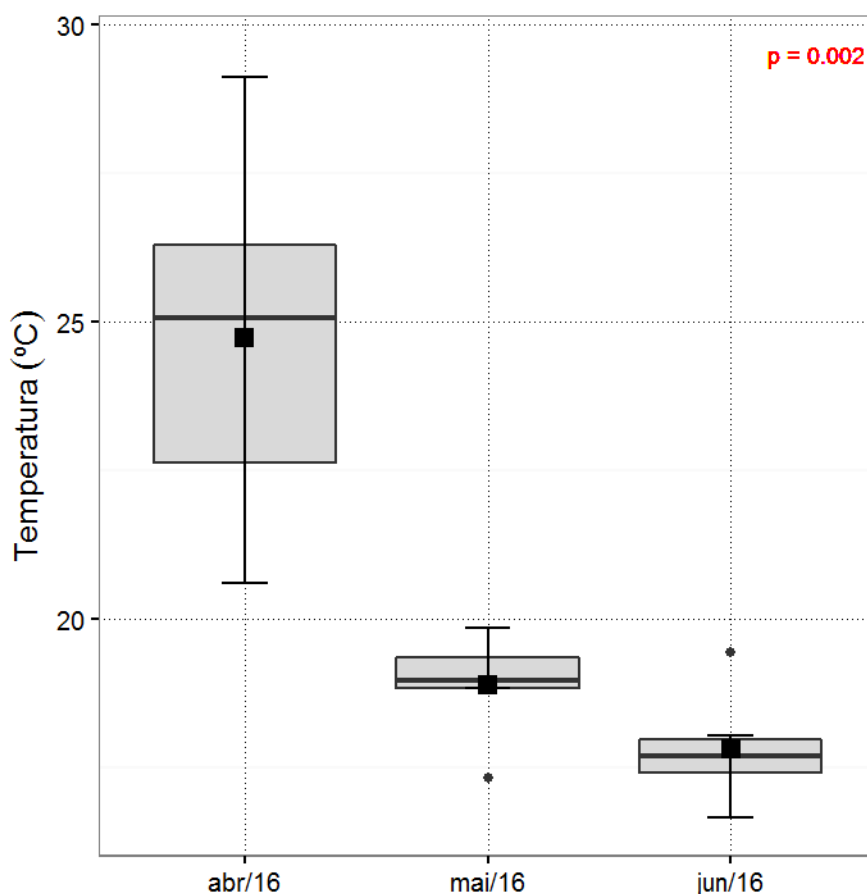


Figura 6-8: *Box-plot* da temperatura (°C) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

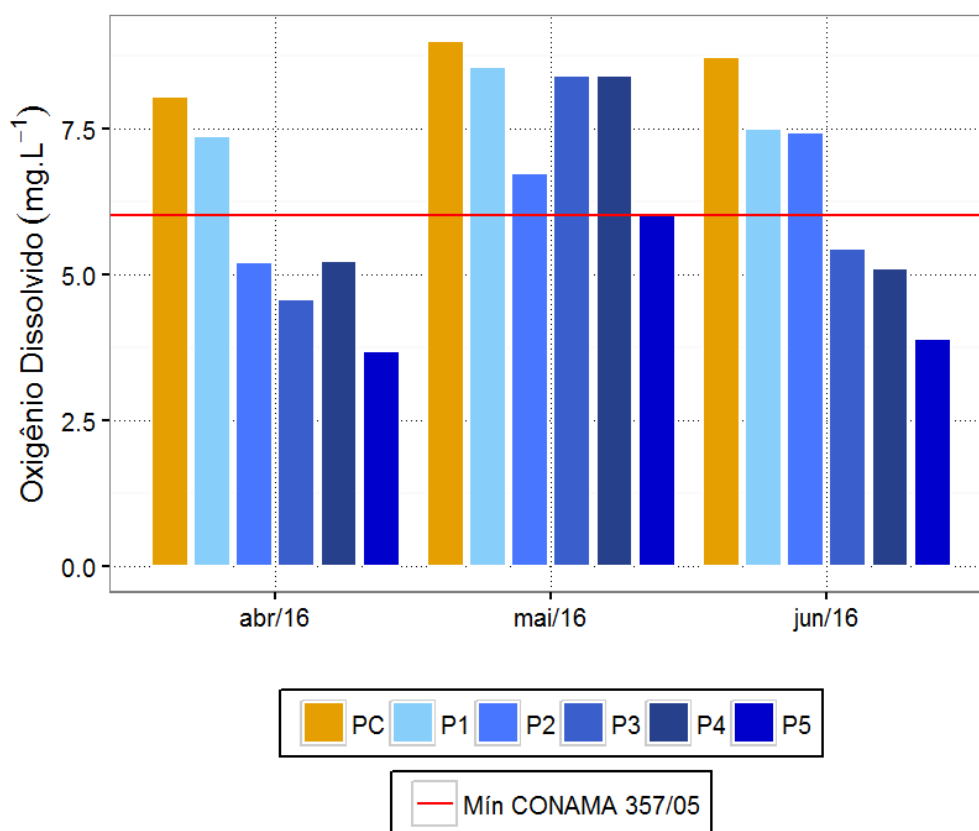
6.4 Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de oxigênio dissolvido registrada ao longo dos três meses variou de 3,68 a 8,99 mg.L⁻¹ com média geral de 6,63 ± 1,76 mg.L⁻¹. O menor valor registrado foi referente ao ponto P5 em abr/16 enquanto o máximo foi referente ao ponto PC em mai/16 (Figura 6-9).

Em relação a legislação vigente sete amostras (39 %) apresentaram concentração de oxigênio dissolvido inferior ao mínimo de 6,00 mg.L⁻¹ estipulado pelo art. 14 da Resolução CONAMA 357/2005 (águas doces classe 1). Caso adotado o limite proposto pelo art. 15 (classe 2), da mesma resolução supracitada, o índice de desconformidade caiu para três amostras (17 %). Vale destacar que apesar das desconformidades os resultados foram considerados satisfatórios visto que não foram registradas condições de anoxia ou hipoxia em nenhuma amostra.

A maior concentração média foi referente ao ponto controle (PC) com 8,59 ± 0,48 mg.L⁻¹ atribuído a queda d'água registrada a montante da estação de coleta. O ponto P5 apresentou a menor concentração média, com 5,30 ± 1,76 mg.L⁻¹, atribuído ao baixo fluxo de água o que dificulta a renovação e a aeração das águas.

Assim como observado na temperatura foi possível observar uma tendência na diminuição do oxigênio dissolvido ao longo do rio, contudo, a mesma tendência não foi expressiva apresentando valores de R² iguais a 0,73; 0,33 e 0,82 nos meses de abr/16, mai/16 e jun/16, respectivamente.



54

Figura 6-9: Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

No monitoramento do rio Piraí realizado entre os anos de 2011 e 2012 foram registrados valores de concentração de oxigênio dissolvido variando de $4,8 \text{ mg.L}^{-1}$ a $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (SEA PROJECTS, 2013). Em outro estudo realizado no reservatório de Ribeirão das Lajes ao longo dos anos de 2007 a 2009 foi destacado que o ponto de coleta próximo ao túnel de Tócos com águas proveniente do rio Piraí apresentou valores acima de $4,00 \text{ mg.L}^{-1}$ em todo monitoramento. Portanto, com exceção do ponto P5, todas as demais estações de coleta apresentaram concentrações semelhantes ao reportado na bibliografia e não apresentam características preocupantes quanto ao oxigênio dissolvido da água.

Em relação aos meses monitorados, a campanha de mai/16 apresentou a maior concentração média com $7,85 \pm 1,18 \text{ mg.L}^{-1}$ seguido do mês de jun/16 com $6,34 \pm 1,82 \text{ mg.L}^{-1}$ e então abr/16 com $5,68 \pm 1,68 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 6-10). Vale destacar que o mês de mai/16

apresentou a menor pluviosidade, portanto, é provável que através do carreamento da matéria orgânica pelas chuvas a intensidade metabólica no rio aumente e assim o oxigênio dissolvido seja consumido. Contudo, levando em consideração o desvio padrão, os três meses foram considerados semelhantes e não apresentaram diferenças estatísticas significativas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,071$).

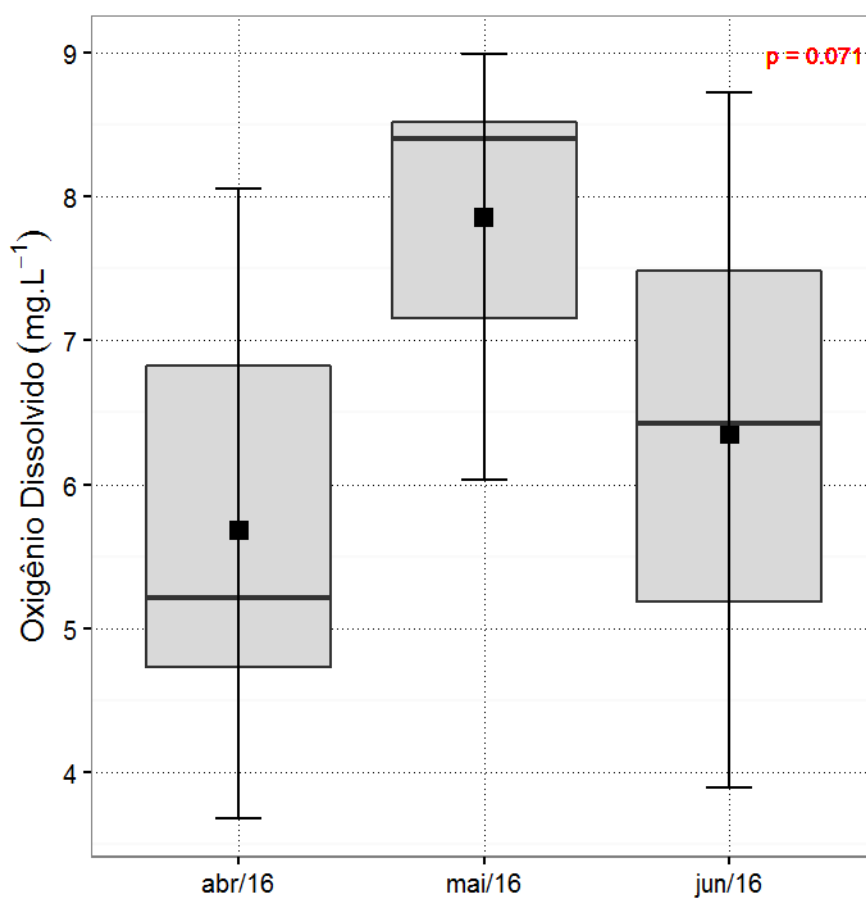


Figura 6-10: *Box-plot* da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

6.5 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH ao longo do presente estudo oscilou entre 6,18 (P2 em mai/16) e 7,76 (P1 em mai/16) com média geral de $6,95 \pm 0,47$ (Figura 6-11). Em geral o rio apresentou caráter neutro. No que se refere a legislação vigente todas as amostras analisadas estiveram de acordo

com o preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para água doces de classe 1 cuja faixa de variação vai de 6,0 a 9,0.

Em relação aos pontos de coleta, ao levar em conta o desvio padrão, todos apresentaram valores em torno da média supracitada. O ponto P5 apresentou o menor pH médio com $6,66 \pm 0,17$ e o ponto P1 apresentou o maior pH médio com $7,26 \pm 0,46$. Vale destacar que em P5 as águas são dificilmente renovadas conforme descrito anteriormente, além disso o mesmo ponto foi registrado com a menor concentração média de OD. Logo, os dados de pH e OD nesse ponto foram coerentes visto que o pH mais ácido está comumente ligado a presença de CO₂ no meio através do ácido carbônico. Diferente dos parâmetros supracitados não foi possível estabelecer um gradiente ao longo do rio, portanto, o pH apresentou variação específica de cada estação de coleta em cada campanha.

56

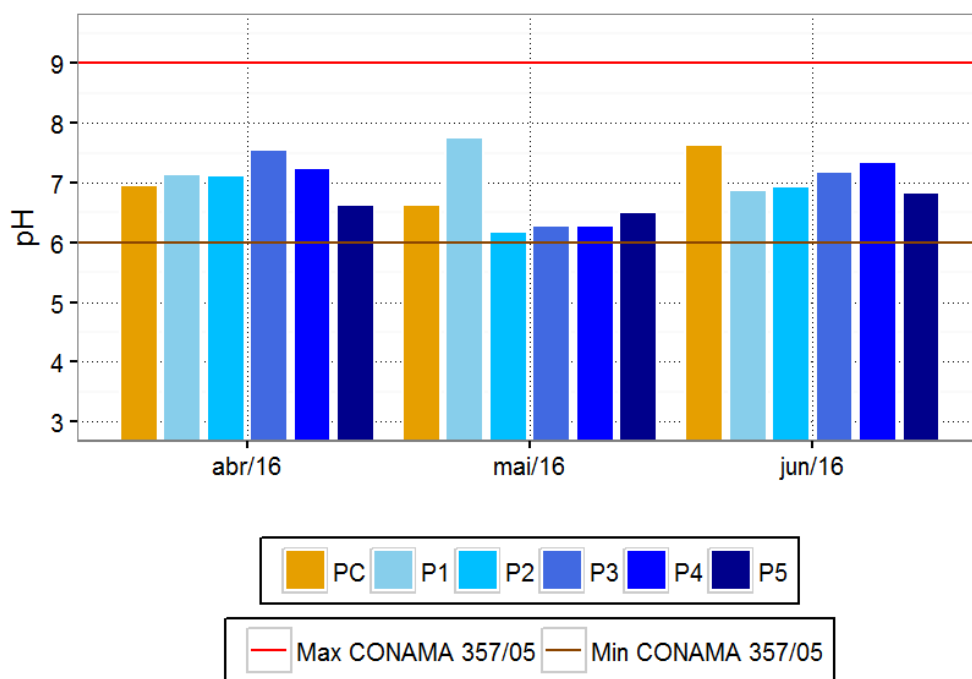


Figura 6-11: Potencial hidrogeniônico da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

No geral os valores reportados no presente estudo estiveram coerentes com o monitoramento realizado nos anos de 2011 e 2012 cuja variação foi de 4,8 a 7,6 (SEA PROJECTS, 2013). No estudo realizado no reservatório de Ribeirão das Lajes a água analisada apresentou caráter ligeiramente ácido com média de 6,3 (FILHO *et al.*, 2012). Esteves (2011) afirma os corpos d'água continentais apresentam valores entre 6 e 8,5. Valores extremos são oriundos de áreas peculiares com interferência marinha ou sedimentos ricos em matéria orgânica.

Em relação aos meses monitorados, o mês de mai/16 se destacou com o menor pH médio do trimestre com $6,61 \pm 0,59$. Já nas campanhas de abr/16 e jun/16 os resultados médios foram semelhantes com $7,11 \pm 0,30$ e $7,13 \pm 0,31$, respectivamente (Figura 6-12). A partir do teste estatístico não foram reveladas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,088$).

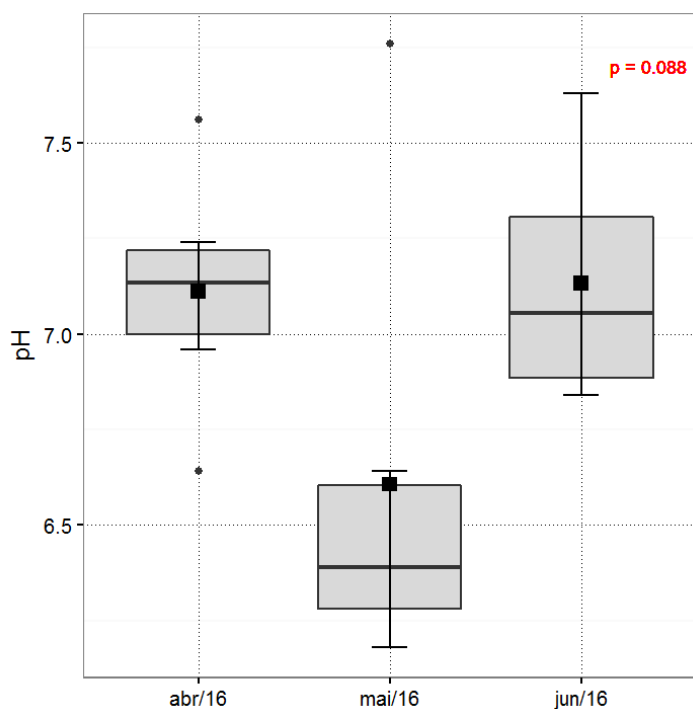


Figura 6-12: *Box-plot* do potencial hidrogeniônico da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

6.6 Condutividade

A condutividade no presente estudo variou de $0,020 \text{ mS.cm}^{-1}$ registrado em PC de mai/16 a $0,060 \text{ mS.cm}^{-1}$ registrado em P5 em abr/16. A média geral foi de $0,027 \pm 0,010 \text{ mS.cm}^{-1}$ (Figura 6-13). No monitoramento realizado nos anos de 2011 e 2012 foram reportados valores entre $0,001$ e $0,150 \text{ mS.cm}^{-1}$ (SEA PROJECTS, 2013), portanto, compreende os resultados encontrados no presente estudo.

É sabido que a condutividade, assim como a concentração de sólidos dissolvidos totais, são parâmetros muito sensíveis a lançamento de efluentes sendo utilizado como indicador indireto de poluição. Contudo, apenas valores acima de $0,500 \text{ mS.cm}^{-1}$ são considerados pertinentes para tal afirmação (CETESB, 2012b). Portanto, os valores obtidos no presente estudo não são suficientes para comprovar a existência de interferência antrópica.

No que se refere as estações de amostragem, o P5 apresentou a maior média com $0,044 \pm 0,014 \text{ mS.cm}^{-1}$, enquanto os demais apresentaram valores semelhantes em torno de $0,023 \pm 0,003 \text{ mS.cm}^{-1}$. Vale destacar que a estação de coleta P5 como descrito anteriormente trata-se de um ambiente de pouca profundidade e renovação de águas prejudicadas devido ao baixo fluxo de água. Portanto, a condutividade superior neste ponto é coerente visto que a quantidade de particular oriundas das margens e próxima a lamina d'água é relevante.

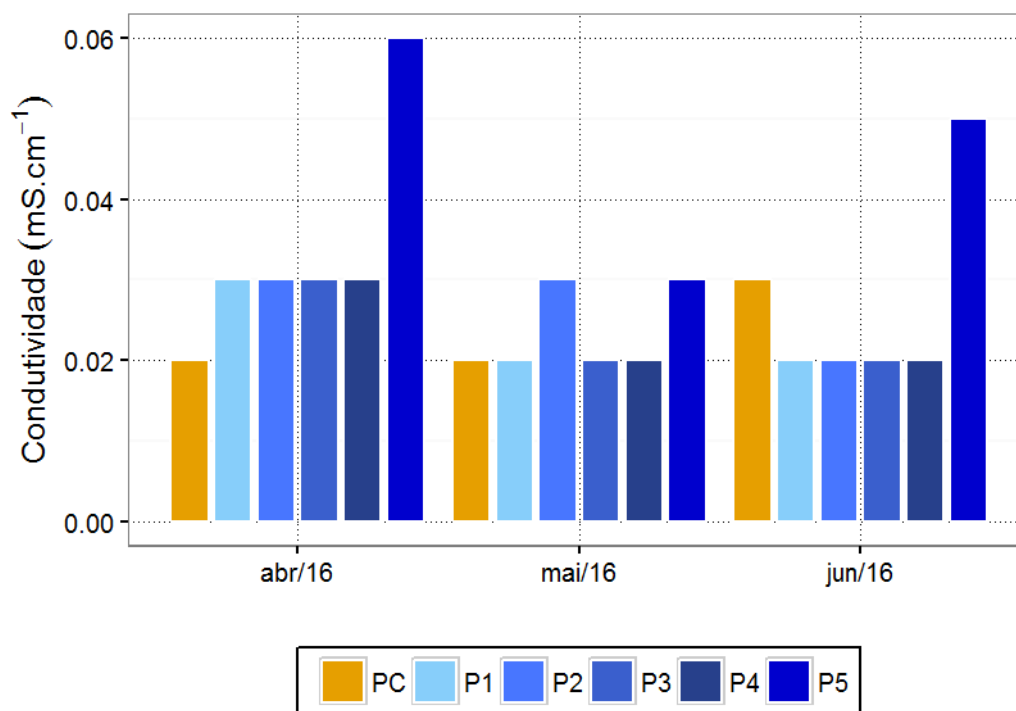
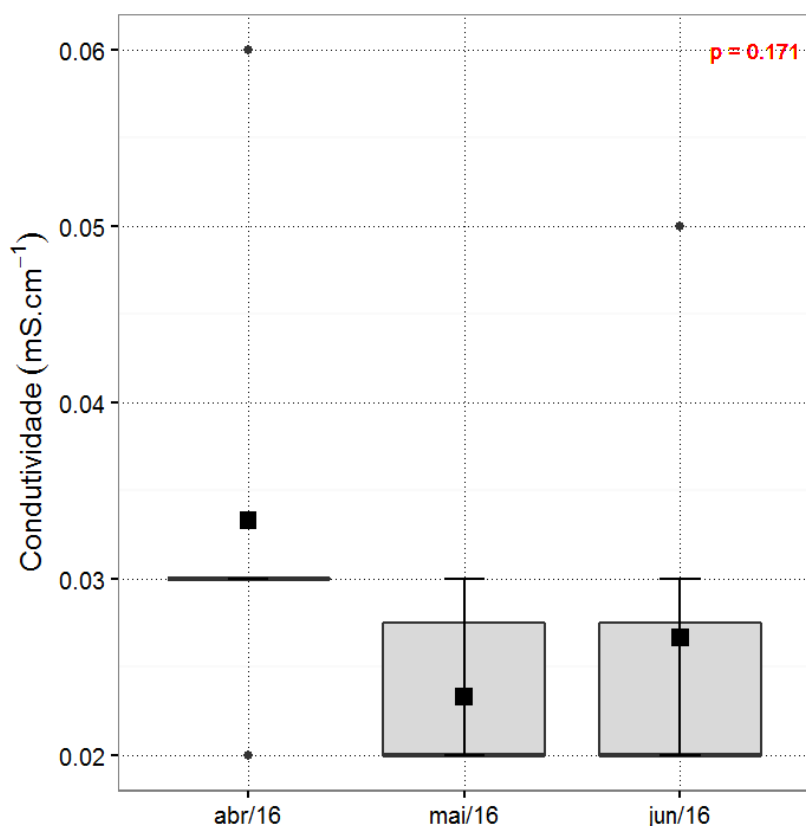


Figura 6-13: Condutividade ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Em relação aos meses deste segundo trimestre de monitoramento a campanha de abr/16 se destacou com a maior condutividade média de $0,031 \pm 0,013 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Enquanto as campanhas de mai/16 e jun/16 apresentaram $0,023 \pm 0,005 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $0,026 \pm 0,011 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, respectivamente (Figura 6-14). Através do teste estatístico as diferenças entre as campanhas não foram reveladas significativas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,171$).



60

Figura 6-14: *Box-plot* da condutividade (mS.cm⁻¹) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

6.7 Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

A concentração de sólidos dissolvidos no presente estudo variou de 0,010 a 0,036 g.L⁻¹ com média de 0,019 ± 0,007 g.L⁻¹. Assim como descrito para condutividade o mínimo foi registrado em PC de abr/16 enquanto o máximo foi registrado em P5 também de abr/16.

A estação de coleta P5 apresentou a maior concentração média com 0,030 ± 0,009 g.L⁻¹. Os demais pontos apresentaram resultados semelhantes, contudo, em PC foi registrada a menor concentração média com 0,014 ± 0,006 g.L⁻¹. No geral, os resultados foram coerentes visto que o PC tem como característica a baixa energia e ambiente preservado, já em P5

conforme descrito anteriormente trata-se de um ambiente de baixa profundidade com maior concentração de material particulado e dissolvido.

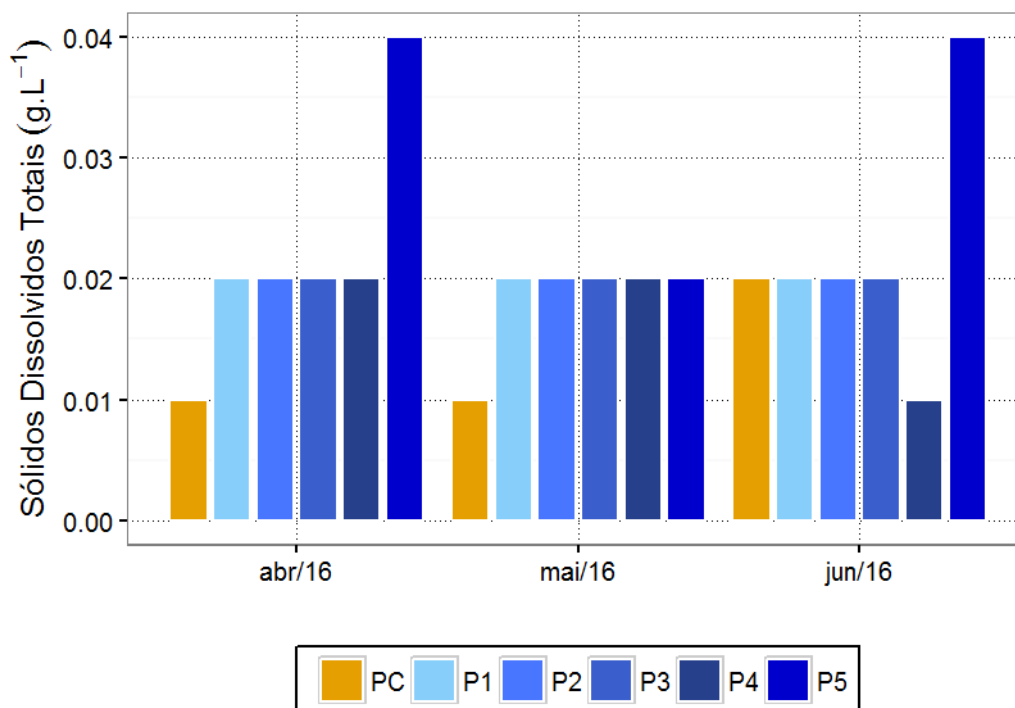
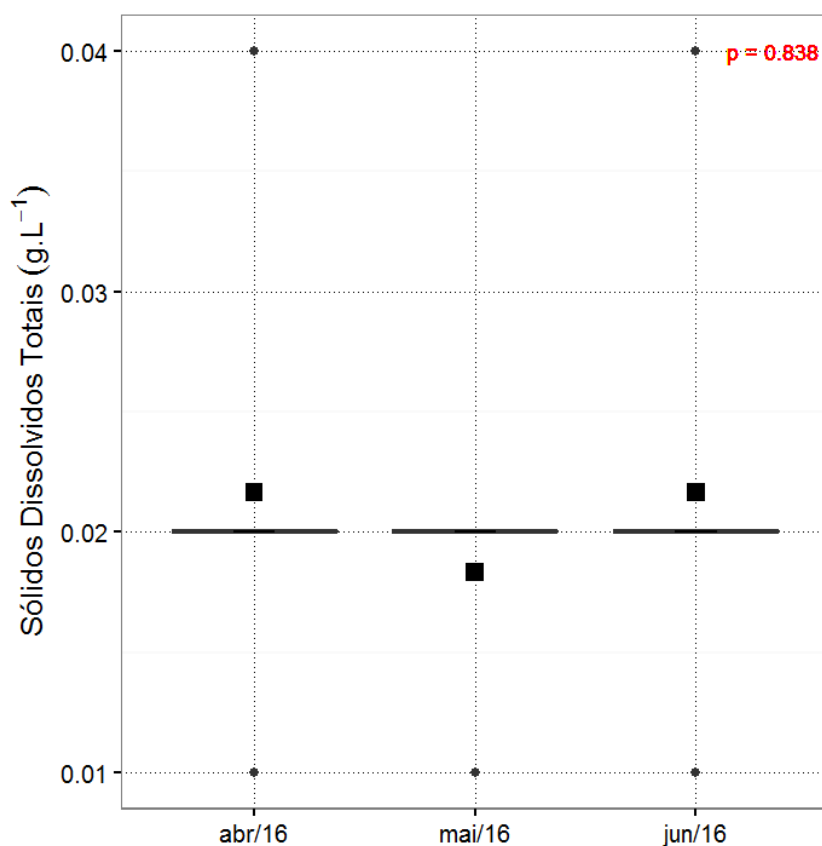


Figura 6-15: Sólidos dissolvido totais (g.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

A concentração média em relação as campanhas de coleta foram semelhantes com $0,020 \pm 0,009 \text{ g.L}^{-1}$ em abr/16, $0,017 \pm 0,004 \text{ g.L}^{-1}$ em mai/16 e $0,020 \pm 0,008 \text{ g.L}^{-1}$ em jun/16 (Figura 6-16). Assim como observado na condutividade o teste estatístico não revelou diferenças significativas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,838$).



62

Figura 6-16: *Box-plot* da concentração de sólidos dissolvidos totais (g.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

6.8 Sólidos Suspensos Totais (SST)

A concentração de sólidos suspensos totais oscilou entre valores abaixo do limite de quantificação ($<1,0 \text{ mg.L}^{-1}$) e $48,0 \text{ mg.L}^{-1}$ com média geral de $8,7 \pm 11,9 \text{ mg.L}^{-1}$. O desvio padrão superior a própria média evidencia a alta variabilidade dos resultados ao longo do presente trimestre de monitoramento. O mínimo foi registrado em PC jun/16. Enquanto o máximo foi reportado em P5 de mai/16 (Figura 6-17). Foi possível constatar um gradiente de acréscimo da concentração de sólidos suspensos totais ao longo do rio, contudo, assim como os outros parâmetros essa tendência não foi expressiva devido ao baixo valor do coeficiente de determinação (R^2) nas três campanhas.

A estação com maior concentração média foi P5 ($20,7 \pm 24,2 \text{ mg.L}^{-1}$) enquanto PC registrou a menor concentração média ($1,8 \pm 1,3 \text{ mg.L}^{-1}$). Conforme descrito anteriormente o ponto P5 trata-se de um local com baixa profundidade e renovação de águas deficientes com fundo de argiloso sendo a alta turbidez um fator reportado com frequência já PC trata-se de um ambiente com fundo predominante de pedras e renovação de águas constante.

Em um estudo realizado em rios altamente impactados por lançamentos de efluentes localizados em São Gonçalo, região metropolitana do Rio de Janeiro, valores de SST de até 400 mg.L^{-1} foram reportados (AGUIAR *et al.*, 2011). Portanto, os valores registrados no presente estudo demonstram uma menor interferência antrópica que em São Gonçalo.

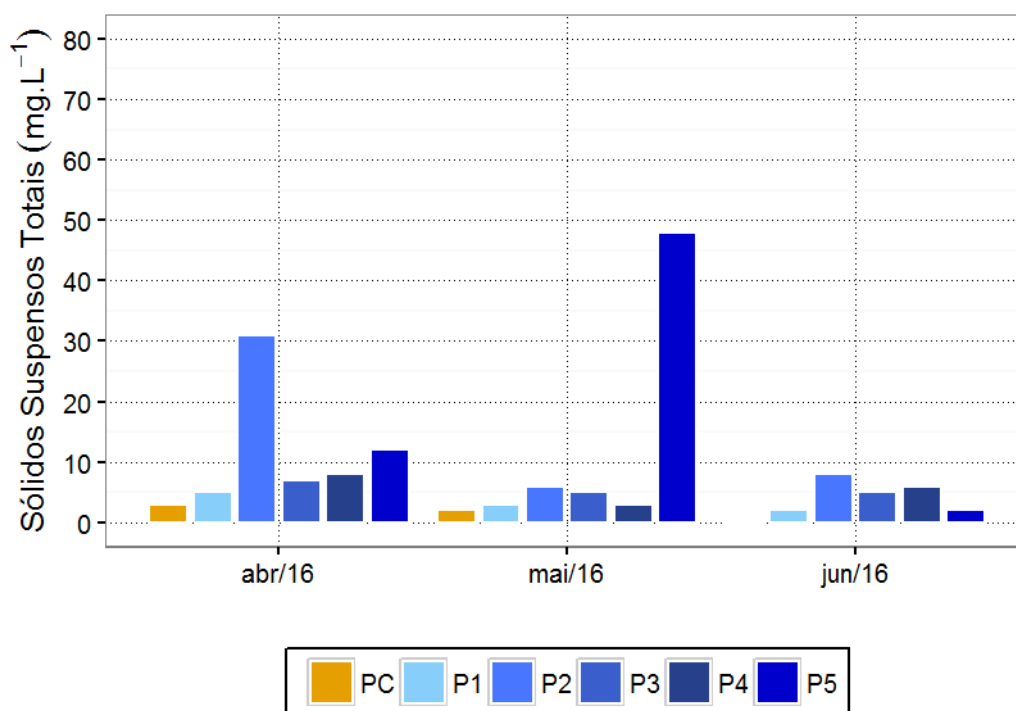


Figura 6-17: Sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

No que se refere as campanhas de amostragem o mês de mai/16 ($11,2 \pm 18,1 \text{ mg.L}^{-1}$) apresentou a maior concentração média de SST seguido do mês de abr/16 ($11,0 \pm 10,3 \text{ mg.L}^{-1}$)

¹⁾ e então o mês de jun/16 ($3,9 \pm 2,9 \text{ mg.L}^{-1}$). Vale destacar que a maior média em mai/16 foi atribuído ao resultado de $48,0 \text{ mg.L}^{-1}$ referente ao P5 supracitado.

Com exceção dos resultados reportados em P2 e P5 foi possível observar que as demais amostras apresentaram valores semelhantes ao longo dos meses e através do teste estatístico não foram reveladas diferenças significativas entre elas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,179$).

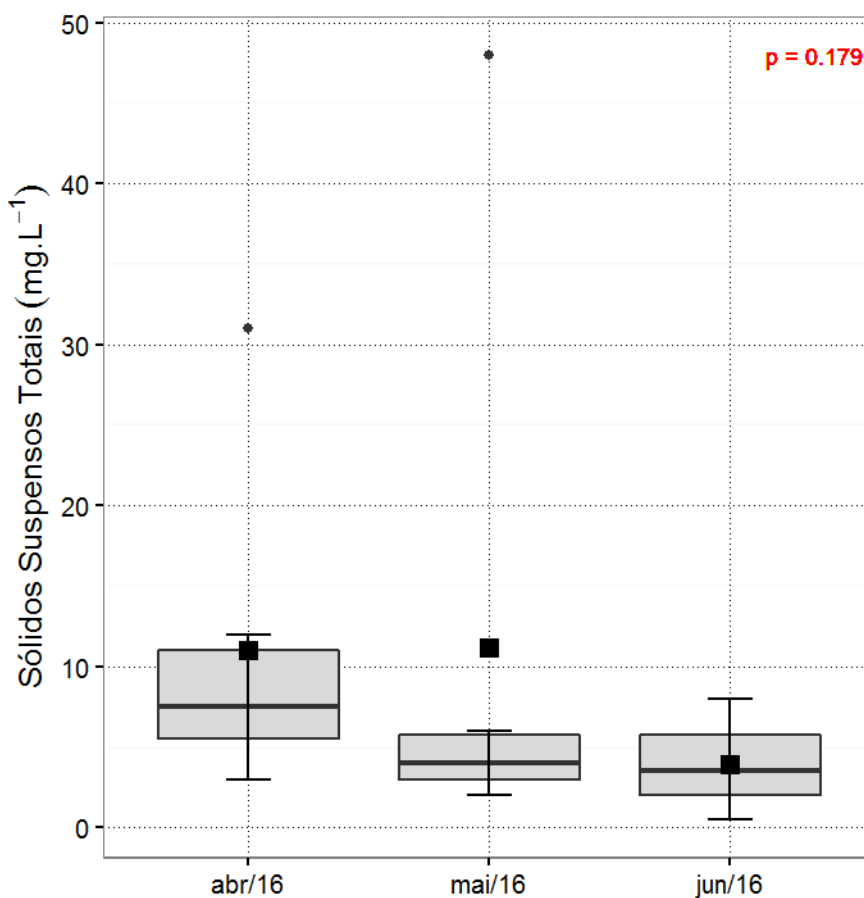
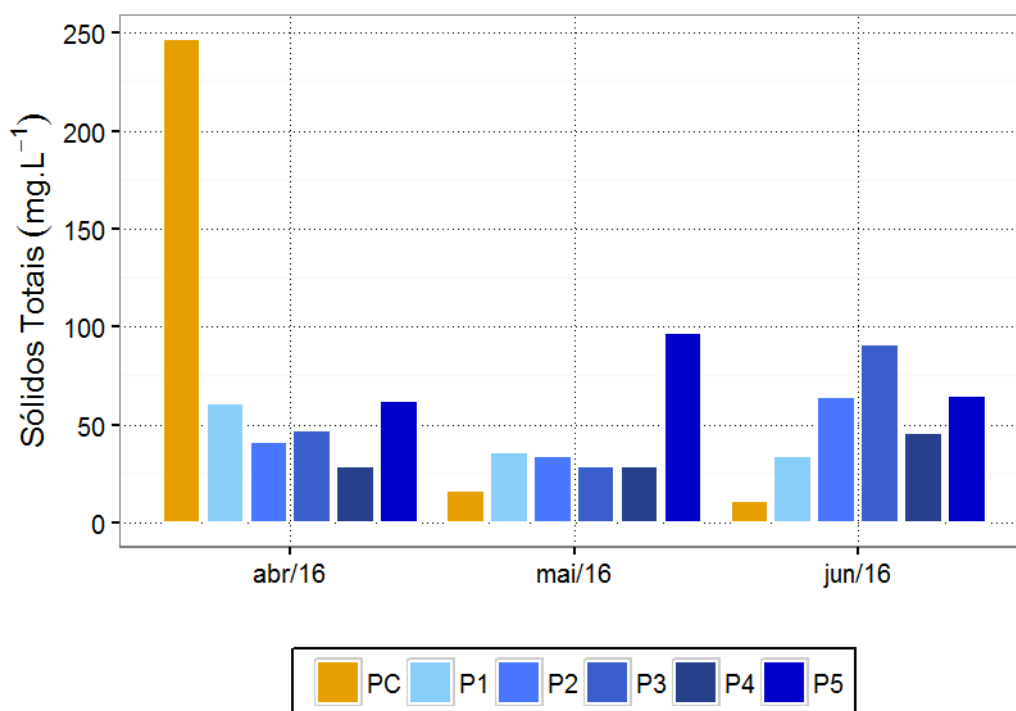


Figura 6-18: *Box-plot* da concentração de sólidos suspensos totais (g.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

6.9 Sólidos Totais (ST)

A concentração de sólidos totais variou de $11,0$ a $247,0 \text{ mg.L}^{-1}$ com média de $57,7 \pm 52,7 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 6-19). O valor mínimo foi registrado em PC na campanha de

jun/16 enquanto o máximo foi registrado também em PC porém na campanha de abr/16. No geral PC apresentou a maior concentração média do presente trimestre com $91,3 \pm 134,8 \text{ mg.L}^{-1}$, contudo, o desvio padrão superior evidencia a interferência do resultado espúrio encontrado na campanha de abr/16. Este resultado foi assim considerado um *outlier*, ou seja, um valor atípico que não será avaliado na discussão do parâmetro. Nas demais amostras os resultados de sólidos totais assim como descrito nos sólidos dissolvidos e suspensão apresentaram um gradiente de acréscimo ao longo do rio, porém, essa tendência não foi expressiva devido ao baixo valor do coeficiente de determinação (R^2) encontrado.



65

Figura 6-19: Sólidos totais (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Assim como mencionado para concentração de sólidos suspensos a concentração de sólidos totais também foi influenciada pelos resultados espúrios registrados (Figura 6-20). Em resumo a concentração média em abr/16 foi superior com $81,2 \pm 82,2 \text{ mg.L}^{-1}$ seguido do mês de jun/16 com $51,8 \pm 27,8 \text{ mg.L}^{-1}$ e então mai/16 com $40,2 \pm 28,7 \text{ mg.L}^{-1}$. Apesar das

divergências supracitadas o teste estatístico não revelou diferenças significativas entre os meses de coleta (*Kruskal-Wallis – p=0,337*)

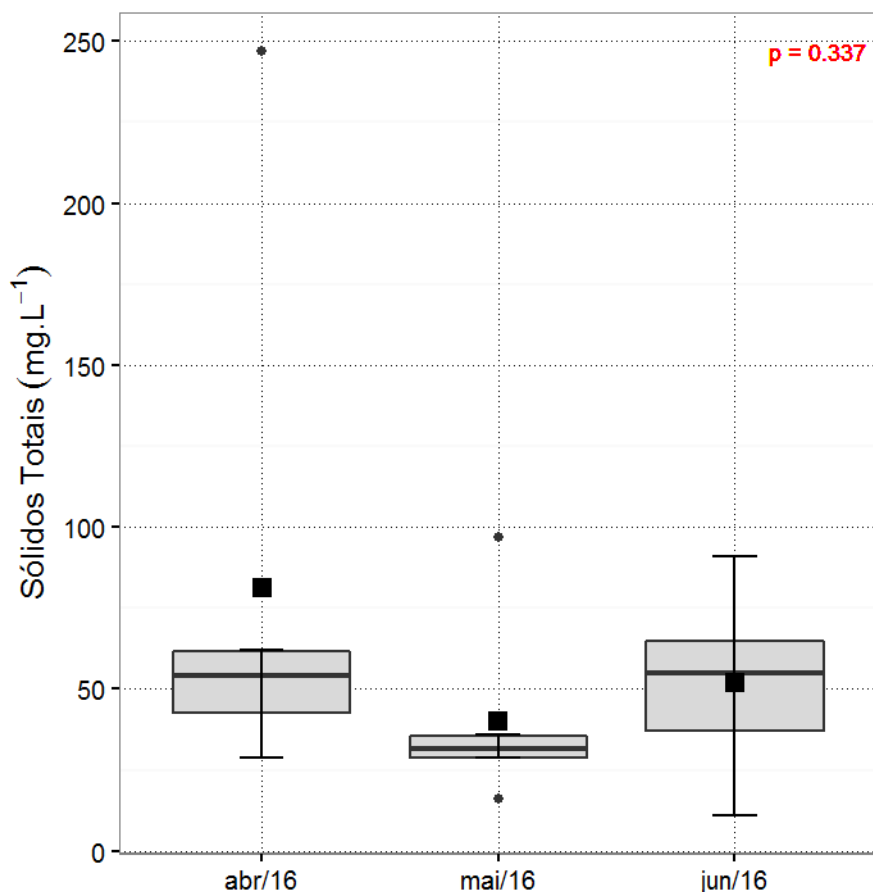


Figura 6-20: *Box-plot* da concentração de sólidos totais (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

6.10 Turbidez

A turbidez no presente estudo oscilou entre 0,04 e 30,90 UNT. O mínimo foi registrado em PC na campanha de mai/16 enquanto o máximo foi registrado em P5 também na campanha de mai/16 (Figura 6-21). No que se refere a legislação vigente nenhuma amostra esteve em desconformidade com o limite máximo de 40,00 UNT preconizado pelo artigo 14 da Resolução CONAMA 357/05.

Em relação as estações de coleta, o ponto P5 apresentou a maior turbidez média com $21,37 \pm 8,26$ UNT enquanto o PC apresentou a menor turbidez média com $0,91 \pm 0,80$ UNT. Assim como os parâmetros descritos anteriormente, a turbidez apresentou um gradiente de acréscimo ao longo do rio evidente. Ou seja, pode-se dizer que a turbidez do rio Piraí aumenta ao longo do curso hídrico.

Além do gradiente supracitado vale destacar que o P5 possui a menor profundidade entre os seis pontos amostrados além de águas lânticas, o fundo predominante de argila e vegetação no entorno degradada. Enquanto o PC trata-se de uma área preservada com água corrente, fundo predominante de pedras e profundidade superior.

A turbidez média ao longo do trimestre avaliado foi de $6,36 \pm 7,68$ UNT. Os resultados obtidos foram superiores a média de $2,9 \pm 1,8$ UNT reportados no monitoramento realizado entre 2011 e 2012 (SEA PROJECTS, 2013). Contudo, similares ao trabalho realizado ao longo da bacia do rio guandu com média de 24,00 UNT (FERREIRA, 2007).

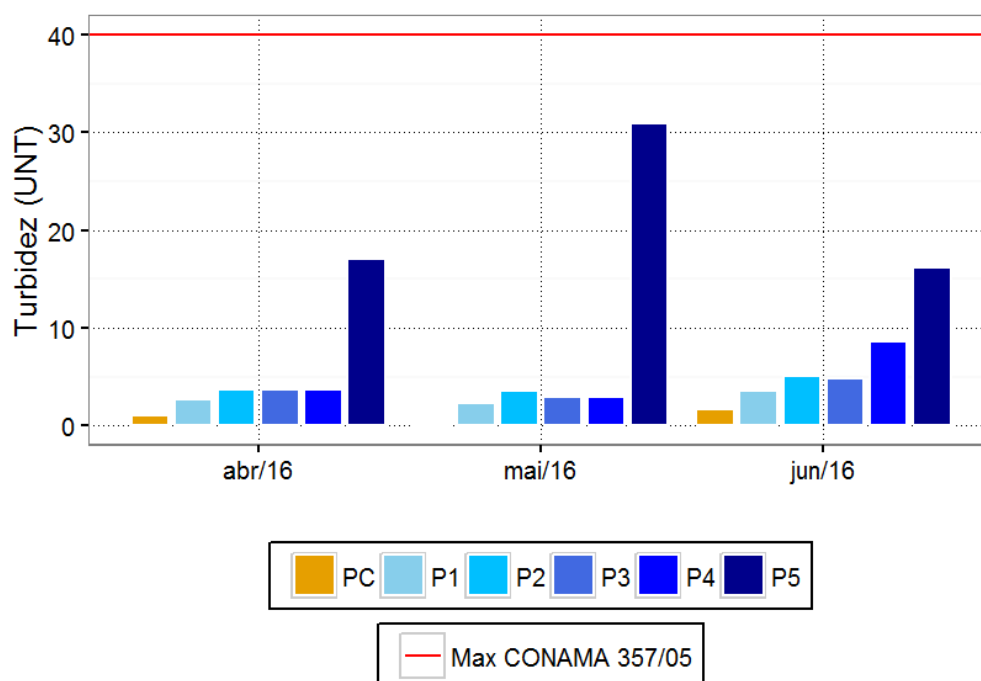


Figura 6-21: Turbidez (UNT) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Através da Figura 6-22 é possível constatar as influências dos valores de P5 nas três campanhas do trimestre avaliado. As médias obtidas foram $5,29 \pm 5,84$ UNT em abr/16, $7,14 \pm 11,71$ UNT em mai/16 e $6,64 \pm 5,21$ UNT em jun/16. Devido aos resultados espúrios supracitado o teste estatístico não foi capaz de revelar diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,430$). Contudo, é possível observar maior turbidez na campanha de jun/16 atribuído a maior pluviosidade registrada nos últimos sete dias antecedentes a coleta.

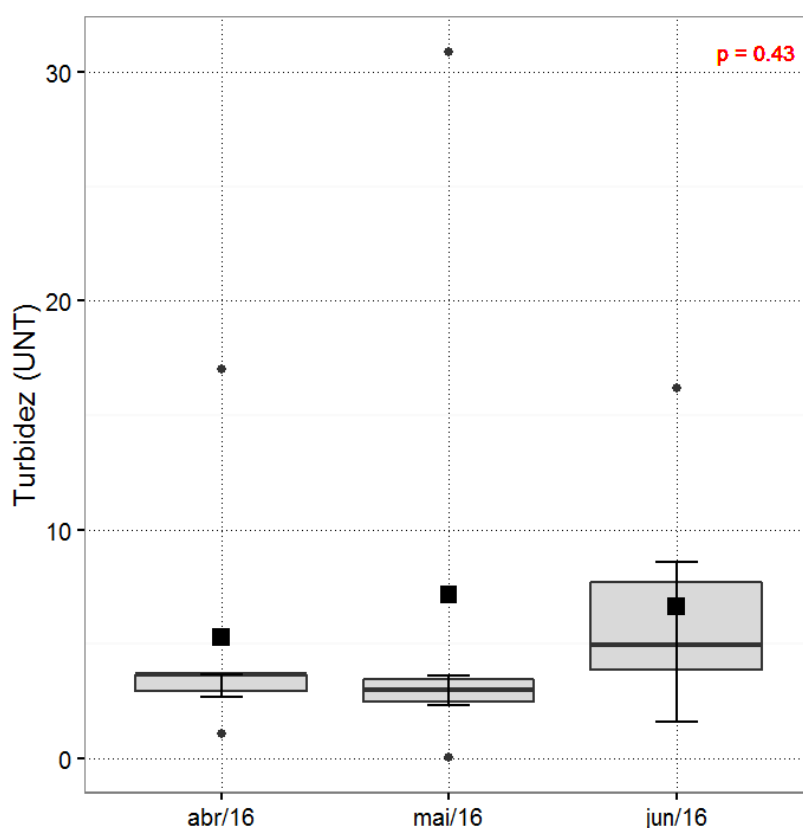


Figura 6-22: *Box-plot* da turbidez (UNT) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

6.11 Transparência

A transparência durante o trimestre de estudo oscilou entre próxima a zero e total, isto é, quando é possível observar o fundo do rio. Portanto, os valores de transparências variaram de acordo com a profundidade do trecho analisado, logo, o gráfico foi representado por dois tipos. Sendo as barras os resultados da profundidade e as linhas os resultados de transparência (Figura 6-23).

Com exceção do P3 em uma campanha as demais estações apresentaram transparência total em todas as campanhas. A baixa transparência em P3 na campanha de abr/16 pode ser atribuída a alta energia presente neste trecho do rio, o que dificulta a medição da transparência. Vale ressaltar que a transparência total registrada em P5 foi devido a baixa profundidade, uma vez que a turbidez nesse ponto foi cerca de seis vezes superior aos demais pontos de coleta.

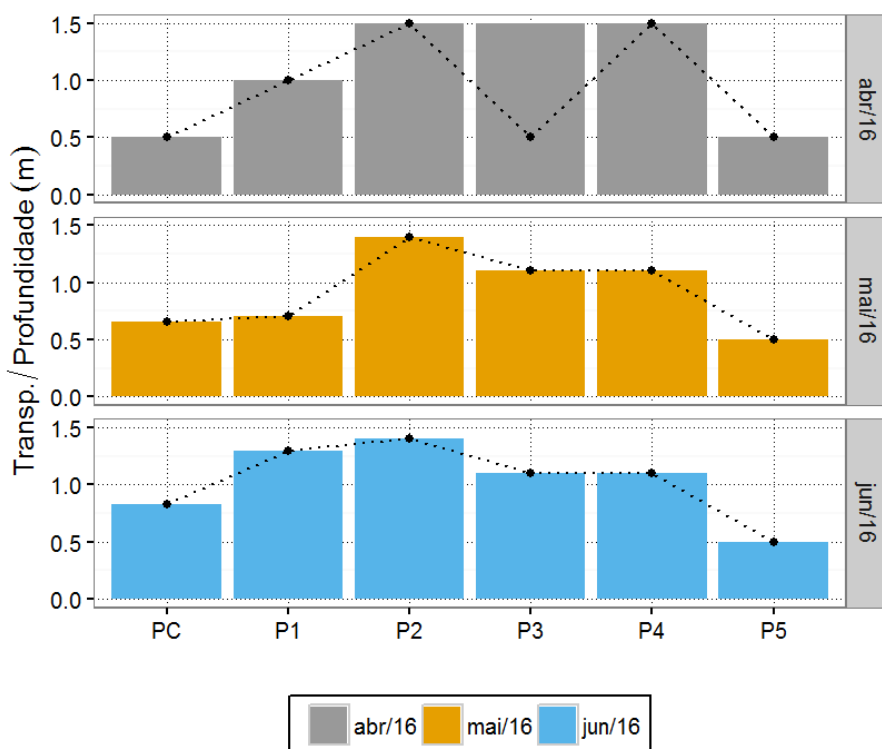


Figura 6-23: Transparência (linhas) e profundidade (barras) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação as campanhas de coleta, os meses apresentaram resultados de transparência semelhantes entre si não sendo detectados diferenças estatisticamente significativa entre eles (*Kruskal-Wallis* – $p=0,700$). Conforme descrito anteriormente, a transparência variou majoritariamente de acordo com a profundidade local, cerca de 94 % das amostras apresentaram transparência total (Figura 6-24).

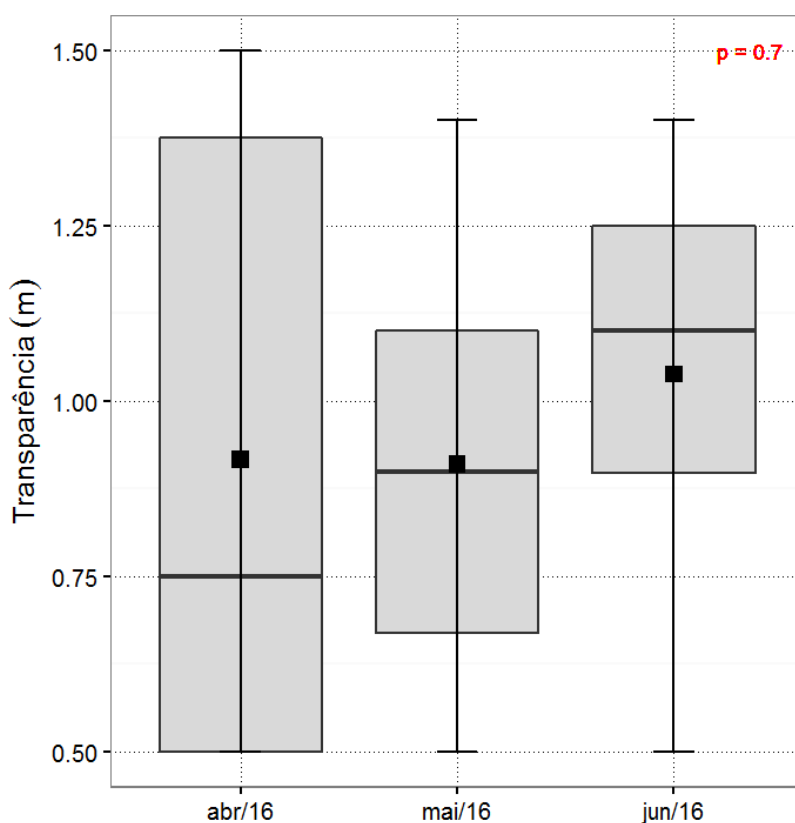


Figura 6-24: *Box-plot* da transparência da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

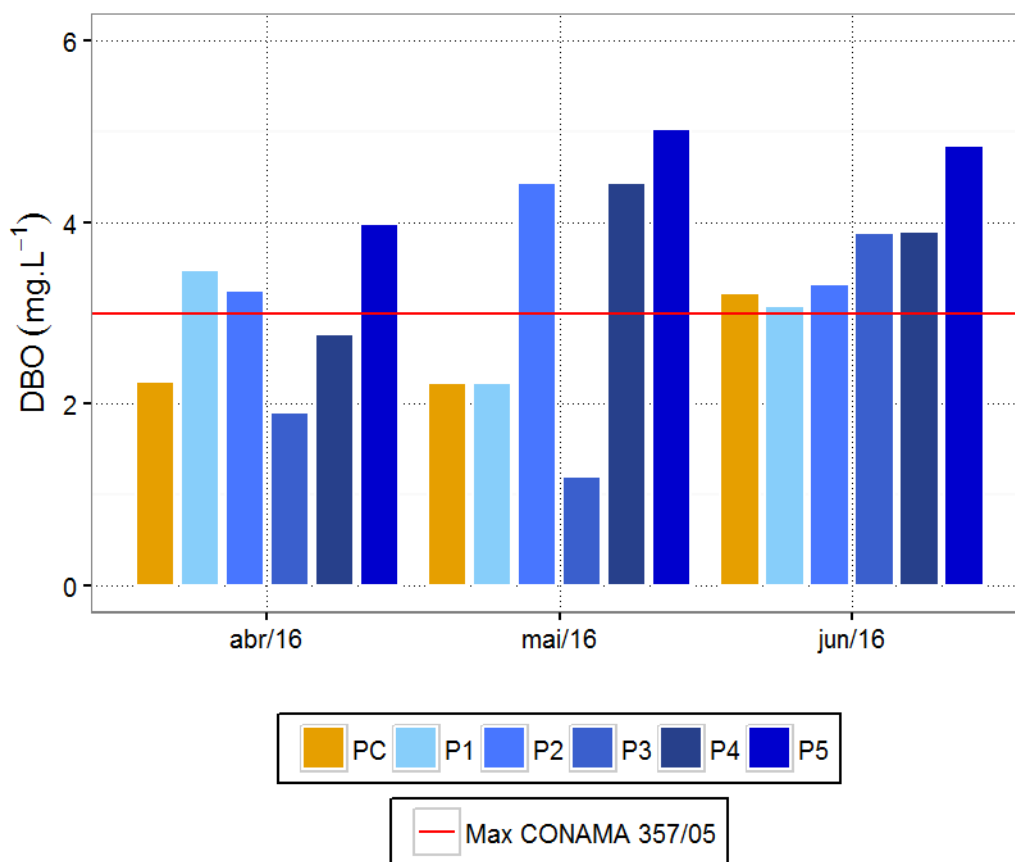
6.12 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) variou de 1,20 a 5,03 mg.L⁻¹ com média geral de 3,30 ± 1,06 mg.L⁻¹. O valor mínimo foi referente a amostra de P3 de mai/16 enquanto o valor máximo foi referente a P5 também em mai/16. No geral, as amostras referentes a



estação P5 apresentaram valores superiores as demais, portanto, foi a maior DBO média com $4,62 \pm 0,56 \text{ mg.L}^{-1}$. As estações restantes apresentaram valores similares em torno de $3,04 \pm 0,34 \text{ mg.L}^{-1}$. Este resultado era esperado visto que o trecho P5 se apresentou comumente com material particulado refletindo na maior turbidez descrito anteriormente. Em um estudo realizado nos rios contribuintes da bacia de Sepetiba foram reportados DBO de até $20,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (CUNHA *et al.*, 2002). Em esgoto sanitário a DBO pode alcançar valores de 120 a 450 mg.L^{-1} (VON SPERLING, 2005). Portanto, o valor médio foi considerado satisfatório e atribuído a contribuição alóctone natural oriunda da mata ciliar ou do entorno.

No que se refere a legislação vigente foram reportadas doze amostras (67 %) acima do limite de $3,00 \text{ mg.L}^{-1}$ preconizado pelo art. 14 da Resolução CONAMA 357/05. Vale ressaltar que das doze amostras em desconformidade seis foram referentes ao mês de jun/16, portanto, é provável que a carga orgânica reportada seja proveniente da drenagem continental visto que jun/16 foi a campanha com maior volume de chuva sete dias antecedentes a coleta.



72

Figura 6-25: Demanda bioquímica de oxigênio (mg.L⁻¹) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Os valores obtidos no presente estudo foram coerentes com os reportados no monitoramento da Sea Projects realizado nos anos de 2011 e 2012, cujo os resultados oscilaram entre 1,0 e 9,0 mg.L⁻¹ com média de 2,7 mg.L⁻¹ (SEA PROJECTS, 2013). Em um estudo realizado ao longo do rio do Braço, afluente no rio Piraí a jusante do P3 a DBO registrada também foi similar ao presente estudo com média de 2,0 mg.L⁻¹ (HABTEC,2003).

Em relação as campanhas, o mês de jun/16 apresentou a maior média com 3,71± 0,66 mg.L⁻¹ seguido do mês de mai/16 com 3,26 ± 1,56 mg.L⁻¹ e então do mês de abr/16 com 2,94 ± 0,78 mg.L⁻¹ (Figura 6-26). Apesar das desigualdades supracitadas o teste

estatístico não revelou diferenças significativas entre os meses de coleta (*Kruskal-Wallis* – $p=0,557$).

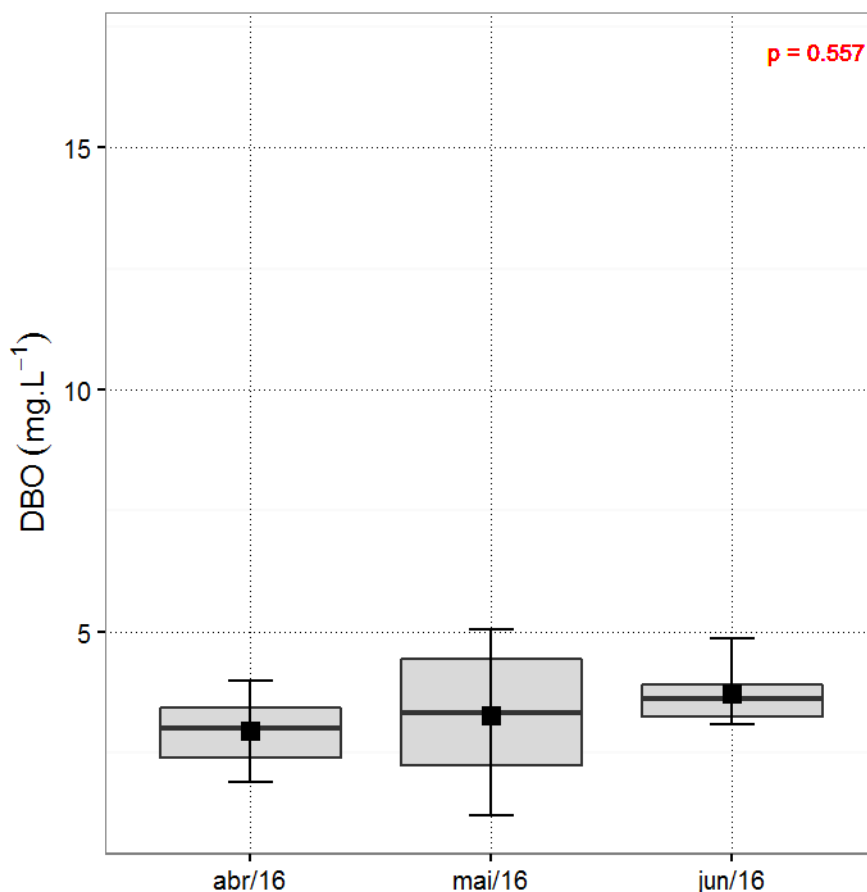


Figura 6-26: *Box-plot* da demanda bioquímica de oxigênio (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

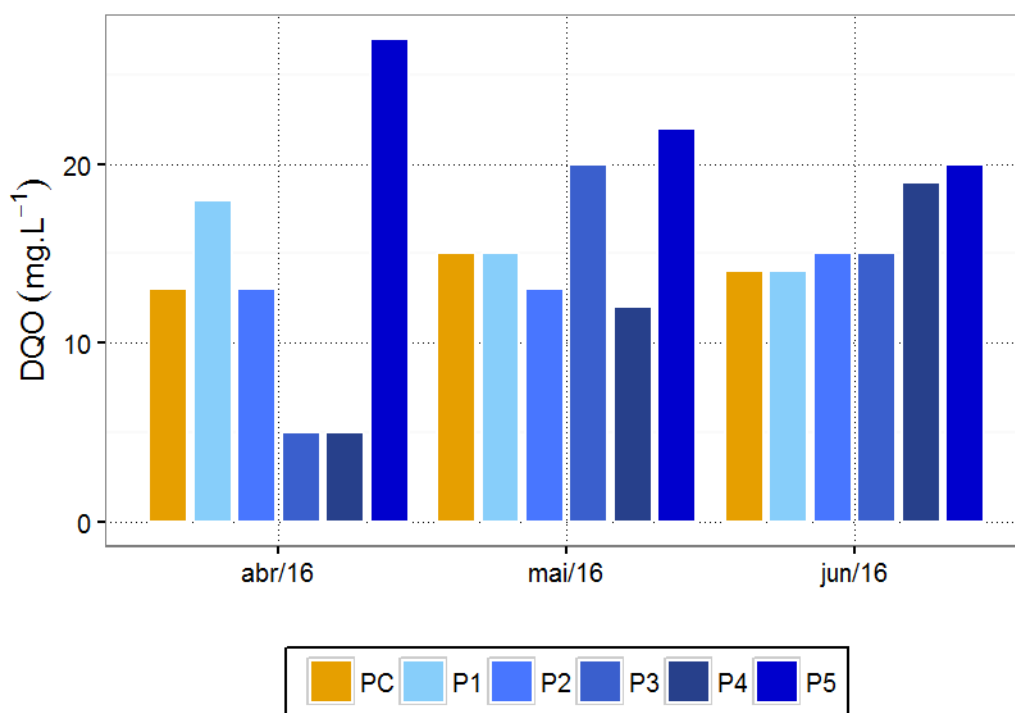
73

6.13 Demanda química de oxigênio (DQO)

A concentração da DQO oscilou entre 12,0 e 27,0 mg.L^{-1} com média de $16,6 \pm 4,1 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 6-27). O mínimo foi registrado em P4 na campanha de mai/16 e enquanto o máximo foi registrado em P5 de abr/16. Assim como observado na DBO a estação P5 registrou a maior DQO média das estações com $23,0 \pm 3,6 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto P2 apresentou a menor DQO média com $13,7 \pm 1,2 \text{ mg.L}^{-1}$. A menor média em P2 pode ser atribuída a maior

capacidade de renovação das águas quando comparado com a estação P5 que devido a condição estacionária da água e pouca profundidade dificulta a renovação e intensifica o acúmulo da matéria orgânica neste trecho.

Valores de DBO e DQO semelhantes representam que a matéria orgânica presente no corpo hídrico é mais facilmente biodegradada, contudo, valores muito diferentes indicam que a fração não biodegradável da matéria é maior que a fração degradável (REPULA & QUINÁIA, 2009). Portanto, valores de DQO mais elevados que o DBO sugerem a existência de matéria não facilmente biodegradada.



74

Figura 6-27: Demanda química de oxigênio (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Ao longo do trimestre avaliado a DQO apresentou baixa variação (Figura 6-28). As médias obtidas foram $17,8 \pm 6,6 \text{ mg.L}^{-1}$ em abr/16; $16,2 \pm 4,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em mai/16 e $16,2 \pm 2,6 \text{ mg.L}^{-1}$ em jun/16. O teste estatístico utilizado não revelou diferenças significativas

entre as campanhas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,459$). Em relação ao monitoramento realizado pela Sea Projects nos anos de 2011 e 2012 os resultados apresentaram média superior ($23,5 \text{ mg.L}^{-1}$)¹⁾

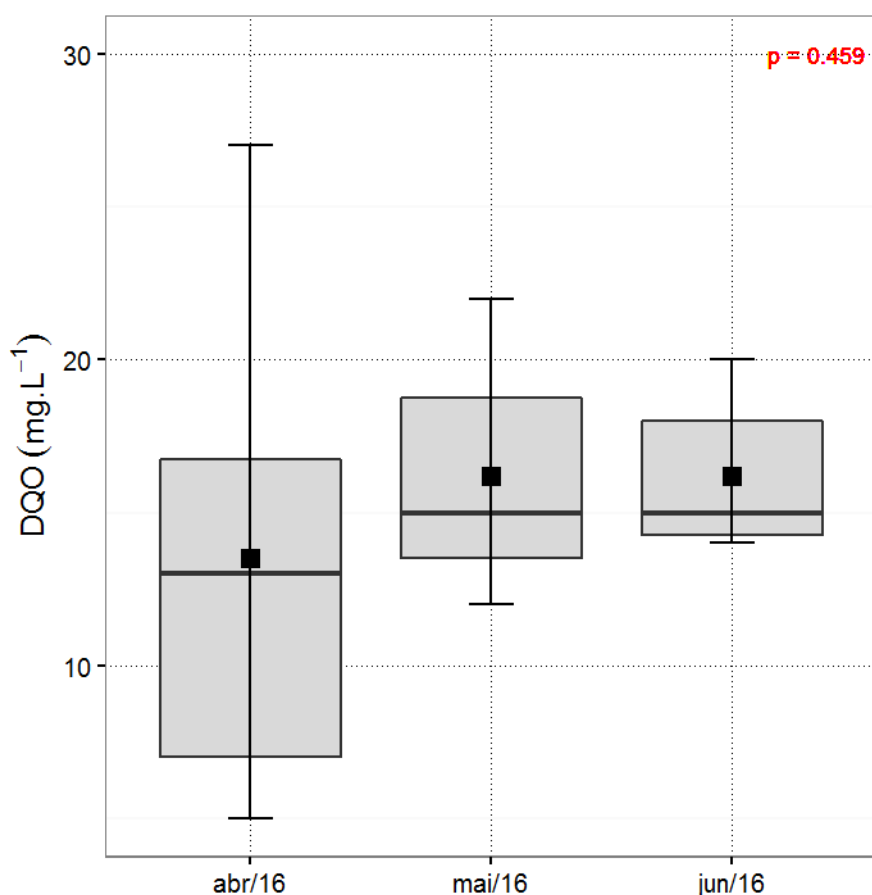


Figura 6-28: *Box-plot* da demanda química de oxigênio (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

75

6.14 Carbono orgânico dissolvido (COD)

A concentração de COD variou de $3,38$ a $14,25 \text{ mg.L}^{-1}$ com média de $7,4 \pm 2,9 \text{ mg.L}^{-1}$. O mínimo foi referente a amostra de P1 em mai/16 enquanto o máximo foi referente a amostra de PC em jun/16 (Figura 6-29). Assim como descrito nos parâmetros supracitados a estação com maior concentração média de COD foi P5 com $8,2 \pm 3,1 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto a

estação com a menor concentração média foi P1 com $6,2 \pm 2,6 \text{ mg.L}^{-1}$. Os resultados foram coerentes e atribuídos a taxa de renovação das águas em cada trecho. No geral foi possível observar um gradiente de acréscimo da concentração de COD ao longo do rio, contudo, o coeficiente de determinação não foi expressivo com valores oscilando entre 0,28 a $0,81 \text{ mg.L}^{-1}$. Vale destacar que o valor máximo referente a estação controle (PC) no mês de jun/16 foi atribuído a carga alóctone proveniente da mata ciliar densa e preservada local, logo, considerado um valor natural devido ao evento pluviométrico de maior intensidade antecedente a coleta.

Em relação ao monitoramento realizado em 2011 e 2012 do rio Pirai (SEA PROJECTS, 2013) os resultados do presente estudo foram superiores. Em um estudo realizado na região de estuário do Paraíba do sul e da Baía de Sepetiba no RJ a média obtida foi de $19 \pm 14 \text{ mg.L}^{-1}$, contudo o valor máximo registrado foi de 40 mg.L^{-1} .

76

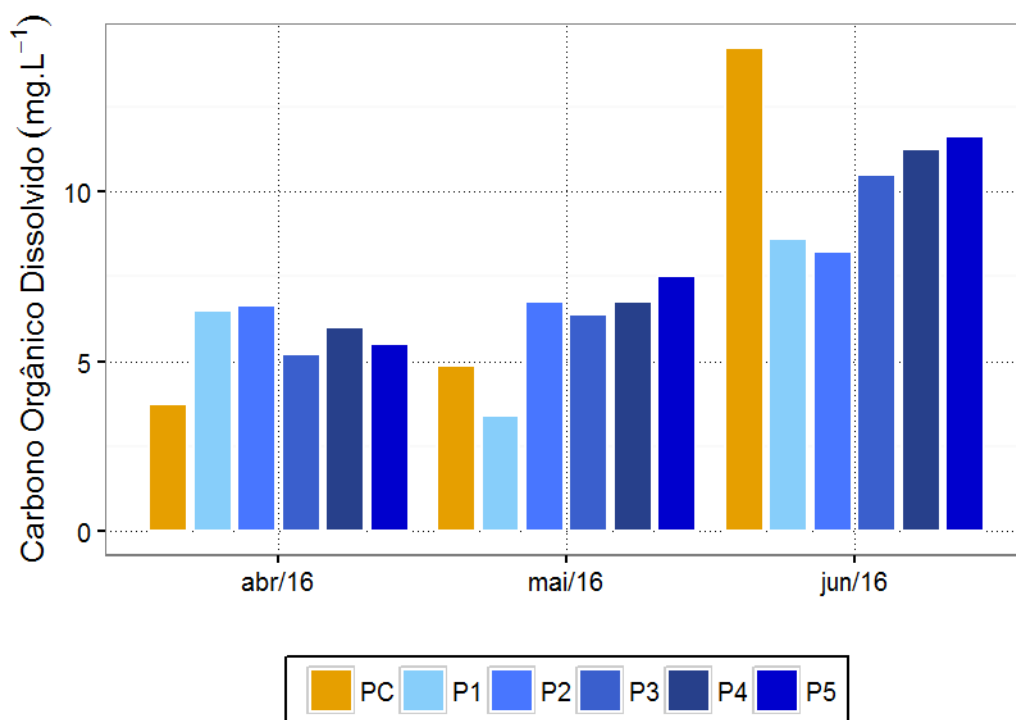


Figura 6-29: Carbono orgânico dissolvido (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

A partir da Figura 6-30 é possível constatar o incremento na concentração de carbono orgânico dissolvido na campanha de jun/16. O aumento da concentração foi atribuído aos eventos pluviométricos mencionados anteriormente. As concentrações médias de COD foram $5,6 \pm 1,1 \text{ mg.L}^{-1}$ em abr/16, $5,9 \pm 1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ em mai/16 e $10,8 \pm 2,2 \text{ mg.L}^{-1}$ em jun/16. O teste estatístico revelou diferenças significativas entre a campanha de jun/16 das demais (*Kruskal-Wallis* – $p=0,003$).

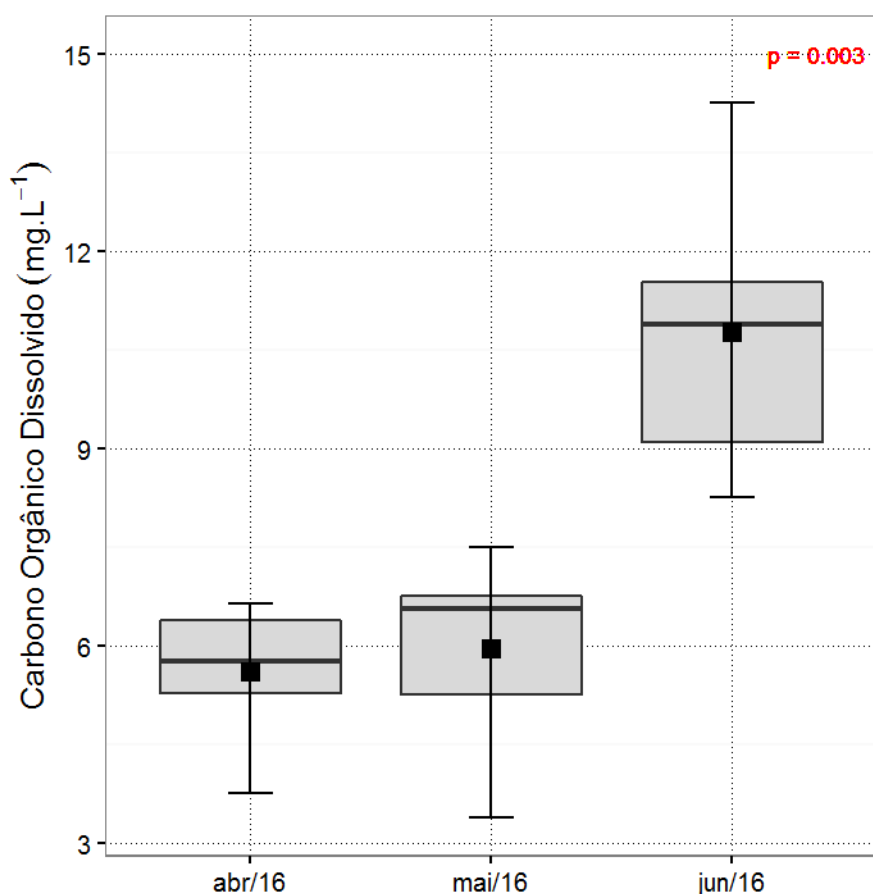


Figura 6-30: *Box-plot* da concentração de carbono orgânico dissolvido (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

6.15 Compostos nitrogenados

Os compostos nitrogenados analisados foram: nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total e serão descritos a seguir:

A concentração de nitrato ao longo do presente estudo oscilou entre valores abaixo do limite de quantificação ($0,010 \text{ mg.L}^{-1}$) e $0,250 \text{ mg.L}^{-1}$ com média geral de $0,109 \pm 0,090 \text{ mg.L}^{-1}$. O valor mínimo foi registrado em 39% das amostras coletadas no trimestre, ou seja sete amostras. Essas amostras foram todas as seis da campanha de mai/16 e a amostra de P2 na campanha de jun/16. A concentração máxima foi reportada em P5 no mês de abr/16. O artigo 14 (classe 1) da Resolução CONAMA 357/05 estabelece o máximo de $10,0 \text{ mg.L}^{-1}$, logo, todas as amostras estiveram de acordo com a legislação vigente.

Apesar da maior concentração ter sido registrada em P5 foi a estação P3 que revelou a maior concentração média do presente trimestre com $0,153 \pm 0,124 \text{ mg.L}^{-1}$. Já a estação P2 apresentou a menor concentração média com $0,057 \pm 0,081 \text{ mg.L}^{-1}$. Em relação ao monitoramento realizado entre 2011 e 2012 os valores do presente estudo foram superiores visto a média de $0,088 \pm 0,050 \text{ mg.L}^{-1}$ (SEA PROJECTS, 2013). Assim como alguns parâmetros descritos anteriormente foi possível verificar o gradiente de acréscimo da concentração de nitrato ao longo do rio, porém, a mesma tendência não apresentou um coeficiente de determinação (R^2) expressivo.

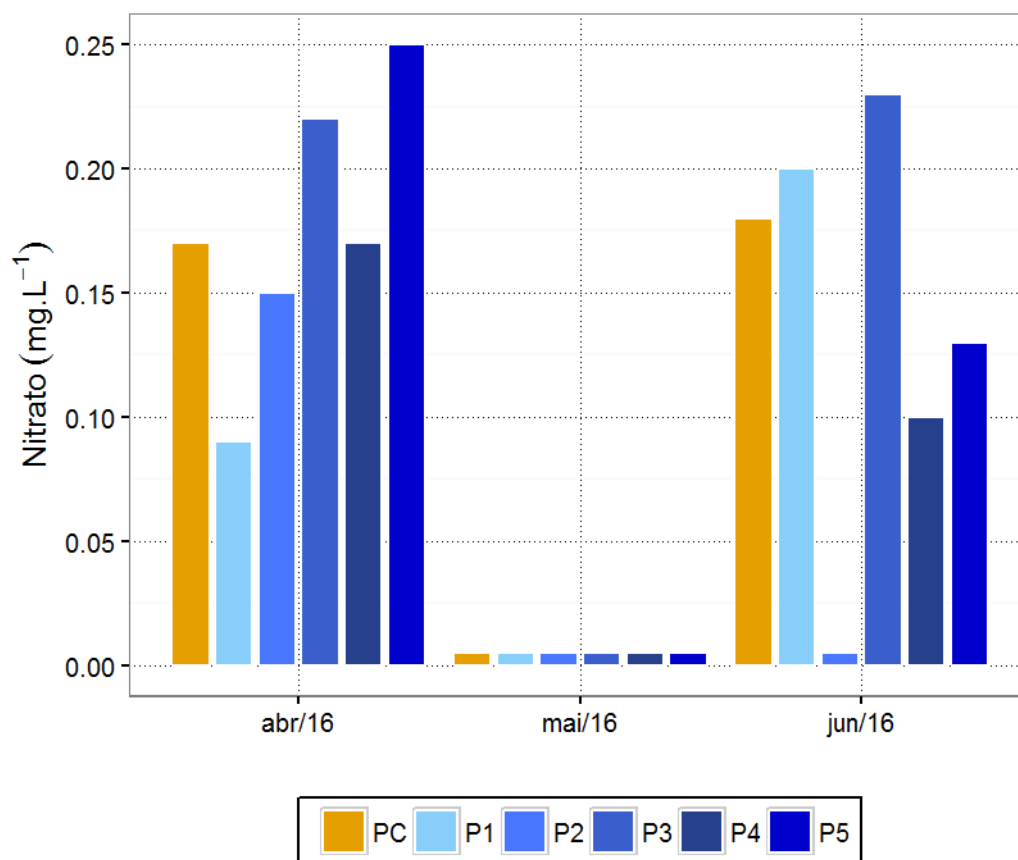


Figura 6-31: Nitrato (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação as campanhas do presente trimestre apenas o mês de mai/16 apresentou diferença estatisticamente significativa dos demais (*Kruskal-Wallis* – $p=0,003$). As médias foram $0,175 \pm 0,056 \text{ mg.L}^{-1}$ no mês de abr/16 e $0,142 \pm 0,080 \text{ mg.L}^{-1}$ no mês jun/16. Vale ressaltar que todas as amostras no mês de mai/16 ficaram abaixo do limite de quantificação ($<0,010 \text{ mg.L}^{-1}$) - Figura 6-32. Essa variação significativa pode ser atribuída ao regime pluviométrico visto que a campanha de mai/16 apresentou a menor quantidade de chuva acumulada do trimestre, logo, é provável que a carga de nitrato seja proveniente da drenagem continental a partir das chuvas.

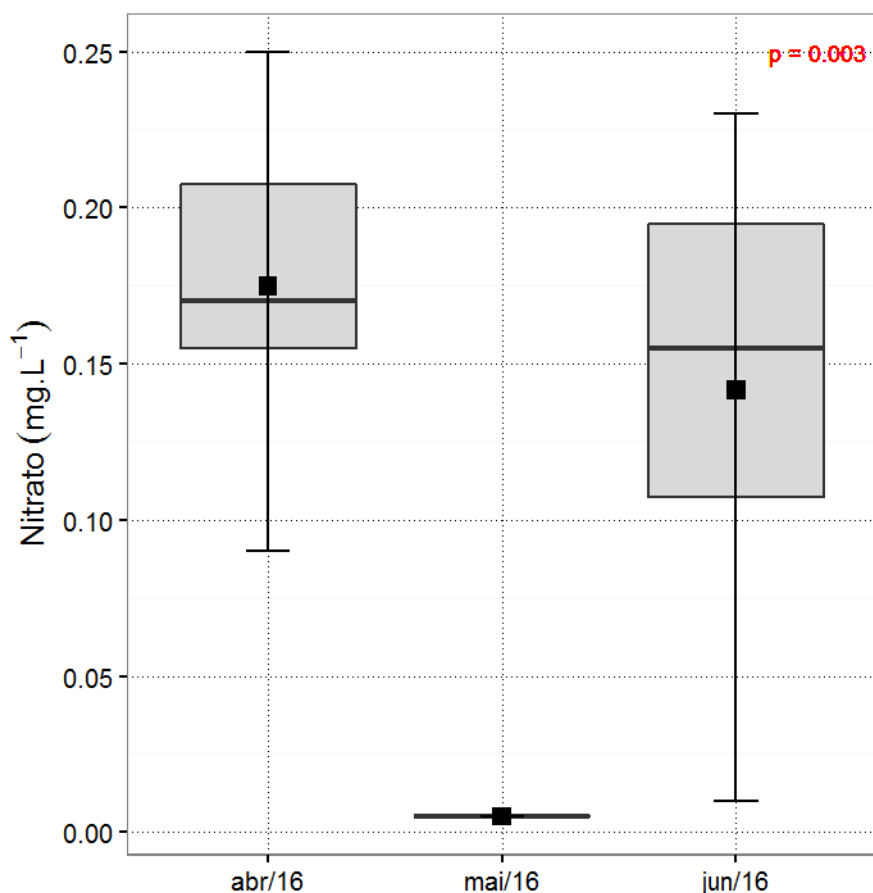
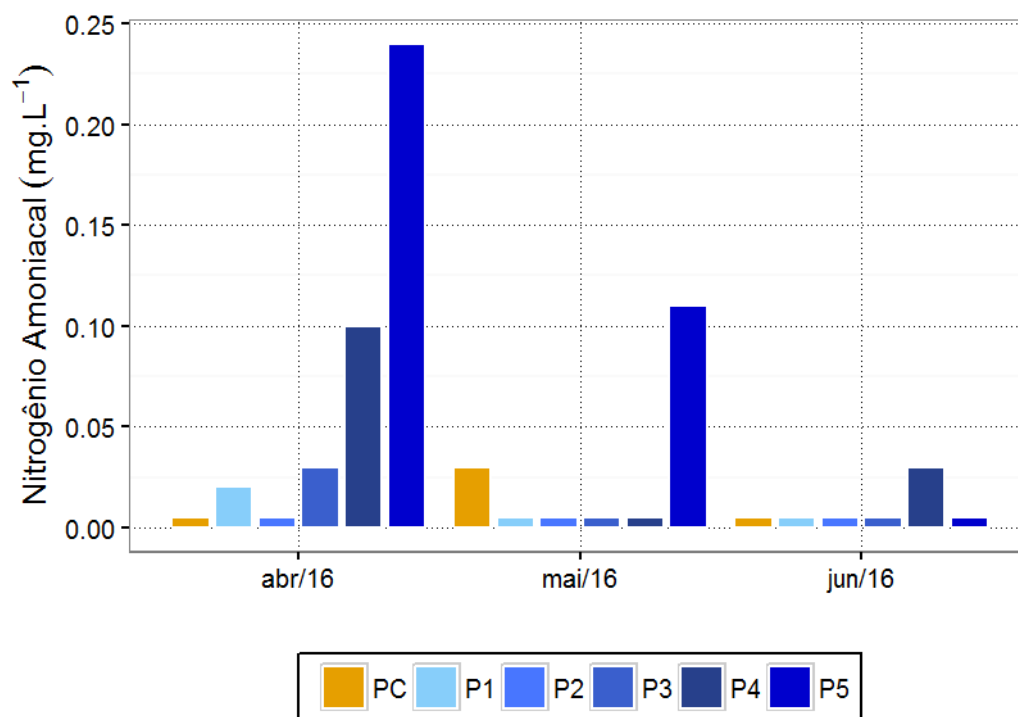


Figura 6-32: *Box-plot* da concentração de nitrato (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

A concentração de nitrogênio amoniacal ao longo do presente estudo oscilou entre valores abaixo do limite de quantificação ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$) registrado em onze amostras e a concentração máxima de $0,24 \text{ mg.L}^{-1}$. Assim como alguns parâmetros já descritos como DQO, nitrato, condutividade e TDS a concentração máxima foi registrada em P5 na campanha de abr/16 (Figura 6-33). Logo, a estação P5 apresentou a maior concentração média de $0,12 \pm 0,12 \text{ mg.L}^{-1}$ e discrepância das demais estações. A concentração geral média foi de $0,02 \pm 0,02 \text{ mg.L}^{-1}$.

No que se refere a legislação vigente todas as amostras estiveram em conformidade com o máximo de $2,00 \text{ mg.L}^{-1}$ preconizado pelo artigo 14 (classe 1) da Resolução CONAMA 357/05.



81

Figura 6-33: Nitrogênio amoniacoal (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

No monitoramento do rio Pirai realizado nos anos de 2011 e 2012 foram reportados valores coerentes ao presente estudo com variação de $0,014$ a $0,302 \text{ mg.L}^{-1}$ e média superior de $0,078 \pm 0,060 \text{ mg.L}^{-1}$ (SEA PROJECTS, 2013).

A partir da Figura 6-34 é possível observar o gradiente de decréscimo da concentração de nitrogênio amoniacoal ao longo do presente trimestre. As médias foram $0,068 \pm 0,091 \text{ mg.L}^{-1}$ em abr/16, $0,030 \pm 0,040 \text{ mg.L}^{-1}$ em mai/16 e $0,013 \pm 0,008 \text{ mg.L}^{-1}$ em jun/16. A maior média em abr/16 foi atribuída a maior temperatura registrada visto que com o aumento da temperatura as concentrações do íon amônio aumentam consideravelmente (BAUMGARTE

& POZZA, 2001). Vale destacar que apesar das discrepâncias o teste estatístico não revelou diferenças significativas entre os meses de coleta (*Kruskal-Wallis* – $p=0,22$).

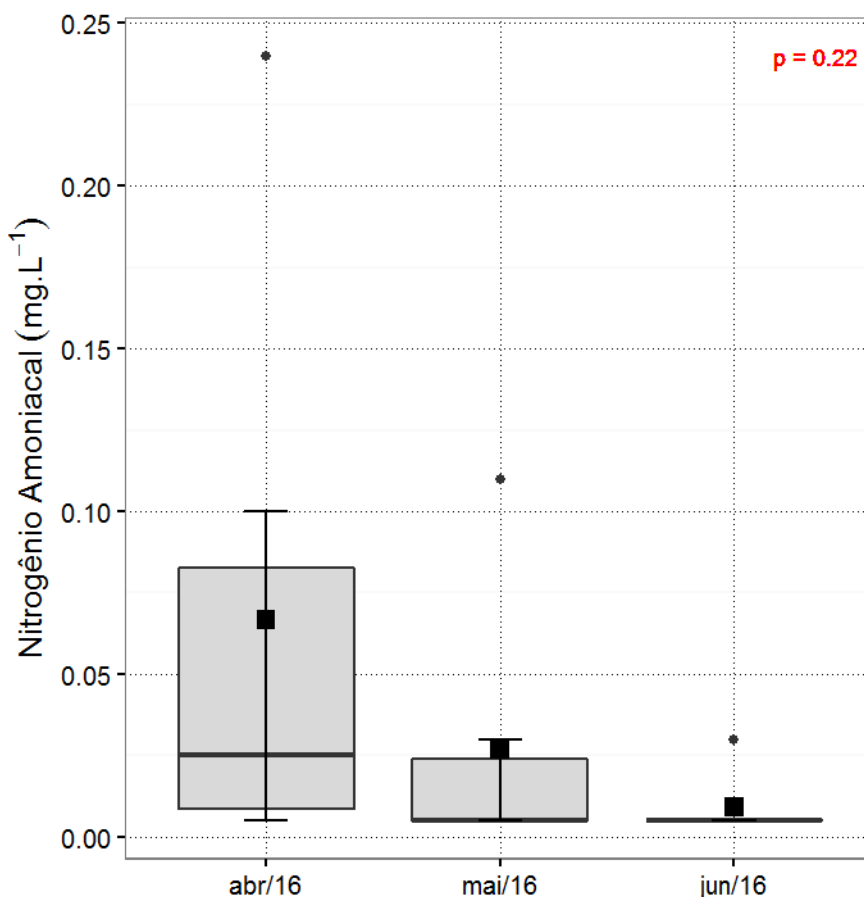
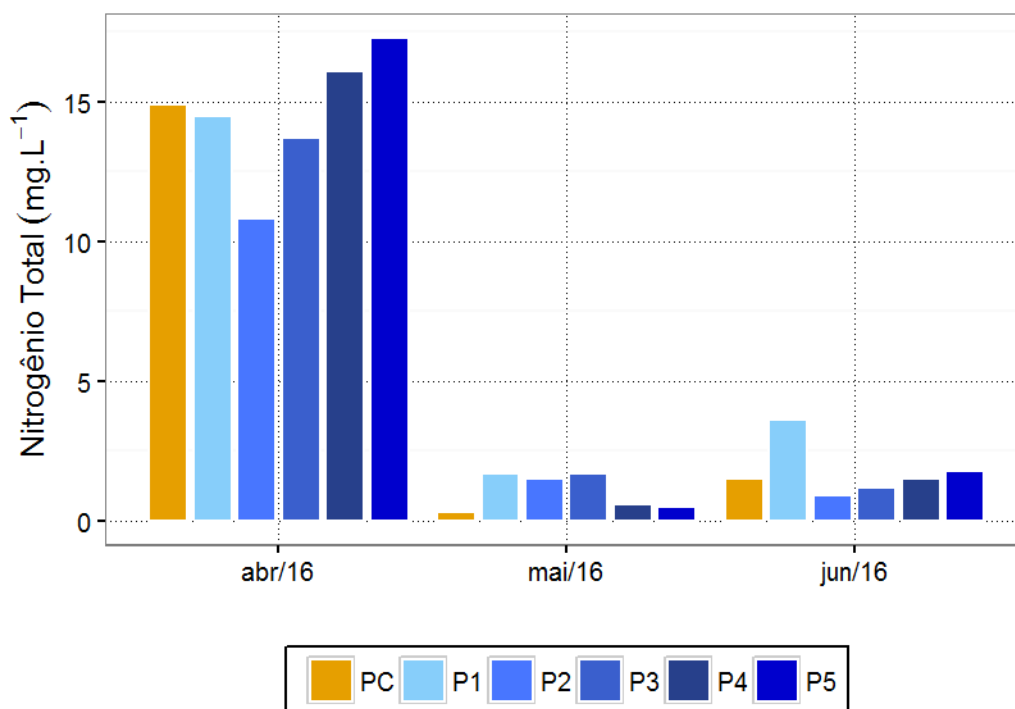


Figura 6-34: *Box-plot* da concentração de nitrogênio amoniacal (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

A concentração de nitrogênio total variou de $0,30 \text{ mg.L}^{-1}$ a $17,30 \text{ mg.L}^{-1}$ com média geral de $5,78 \pm 6,53 \text{ mg.L}^{-1}$. Assim como observado para nitrato e nitrogênio amoniacal a estação de coleta PC da campanha de mai/16 apresentou a menor concentração enquanto a P5 da campanha de abr/16 apresentou a concentração máxima (Figura 6-35). Ou seja, os resultados de compostos nitrogenados foram coerentes entre si. A estação de coleta com menor concentração média foi P2 com $4,40 \pm 5,55 \text{ mg.L}^{-1}$ já a estação P1 apresentou a maior média com $6,60 \pm 6,91 \text{ mg.L}^{-1}$, vale ressaltar que a estação P5 apresentou a segunda maior

média com $6,53 \pm 9,35 \text{ mg.L}^{-1}$. Conforme descrito anteriormente o P5 apresenta características atípicas dos demais pontos como ambiente lântico e baixa profundidade em contrapartida o ponto controle (PC) trata-se de um ambiente lótico com renovação das águas constante.



83

Figura 6-35: Nitrogênio total (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação aos meses de campanha foi observada a mesma tendência observada no nitrato (Figura 6-36). Ou seja, foi reportada maior concentração de nitrogênio total na campanha de abr/16 ($14,55 \pm 2,23 \text{ mg.L}^{-1}$) seguida de jun/16 ($1,75 \pm 0,96 \text{ mg.L}^{-1}$) e então de mai/16 ($1,05 \pm 0,65 \text{ mg.L}^{-1}$). O teste estatístico revelou diferença significativa entre o mês de abr/16 dos demais (mai/16 e jun/16) (*Kruskal-Wallis* – $p=0,002$).

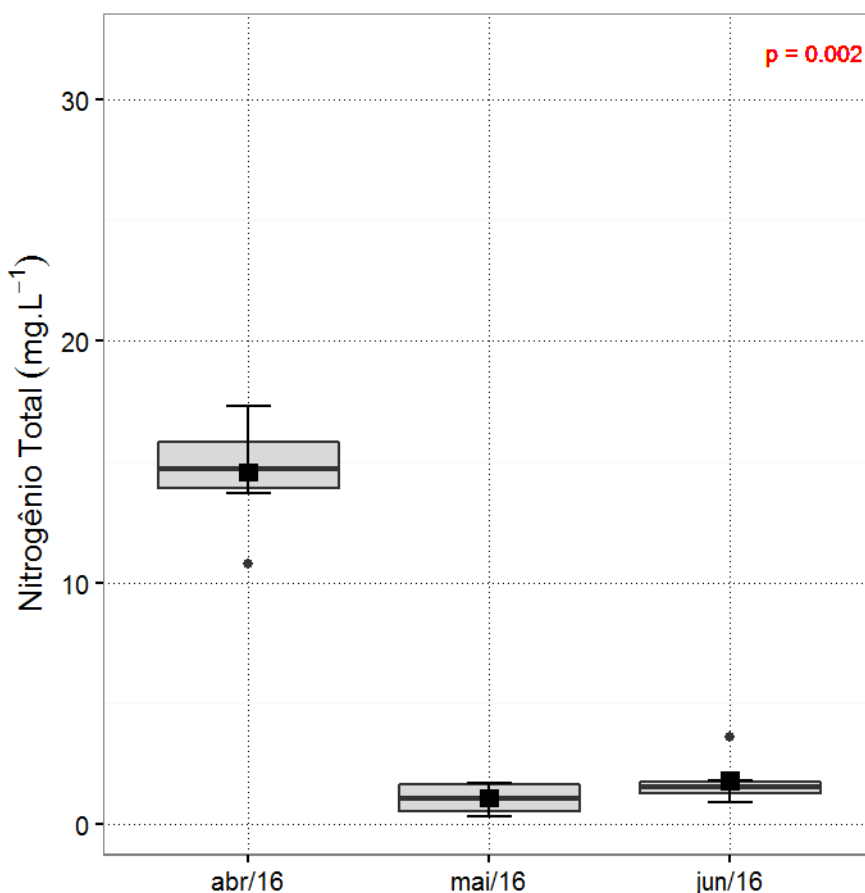


Figura 6-36: *Box-plot* da concentração de nitrogênio total (mg.L^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Através da análise de correlação de *Pearson* não foi evidente uma correlação expressiva significativa entre os compostos nitrogenados (nitrato, amoniacal e total). Contudo, conforme descrito anteriormente o mês de abr/16 apresentou maior concentração destes que foi atribuído a maior temperatura registrada. Vale ressaltar que todas as amostras estiveram em conformidade com o limite proposto pelo artigo 14 (classe 1) da Resolução CONAMA 357/05.

6.16 Fósforo

No presente trabalho foram analisados as concentrações de fósforo dissolvido e de fósforo total.

A concentração de fósforo total ficou abaixo do limite de quantificação ($0,020 \text{ mg.L}^{-1}$) em todas as amostras. Em relação ao monitoramento realizado nos anos de 2011 e 2012 os valores obtidos no presente estudo foram inferiores (SEA PROJECTS, 2013). De acordo com Wetzel (2000), em regiões não poluídas a concentração de fósforo está usualmente em torno de $0,030 \text{ mg.L}^{-1}$, já em regiões urbanizadas esse valor pode ultrapassar a $0,100 \text{ mg.L}^{-1}$. No rio Tietê, reconhecidamente poluído, foram reportadas concentrações de até $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$, reconhecidamente poluído. Por outro lado, foram condizentes com a média encontrada no rio Paraná de $0,020 \text{ mg.L}^{-1}$ (CETESB, 2011) que possui características mais naturais, demonstrando uma boa qualidade das águas amostradas com relação a este elemento.

A concentração de fósforo dissolvido ou ortofosfato ao longo do rio Piraí no presente estudo oscilou entre valores abaixo do limite de quantificação ($< 0,02 \text{ mg.L}^{-1}$) e $0,46 \text{ mg.L}^{-1}$. No total foram catorze amostras (78 %) com concentração abaixo do LQ e apenas quatro amostras quantificadas (22 %) sendo três dessas quatro registradas na campanha de jun/16. Assim como observado no COD a maior concentração em jun/16 foi atribuída a drenagem alóctone devido ao maior evento pluviométrico registrado. A concentração supracitada foi inferior a encontrada no monitoramento do rio realizado nos anos de 2011 e 2012 (SEA PROJECTS, 2013).

85

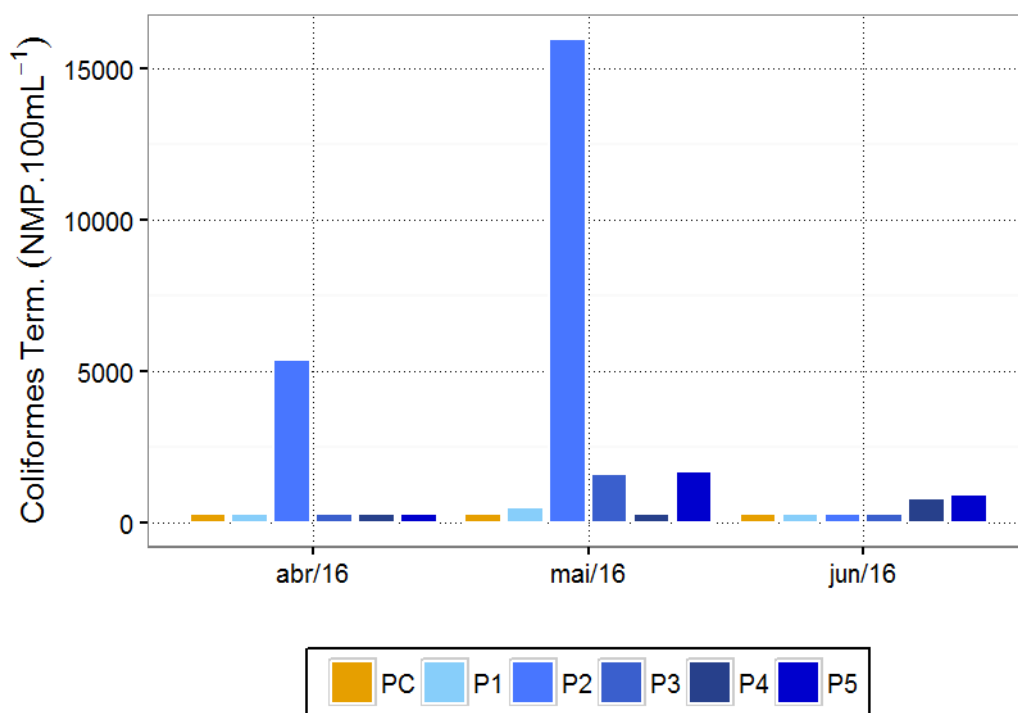
Devido a alta frequência de resultados abaixo do limite de quantificação (78 %) não foram realizadas análises gráficas e testes estatísticos para concentração de fósforo.

6.17 Coliformes termotolerantes

A concentração de coliformes termotolerantes no trimestre avaliado oscilou entre valores abaixo do limite de quantificação do método ($1,8 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$) e o máximo de $16.000 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$. Os valores abaixo do LQ foram registrados em cinco amostras enquanto o máximo foi reportado em P2 na campanha de mai/16. A média geral obtida foi de $1.532 \pm 3.836 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$. Vale destacar que o desvio padrão superior indica a alta variabilidade do resultados ao longo do estudo (Figura 6-37).

A estação P2 apresentou a maior média com $7.190 \pm 8.0.65$ NMP.100 mL⁻¹ enquanto PC apresentou a menor visto que as concentrações ficaram abaixo do LQ nas três campanhas ($0,9 \pm 0,0$ NMP.100 mL⁻¹). A maior média em P2 pode ser atribuída diretamente com a proximidade com o distrito de Lídice e seus impactos descritos anteriormente.

No que se refere a legislação vigente o artigo 14 da Resolução CONAMA 357/05 estipula um limite de 200 NMP.100 mL⁻¹ para no máximo 80 % das amostras coletadas em um período de um ano. Como o presente estudo não compreende o período de um ano a avaliação temporal não foi possível. Contudo, levando em consideração o limite de 200 NMP.100 mL⁻¹ proposto, o índice de desconformidade foi de oito amostras, cerca de 44 %.



86

Figura 6-37: Coliformes termotolerantes (NMP.100mL⁻¹) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação aos meses de coleta, o mês de mai/16 apresentou a maior concentração média com $3.298 \pm 6.267,4 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$ atribuídos aos valores reportados na estação P2. A campanha de abr/16 apresentou a média de $975 \pm 2.169 \text{ NMP.mL}^{-1}$ seguida da campanha de jun/16 com $324 \pm 426 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$. O teste estatístico não revelou diferença significativa entre as campanhas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,227$). (Figura 6-38).

Em relação ao monitoramento realizado nos anos de 2011 e 2012 as concentrações no geral foram superiores ao presente estudo visto que a média obtida foi de $17.831 \pm 28.308 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$ (SEA PROJECTS, 2013).

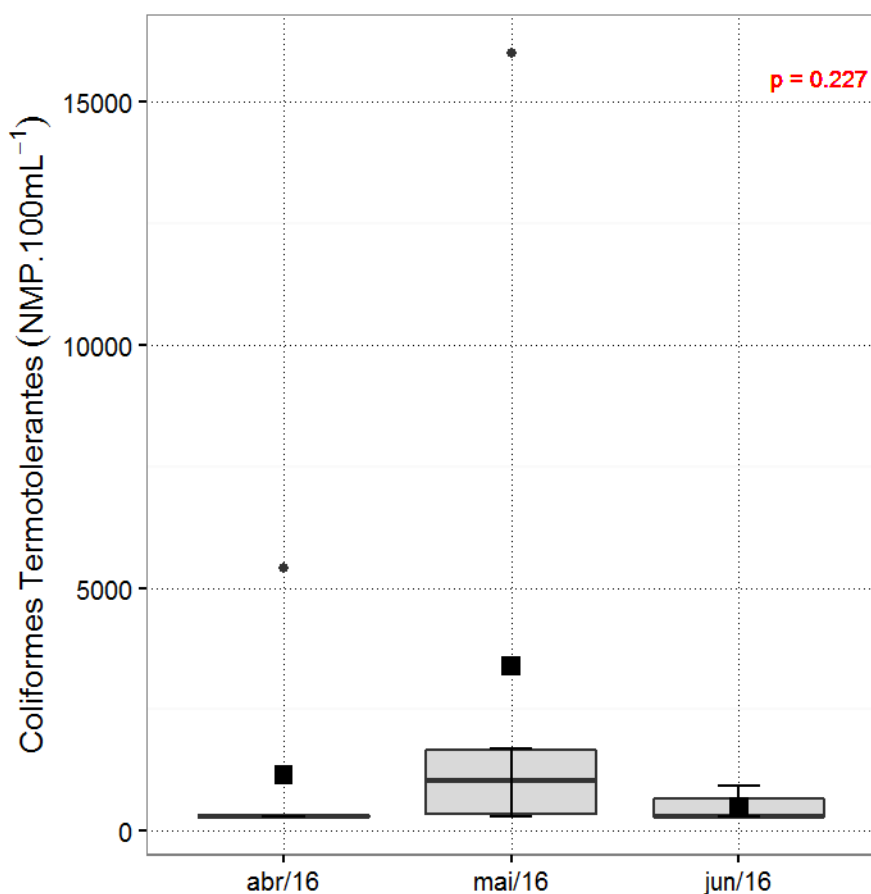


Figura 6-38: *Box-plot* da concentração de coliformes termotolerantes (NMP.100mL^{-1}) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

6.18 Cafeína

A concentração de cafeína ao longo do rio Pirai no trimestre avaliado ficou abaixo do limite de quantificação do método em todas as amostras ($1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$). Estudos reportam que em efluentes domésticos não tratados a concentração de cafeína pode variar de 20 a $300 \mu\text{g.L}^{-1}$ já em esgotos tratados a concentração oscila entre 0,10 e $20 \mu\text{g.L}^{-1}$. Em rios, lagos e mares a concentração de cafeína é ainda menor comumente entre 0,003 e $1,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ (SAUVÉ *et al.*, 2012). Portanto, a concentração reportada no presente estudo esteve coerente com os dados da bibliografia visto que não ultrapassou o limite de $1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Devido aos resultados abaixo do limite de quantificação, a cafeína não apresentou forte correlação significativa com a concentração de coliformes termotolerantes supracitada. Evidenciando que de maneira geral a influência do lançamento de efluentes domésticos ao longo do rio é baixa e a presença de coliformes as vezes superior a legislação vigente pode ser atribuída a carga orgânica alóctone natural do rio.

Vale ressaltar que a boa capacidade de autodepuração do rio Pirai também pode ter influenciado no resultado baixo.

7 ANÁLISE INTEGRADA

A análise integrada tem como objetivo um tratamento dos resultados de forma concomitante para melhor visualização da qualidade da água em cada ponto monitorado. Para tal, foram aplicados índices de qualidade existente na bibliografia além de testes estatísticos e análises como a PCA (análise de componentes principais).

Branco, (1999) destacou que a relação entre determinados parâmetros é capaz de refletir, direta ou indiretamente, a presença efetiva ou potencial de algumas substâncias ou microrganismos que possam comprometer a qualidade da água em relação à sua estética e à sua salubridade. A análise conjunta de parâmetros resulta em índices, no presente monitoramento foram calculados o Índice de Estado Trófico (IET), Índice de Qualidade Ambiental (IQA) e o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE).

O IET baseia-se no nível de enriquecimento orgânico do meio, indicando a mudança do grau de trofia do ambiente, o mesmo pode ser obtido a partir dos valores de transparência, fósforo e/ou clorofila-a. O índice criado por Carlson (1977) foi adaptado por Lamparelli (2004) para emprego em ambientes lóticos tropicais. Destaca-se que é comum a não utilização da transparência, posto que o parâmetro pode sofrer modificação por outros aspectos que não eutrofização. O resultado mais preciso usa a média aritmética entre o fósforo e clorofila-a, entretanto, pode ser utilizado somente um dos parâmetros, no caso do presente estudo foram considerados os valores de fósforo total. Chapman & Kimstach (1992) salientaram que a eutrofização do ambiente relaciona-se com valores elevados de fósforo total e coliformes termotolerantes, pois representam um aumento das concentrações de matéria orgânica e nutrientes no ambiente.

Todas as amostras apresentaram índice de ultraoligotrofia (46) visto que não foram quantificados concentrações de fósforo total acima do LQ em nenhuma amostra (Tabela 7-1).

Os resultados supracitados foram coerentes com os obtidos no monitoramento do rio Pirai realizado nos anos de 2011 e 2012 o qual o rio também foi classificado entre mesotrófico e ultraoligotrófico. Vale ressaltar que resultados abaixo de 47 são considerados ambientes ultraoligotróficos, entre 47 e 52 ambientes oligotróficos, 52 e 59 mesotróficos, 59 e 63 eutróficos, 63 a 67 supereutróficos e maiores que 67 hipereutróficos.

Tabela 7-1: Índice de Estado Trófico (IET) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	CAMPANHAS		
	ABRIL/16	MAIO/16	JUNHO/16
P1	46	46	46
P2	46	46	46
P3	46	46	46
P4	46	46	46
P5	46	46	46
PC	46	46	46

90

O Índice de Qualidade da Água (IQA), obtido a partir de um conjunto de parâmetros (oxigênio, coliformes, pH, DBO, nitrato, fosfato, temperatura, turbidez e sólidos totais) variou de 56 a 94, ou seja, de “Boa” a “Ótima”. No trimestre estudado, 50 % (9 amostras) foram classificadas como índice “Ótima”, e 50 % (9 amostra) com índice “Boa”.

O IQA de 56 classificado como “Boa” foi referente estação de coleta P2 no mês de mai/16. Sua classificação inferior as demais foi atribuída a alta colimetria descrita anteriormente ($16.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$). O IQA máximo foi obtido no ponto PC na campanha de abr/16 atribuído a baixa concentração de coliformes fecais conforme descrito anteriormente. Ao contrário de alguns parâmetros supracitados não ficou claro tendências ao longo do rio de decréscimo ou acréscimo no valor do IQA, ou seja, a variação dos fatores ocorreu de acordo com os impactos no seu entorno conforme descrito no P2 e as características de cada ponto como baixa vazão e difícil renovação de água conforme descrito no P5.

No geral, a média dos resultados reportados no trimestre avaliado foi de 76 ± 12 , ou seja, “Boa”. O ponto PC apresentou a maior média com 92 ± 1 (“Ótima”) enquanto o P5 apresentou a menor média com 63 ± 5 (“Boa”). Os resultados são coerentes visto que P5 ao

longo do estudo apresentou a maior turbidez média e maior demanda química de oxigênio. Em contrapartida o PC apresentou as menores médias e um ambiente de qualidade superior aos demais corroborando o fato de ser um ponto controle. Vale ressaltar que a segunda menor média foi referente a estação P2 atribuído a alta colimetria além de ser o ponto mais crítico devido a proximidade com o meio urbano de Lídice e com os impactos supracitados como descarga de efluentes domésticos e resíduos sólidos.

Em relação ao monitoramento do rio Pirai realizado nos anos de 2011 e 2012 os resultados foram similares visto que em média o índice de qualidade da água fora classificado como “Bom” em torno de 68 (SEA PROJECTS, 2013).

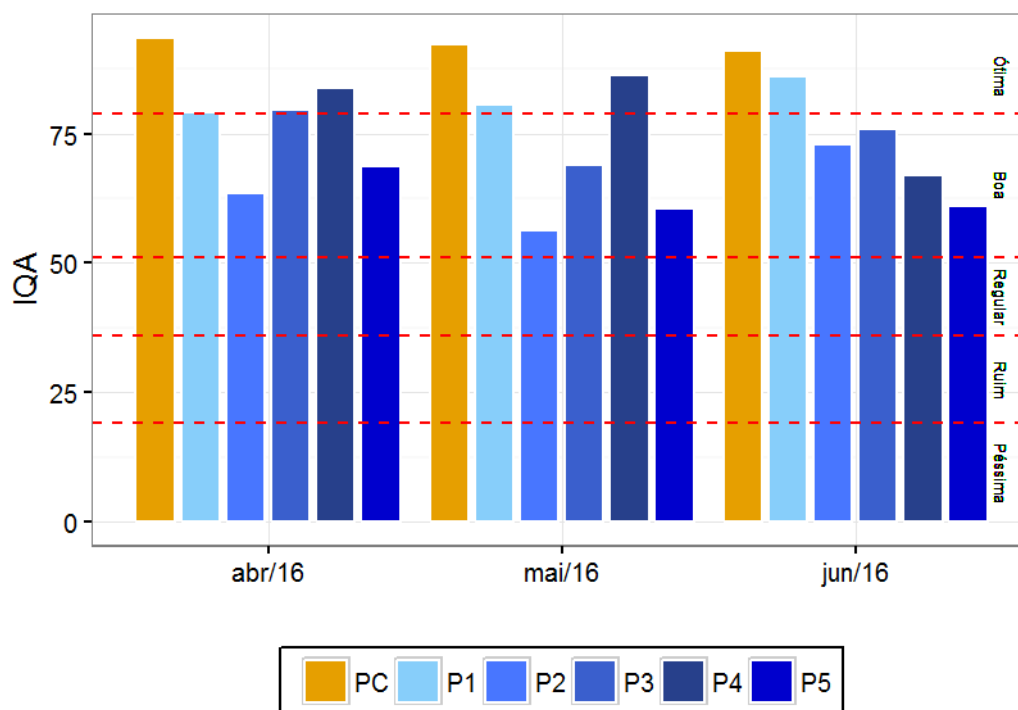


Figura 7-1: Índice de Qualidade da Água (IQA) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação ao índice de qualidade da água ao longo do trimestre foi observado que os resultados foram semelhantes. Apesar das diferenças na pluviosidade não foram reveladas

diferenças estatísticas significativas (*Kruskal-Wallis* – $p=0,895$). O mês de mai/16 apresentou a menor média com 74 ± 14 seguido do mês de jun/16 com 76 ± 11 e então o mês de abr/16 com 78 ± 11 - Figura 7-2.

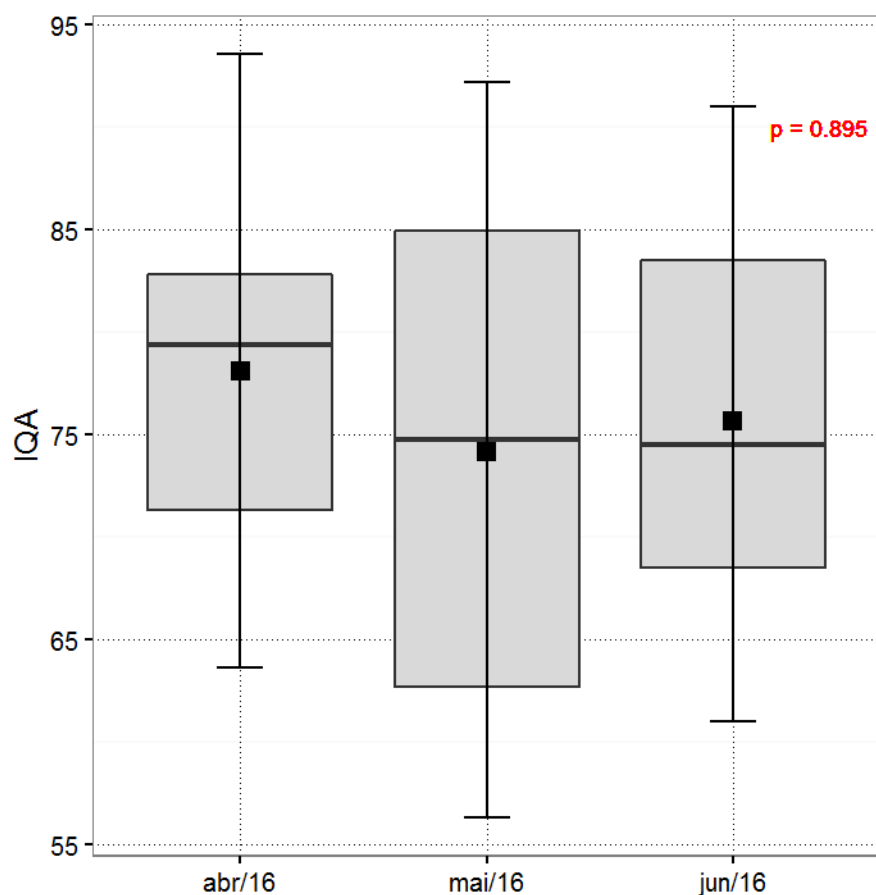


Figura 7-2: *Box-plot* do índice de Qualidade da Água (IQA) da água entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos para o índice empregado (IQA) os mesmos são apresentados sob a forma de média no mapa da Figura 7-3. As médias do atual trimestre foram: 92 em PC (ÓTIMA), 82 em P1 (ÓTIMA), 64 em P2 (BOA), 75 em P3 (BOA), 79 em P4 (BOA) e 63 em P5 (BOA).

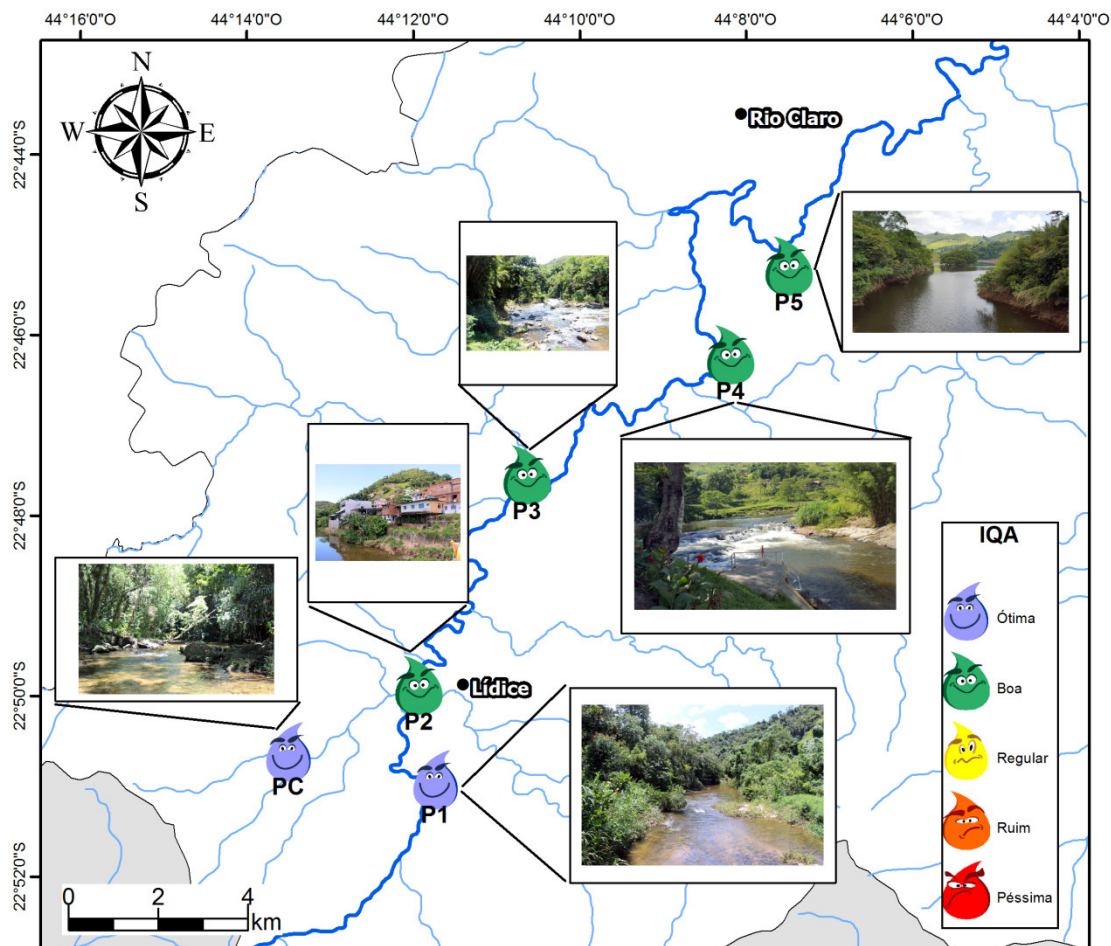


Figura 7-3: Mapa de distribuição do índice de qualidade da água (IQA) médio nas campanhas de abril a junho de 2016.

Além dos indicadores supracitados também foi calculado o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) a partir de nove parâmetros: sólidos dissolvidos totais, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrato e nitrogênio amoniacal. Vale ressaltar que apenas estes nove parâmetros foram considerados visto que são os únicos analisados no presente projeto com limites preconizados na Resolução CONAMA 357/05.

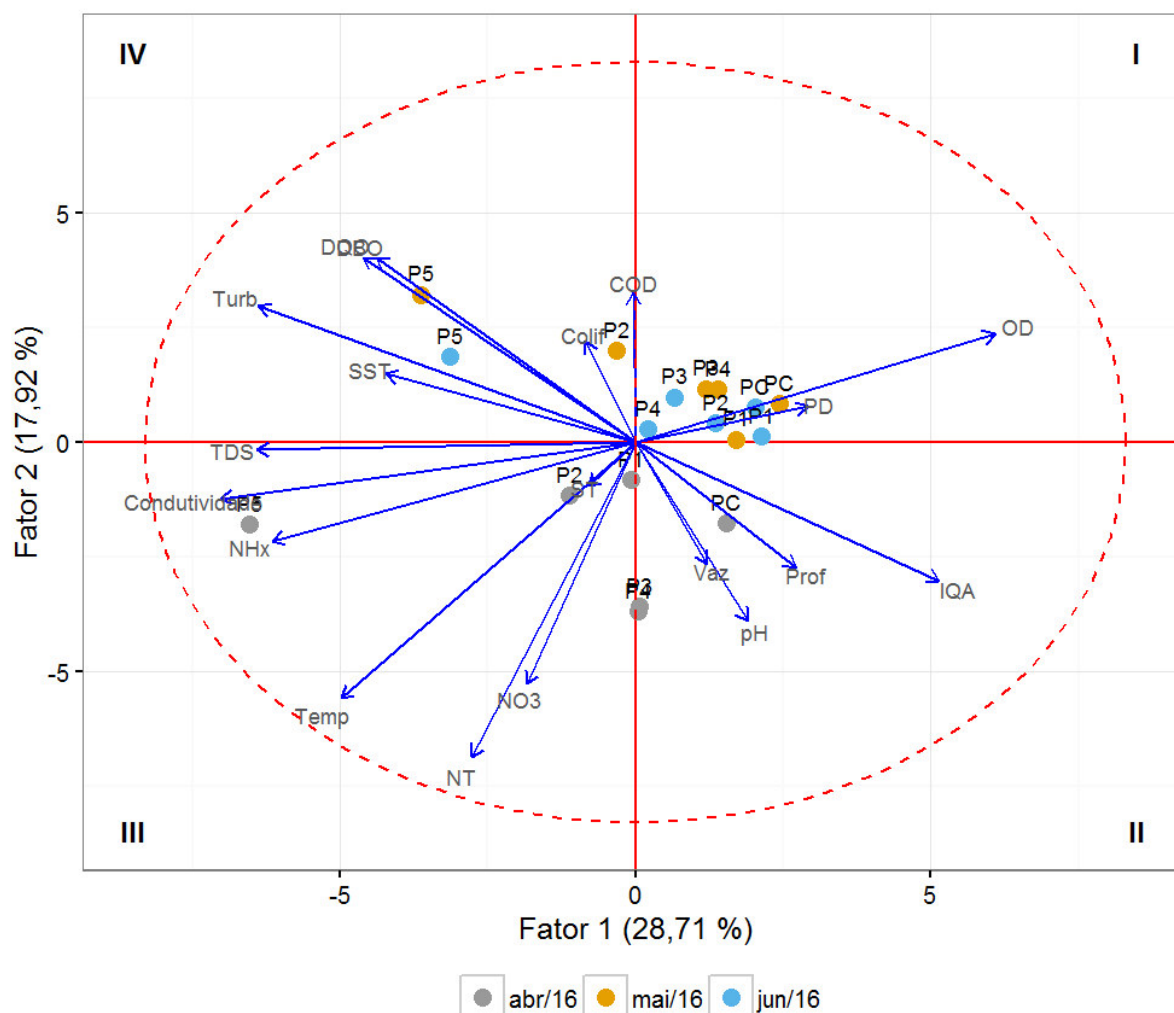
Entre os parâmetros descritos no parágrafo anterior apenas três com um total de vinte e seis amostras apresentaram desconformidades com a legislação vigente. Através do cálculo do ICE foi obtido o valor de 95 para o presente trimestre. Vale ressaltar que para um cálculo mais confiável é indicado um mínimo de quatro campanhas e quatro parâmetros (AMARO, 2009), portanto, as análises sob perspectiva mensal e espacial (estações de coleta) não foram realizadas.

O índice de 95 indica uma qualidade de água “Excelente” segundo *Canadian Council of Ministers of the Environment: Water Quality Guidelines*. Este índice sugere um ecossistema aquático estável e protegido com condições semelhantes aos níveis naturais evidenciando pouco ou até mesmo ausência de impactos antrópicos. Vale destacar que essa classificação só é obtida caso todas as medidas estiverem dentro dos mesmos padrões durante todo o tempo de estudo (AMARO, 2009).

Em relação a classificação proposta pela Agência Nacional das Águas o índice de 95 é considerado “Conforme”. Em um estudo realizado no rio com forte influência de lançamentos de efluentes domésticos (Piracicaba-SP) o ICE obtido foi em torno 40 (AMARO, 2009).

Com o intuito de avaliar a distribuição das variáveis em conjunto com as amostragens realizadas no trimestre avaliado, foi realizada a análise multivariada de ordenação, a análise de componentes principais (PCA). A análise foi realizada com base nos resultados de temperatura (Temp), sólidos dissolvidos totais (TDS), condutividade (Cond), pH, profundidade (Prof), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb), salinidade (Sal), vazão (Vaz), sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST), nitrogênio amoniacal (NHx), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (NT), carbono orgânico dissolvido (COD), coliformes termotolerantes (Colif), nitrato (NO₃), fósforo dissolvido (PD) e índice de qualidade ambiental (IQA). A PCA é apresentada como o plano entre dois fatores gerados durante a análise. Geralmente são utilizados os fatores 1 (eixo x) e 2 (eixo y) por apresentarem o maior percentual de explicação da variância dos resultados obtidos. (Figura 7-4). A Análise de Componentes Principais apresentou explicação total de

46,63 %, e a maior parte da variação foi explicada pelo eixo 1 de 28,71 %, enquanto que o eixo 2 teve explicação de 17,92 %.



95

Figura 7-4: Análise de componentes principais (PCA) das campanhas entre abril e junho de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

A partir do posicionamento das amostras no plano da PCA foi possível notar a separação principalmente por campanha. No quadrante II e III estão localizadas as amostras referentes a campanha de abr/16, portanto, positivamente correlacionadas com pH, condutividade, compostos nitrogenados (nitrato, nitrogênio total e nitrogênio total) e

temperatura, em contrapartida essas estão negativamente correlacionadas com COD, DBO, DQO e colimetria.

As amostras referentes a estação P5 foram negativamente correlacionadas com o fator 2 sendo localizadas nos quadrantes III e IV. Essas amostras apresentaram correlação positiva com amônia, sólidos suspensos totais, turbidez, TDS, DBO e DQO. Em contrapartida o P5 está correlacionado negativamente com o OD, IQA e profundidade. Corroborando assim o descrito anteriormente que a estação de coleta P5 possui dados atípicos como acúmulo de matéria orgânica e alta turbidez devido a baixa profundidade e renovação das águas prejudicada devido ao fluxo lântico neste trecho.

As amostras localizadas nos quadrante I foram predominantemente referentes a campanhas de mai/16 e jun/16 que apresentaram correlação positiva com o fator 1, ou seja, OD e IQA. Em contrapartida as mesmas amostras apresentaram correlação negativa com temperatura, compostos nitrogenados (NH_x, NO₃ e NT), turbidez e sólidos (SST e TDS). Vale destacar que o agrupamento das amostras referente no quadrante I evidencia a estabilidade e a boa qualidade ambiental descrito ao longo do presente relatório.

96

Pode-se concluir que as variações nas características do rio ao longo do trimestre foram devido a fatores recorrentes da sazonalidade como a temperatura e a chuva.



8 COMPARAÇÃO GERAL DAS CAMPANHAS

No geral as campanhas do presente trimestre de monitoramento apresentaram resultados homogêneos. As diferenças observadas foram atribuídas ao carreamento alóctone através das chuvas, logo, os meses com maior intensidade pluviométrica como abr/16 e jun/16 apresentaram diferenças em alguns parâmetros em relação a campanha de mai/16.

O rio Pirai apresentou um elevado grau de autodepuração ao longo do trimestre. Alguns impactos como a elevada colimetria registrada em P2 em mai/16 não foi observada nas estações a jusante, portanto, é provável que o rio seja capaz de depurar o impacto causado pelo distrito de Lídice, como lançamentos de efluentes domésticos conforme registrado em campo.

Ao compararmos todas as amostras do presente trimestre em relação ao cumprimento da legislação CONAMA N° 357/05 verificamos que os parâmetros que apresentaram desconformidade foram DBO, coliformes termotolerantes e oxigênio dissolvido. No ANEXO I são apresentados mapas informando o comportamento de cada parâmetro, que possui limite estabelecido pela legislação, em cada estação de coleta nos meses de abr/16, mai/16 e jun/16.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O segundo trimestre de monitoramento do rio Pirai atendeu todas as especificações técnicas solicitadas realizados nos meses de abr/16 a jun/16.

A avaliação das características da água ao longo do rio apontaram para uma qualidade satisfatória sem impactos expressivos do entorno. Três parâmetros estiveram em desconformidade com a legislação vigente, contudo, apenas a concentração de coliformes termotolerantes e a demanda química de oxigênio apresentaram dados expressivos e necessitam de maior atenção ao longo do monitoramento. Em contrapartida a concentração de cafeína não foi detectada em nenhuma amostra durante os três meses de coleta sugerindo um impacto pouco expressivo de descartes de efluentes domésticos. Esse fato contribui para manutenção da boa qualidade ao longo do rio Pirai. Portanto, os valores expressivos supracitados foram atribuídos ao carreamento da matéria orgânica de origem alóctone através de eventos pluviométricos.

98

Em relação ao índice de estado trófico (IET) o rio Pirai foi classificado como ultraoligotrófico, esta classificação remete à baixas concentrações de nutrientes no trecho amostrado. Enquanto o Índice de Qualidade de água (IQA), as águas do trecho amostrado foram classificadas entre a qualidade “Boa” e “Ótima”. Em média a qualidade obtida foi de 76, ou seja, qualidade “Boa”. Assim os resultados obtidos corroboraram com o descrito anteriormente em que a qualidade do rio Pirai foi considerada satisfatória.



10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, V. M. DE C.; NETO, J. A. B. & RANGEL, C. M. Eutrophication and hypoxia in four streams discharging in Guanabara Bay, RJ, Brazil, a case study. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 8, p. 1915–1919, 2011.

AMARO, C. A. Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. 2009. 224 f. Univesidade de São Paulo, 2009.

APHA; AWWA & WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th. ed. [S.l: s.n.], 1999.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2^a. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2002.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E.; CARVALHO, G. R. M. & SILVA, C. V. Coliformes como indicadores da qualidade da água: Alcance e limitações. 2000, Porto Alegre: [s.n.], 2000.

BAUMGARTE, M. DA G. Z. & POZZA, S. A. Qualidade de Águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental. FURG ed. Rio Grande: [s.n.], 2001.

BRANCO, S. M. Água, Meio Ambiente e saúde. Águas Doces no Brasil. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

BRIGANTE, J. & ESPINDOLA, E. L. G. Limnologia fluvial – Um estudo no Rio Mogi-Guaçu. São Carlos. 1. ed. São Carlos: Rima, 2003.

CAPONE, D. G.; BRONK, D. A.; MULHOLLAND, M. R. & CARPENTER, E. J. Nitrogen in the Marine Environment. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2008.

CAREY, C. M.; LEE, H. & TREVORS, J. T. Biology, persistence and detection of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* oocyst. *Water Research*, v. 38, n. 4, p. 818–862, 2004.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 361–369, 1977.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

CETESB. Relatório da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2011. . [S.l: s.n.], 2012a.

CETESB. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo. São Paulo: [s.n.], p. 1–36. 2012b.

CHAPMAN, D. & KIMSTACH, V. The selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. (Org.). . *Water Quality Assessments*. 1^a. ed. London: Chapman & Hall, p. 51–120. 1992.

100 CRAUN, G. F.; HUBBS, S. A.; FROST, F.; CALDERON, R. L. & VIA, S. H. Waterborne outbreaks of cryptosporidiosis. *American Water Works Association.*, v. 90, n. 9, p. 81–91, 1998.

CUNHA, C. DE L. DA N.; ROSMAN, P. C. C. & MONTEIRO, T. C. DO N. Avaliação da Poluição por Esgoto Sanitário na Baía de Sepetiba Usando Modelagem Ambiental. 2002, Rio de Janeiro: [s.n.], 2002. p. 8.

EPA. *Parameters of Water Quality: Interpretation and Standards*. Wexford: [s.n.], 2001.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 3^a. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011a.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2011b.

FAYER, R.; MORGAN, U. & UPTON, S. J. Epidemiology of *Cryptosporidium*: Transmission, detection and identification. *International Journal for Parasitology*, v. 30, n. 12-13, p. 1305–1322, 2000.



FERREIRA, W. A. Avaliação preliminar de indicadores de qualidade de água da Bacia Hidrográfica formadora do Rio Guandu. 2007. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.

FILHO, D. T.; ANTUNES, J. C. O. & VETTORAZZI, J. S. Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim: experiências para a gestão de recursos hídricos. Rio de Janeiro: INEA, 2012.

GEISSLER, K.; MANAFI, M.; AMOROS, I. & ALONSO, J. L. Quantitative determination of total coliforms and *Escherichia coli* in marine waters with chromogenic and fluorogenic media. *Journal of Applied Microbiology*, v. 88, n. 2, p. 280–285, 2000.

GEOPROJETOS. Relatório do Projeto Básico AHE Lajes. . [S.l: s.n.], 2007. Disponível em: <http://www.light.com.br/web/institucional/projetos_geracao/teprojeto_ahelajes.asp?mid=868794277226257227#> .

GOÑI, M. A.; CATHEY, M. W.; KIM, Y. H. & VOULGARIS, G. Fluxes and sources of suspended organic matter in an estuarine turbidity maximum region during low discharge conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 63 (2005) , 2005.

HORNE, A. J. & GOLDMAN, C. R. *Limnology*. 2. ed. New York: McGraw Hill, 1994.

IBGE. Portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 1 ago. 2014.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 235 f. Universidade de São Paulo, 2004.

LEAL, M. S. *Gestão ambiental de recursos hídricos: princípios e aplicações*. 1998.

LENZI, E. .; FAVERO, L. O. B. . & LUCHESE, E. B. *Introdução à Química da Água: ciência, vida e sobrevivência*. 1. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009.

LIBES, S. Introduction to Marine Biogeochemistry. [S.l.]: Elsevier, 2009.

LOBO, M. L.; XIAO, L.; ANTUNES, F. & MATOS, O. Occurrence of Cryptosporidium and Giardia genotypes and subtypes in raw and treated water in Portugal. Letters in Applied Microbiology, v. 48, n. 6, p. 732–737, 2009.

MARINS, R. V.; PAULA-FILHO, F. J. & ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. Química Nova, v. 30, n. 5, p. 1208–1214, out. 2007.

OLIVEIRA, V. P. DE. Competição por Nutrientes e seus Efeitos no Metabolismo de Ulva spp. 2013. 208 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

ORTEGA, Y. R. & ADAM, R. D. Giardia: overview and update. Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America, v. 25, n. 3, p. 545–549, set. 1997.

102

PIVELI, R. P. & KATO, M. T. Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos. 01. ed. São Paulo: ABES, 2005.

PRADO, R. B. Análise espacial e temporal das alterações na qualidade da água do reservatório de Barra Bonita (SP) em função da dinâmica do uso da terra. 2004. 172 f. Universidade de São Paulo, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO. História do Município. Disponível em: <<http://rioclaro.rj.gov.br/pagina-exemplo>>. Acesso em: 27 jul. 2016.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. . Vienna: [s.n.], 2014

SANT'ANA, A. S.; SILVA, S. C. F. L.; FARANI, J. I. O.; AMARAL, C. H. R. & MACEDO, V. F. Qualidade microbiológica de águas minerais. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 23, n. Supl, p. 190–194, 2003.



SANTIAGO, M. M. F.; SILVA, C. M. S. V.; FRISCHKORN, H.; FILHO, J. M. & VERÍSSIMO, L. S. Hidrogeoquímica da Bacia Sedimentar do Cariri. . Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. , 2004

SAUVÉ, S.; ABOULFADL, K.; DORNER, S.; PAYMENT, P. & DESCHAMPS, G. Fecal coliforms , caffeine and carbamazepine in stormwater collection systems in a large urban area. v. 86, p. 118–123, 2012.

SCHORMÜLLER, J. Handbuch der Lebensmittelchemie. New York: Spring-Verlag, 1970.

SEA PROJECTS. Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Piraí à Montante do Túnel de Tócos, na Região Hidrográfica II - Guandu, em conformidade com o plano da bacia. . Rio de Janeiro: [s.n.], 2013.

SODRÉ, F. C. & FRANCO, R. M. B. Novos aspectos sobre um tema bem conhecido: Cryptosporidium. Rev. Brasileira de Análises clínicas, v. 33, n. 2, p. 97–106, 2001.

THOMPSON, R. C. A.; HOPKINS, R. M. & HOMAN, W. L. Nomenclature and genetic groupings of giardia infecting mammals. Parasitology Today, v. 16, n. 5, p. 210–213, 2000.

TUBBS, D.; FREIRE, R. B. & YOSHINAGA, S. Utilização da cafeína como indicador de contaminação das águas subterrâneas por esgotos domésticos no bairro de piranema - municípios de Seropédica e Itaguaí/RJ. 2004, Rio de Janeiro: [s.n.], 2004. p. 1–9.

TUNDISI, J. G. & TUNDISI, T. M. Limnologia. São Paulo: Oficina dos textos, 2008.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M. & SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés, Botucatu - SP. Eclética Química, v. 22, p. 49–66, 1997.

VALENTIN, J. L. Ecologia Numérica - Uma introdução a Análise Multivariada de

dados Ecológicos. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

VIEIRA, S. Introdução à bioestatística. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014.

WETZEL, R. G. & LIKENS, G. E. Limnological Analyses. 3. ed. New York: Springer-Verlag, 2000.

XIAO, L. & FAYER, R. Molecular characterisation of species and genotypes of Cryptosporidium and Giardia and assessment of zoonotic transmission. International Journal for Parasitology, v. 38, n. 11, p. 1239–1255, 2008.



**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
DO RIO PIRAÍ À MONTANTE DE TÓCOS, NA
REGIÃO HIDROGRÁFICA II - GUANDU**



ANEXOS



ANEXO I – Mapas indicando parâmetros acima do esperado



MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
DO RIO PIRAÍ À MONTANTE DE TÓCOS, NA
REGIÃO HIDROGRÁFICA II - GUANDU



ANEXO II – LAUDOS LABORATORIAIS

Abril a Junho 2016

109