



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:
3	Junho/16	Qualidade da água – Janeiro/16 a Março/16	Rodrigo Mazza Guimarães	Bruno Peçanha A. Gonçalves
APROVAÇÃO:		LIBERAÇÃO: Comitê Guandu		APROVAÇÃO:
Bruno Peçanha Alonso Gonçalves		<input type="checkbox"/> Liberado com comentários <input type="checkbox"/> Liberado sem comentários <input type="checkbox"/> Devolvido para atender comentários		FISCALIZAÇÃO
DATA: ____/____/____				DATA: ____/____/____



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>13</b>
	2.1 Condições e padrões de qualidade de água .....	14
	2.1.1 Parâmetros físicos, químicos e biológicos .....	14
	2.1.1.1 Transparência .....	15
	2.1.1.2 Temperatura da água .....	15
	2.1.1.3 Oxigênio dissolvido (OD) .....	16
2	2.1.1.4 Potencial hidrogeniônico (pH) .....	16
	2.1.1.5 Sólidos totais (ST), Sólidos suspensos totais (SST) e Sólidos dissolvidos Totais (SDT) .....	17
	2.1.1.6 Condutividade .....	17
	2.1.1.7 Turbidez .....	18
	2.1.1.8 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO) .. .....	18
	2.1.1.9 Cafeína .....	19
	2.1.2 Macronutrientes .....	19
	2.1.2.1 Carbono orgânico dissolvido (COD) .....	20



2.1.2.2	Série nitrogenada e fosforada.....	21
2.1.3	Microrganismos .....	23
2.1.3.1	Coliformes termotolerantes.....	23
2.1.3.2	Cistos de <i>Giardia</i> e Oocisto de <i>Cryptosporidium</i> .....	23
<b>3</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>MATERAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
4.1	Área de Estudo .....	24
4.2	Caracterização das estações de amostragens .....	27
4.2.1	Ponto Controle (PC).....	27
4.2.2	Ponto1 (P1) .....	28
4.2.3	Ponto 2 (P2) .....	31
4.2.4	Ponto 3 (P3) .....	32
4.2.5	Ponto 4 (P4) .....	33
4.2.6	Ponto 5 (P5) .....	34
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
6.1	Pluviosidade.....	44
6.2	Vazão .....	48



6.3	Temperatura da água.....	50
6.4	Oxigênio dissolvido (OD).....	52
6.5	Potencial hidrogeniônico (pH).....	55
6.6	Condutividade.....	57
6.7	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).....	59
6.8	Sólidos Suspensos Totais (SST).....	61
6.9	Sólidos Totais (ST).....	63
6.10	Turbidez.....	65
6.11	Transparência.....	67
6.12	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	69
6.13	Demanda química de oxigênio (DQO).....	72
6.14	Carbono orgânico dissolvido (COD).....	75
6.15	Compostos nitrogenados.....	76
6.16	Fósforo.....	83
6.17	Coliformes termotolerantes.....	83
6.18	Cafeína.....	85
<b>7</b>	<b>ANÁLISE INTEGRADA.....</b>	<b>86</b>

4



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



<b>8</b>	<b>COMPARAÇÃO GERAL DAS CAMPANHAS.....</b>	<b>94</b>
<b>9</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>95</b>
<b>10</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Distribuição das áreas rurais do município de Rio Claro – RJ no ano de 2006....	26
Figura 4-2: Pc – A – Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Sambaiba; B – Vista a jusante do ponto de coleta ; C – Vista geral do Córrego da cachoeira da floresta. ..	28
Figura 4-3: P1 – A – Vista a montante do ponto de coleta em P1; B – Fundo de pedras predominante; C – Vista a jusante da amostragem em P1.....	30
Figura 4-4: Mapa de localização das granjas de Frango Rica.....	31
Figura 4-5: P2 – A – Vista a jusante 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. ....	32
Figura 4-6: A – Vista a montante do P3; B – Vista a jusante do P3. C – Presença de bovinos na margem; D – Ponte sobre o P3.....	33
Figura 4-7: 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.....	34
Figura 4-8: A –Mapa de localização do ponto P5; B – Vista a montante do P5.....	35
Figura 5-1: A – Coleta da amostra realiza com garrafa de niskin; B - registro em planilha de campo dos dados medidos <i>in situ</i> ; C – Fluxômetro utilizado para medição da vazão; D – Procedimento de medição da vazão através do molinete.....	37
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: Diferença das características do Rio Pirai no P1 nos meses de janeiro e março de 2016 no ponto P1. ....	48
Figura 6-5: Vazão ( $m^3.s^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. ....	49
Figura 6-6: <i>Box-plot</i> da vazão ( $m^3.s^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. ....	50
Figura 6-7: Temperatura ( $^{\circ}C$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. ....	51
Figura 6-8: <i>Box-plot</i> da temperatura ( $^{\circ}C$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. ....	52
Figura 6-9: Oxigênio dissolvido ( $mg.L^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. As linhas vermelhas tracejadas representam os limites para águas doces classe 1 da Resolução CONAMA 357/05. ....	53
Figura 6-10: <i>Box-plot</i> da concentração de oxigênio dissolvido ( $mg.L^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. ....	54
Figura 6-11: Potencial hidrogeniônico da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. As linhas vermelhas tracejadas representam os limites para águas doce classe 1 da Resolução CONAMA 357/05. ....	56
Figura 6-12: <i>Box-plot</i> do potencial hidrogeniônico da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. ....	57
Figura 6-13: Condutividade ( $mS.cm^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. ....	58
Figura 6-14: <i>Box-plot</i> da condutividade ( $mS.cm^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. ....	59

Figura 6-15: Sólidos dissolvidos totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	60
Figura 6-16: <i>Box-plot</i> da concentração de sólidos dissolvidos totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	61
Figura 6-17: Sólidos suspensos totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	62
Figura 6-18: <i>Box-plot</i> da concentração de sólidos suspensos totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	63
Figura 6-19: Sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	64
Figura 6-20: <i>Box-plot</i> da concentração de sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	65
8 Figura 6-21: Turbidez (UNT) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. As linhas vermelhas tracejadas representam os limites para águas doce classe 1 da Resolução CONAMA 357/05. ....	66
Figura 6-22: <i>Box-plot</i> da turbidez (UNT) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	67
Figura 6-23: Transparência (linhas) e profundidade (barras) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	68
Figura 6-24: <i>Box-plot</i> da transparência da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	69
Figura 6-25: Demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. As linhas vermelhas tracejadas representam os limites para águas doces classe 1 da Resolução CONAMA 357/05. ....	71





Figura 6-26: <i>Box-plot</i> da demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	72
Figura 6-27: Demanda química de oxigênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	74
Figura 6-28: <i>Box-plot</i> da demanda química de oxigênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	75
Figura 6-29: Carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	75
Figura 6-30: <i>Box-plot</i> da concentração de carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	76
Figura 6-31: Nitrato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	77
Figura 6-32: <i>Box-plot</i> da concentração de nitrato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	78
Figura 6-33: Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	80
Figura 6-34: <i>Box-plot</i> da concentração de nitrogênio amoniacal ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	80
Figura 6-35: Nitrogênio total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	81
Figura 6-36: <i>Box-plot</i> da concentração de nitrogênio total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	82
Figura 6-37: Coliformes termotolerantes ( $\text{NMP.100mL}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	84



Figura 6-38: <i>Box-plot</i> da concentração de coliformes termotolerantes (NMP.100mL <sup>-1</sup> ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.....	85
Figura 7-1: Índice de Qualidade da Água (IQA) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	89
Figura 7-2: <i>Box-plot</i> do índice de Qualidade da Água (IQA) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	90
Figura 7-3: Mapa de distribuição do índice de qualidade da água (IQA) médio nas campanhas de janeiro/16 a mar/16.....	91
Figura 7-4: Análise de componentes principais (PCA) das campanhas entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. ....	92



## INDICE DE TABELAS

Tabela 4-1: Coordenadas das estações amostrais no monitoramento da qualidade da água do rio Pirai à montante do túnel de Tócos. ....	27
Tabela 5-1: Horário de realização de amostragem nas campanhas de janeiro a março de 2016. ....	36
Tabela 5-2: Limites de quantificação e detecção dos equipamentos utilizados <i>in situ</i> . ....	37
Tabela 5-3: Variáveis do monitoramento da qualidade da água e respectivos métodos e limites analíticos (limite de quantificação – LQ). ....	38
Tabela 5-4: Limites de classe de trofia para os resultados de Índice de Estado Trófico (IET) (LAMPARELLI, 2004). ....	40
Tabela 5-5: Parâmetros e pesos relativos ao IQA. ....	41
Tabela 5-6: Limites de classificação do Índice de Qualidade da Água ....	41
Tabela 7-1: Índice de Estado Trófico (IET) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai. ....	87

## 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.

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 pela 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

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, 2011).

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 (Carr e Neary, 2008). 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.

## 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 climatológicos e hidrológicos, os quais são responsáveis por controlar os processos físicos, químicos e biológicos (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. N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) e metais traços (em forma dissolvida ou particulada) (ESTEVEES, 2011; 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).

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 termoeletricas. 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, 2011; 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, 2011). 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  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  ameaçam o funcionamento e a sobrevivência da comunidade biológica e abaixo de  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  podem levar à morte da maioria dos peixes devido a hipoxia/anoxia.

#### 2.1.1.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) 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, 2011).

#### 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<sup>-1</sup> para condutividade de águas naturais e até 1 mS.cm<sup>-1</sup> 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, 2011).

#### 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).

#### 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.

No geral os compostos denominados PPCPs (*Pharmaceuticals and Personal Care Products*) tem revelado relevância 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 (CARPENTER *et al.*, 1998). 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.

#### 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 CO<sub>2</sub> 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, 2011). 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, 2011; OLIVEIRA, 2013).

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 amônio) e nitrato.

O nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_x$ ) 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 ( $\text{NO}_3$ ) 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  $\text{mg.L}^{-1}$ , em águas muito poluídas pode chegar a 200  $\text{mg.L}^{-1}$  e em águas próximas a áreas com uso intenso de fertilizantes é possível verificar mais de 600  $\text{mg.L}^{-1}$ .

#### 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) (ESTEVEES, 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).

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, em Lídice, distrito de Rio Claro, 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 tocos ao longo do primeiro trimestre de 2016 (janeiro, fevereiro e março).

### 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 (sede), Getulândia, Passa Três, São João Marcos e Lídice (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO, 2011). O território atual do município corresponde a 841 km<sup>2</sup> e sua população residente é de 17.401 habitantes, sendo cerca de 79% de população urbana e 21% de população rural (IBGE, 2011).

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 (LIGHT, 2012). 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 13,5m<sup>3</sup>/s, ressaltando que ao longo do período ocorreram grandes oscilações (GEOPROJETOS, *op. cit.* 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).

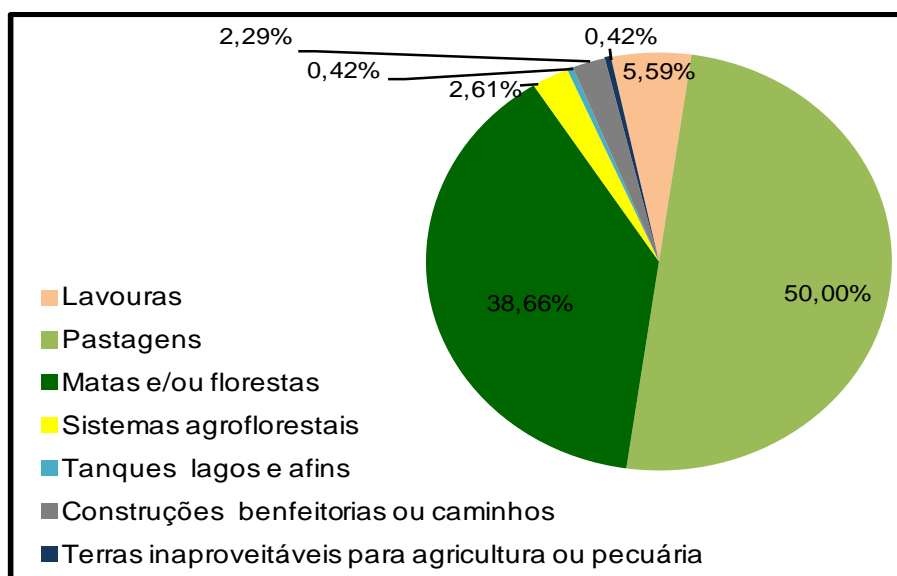


Figura 4-1: Distribuição das áreas rurais do município de Rio Claro – RJ no ano de 2006.

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 através da instalação grandes granjas RICA. Contudo, o efetivo de bovinos também é alto, justificando a grande ocupação do município com áreas de pastagem.

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 destinação de lixo (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 Simbaiba, 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 (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 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 Piraí, 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, no ANEXO 1 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 Piraí 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

### 4.2.1 Ponto Controle (PC)

O ponto controle está localizado dentro da RPPN Fazenda Sambaiba especificamente no córrego da cachoeira da floresta, afluente do Rio Piraí (Figura 4-2). 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.

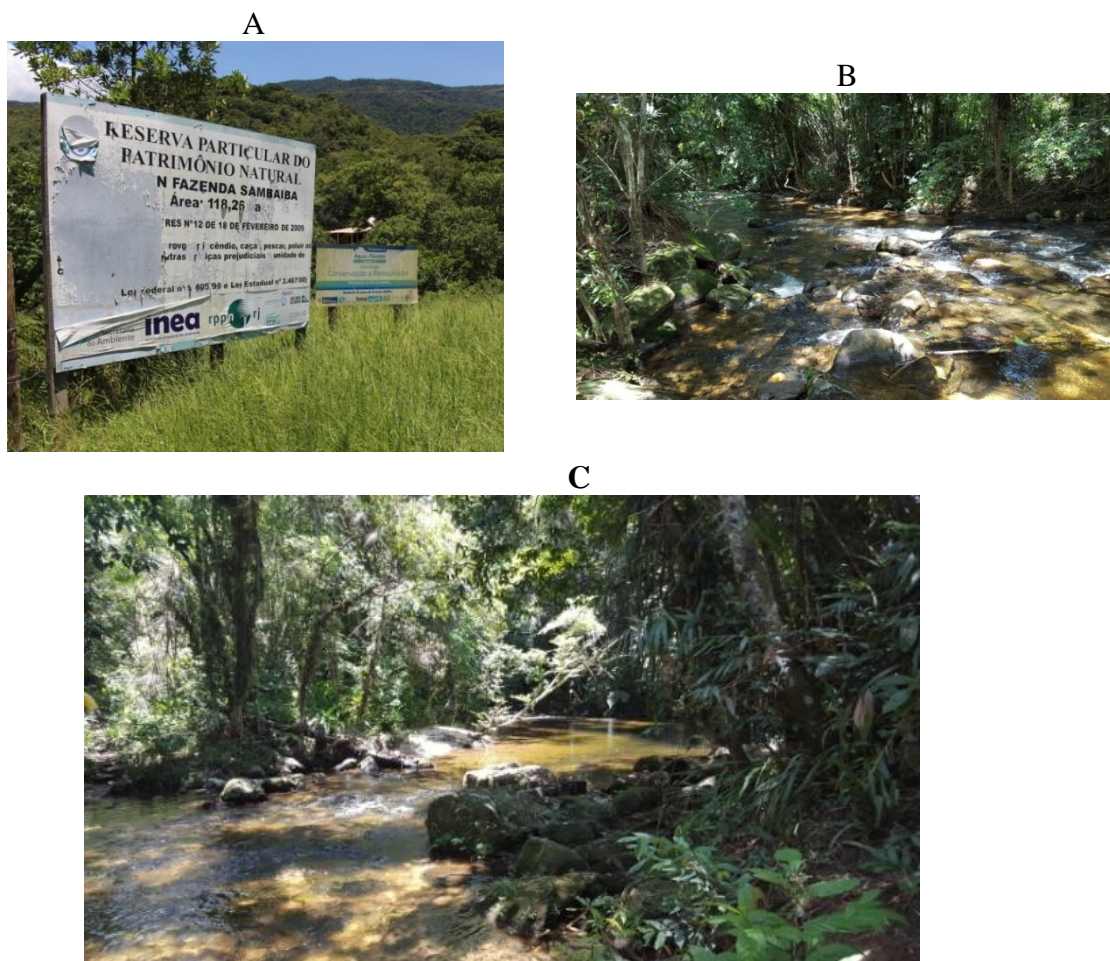


Figura 4-2: Pc – A – Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Sambaíba; B – Vista a jusante do ponto de coleta ; C – Vista geral do Córrego da cachoeira da floresta.

#### 4.2.2 Ponto1 (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



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



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 4-4). O rio passa próximo à estrada, porém trata-se de uma área pouca urbanizada com vegetação de porte baixo, médio (Figura 4-3).



A



B



C



Figura 4-3: P1 – A – Vista a montante do ponto de coleta em P1; B – Fundo de pedras predominante; C – Vista a jusante da amostragem em P1.

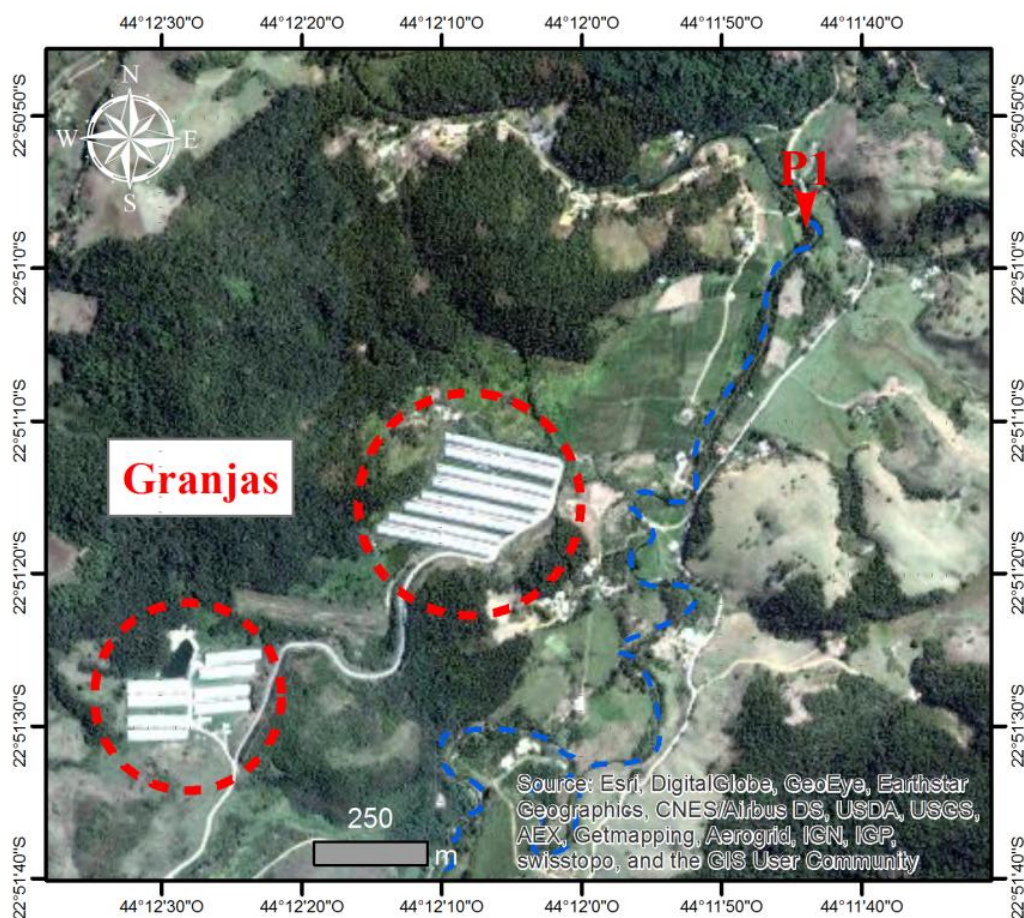


Figura 4-4: Mapa de localização das granjas de Frango Rica.

### 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 antrópico como o lançamento de efluentes domésticos não tratados e disposição irregular de resíduos sólidos na margem (**Figura 4-5**).



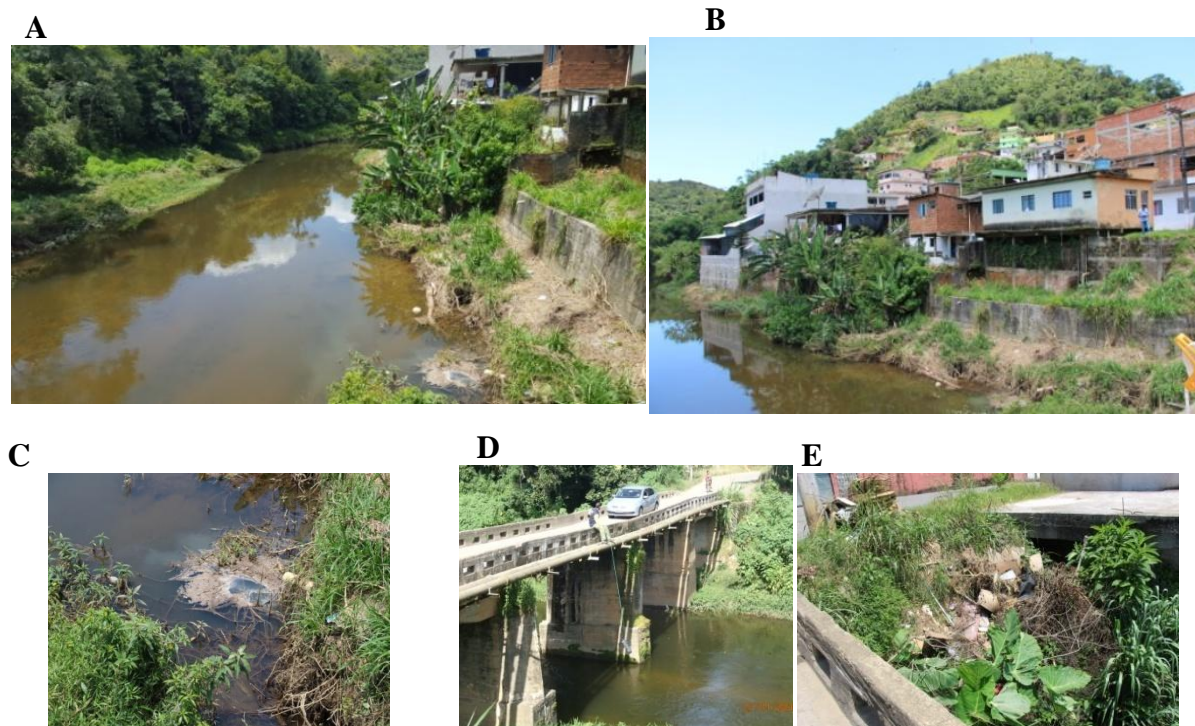


Figura 4-5: P2 – A – Vista a jusante do P2 ; B – Vista do distrito de Lídice a margem do Rio Pirai; C – Lançamento de efluentes domésticos *in natura*; D- Ponte sob o P2; E – Lançamento de resíduos sólidos nas margens do rio Pirai.

#### 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 4-6**). O rio neste trecho tem 21,0 m de largura e 2,10m 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 Pirai. 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 Pirai com o rio do Braço, afluente este de águas pouco antropizadas. A vegetação no entorno é composta predominantemente por pastagem com fundo de pedras.





Figura 4-6: A – Vista a montante do P3; B – Vista a jusante do P3. C – Presença de bovinos na margem; 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 4-7). 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.

A



B



C



D

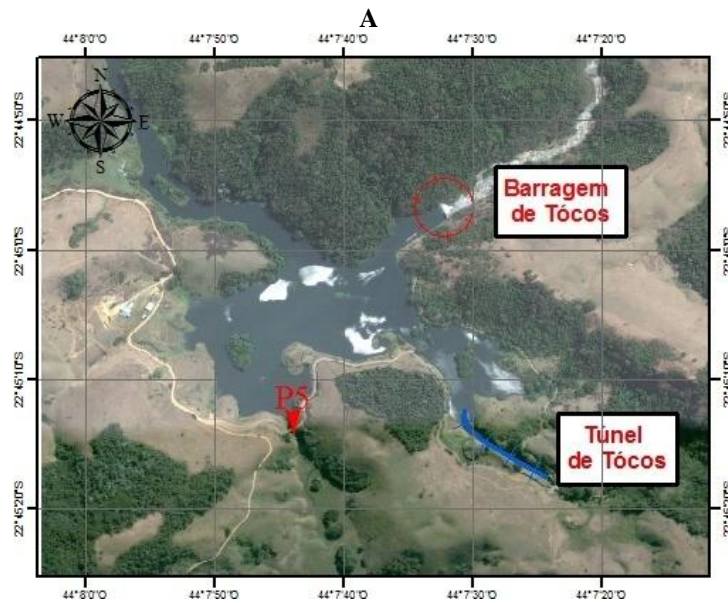


Figura 4-7: A – Posto de Gasolina Cascata, visto da estrada; B – Vista do rio Piraí a montante, com destaque para o declive do rio antes do ponto de amostragem; C e D – Lançamento de efluentes a montante do ponto de coleta.

#### 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 4-8). 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.





B



Figura 4-8: A –Mapa de localização do ponto P5; B – Vista a montante do P5.

## 5 METODOLOGIA

A primeira campanha de caracterização da qualidade de água do rio Piraí a montante do túnel de Tócos, foi realizada no dia 27 de janeiro, a segunda em 18 de fevereiro e a terceira campanha no dia 07 de março de 2016. Os horários de amostragem são apresentados na **Tabela 5-1**.

Tabela 5-1: Horário de realização de amostragem nas campanhas de janeiro a março de 2016.

CAMPANHAS	DIA DA SEMANA	HORÁRIOS	PONTOS					
			P1	P2	P3	P4	P5	PC
27/Janeiro/16	Quarta-feira	Hora Inicial	10:20	09:04	13:47	15:16	16:33	12:03
		Hora Final	11:00	10:04	14:30	16:00	17:30	13:00
18/Fevereiro/16	Quinta - feira	Hora Inicial	10:40	11:40	12:40	13:10	14:30	09:20
		Hora Final	11:20	12:30	13:30	14:00	15:20	10:20
07/Março/16	Segunda - feira	Hora Inicial	11:24	12:15	13:10	14:20	14:55	10:18
		Hora Final	12:30	13:00	14:00	14:30	15:20	11:00

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 MPD (*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 (Figura 5-1). 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*.



Figura 5-1: A – Coleta da amostra realiza com garrafa de niskin; B - registro em planilha de campo dos dados medidos *in situ*; C – Fluxômetro utilizado para medição da vazão; D – Procedimento de medição da vazão através do molinete.

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

PARÂMETROS	UNIDADE	FAIXA	PRECISÃO	RESOLUÇÃO
Oxigênio dissolvido	mg.L <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup>	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

Após as medições *in situ* dos parâmetros físico-químicos, amostras de água em cada estação foram coletadas utilizando uma garrafa de *Niskin* (5 L). 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 ( $\approx 4^\circ\text{C}$ ) 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**.

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.

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 <sup>-1</sup>
Nitrogênio total	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500-N	0,10	mg.L <sup>-1</sup>
Nitrogênio amoniacal	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500 NH <sub>3</sub> - F	0,01	mg.L <sup>-1</sup>
Nitrato	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,01	mg.L <sup>-1</sup>
Fósforo total	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500-P E	0,02	mg.L <sup>-1</sup>
Fósforo total solúvel	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 4500-P	0,02	mg.L <sup>-1</sup>
Demanda química de oxigênio	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 5220-D	10	mg.L <sup>-1</sup>
Demanda bioquímica de oxigênio	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 5210-B. - 5-Day BOD Test	1,00	mg.L <sup>-1</sup>
Carbono orgânico dissolvido	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 5310A e 5310 B	1,00	mg.L <sup>-1</sup>
Cafeína	SCHORMÜLLER, 1970	0,200	mg.L <sup>-1</sup>
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	MÉTODO ANALÍTICO	LQ	UNIDADE
Coliformes termotolerantes	SMEWW 21ª Ed. - Método(s): 9221E	1,8	NMP.100mL <sup>-1</sup>
Cistos de <i>Giardia</i>	USEPA – Método (s): 1623		NMP.100mL <sup>-1</sup>
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	USEPA – Método (s): 1623		NMP.100mL <sup>-1</sup>

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

\*\*USEPA-United States Environmental Protection Agency.



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 analógico 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 ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );

**a** = área da secção ( $\text{m}^2$ );

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

**n** = número de rotações do fluxômetro (rot).

$\Delta t$  = tempo de imersão do fluxômetro

Em cada ponto do rio analisado foi realizada as medidas de 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 1m 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”.

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).

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

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	$IET > 67$

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:

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

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;

**wi:** 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

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
-----------	------------

CATEGORIA	PONDERAÇÃO
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Fonte: (IQA) (CETESB).

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 % ( $p < 0,05$ ).

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 nível de significância ( $p$ ) indica que a correlação de *Pearson* ( $r$ ) é estatisticamente significativa quando apresentado valores menores do que 0,05 (95 %). O cálculo da correlação de *Pearson* foi realizada utilizando o programa R (R CORE TEAM, 2015).

Além dos testes descritos acima, foi realizada 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

**S<sup>2</sup>** = variância dos dados

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 primeiro trimestre (janeiro, fevereiro e março 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 realizar uma correlação com os parâmetros observados.

A pluviosidade mensal acumulada no trimestre de estudo variou de 274 mm (mar/16) a 367 mm (jan/16). O mês de fev/16 apresentou precipitação acumulada de 336 mm (Figura 6-1).

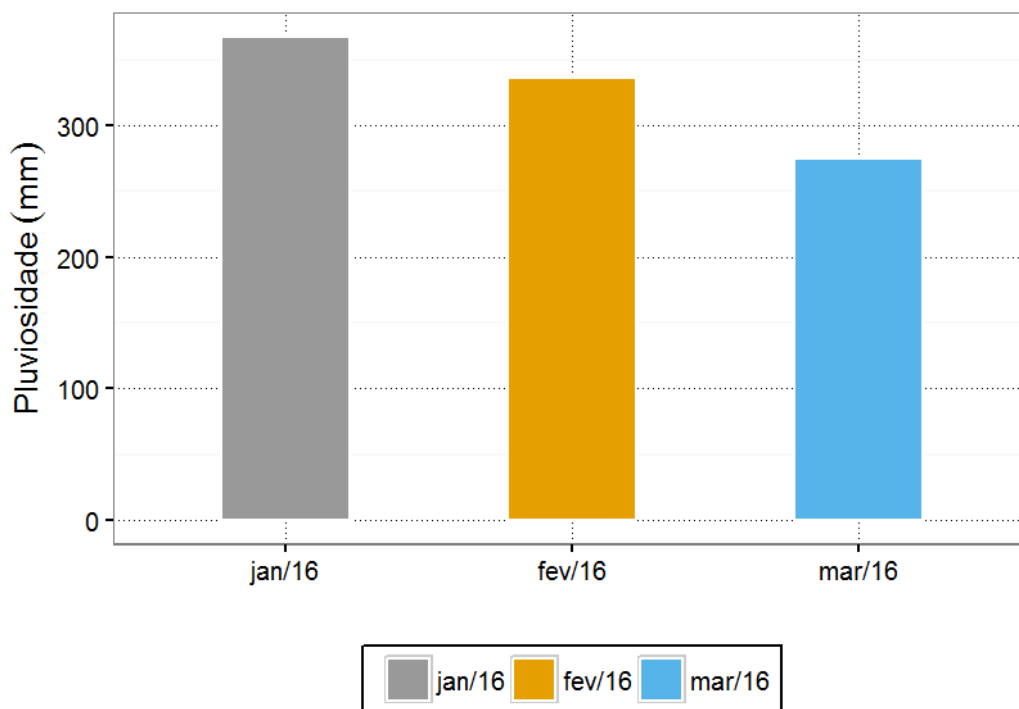


Figura 6-1: Volume acumulado mensal de precipitação (mm) no trimestre avaliado na estação de Lídice.

Contudo, ao analisar o período de trinta dias antecedentes a coleta, a amostragem realizada no mês de mar/16 apresentou a segunda maior precipitação acumulada com 104 mm enquanto em jan/16 foi registrado maior valor com 107 mm e fev/16 a menor precipitação com 90 mm (Figura 6-2)

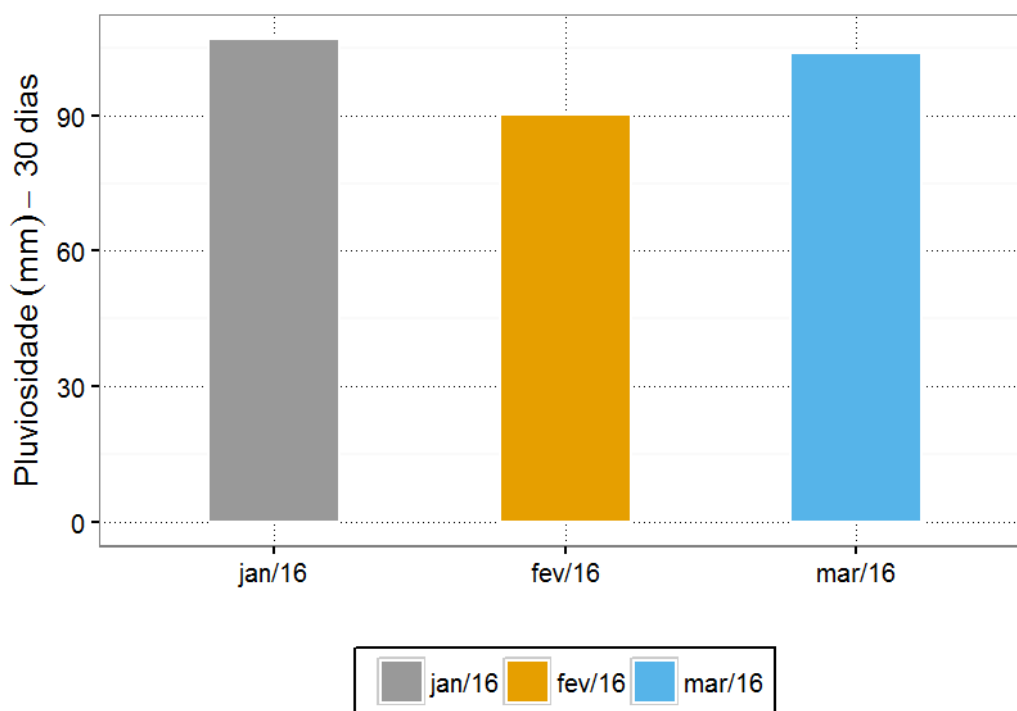


Figura 6-2: Volume acumulado de precipitação (mm) trinta dias antecedentes a amostragem no trimestre avaliado na estação de Lídice.

Quando analisados os sete dias antecedentes a coleta o gráfico se difere. A amostragem de fev/16 apresentou maior precipitação acumulada com 84 mm seguido de mar/16 com 46 mm e então jan/16 com 23 mm (Figura 6-3). Portanto, é esperado grande influencia das chuvas na campanha de fev/16 visto que a 93 % da chuva acumulada no mês ocorreu sete dias antes da coleta (84 mm e 90 mm).



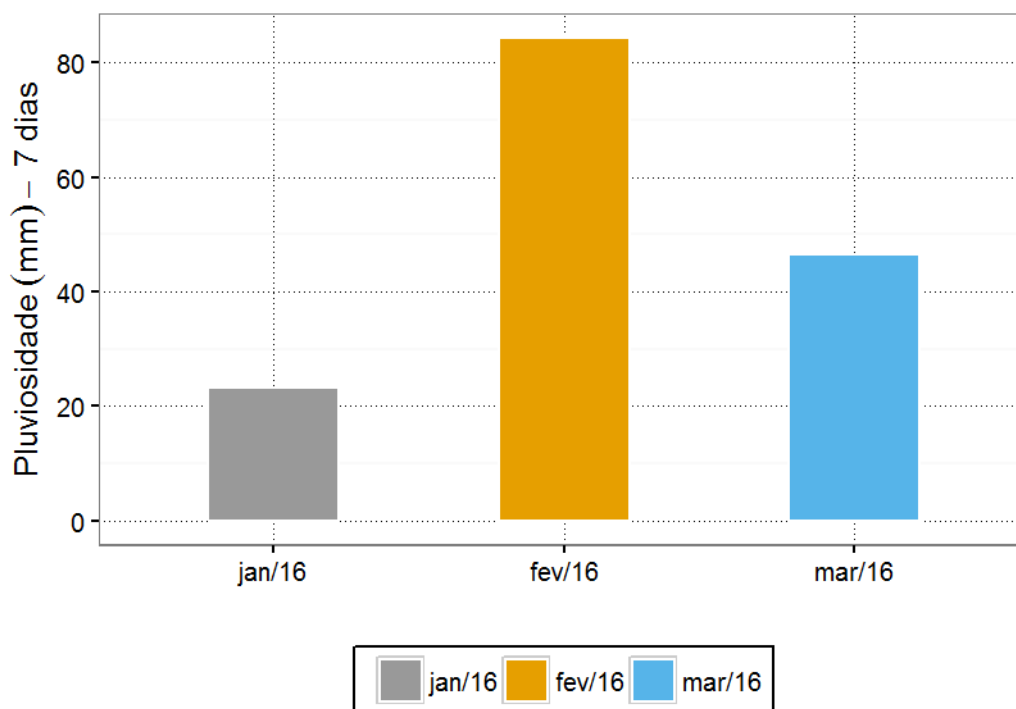


Figura 6-3: Volume acumulado de precipitação (mm) sete dias antecedentes a amostragem no trimestre avaliado na estação de Lídice.

No geral a precipitação só foi expressiva nas campanhas de fev/16 e mar/16. Registros de campo reportaram que na noite antecedente a amostragem de mar/16 o rio Piraí fora acometido por um forte evento pluviométrico modificando as características como turbidez e vazão que serão descritas posteriormente (Figura 6-4). Estima-se que o evento foi superior ao reportado em fev/16 pela estação pluviométrica. Vale destacar que o evento supracitado não foi registrado pela estação de Lídice visto que ocorreu ,segundo moradores da região, de maneira isolada a montante do rio.

## JANEIRO/2016



MARÇO/2016



Figura 6-4: Diferença das características do Rio Piraí no P1 nos meses de janeiro e março de 2016 no ponto P1.

## 6.2 Vazão

A vazão do rio Piraí nos diferentes trechos analisados durante o trimestre avaliado variou de 1,51 a 84,32 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. O valor mínimo foi referente a PC na campanha de jan/16,

enquanto o máximo foi registrado em P4 na campanha de mar/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 foi apresentado no gráfico a seguir.

No geral a estação de coleta P4 apresentou maior vazão média com  $46,76 \pm 33,69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Em contra partida PC apresentou a menor média com  $2,19 \pm 0,70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . 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 Piraí reconhecido apenas como córrego da floresta.

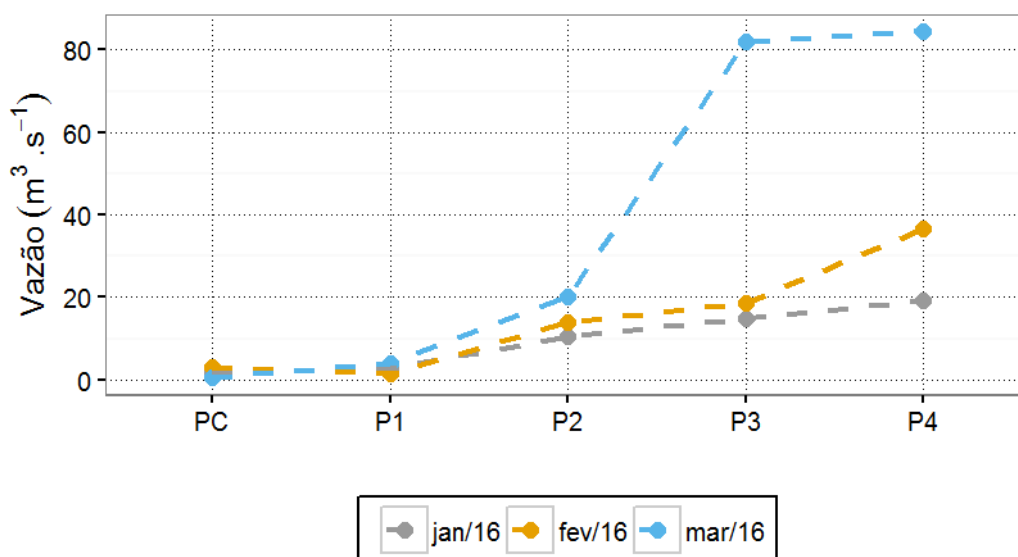


Figura 6-5: Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Em relação aos meses de coleta, a campanha realizada em mar/16 se destacou das demais devido a maior vazão média ( $38,52 \pm 41,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) atribuída as fortes chuvas na noite antecedente a coleta. Em contrapartida jan/16 apresentou a menor média com  $9,74 \pm 7,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  enquanto em fev/16 a vazão média foi de  $14,80 \pm 14,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Figura 6-6). Vale destacar que em fev/16 também foram registradas eventos de chuvas antecedentes a coleta. Apesar da divergência supracitada o teste estatístico não revelou diferença significativa entre os meses de amostragem (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,611$ ). A diferença entre os

meses de coleta não foi significativa devido a similaridade da vazão no ponto controle (PC) que agrupou os resultados.

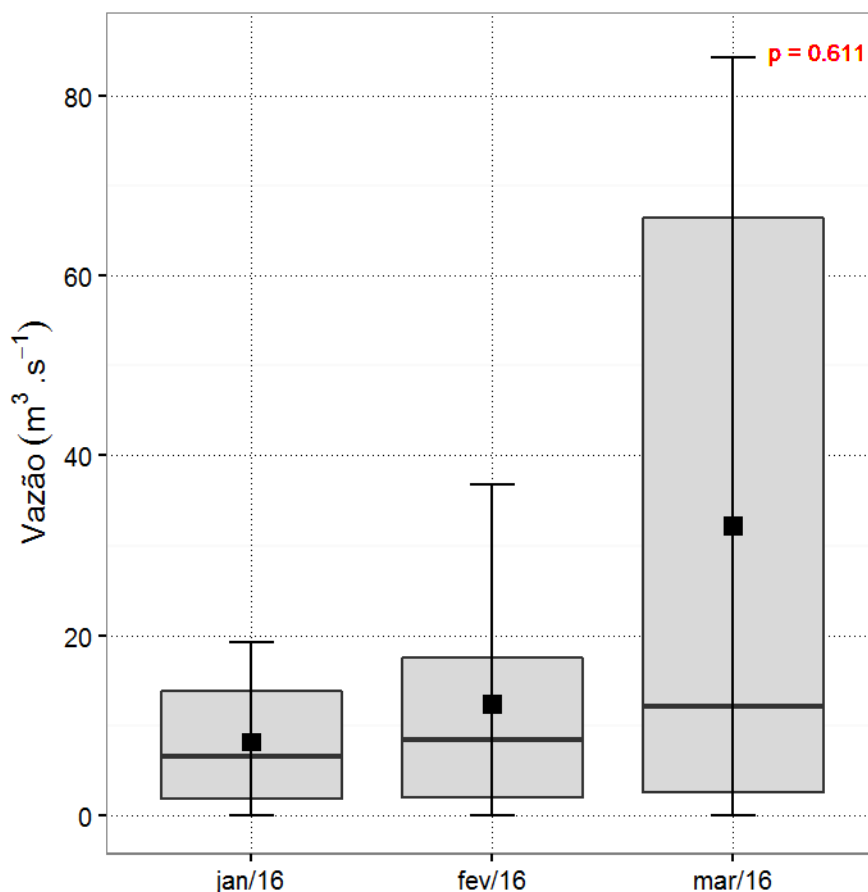


Figura 6-6: Box-plot da vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

### 6.3 Temperatura da água

A temperatura da água no primeiro trimestre do presente monitoramento variou de 20,06 a 29,10 °C com média geral de  $23,58 \pm 2,51$ . O mínimo foi registrado na estação controle (PC) em mar/16 enquanto o máximo foi registrado em P5 em fev/16. A partir da Figura 6-7 é possível concluir que o ponto controle comumente apresentou os menores valores resultando na menor média ( $20,71 \pm 0,70$  °C). Enquanto os maiores valores foram reportados no ponto P5 com média de  $27,67 \pm 1,31$  °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 além de ser a primeira amostragem a ser realizada no dia, logo, a temperatura registrada foi coerente. Enquanto o P5 está localizado no reservatório de Tócos com a menor altitude entre os pontos, maior exposição ao sol e águas de lânticas, portanto, é coerente apresentar temperaturas mais elevadas.

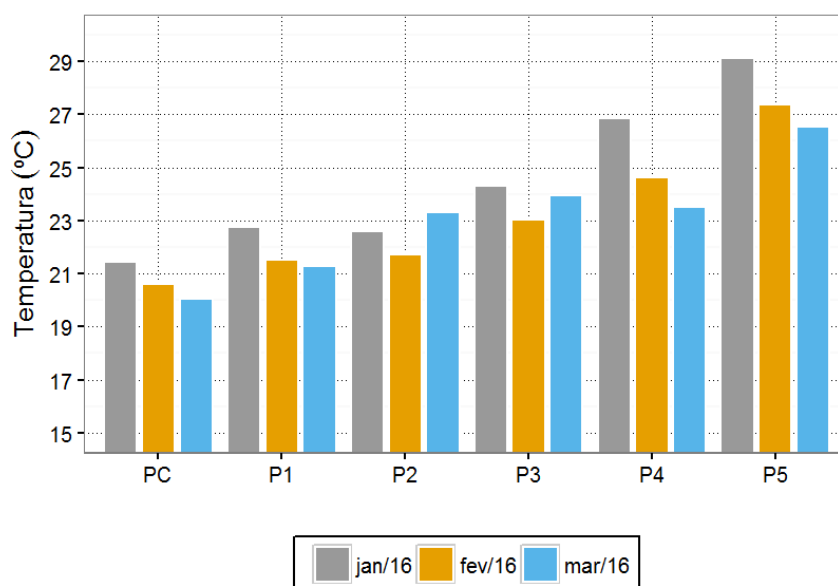


Figura 6-7: Temperatura (°C) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Em relação aos meses monitorados o mês de jan/16 apresentou a maior média com  $24,51 \pm 2,92$  °C seguido dos meses de fev/16 com  $23,14 \pm 2,50$  e mar/16 com  $23,11 \pm 2,25$  °C (Figura 6-8). No geral a variação encontrada foi baixa além disso o teste estatístico não revelou diferenças significativas entre os meses analisados ( *Kruskal-Wallis* –  $p=0,700$ ).

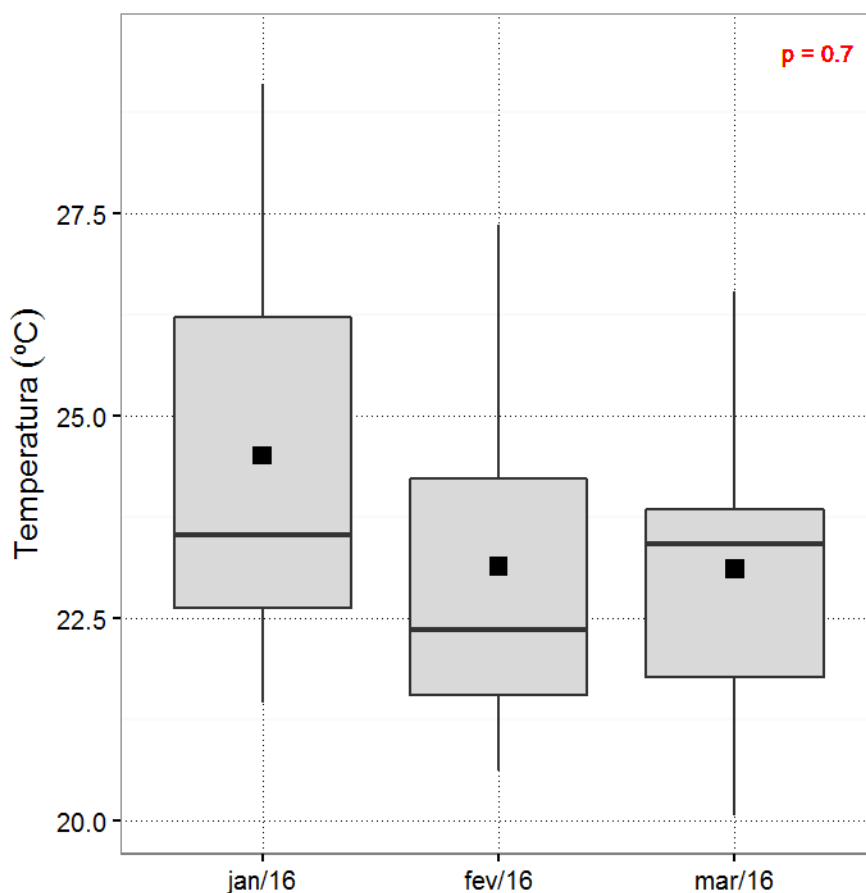


Figura 6-8: Box-plot da temperatura (°C) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

#### 6.4 Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de oxigênio dissolvido registrada ao longo dos três meses variou de 4,20 a 7,55 mg.L<sup>-1</sup> com média geral de 6,46 ± 0,99 mg.L<sup>-1</sup>. O menor valor registrado foi referente ao ponto P5 de mar/16 enquanto o máximo foi referente ao ponto PC de jan/16 (Figura 6-9).

Em relação a legislação vigente apenas três amostras (17 %) apresentaram concentração de oxigênio dissolvido inferior ao mínimo de 6,00 mg.L<sup>-1</sup> estipulado pelo art. 14 da Resolução CONAMA 357/2005 (águas doces classe 1), sendo duas referente ao P5 e uma referente ao



P2. Caso adotado o limite proposto pelo art. 15 (classe 2), da mesma resolução supracitada, o índice de desconformidade cai para duas amostras (11 %) ambas referentes a estação P5.

O ponto P5 apresentou a menor concentração média, com  $5,30 \pm 1,76 \text{ mg.L}^{-1}$ , atribuído ao baixo fluxo de água e pouca profundidade o que dificulta a renovação e a aeração das águas. A maior concentração média foi registrada em PC com  $7,33 \pm 0,19 \text{ mg.L}^{-1}$  atribuído a queda d'água registrada a montante da estação de coleta. Além disso, assim como observado na temperatura vale destacar a similaridade dos resultados da concentração de oxigênio dissolvido ao longo do trimestre ( $\pm 0,19 \text{ mg.L}^{-1}$ ).

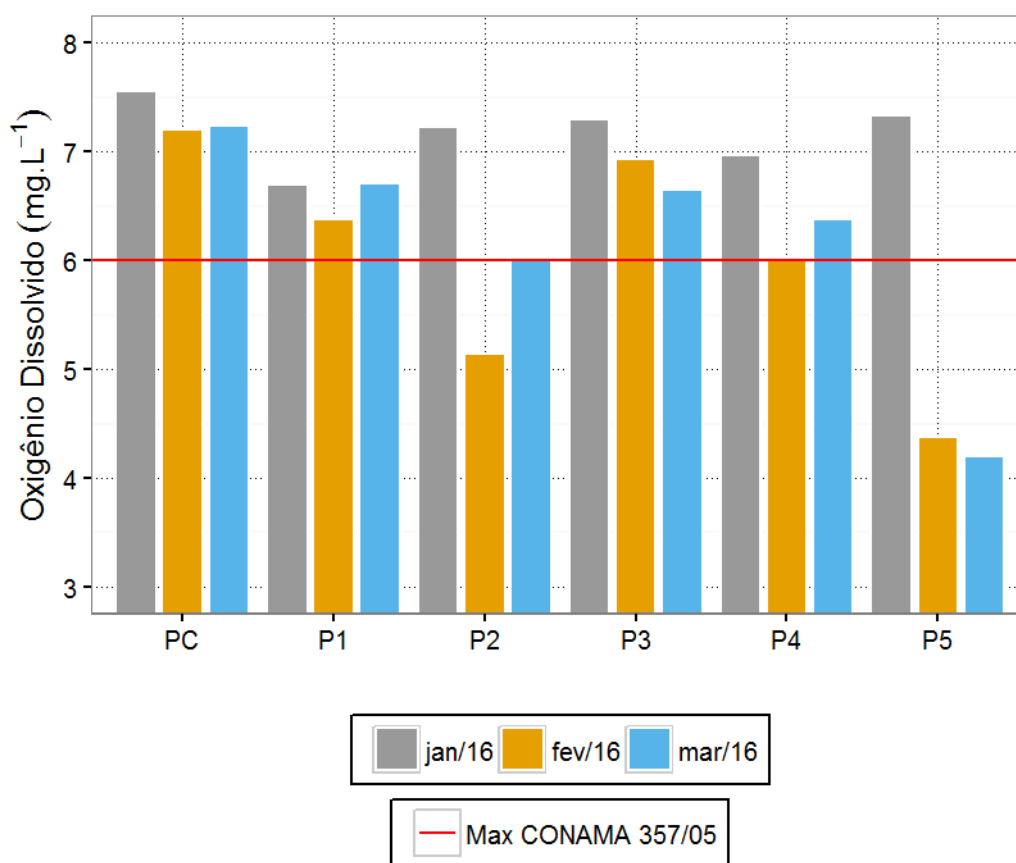


Figura 6-9: Oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. As linhas vermelhas tracejadas representam os limites para águas doces classe 1 da Resolução CONAMA 357/05.

No monitoramento do rio Piraí realizado entre os anos de 2011 e 2012 foram registrados valores de concentração de oxigênio dissolvido semelhantes com os menores ( $4,8 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e maiores ( $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ) resultados (SEA PROJECTS, 2013).

Em relação aos meses monitorados, a campanha de jan/16 apresentou a maior concentração média com  $7,18 \pm 0,30 \text{ mg.L}^{-1}$  seguido do mês de mar/16 com  $6,20 \pm 1,06 \text{ mg.L}^{-1}$  e então fev/16 com  $6,01 \pm 1,08 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 6-10). Apesar do teste estatístico revelar diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,024$ ) o teste *a posteriori* não foi capaz de especificar a divergência revelada.

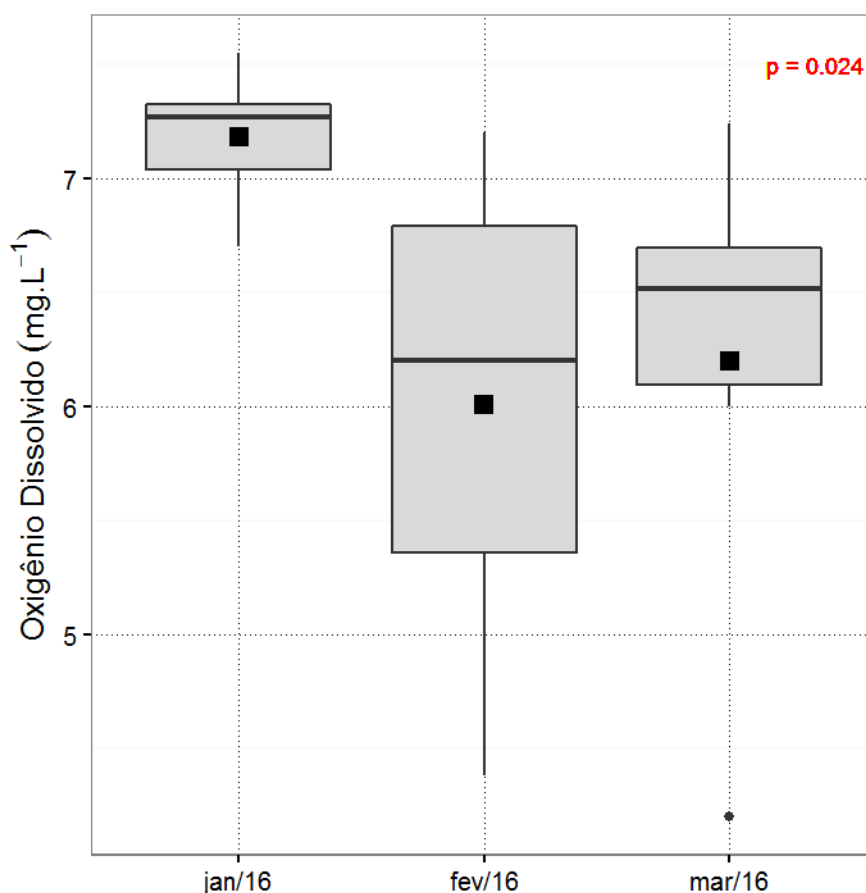


Figura 6-10: *Box-plot* da concentração de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.



## 6.5 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH ao longo do presente estudo oscilou entre 4,16 (P3 em jan/2016) e 7,74 (PC em mar/2016) com média geral de  $6,25 \pm 0,88$  (Figura 6-11). Em geral o rio apresentou caráter ligeiramente ácido no trimestre avaliado. No que se refere a legislação vigente foram identificadas cinco amostras (28 %) com valores abaixo do mínimo (6,0) preconizado pela resolução CONAMA 357/2005 para água doces de classe 1 de. Vale destacar que todos os resultados em desconforme foram reportados na campanha de jan/2016 referente as cinco estações de coleta ao longo do rio Piraí. Logo, o caráter ácido reportado foi considerado uma variação natural do rio visto que foi registrado em todo o curso hídrico.

Em relação aos pontos de coleta o P3 apresentou o menor pH médio com  $5,91 \pm 1,53$  enquanto a estação controle apresentou o maior pH médio com  $6,88 \pm 0,74$ . Contudo, não foram observadas diferenças expressivas entre as estações de coleta visto que a variação foi semelhante ao longo do trimestre.

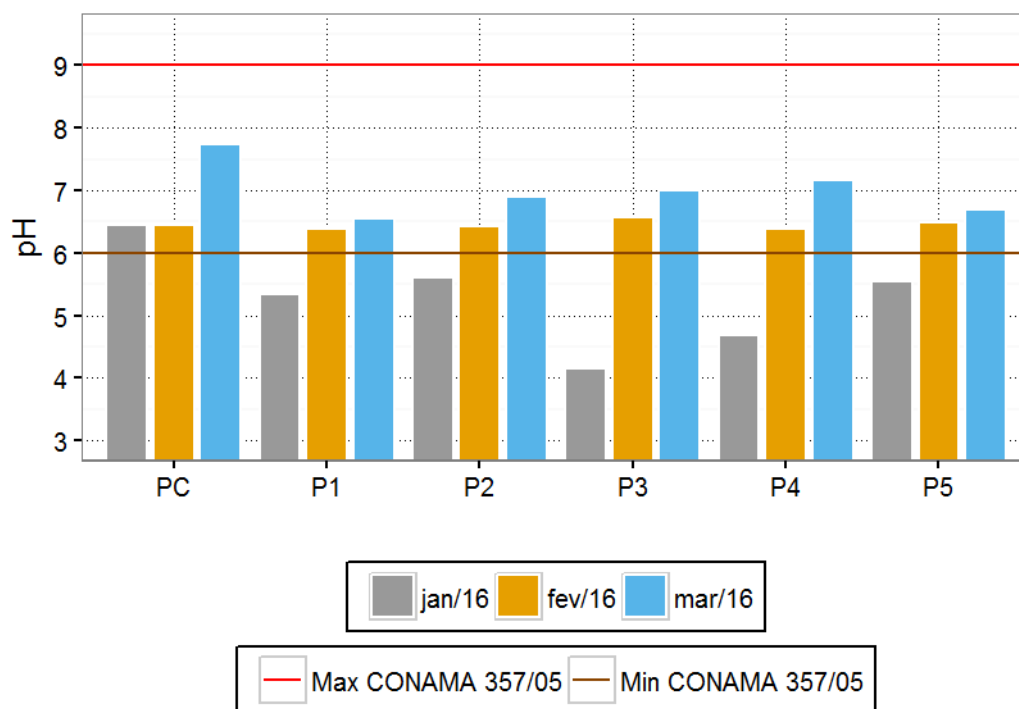


Figura 6-11: Potencial hidrogeniônico da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. As linhas vermelhas tracejadas representam os limites para águas doce classe 1 da Resolução CONAMA 357/05.

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).

Em relação aos meses monitorados, o mês de jan/16 se destacou com o menor pH médio do trimestre com  $5,30 \pm 0,80$ . Já na campanha de fev/16 foi registrado o pH médio de  $6,45 \pm 0,07$  enquanto em mar/16 foi de  $7,01 \pm 0,42$  (Figura 6-12). A partir do teste estatístico foram reveladas diferenças significativas entre as campanhas de jan/16 e mar/16 (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,001$ ).

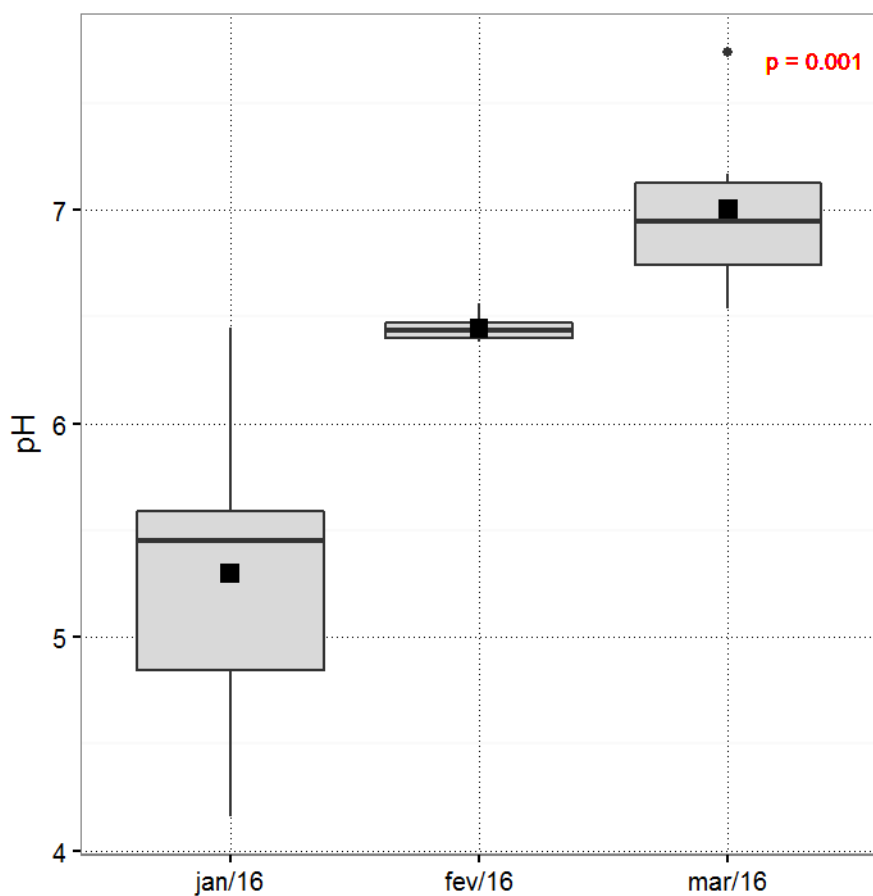


Figura 6-12: Box-plot do potencial hidrogeniônico da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

## 6.6 Condutividade

A condutividade no presente estudo variou de  $0,001 \text{ mS.cm}^{-1}$  registrado em PC de mar/16 a  $0,230 \text{ mS.cm}^{-1}$  registrado em P2 em jan/2016. A média geral foi de  $0,039 \pm 0,052 \text{ mS.cm}^{-1}$  (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, semelhante ao encontrado no presente estudo. Valores similares ao máximo do presente relatório ( $0,230 \text{ mS.cm}^{-1}$ ) são mais comuns em rios próximos a estuários assim como relatado por Marques (2009) na região da Baía de Sepetiba com condutividade em torno de  $0,233 \text{ mS.cm}^{-1}$  (MARQUES *et al.*, 2009). Contudo, vale ressaltar que conforme descrito

anteriormente o ponto P2 é o mais crítico devido a aproximação da cidade de Lídice e tem como impactos o lançamentos de efluentes domésticos e descarte de resíduos sólidos nas margens (Figura 4-5). 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 preocupantes (CETESB, 2012b)

Portanto, no que se refere as estações de amostragem o P2 apresentou a maior média com  $0,119 \pm 0,104 \text{ mS.cm}^{-1}$ , enquanto os demais apresentaram valores semelhantes em torno de  $0,015 \pm 0,005 \text{ mS.cm}^{-1}$ .

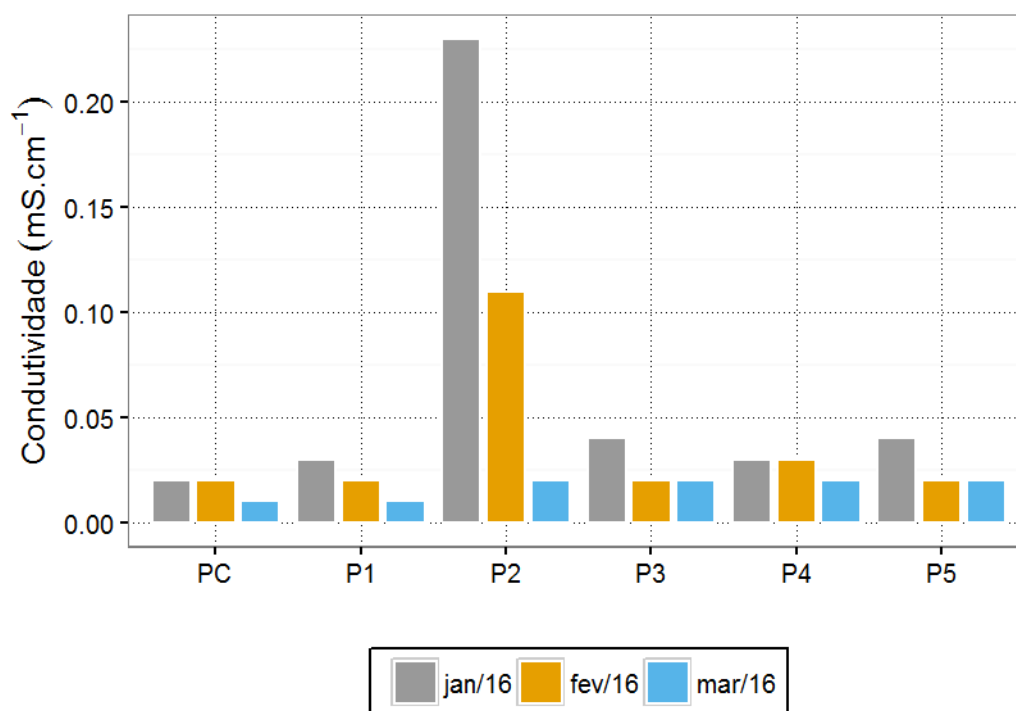


Figura 6-13: Condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação aos meses deste primeiro trimestre de monitoramento a campanha de jan/16 se destacou com a maior condutividade média de  $0,063 \pm 0,80 \text{ mS.cm}^{-1}$ . Já a campanha



de mar/16 apresentou a menor condutividade média com  $0,017 \pm 0,004 \text{ mS.cm}^{-1}$ . Na campanha de fev/16 a condutividade média foi de  $0,037 \pm 0,038$  (Figura 6-14). Através do teste estatístico as diferenças entre as campanhas de jan/16 e mar/16 foram reveladas significativas (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,013$ ).

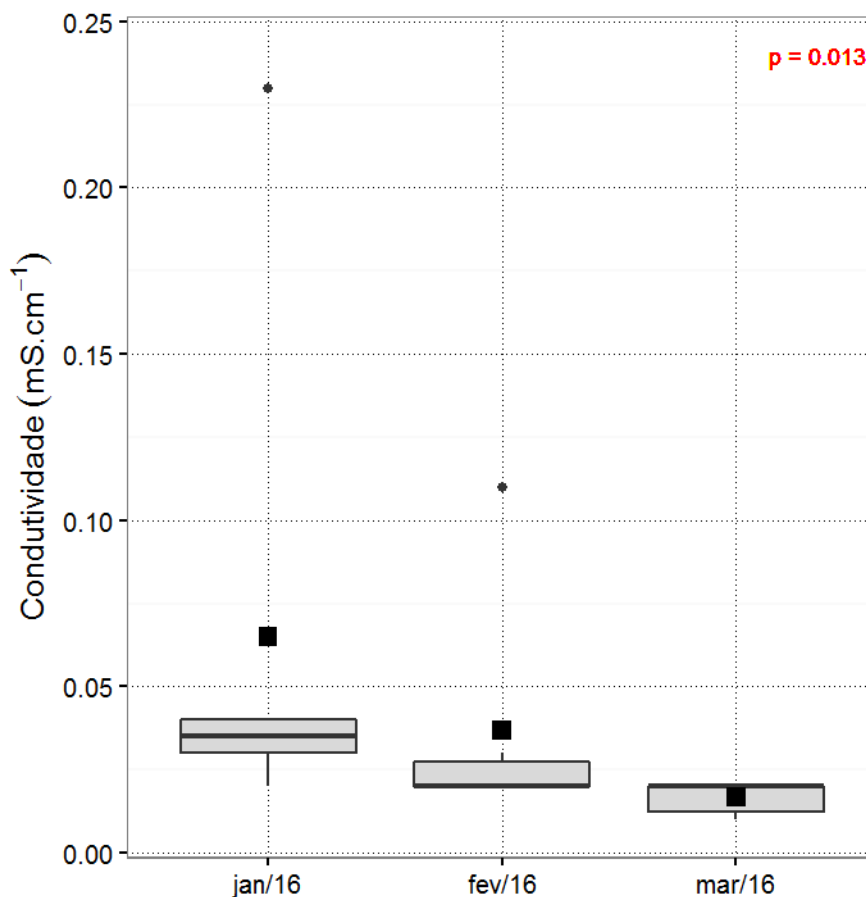


Figura 6-14: *Box-plot* da condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

## 6.7 Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

A concentração de sólidos dissolvidos no presente estudo variou de  $0,007$  a  $0,154 \text{ g.L}^{-1}$  com média de  $0,026 \pm 0,035 \text{ g.L}^{-1}$ . Assim como descrito para condutividade o mínimo foi registrado em PC de mar/16 enquanto o máximo foi registrado em P2 de jan/16.

A estação de coleta P2 apresentou a maior concentração média com  $0,079 \pm 0,072 \text{ g.L}^{-1}$ . Os demais pontos apresentaram resultados semelhantes, contudo, em PC foi registrada a menor concentração média com  $0,011 \pm 0,004 \text{ g.L}^{-1}$ . No geral os resultados foram coerentes visto que o PC tem como característica a baixa energia e ambiente preservado, já em P2 a influência antrópica anteriormente mencionada pode interferir nas características do rio neste trecho. Uma vez que assim como a condutividade a concentração de sólidos dissolvidos totais é um parâmetro sensível a lançamento de efluentes sendo utilizado como indicador indireto de poluição. Vale destacar que na campanha de mar/16 os resultados ao longo do rio foram semelhantes apesar das fortes chuvas reportadas na noite anterior a coleta.

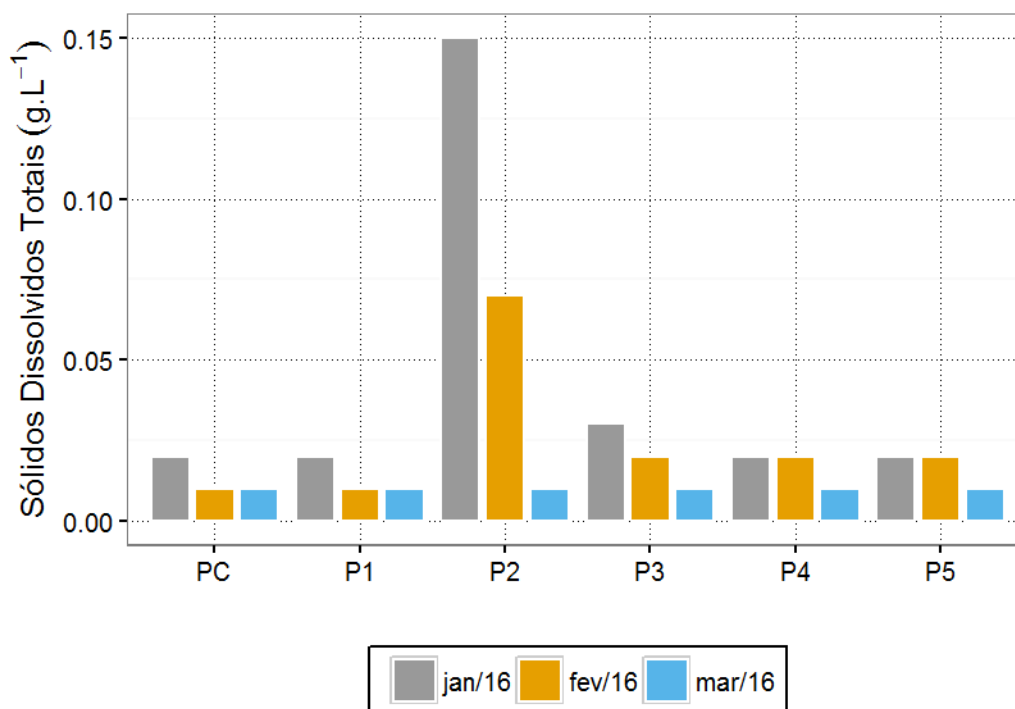


Figura 6-15: Sólidos dissolvidos totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação as campanhas de coleta, o mês de jan/16 apresentou a maior concentração média com  $0,042 \pm 0,055 \text{ g.L}^{-1}$ , seguido do mês de fev/16 com  $0,024 \pm 0,024 \text{ g.L}^{-1}$  e então o

mês de mar/16 com  $0,011 \pm 0,003 \text{ g.L}^{-1}$ . Assim como observado na condutividade das amostras o teste estatístico revelou diferença significativa apenas entre os meses de jan/16 e mar/16 (Figura 6-16).

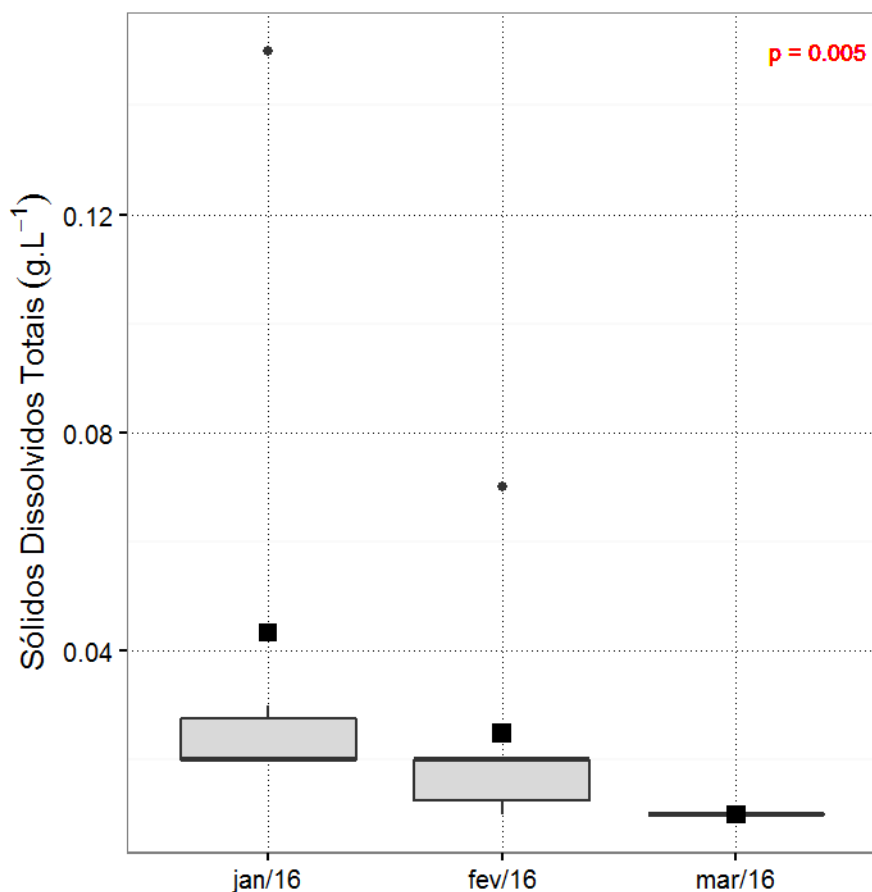


Figura 6-16:Box-plot da concentração de sólidos dissolvidos totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

## 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  $82,0 \text{ mg.L}^{-1}$  com média geral de  $26,7 \pm 26,8 \text{ mg.L}^{-1}$ . O valor mínimo foi registrado em duas amostras: P1 e PC de jan/16 e mar/16, respectivamente. Enquanto o máximo foi reportado em P1 de mar/16 (Figura 6-17). Vale destacar que o desvio

padrão superior a própria média evidencia a alta variabilidade dos resultados ao longo do trimestre estudado ( $26,7 \pm 26,8 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Esta variabilidade foi atribuída aos eventos pluviométricos mencionados anteriormente, principalmente na amostragem realizada em mar/16 (Figura 6-4). Além disso, através da Figura 6-4 é possível observar o incremento da concentração ao longo do rio Pirai com valores comumente superiores a jusante do rio.

A estação com maior concentração média foi P5 ( $45,3 \pm 37,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) enquanto PC registrou a menor concentração média ( $3,8 \pm 3,8 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Em um estudo realizado em rios altamente impactados por lançamentos de efluentes localizados em São Gonçalo, região metropolitana do Rio de Janeiro, reportou valores de SST de até  $400 \text{ mg.L}^{-1}$  (AGUIAR *et al.*, 2011).

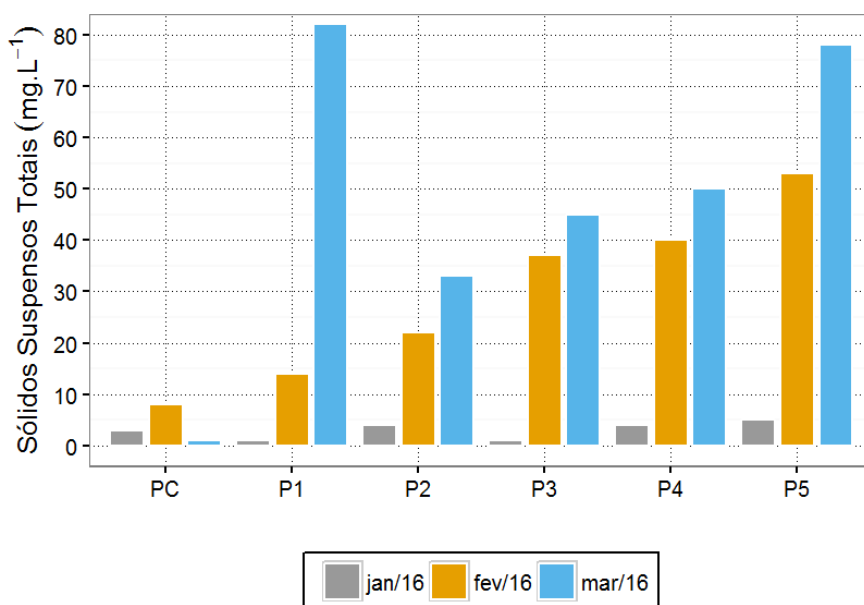


Figura 6-17: Sólidos suspensos totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Através da Figura 6-18 é possível observar o acréscimo da concentração de sólidos suspensos ao longo do trimestre estudado. As médias foram  $2,9 \pm 1,8 \text{ mg.L}^{-1}$ ;

$29,0 \pm 17,2 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $48,1 \pm 30,2 \text{ mg.L}^{-1}$  em jan/16, fev/16 e mar/16, respectivamente. Vale ressaltar que a tendência observada foi atribuída aos eventos pluviométricos que antecederam as coletas dos meses de fev/16 e principalmente de mar/16 (Figura 6-4). O teste estatístico revelou diferença significativa apenas entre os meses de jan/16 e mar/16 (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,015$ ).

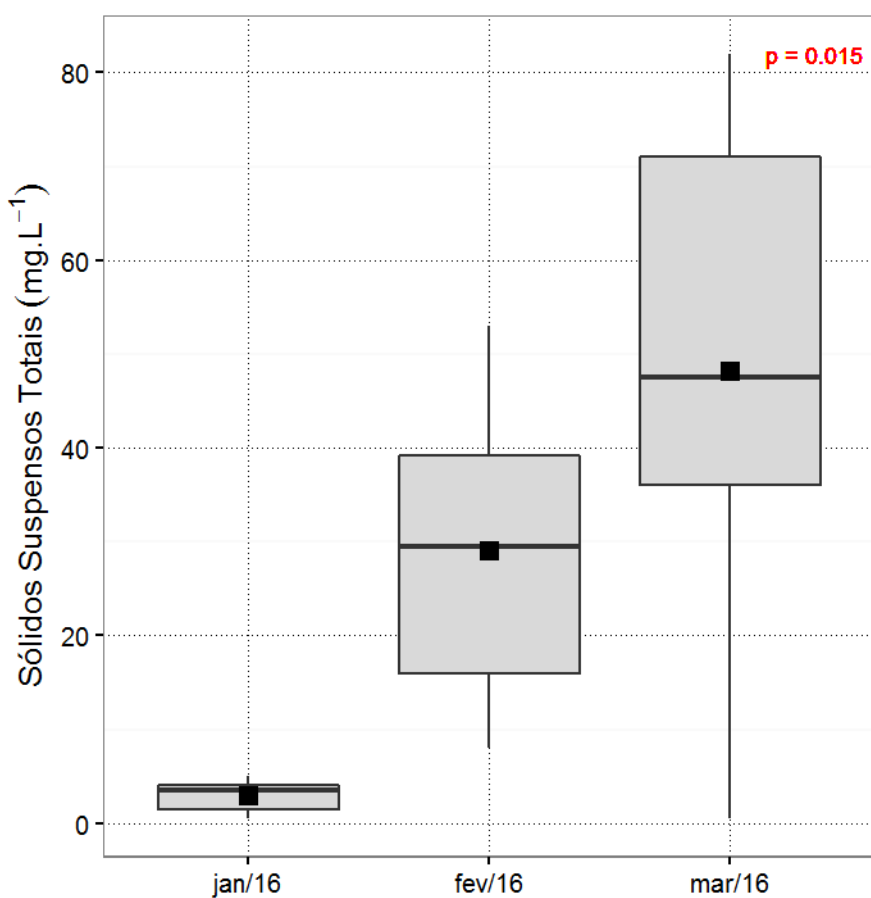


Figura 6-18: *Box-plot* da concentração de sólidos suspensos totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

## 6.9 Sólidos Totais (ST)

A concentração de sólidos totais variou de  $39,0$  a  $133,0 \text{ mg.L}^{-1}$  com média de  $79,9 \pm 28,3 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 6-19). O valor mínimo foi registrado em PC na campanha de mar/16 enquanto o máximo foi registrado em P5 também na campanha de mar/16. Vale

destacar que PC apresentou a menor concentração média das estações analisadas com  $52,7 \pm 22,0 \text{ mg.L}^{-1}$ . Em contrapartida a estação P5 apresentou a maior concentração média com  $107,3 \pm 36,9 \text{ mg.L}^{-1}$ . Os resultados foram coerentes com os resultados reportados para sólidos em suspensão, além disso, apresentaram forte correlação significativa (*Pearson* –  $R=0,835$ ,  $p<0,05$ ). Portanto, os sólidos reportados ao longo do estudo e principalmente em mar/16 foram predominantemente maior que  $0,45 \mu\text{m}$  atribuídos aos eventos pluviométricos.

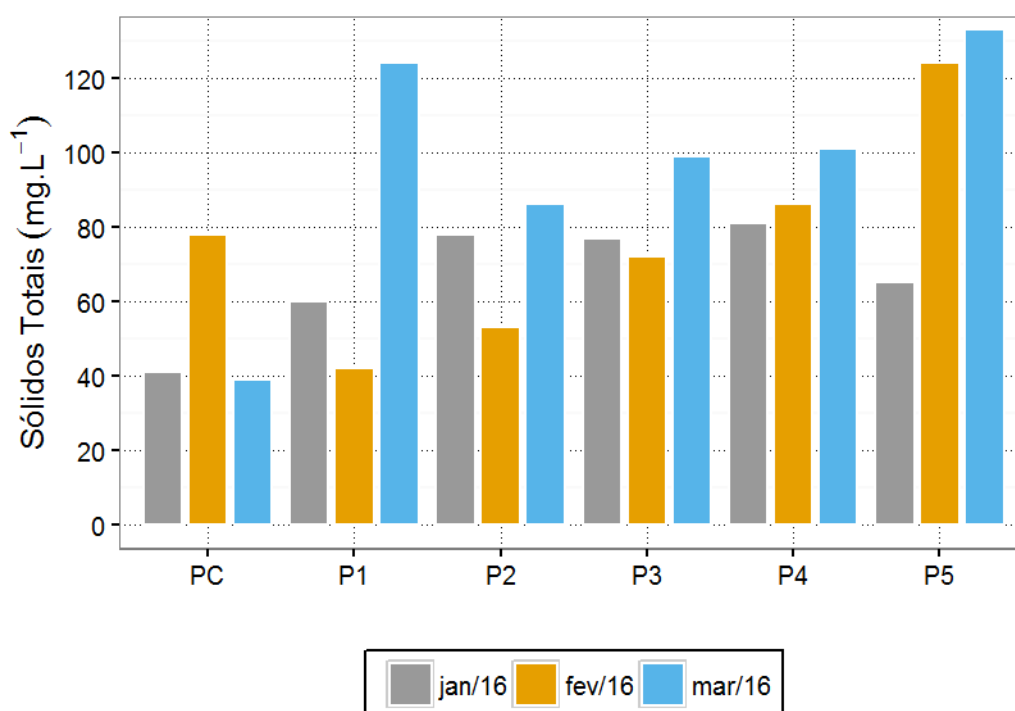


Figura 6-19: Sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Assim como mencionado para concentração de sólidos suspensos a concentração de sólidos totais também aumentou ao longo dos meses do trimestre avaliado (Figura 6-20). A concentração média em mar/16 foi superior com  $97,0 \pm 33,3 \text{ mg.L}^{-1}$  seguido do mês de fev/16 com  $75,8 \pm 28,7 \text{ mg.L}^{-1}$  e então jan/16 com  $67,0 \pm 15,1 \text{ mg.L}^{-1}$ . Apesar das divergências supracitadas o teste estatístico não revelou diferenças significativas entre os meses de coleta



visto que a concentração no ponto controle foi semelhante nos três meses e responsável pelo agrupamento dos resultados.

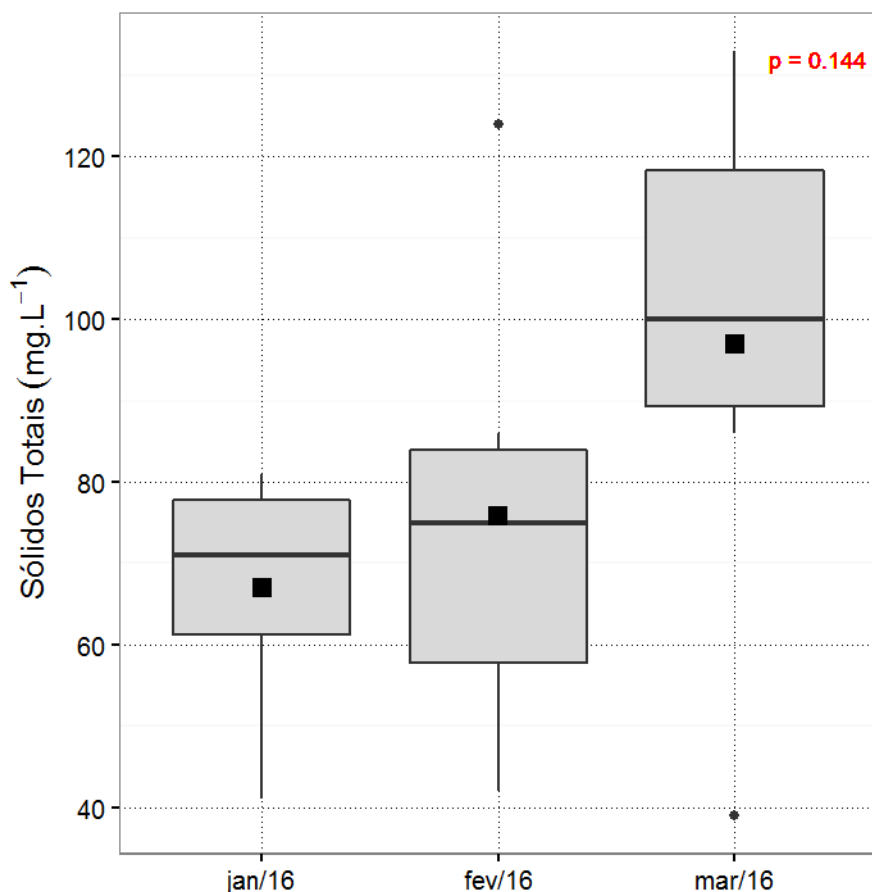


Figura 6-20: *Box-plot* da concentração de sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

## 6.10 Turbidez

A turbidez no presente estudo oscilou entre 1,20 e 99,80 UNT. O mínimo foi registrado em PC em fev/16 enquanto o máximo foi registrado em P5 em fev/16 (Figura 6-21).

Em relação a legislação vigente apenas seis amostras (33 %) estiveram em desconformidade com o limite máximo de 40,00 UNT preconizado pelo artigo 14 da resolução CONAMA 357/05. Vale destacar que cinco das seis amostras em desconformidades

foram referentes a campanha de mar/2016 a qual foi registrada condições atípicas do rio Piraí devido as fortes chuvas na noite anterior a coleta (Figura 6-4).

Em relação as estações de coleta, no geral o ponto P5 apresentou a maior turbidez média com  $63,26 \pm 51,08$  UNT enquanto o PC apresentou a menor turbidez média com  $2,97 \pm 2,41$  UNT. Vale destacar que o P5 possui a menor profundidade entre os seis pontos amostrados além de águas lânticas e vegetação degradada entorno. Enquanto o PC trata-se de uma área preservada com água corrente e profundidade superior.

A média geral ao longo do trimestre avaliado foi de  $27,87 \pm 31,84$  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).

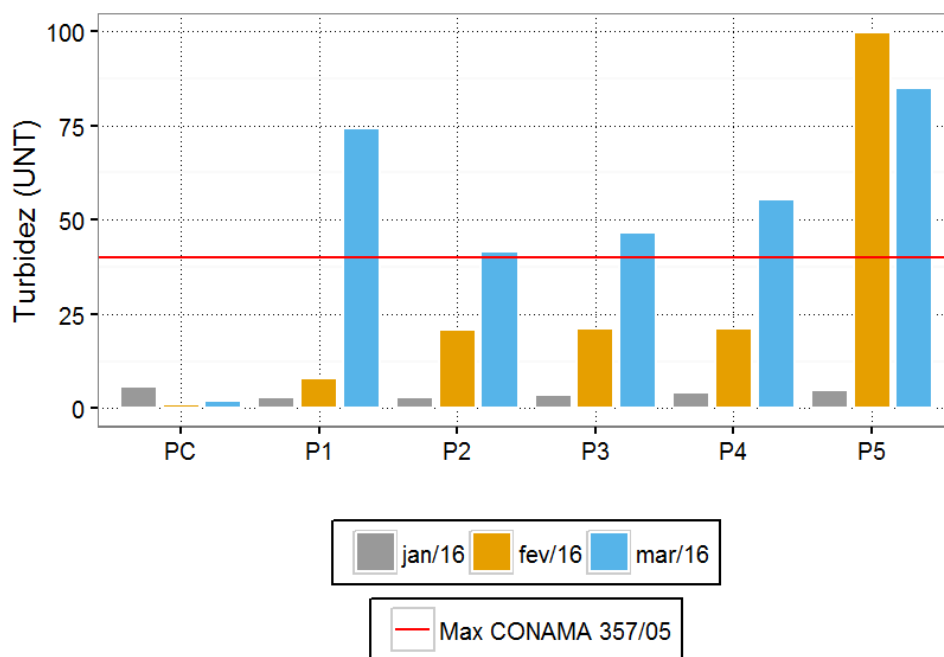


Figura 6-21: Turbidez (UNT) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.. As linhas vermelhas tracejadas representam os limites para águas doce classe 1 da Resolução CONAMA 357/05.

Através da Figura 6-22 é possível constatar o acréscimo da turbidez no rio Pirai ao longo do trimestre avaliado. As médias obtidas para turbidez foram  $4,04 \pm 1,13$  UNT em jan/16,  $28,74 \pm 35,81$  UNT em fev/16 e  $50,83 \pm 29,13$  UNT em mar/16. Vale destacar que devido a alta turbidez registrada no P5 durante a campanha de fev/16 o teste estatístico não foi capaz de revelar diferenças significativas (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,055$ ).

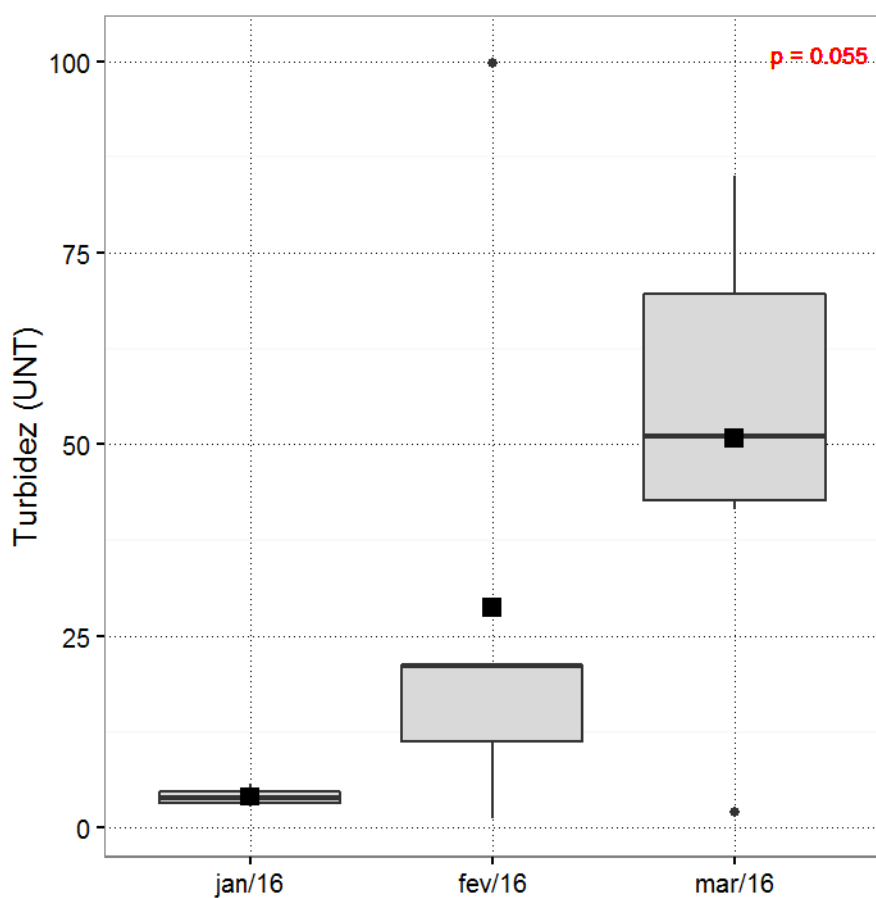


Figura 6-22: Box-plot da turbidez (UNT) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

## 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). No geral as estações com melhores transparência foram PC, P1 e P2 visto que foi possível observar o fundo do rio nesses trechos com mais frequência. Já os pontos P5, P4 e P3 apresentaram a transparência comprometidas ao longo do trimestre. Vale destacar que PC, P1 e P2 são trechos do rio com mata ciliar preservada enquanto P3, P4 e P5 são trechos de mata ciliar degradada com a presença de pastos para pecuária.

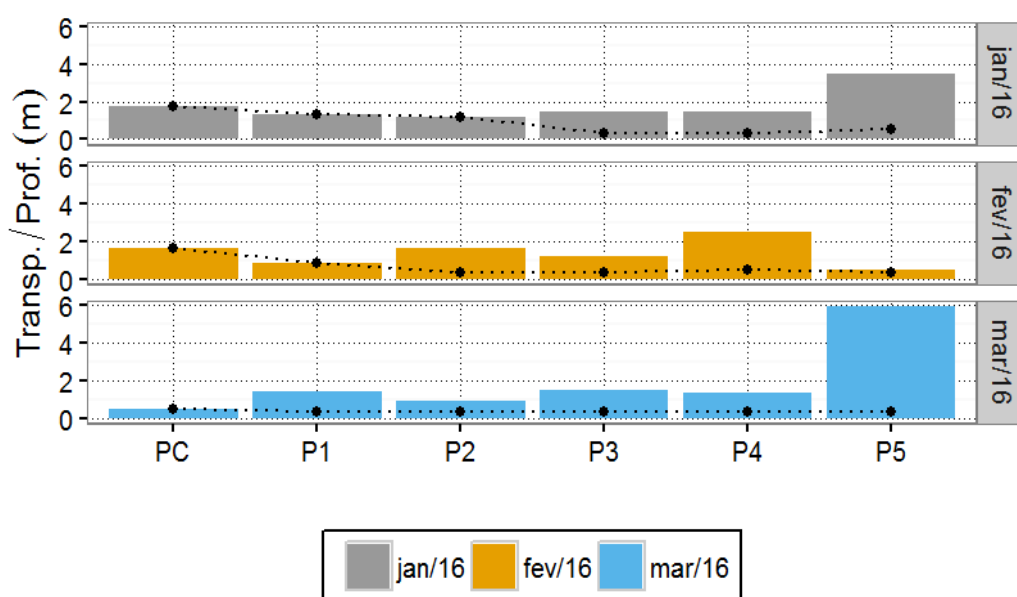


Figura 6-23: Transparência (linhas) e profundidade (barras) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Em relação as campanhas de coleta o mês de mar/16 apresentou o resultado mais crítico do trimestre avaliado com média de  $0,29 \pm 0,10$  m . Vale ressaltar que transparência foi coerente com a turbidez registrada e atribuída as fortes chuvas registradas na noite antecedente a coleta. Os demais meses apresentaram transparência satisfatória com média de  $0,61 \pm 0,53$  m em fev/16 e  $0,87 \pm 0,63$  m em jan/16 (Figura 6-24). Apesar das divergências

supracitadas o teste estatístico não revelou diferença significativa entre as campanhas de coleta (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,149$ ).

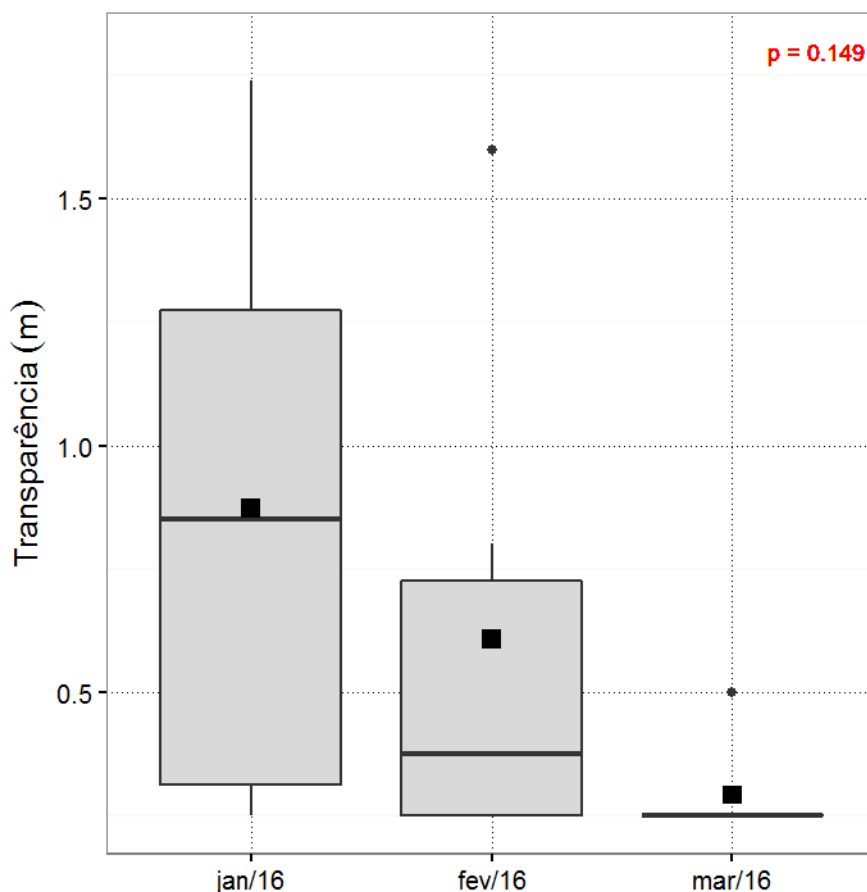


Figura 6-24: *Box-plot* da transparência da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

## 6.12 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) oscilou entre valores abaixo do limite de quantificação ( $< 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e  $13,58 \text{ mg.L}^{-1}$  com média geral de  $4,00 \pm 2,97 \text{ mg.L}^{-1}$ . O valor mínimo foi referente a amostra de P3 de fev/16 enquanto o valor máximo foi referente a P5 de fev/16. No geral as amostras referentes a estação P5 apresentaram valores superiores as demais ao longo do trimestre, portanto, foi a maior DBO média com  $7,22 \pm 5,69 \text{ mg.L}^{-1}$ . As estações restantes apresentaram valores similares em torno de  $3,36 \pm 2,59 \text{ mg.L}^{-1}$ . Vale



destacar que o resultado máximo registrado em fev/16 em P5 foi coerente com as condições reportadas como a baixa profundidade, alta turbidez e menor concentração de OD . 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  $450 \text{ mg.L}^{-1}$  (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 nove amostras (50 %) acima do limite de  $3,00 \text{ mg.L}^{-1}$  preconizado pelo art. 14 da resolução CONAMA 357/05. Vale ressaltar que das nove amostras em desconformidade cinco foram referentes ao mês de jan/16, logo, a desconformidade observada neste mês foi registrada ao longo de todo o rio Piraí. Contudo, a carga orgânica estimada através da demanda bioquímica de oxigênio não foi coerente com os dados de oxigênio dissolvido e carbono orgânico dissolvido , logo, não foi possível correlacionar com fatores ambientais sendo considerado variação natural do rio. Caso adotado o limite de uma classe menos restrigente (art.15) o índice de desconformidade cai para cinco amostras (28 %).



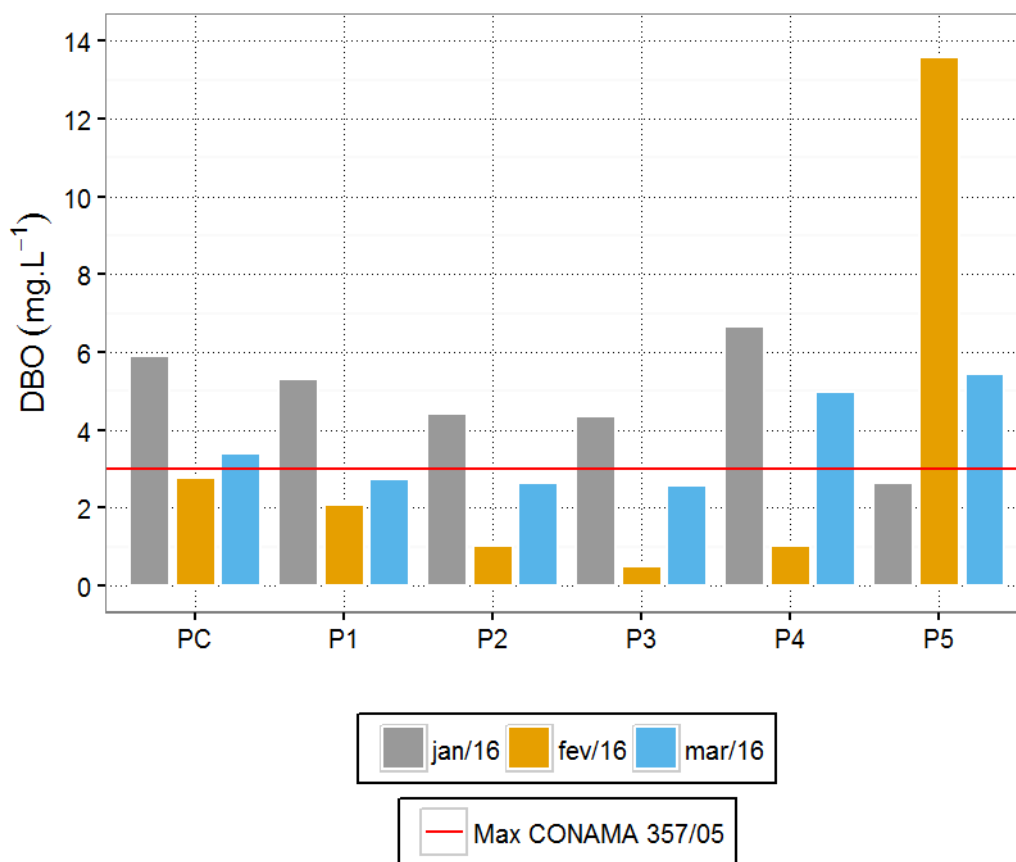


Figura 6-25: Demanda bioquímica de oxigênio (mg.L<sup>-1</sup>) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí. As linhas vermelhas tracejadas representam os limites para águas doces classe 1 da Resolução CONAMA 357/05.

Os valores obtidos no presente estudo foram superiores aos 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<sup>-1</sup> com média de 2,7 mg.L<sup>-1</sup> (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 inferior ao presente estudo com média de 2,0 mg.L<sup>-1</sup> (HABTEC,2003).

Portanto, em relação as campanhas o mês de jan/16 apresentou a maior média com 4,88± 1,41 mg.L<sup>-1</sup> seguido do mês de mar/16 com 3,63 ± 1,27 mg.L<sup>-1</sup> e então do mês de fev/16 com 3,50 ± 5,01 mg.L<sup>-1</sup> (Figura 6-26). Apesar das desigualdades supracitadas o teste

estatístico não revelou diferenças significativas entre os meses de coleta (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,107$ ).

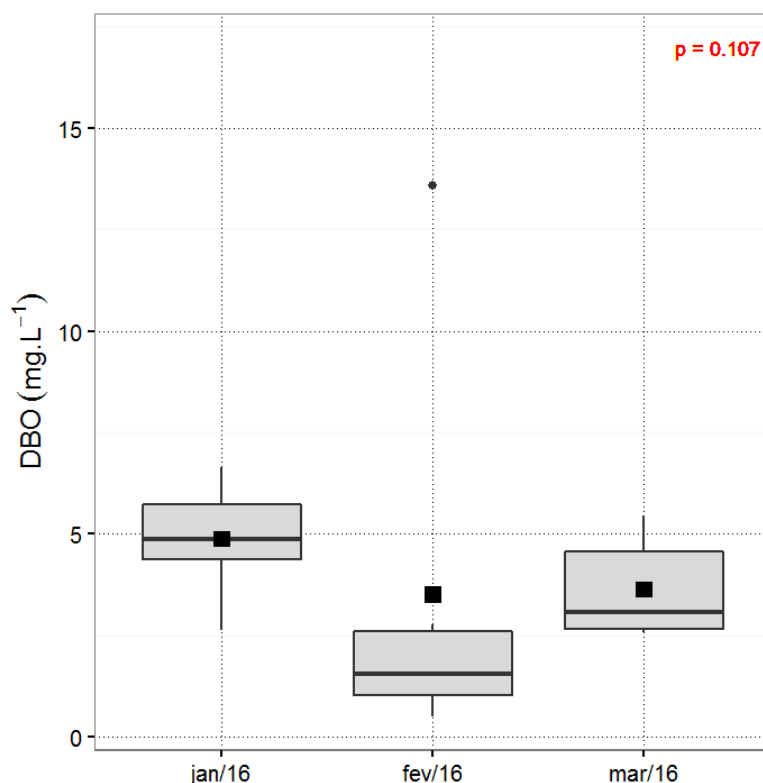


Figura 6-26: *Box-plot* da demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

### 6.13 Demanda química de oxigênio (DQO)

A concentração da DQO oscilou entre 5,0 e 85,0  $\text{mg.L}^{-1}$  com média de  $22,3 \pm 19,5 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 6-27). O mínimo foi registrado em cinco amostras (P1, P2, P3 e PC todas referente a campanha de jan/16 e P2 na campanha de fev/16) enquanto o máximo foi registrado em P5 de fev/16. A estação com maior DQO média foi P5 com  $44,0 \pm 37,0 \text{ mg.L}^{-1}$  enquanto P1 apresentou a menor DQO média com  $14,3 \pm 12,1 \text{ mg.L}^{-1}$ . A menor média em P1 foi atribuída a baixa energia aliada ao menor aporte alóctone enquanto em P5 a condição

estacionaria da água e pouca profundidade dificulta a renovação da mesma intensificando o acúmulo da matéria orgânica neste trecho.

Em relação ao monitoramento realizado pela Sea Projects nos anos de 2011 e 2012 os resultados apresentaram médias semelhantes ( $23,5 \pm \text{mg.L}^{-1}$ ), contudo, vale destacar que o valor máximo de  $85,0 \text{ mg.L}^{-1}$  reportado no presente estudo é um dado preocupante, porém coerente. A DQO extremamente alta em P5 de fev/16 foi atribuída as condições atípicas registradas em campo como a baixa profundidade local ( $\pm 0,20 \text{ m}$ ) e condições de ecossistema lênticos com transparência prejudicada e turbidez elevada ( $99,8 \text{ UNT}$ ).

Valores de DBO e DQO semelhantes representam que a matéria orgânica presente no corpo hídrico é mais facilmente biodegradada, contudo, quando os valores são muito diferentes indica que a fração não biodegradável da matéria é maior que a fração degradável (REPULA & QUINÁIA, 2009). Portanto, os valores de DQO mais elevados que o DBO sugere a existência de matéria não facilmente biodegradada, principalmente, em mar/16 (Figura 6-4).

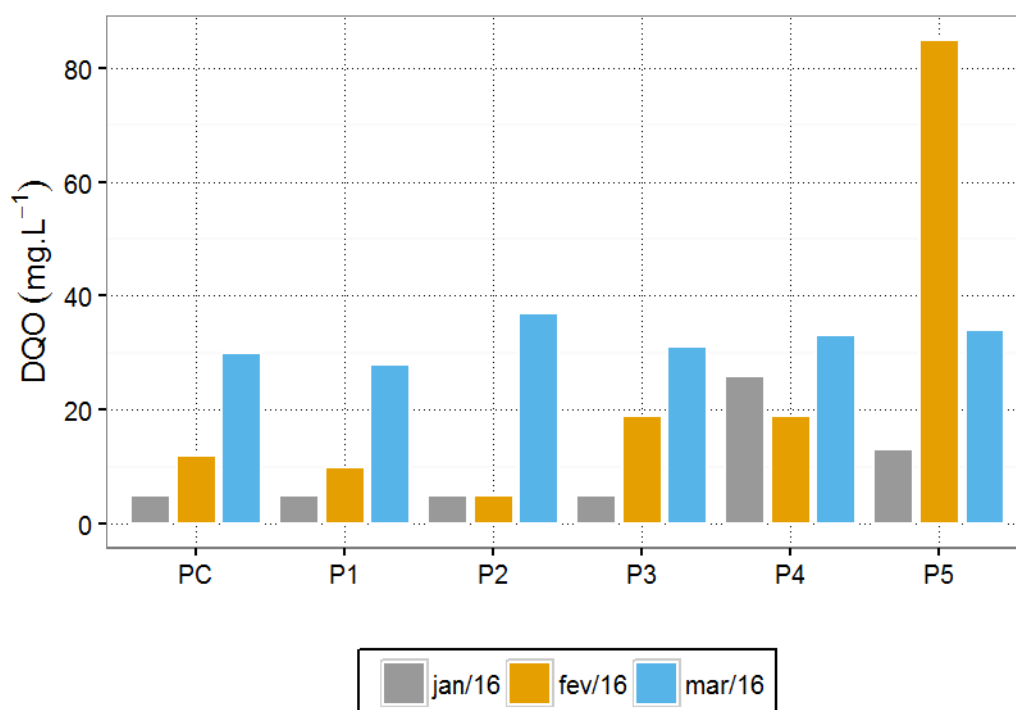


Figura 6-27: Demanda química de oxigênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

A partir da Figura 6-28 é possível constatar o acréscimo da DQO no rio Pirai ao longo do trimestre avaliado. As médias obtidas foram  $9,8 \pm 8,5 \text{ mg.L}^{-1}$  em jan/16;  $25,0 \pm 29,9 \text{ mg.L}^{-1}$  em fev/16 e  $32,2 \pm 3,2 \text{ mg.L}^{-1}$  em mar/16. O teste estatístico utilizado revelou diferenças significativas entre as campanhas de jan/16 e mar/16 (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,009$ ). Assim como descrito anteriormente, a coleta referente a mar/16 ocorreu após um evento de fortes chuvas na noite anterior o que mudou as características naturais do rio Pirai como a turbidez, transparência e profundidade. Portanto, o acréscimo observado no mês de mar/16 foi atribuído ao intenso aporte alóctone provocado pela forte chuva.

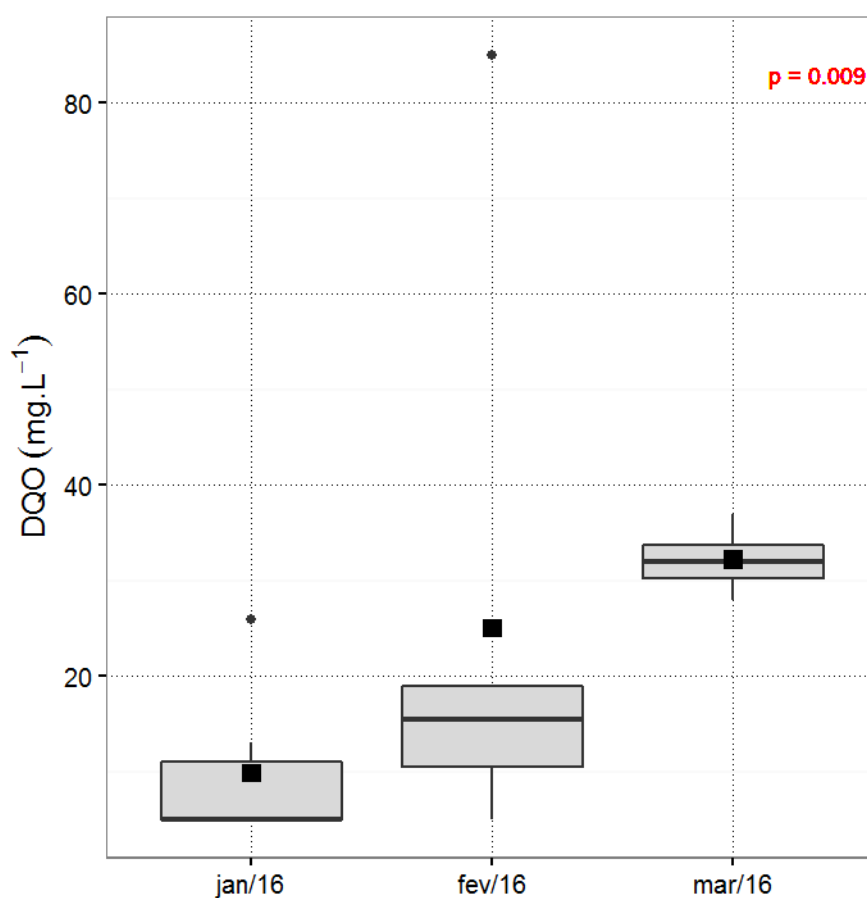


Figura 6-28: *Box-plot* da demanda química de oxigênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

#### 6.14 Carbono orgânico dissolvido (COD)

A concentração de COD variou de 2,3 a  $11,6 \text{ mg.L}^{-1}$  com média de  $6,2 \pm 2,3 \text{ mg.L}^{-1}$ . O mínimo foi referente a amostra de PC em jan/16 enquanto o máximo foi referente a amostra de P5 em mar/16 (Figura 6-29). A estação com maior concentração média de COD foi P3 com  $7,3 \pm 0,3$  enquanto a estação com a menor concentração média foi PC com  $5,0 \pm 2,8 \text{ mg.L}^{-1}$ . Em relação ao monitoramento realizado em 2011 e 2012 do rio Piraí (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  $40 \text{ mg.L}^{-1}$ .

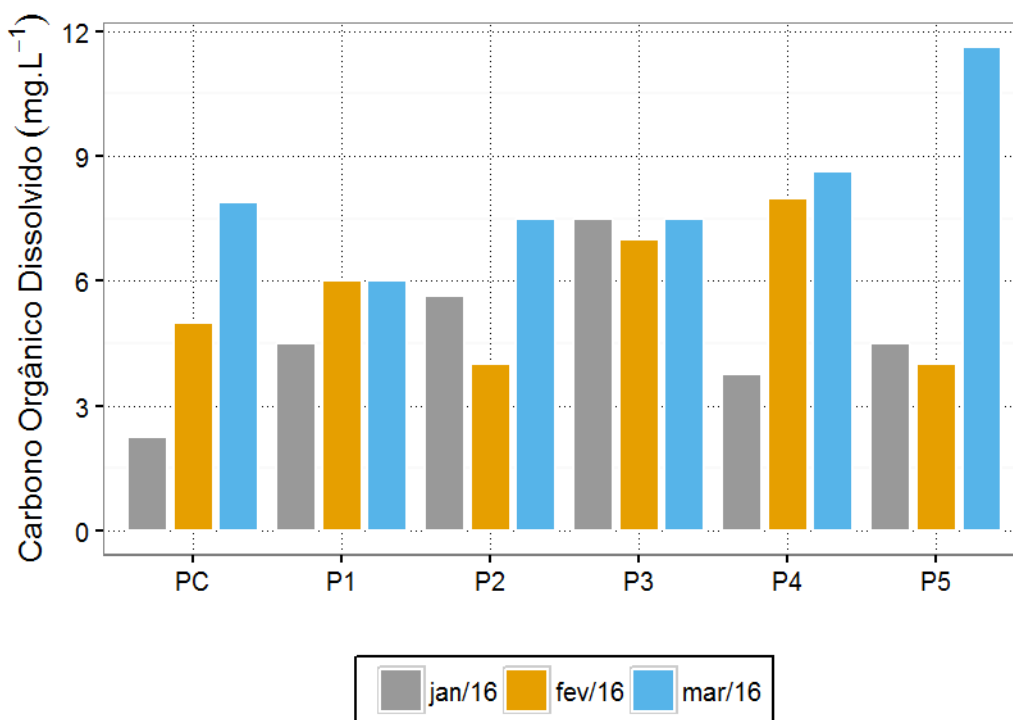


Figura 6-29: Carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

A partir da Figura 6-30 é possível constatar o incremento na concentração de carbono orgânico dissolvido ao longo do trimestre avaliado. O aumento das concentrações foi atribuído aos eventos pluviométricos mencionados anteriormente. Em fev/16 foi registrada chuva no momento da coleta em alguns pontos enquanto em mar/16 foi registrada um forte evento na noite antecedente a coleta. As médias foram  $4,7 \pm 1,8 \text{ mg.L}^{-1}$  em jan/16,  $5,7 \pm 1,6 \text{ mg.L}^{-1}$  em fev/16 e  $8,2 \pm 1,9 \text{ mg.L}^{-1}$ . Além disso, o teste estatístico revelou que as diferenças entre os meses de jan/16 e mar/16 foram significativas.

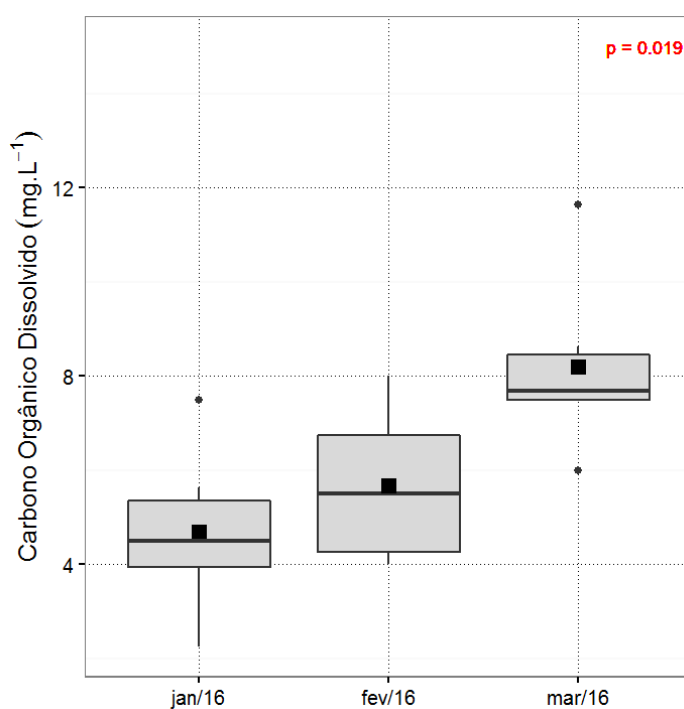


Figura 6-30: *Box-plot* da concentração de carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

## 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  $0,360 \text{ mg.L}^{-1}$  com média geral de  $0,159 \pm 0,121 \text{ mg.L}^{-1}$ . O valor mínimo foi registrado em cinco amostras ( P1, P3, P4, P5 e PC) referentes ao mês de jan/16, enquanto o máximo foi reportado em P2 de mar/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.

A estação de coleta P2 apresentou a maior concentração média do trimestre com  $0,197 \pm 0,170 \text{ mg.L}^{-1}$  enquanto a estação P5 apresentou a menor concentração média com  $0,098 \pm 0,088 \text{ mg.L}^{-1}$ .

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).

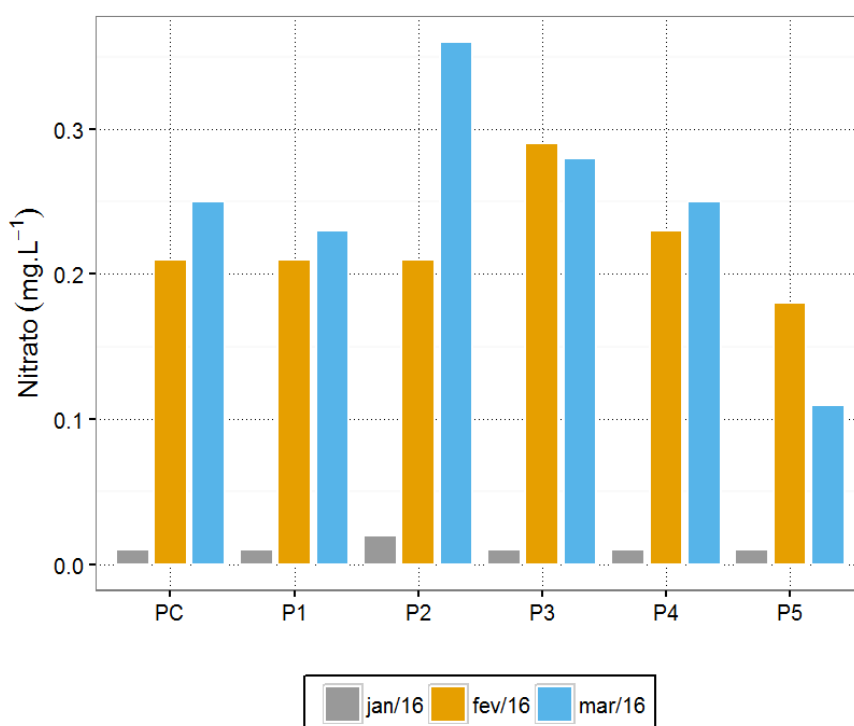


Figura 6-31: Nitrato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

Assim como observado para as concentrações de carbono orgânico dissolvido, turbidez e DQO as concentrações de nitrato ao longo do trimestre apresentaram um acréscimo atribuído aos eventos pluviométricos registrados ao longo do estudo (Figura 6-32). As médias foram  $0,008 \pm 0,006 \text{ mg.L}^{-1}$  no mês de jan/16,  $0,222 \pm 0,037 \text{ mg.L}^{-1}$  no mês fev/16 e  $0,247 \pm 0,081$  no mês de mar/16. O teste estatístico revelou diferença significativa apenas entre o mês de jan/16 com os demais. Ou seja, os meses de fev/16 e mar/16 não foram diferentes estatisticamente significativos entre si.

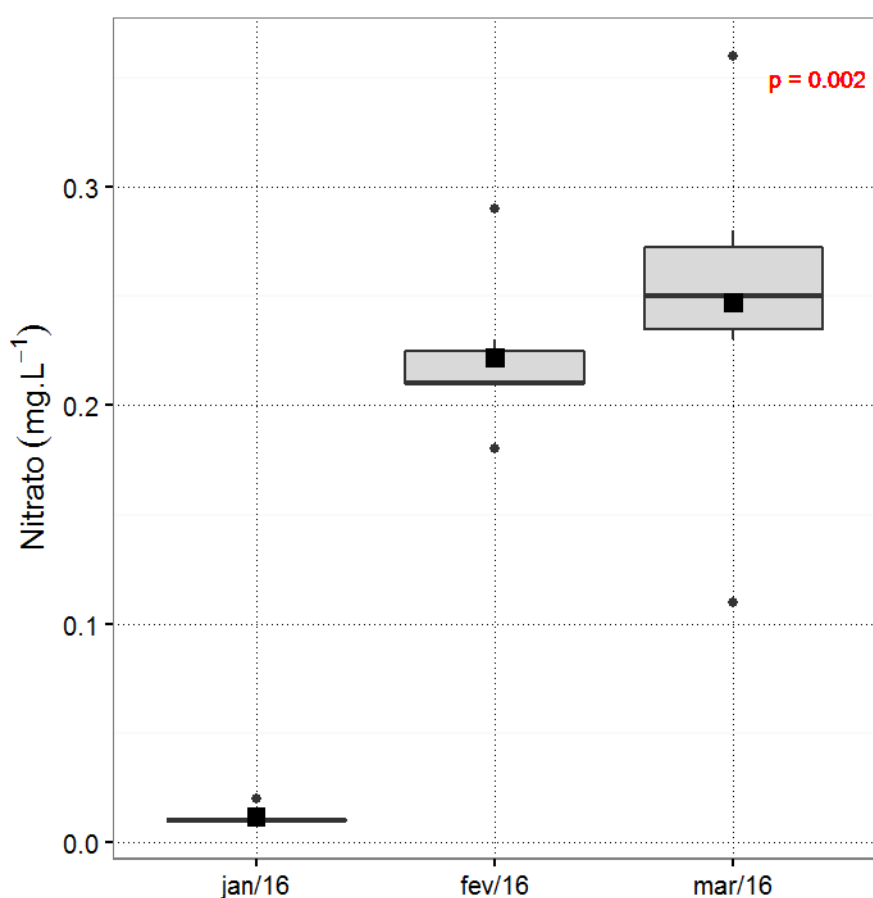


Figura 6-32: *Box-plot* da concentração de nitrato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

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 PC nos meses de fev/16

e mar/16 e a concentração máxima de  $0,83 \text{ mg.L}^{-1}$  referente a P3 de jan/16 (Figura 6-33). O valor máximo foi considerado fora dos padrões comumente encontrado na área portanto foi descartado da análise e considerado um *outlier*. A concentração geral média foi de  $0,17 \pm 0,18 \text{ mg.L}^{-1}$ .

A estação de coleta com maior concentração média foi P3 com  $0,35 \pm 0,41 \text{ mg.L}^{-1}$  atribuído ao resultado de jan/16 considerado *outlier*, portanto, desconsiderado. Em contrapartida na estação PC foi registrada a menor concentração média devido a frequência de resultados abaixo do limite de quantificação ( $0,04 \pm 0,06 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Para fins de cálculos e melhor representação gráfica nos resultados inferiores ao limite de quantificação foram utilizados a metade dos mesmos, ou seja, no caso do nitrogênio amoniacal  $0,0050 \text{ mg.L}^{-1}$ .

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.

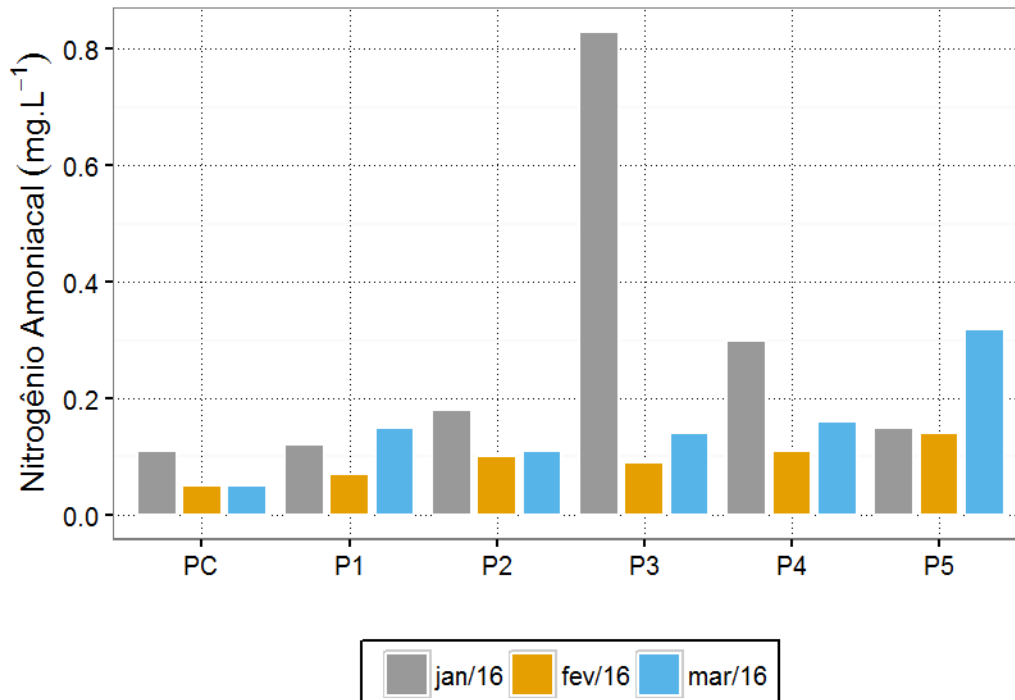


Figura 6-33: Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

No monitoramento do rio Pirai realizado nos anos de 2011 e 2012 foram reportados valores superiores ao presente estudo com variação de 0,014 a 0,302  $\text{mg.L}^{-1}$  e média de  $0,078 \pm 0,060 \text{ mg.L}^{-1}$  (SEA PROJECTS, 2013) - Figura 6-34.

Em relação aos meses de coleta, a campanha de jan/16 apresentou a maior média com  $0,282 \pm 0,277 \text{ mg.L}^{-1}$ . O mês de fev/16 apresentou a menor média com  $0,086 \pm 0,046 \text{ mg.L}^{-1}$  e o mês de mar/16 a média de  $0,148 \pm 0,102 \text{ mg.L}^{-1}$ . Vale destacar que a maior média registrada em jan/16 foi atribuída ao *outlier* referente a estação P3 como descrito anteriormente.

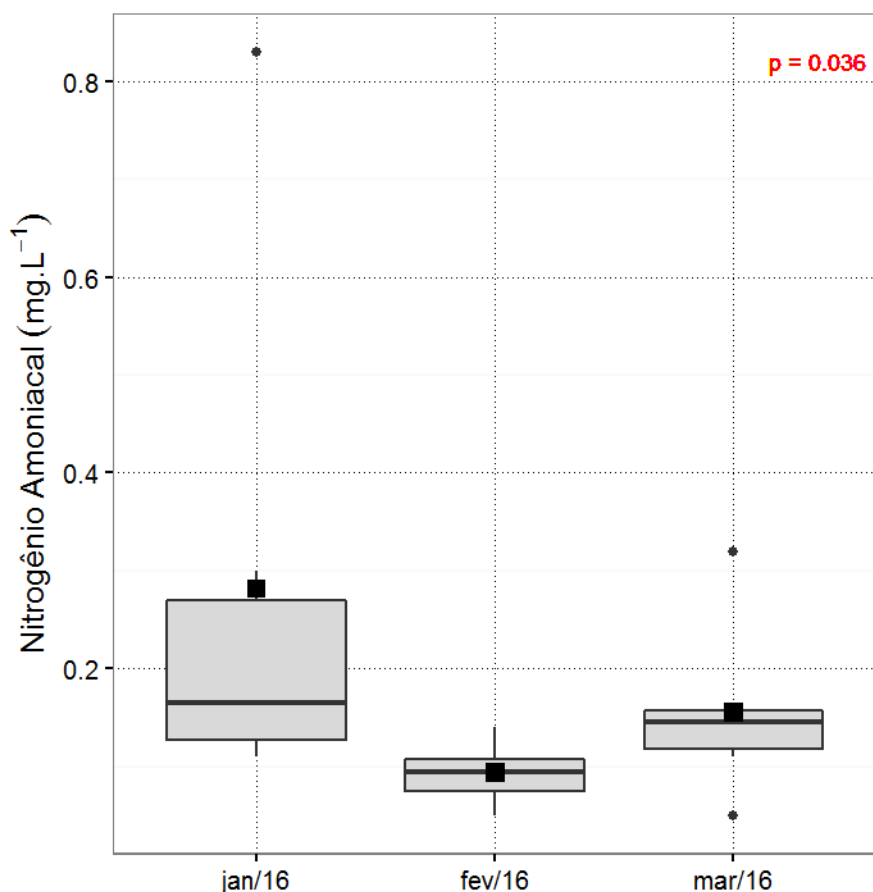


Figura 6-34: Box-plot da concentração de nitrogênio amoniacal ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

A concentração de nitrogênio total no presente estudo variou de  $1,98 \text{ mg.L}^{-1}$  referente ao ponto P4 de jan/16 a  $32,20 \text{ mg.L}^{-1}$  referente ao P5 em mar/16. A média geral foi de  $10,25 \pm 9,12 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 6-35).

O PC apresentou a menor concentração média com  $5,56 \pm 2,89 \text{ mg.L}^{-1}$  enquanto P5 apresentou a maior média com  $17,89 \pm 15,15 \text{ mg.L}^{-1}$ . Vale ressaltar que em P5 o ambiente lântico e baixa profundidade dificulta a renovação da água intensificando o acúmulo da matéria orgânica em contrapartida o ponto controle (PC) trata-se de um ambiente lótico com renovação das águas constante mesmo com grande aporte alóctone por parte da mata ciliar robusta.

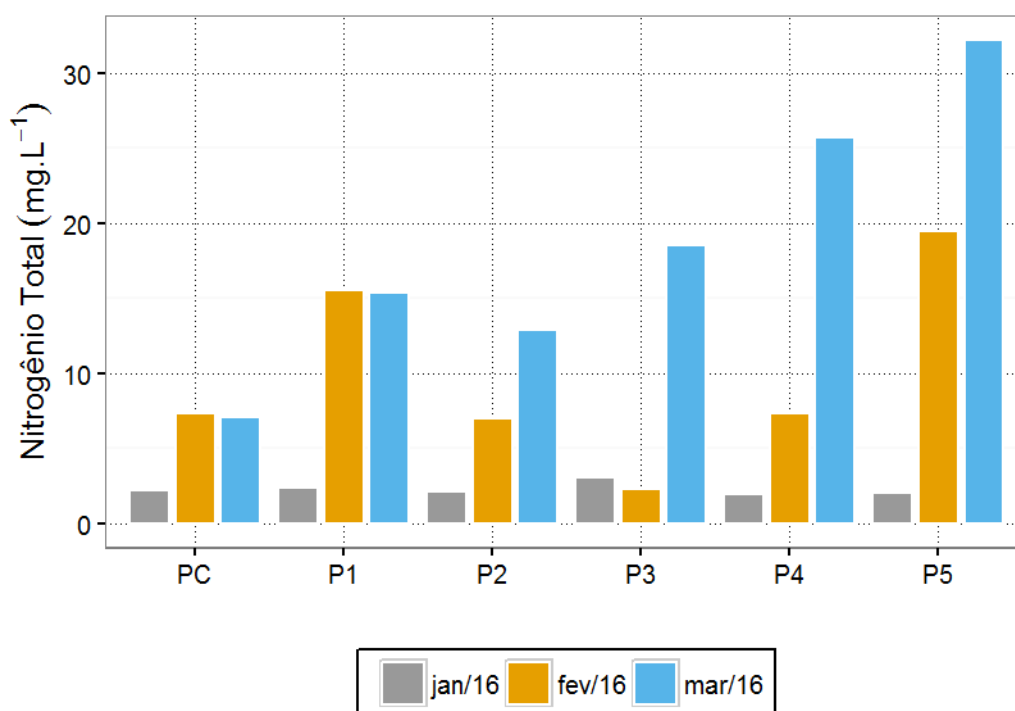


Figura 6-35: Nitrogênio total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação aos meses de campanha foi observada a mesma tendência descrita para o COD, DQO, nitrato, sólidos totais, turbidez e transparência (Figura 6-36). Ou seja, foi

reportado acréscimo na concentração de nitrogênio total ao longo do trimestre estudado atribuído aos eventos pluviométricos antecedentes as coletas. O mês de jan/16 apresentou a menor média com  $2,30 \pm 0,41 \text{ mg.L}^{-1}$  seguido do mês de fev/16 com média de  $9,83 \pm 6,35 \text{ mg.L}^{-1}$  e então o mês de mar/16 com  $18,63 \pm 9,06 \text{ mg.L}^{-1}$ . O teste estatístico revelou diferença significativa entre os meses de jan/16 e mar/16.

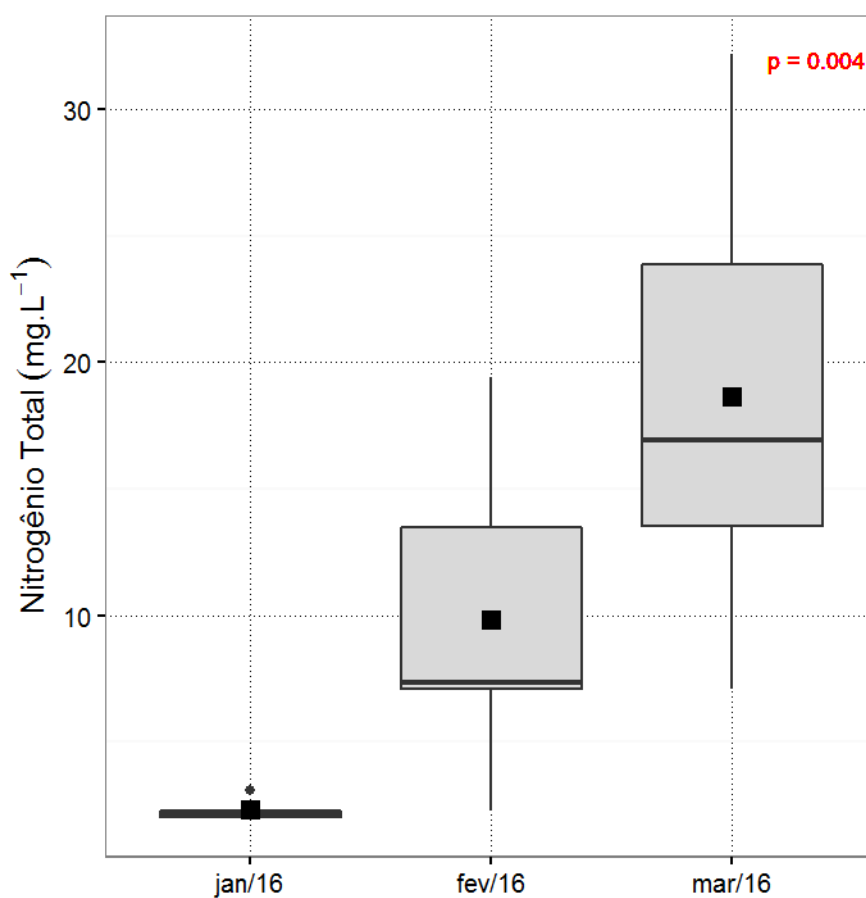


Figura 6-36: *Box-plot* da concentração de nitrogênio total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Através da correlação de Pearson foi revelada forte proporção entre o nitrogênio total e a concentração de carbono orgânico dissolvido ( $r=0,62$ ;  $p<0,05$ ) e a demanda química de oxigênio ( $r=0,58$ ;  $p<0,05$ ).

## 6.16 Fósforo

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

A concentração de fósforo total no presente estudo oscilou entre valores abaixo do limite de quantificação ( $0,020 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e o máximo  $0,030 \text{ mg.L}^{-1}$ . Os resultados abaixo do LQ foram registrados em 14 amostras (78 %) enquanto o máximo foi registrado em duas amostras: P5 e PC na campanha de jan/16. De maneira geral as únicas quatro amostras quantificadas ficaram restritas a campanha de jan/16. Em relação ao monitoramento realizado nos anos de 2011 e 2012 os valores obtidos no presente trabalho foram inferiores (SEA PROJECTS, 2013). De acordo com Wetzel (2001), em regiões não poluídas a concentração de fósforo fica 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 já 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 ficou abaixo do limite de quantificação em todas as amostras ( $< 0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Assim como observado para fósforo total a concentração supracitada foi inferior a encontrada no monitoramento do rio realizado nos anos de 2011 e 2012 (SEA PROJECTS, 2013).

Devido a alta frequência de resultados abaixo do limite de quantificação (79 %) 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  $16.000 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$ . O mínimo foi registrado em três amostras (P1 e PC em jan/16; PC em fev/16) enquanto máximo foi reportado em duas amostras (P1 e P5 em fev/16). A média geral



obtida foi de  $2.131,7 \pm 5.090,3$  NMP.100 mL<sup>-1</sup>. Vale destacar que o desvio padrão superior a própria média indica a alta variabilidade dos resultados ao longo do estudo, principalmente, devido aos dois resultados entorno de 16.000 reportados na campanha de fev/16 que não retratam a realidade do local e assim considerados *outliers* (Figura 6-37).

No que se refere a legislação vigente o artigo 14 da resolução CONAMA 357/05 estipula um limite de 200 NMP.100 mL<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> proposto o índice de desconformidade foi de dez amostras, cerca de 56 %. Logo, de acordo com a legislação supracitada.

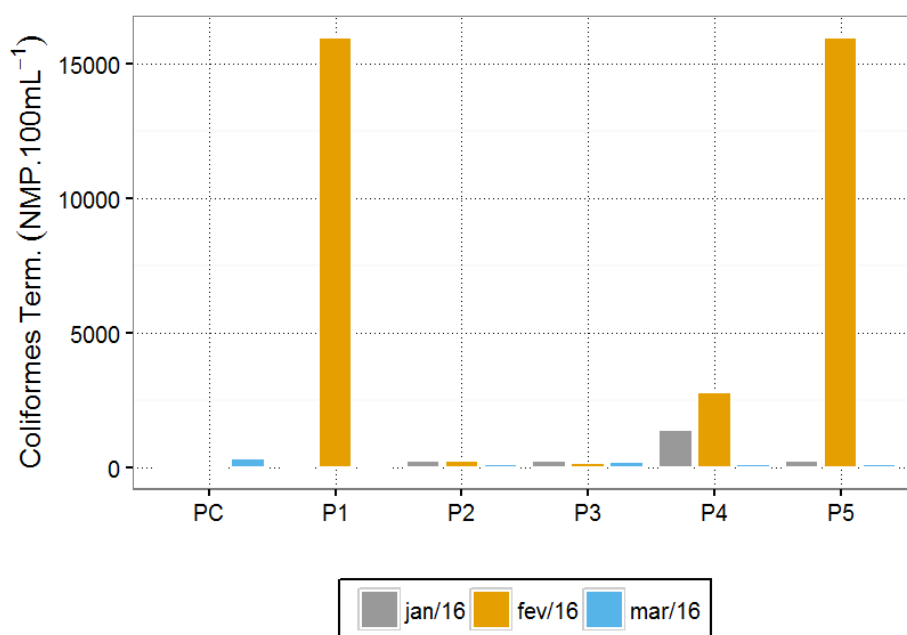


Figura 6-37: Coliformes termotolerantes (NMP.100mL<sup>-1</sup>) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação aos meses de coleta, o mês de fev/16 apresentou a maior concentração média com  $5.866,8 \pm 7.917,7$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> atribuídos aos valores reportados nas estações

P1 e P5. A campanha de mar/16 apresentou a média de  $8,2 \pm 1,9$  NMP.mL<sup>-1</sup> seguida da campanha de jan/16 com  $4,7 \pm 1,8$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> (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  $17.831 \pm 28.308$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> (SEA PROJECTS, 2013).

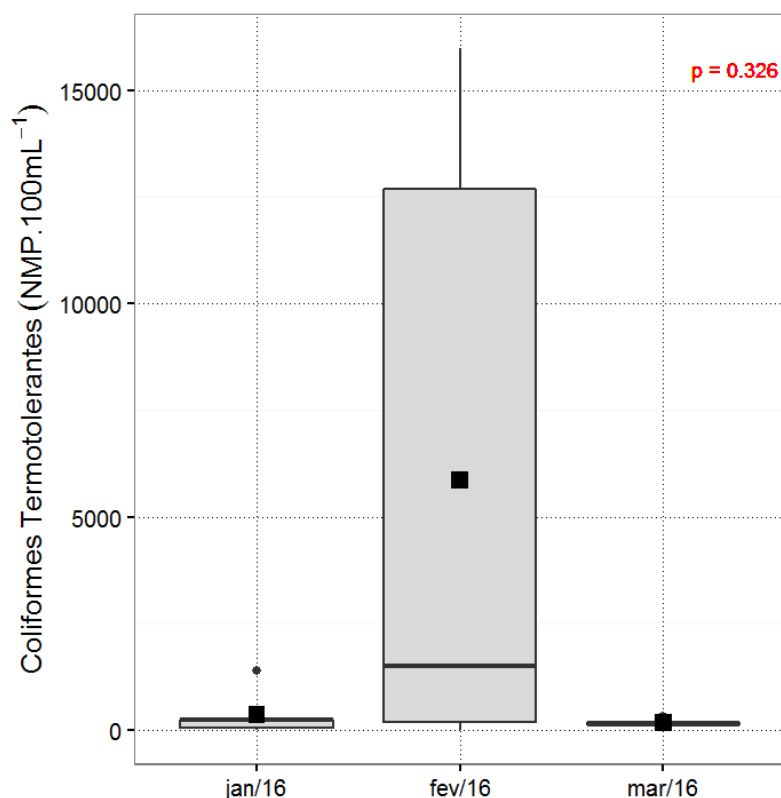


Figura 6-38: Box-plot da concentração de coliformes termotolerantes (NMP.100mL<sup>-1</sup>) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

## 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 Piraí também pode ter influenciado no resultado baixo. Segundo SAUVÉ *et al.* (2012) a concentração de cafeína necessária para uma boa relação com efluentes domésticos não tratados equivale a cerca de 2,4 litros de café diluídas em  $2,5 \times 10^6$  litros de água.

## 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, neste monitoramento foram calculados o Índice de Estado Trófico (IET), Índice de Qualidade Ambiental (IQA) e o Índice de Desconformidade (ID).

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.

O índice de estado trófico do rio Pirai durante o trimestre avaliado variou de 46 a 52, ou seja, de ultraoligotrófico a oligotrófico. Amostras com o índice de ultraoligotrofia foram cerca de 83 % enquanto o índice de oligotrofia foi reportado em 17 %. Os maiores valores foram reportados estações P4, P5 e PC no mês de jan/16 as demais amostras apresentaram o IET de 46 (**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. Os resultados baixos e constantes foram atribuídos a concentração de fósforo total que também foram baixos com 14 amostras (78 %) abaixo do limite de quantificação do método conforme supracitado. 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 janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	CAMPANHAS		
	JANEIRO/16	FEVEREIRO/16	MARÇO/16
P1	46	46	46
P2	46	46	46
P3	46	46	46
P4	49	46	46
P5	52	46	46
PC	52	46	46



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 46 a 90, ou seja, de “Regular” a “Ótima”. Cerca de 17 % (3 amostras) foram classificadas como índice “ótima”, 72 % (13 amostras) com índice “boa” e 6 % (1 amostra) com índice “regular”.

A amostra classificada no IQA como “regular” (46) foi referente ao ponto P5 de fev/16. Sua classificação inferior as demais foi atribuída a alta turbidez (99,80 UNT) reportada cujo o valor foi o máximo obtido para o parâmetro (turbidez) no trimestre avaliado. O IQA máximo foi obtido no ponto PC na campanha de fev/16 atribuído a alta concentração de oxigênio dissolvido e baixas concentrações de coliformes e turbidez.

No geral a média dos resultados reportados no trimestre avaliado foi de  $69 \pm 11$ , ou seja, “boa”. O ponto PC apresentou a maior média com  $85 \pm 5$  (“ótima”) enquanto o P5 apresentou a menor média com  $60 \pm 13$  (“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.

Em relação ao monitoramento do rio Piraí realizado nos anos de 2011 e 2012 os resultados foram semelhante visto que também foi classificado em média com índice de qualidade da água “médio” com valor de  $\cong 68$  (SEA PROJECTS, 2013).

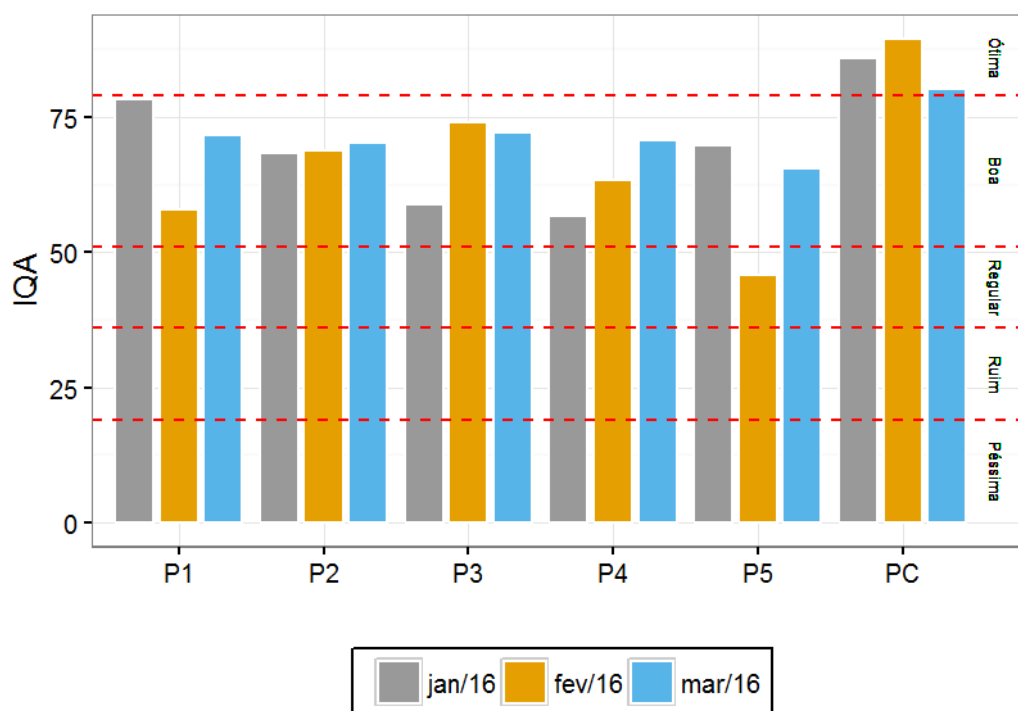


Figura 7-1: Índice de Qualidade da Água (IQA) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Em relação ao índice de qualidade da água ao longo do trimestre foi observado que os resultados foram semelhantes. Apesar das condições atípicas observadas na campanha de mar/16 não foi observado acréscimo significativos na concentração dos parâmetros capaz de alterar a classificação do índice de forma substancial. No geral o mês de mar/16 apresentou a maior média  $72 \pm 5$  seguido de jan/16 com  $70 \pm 11$  e então o mês de fev/16 com  $67 \pm 15$ . Os resultados foram coerentes devido as mudanças reportadas nas características do rio, principalmente no mês de mar/16. Contudo, o teste estatístico não revelou diferenças significativas entre as campanhas de coleta (*Kruskal-Wallis* –  $p=0,567$ ) - Figura 7-2.

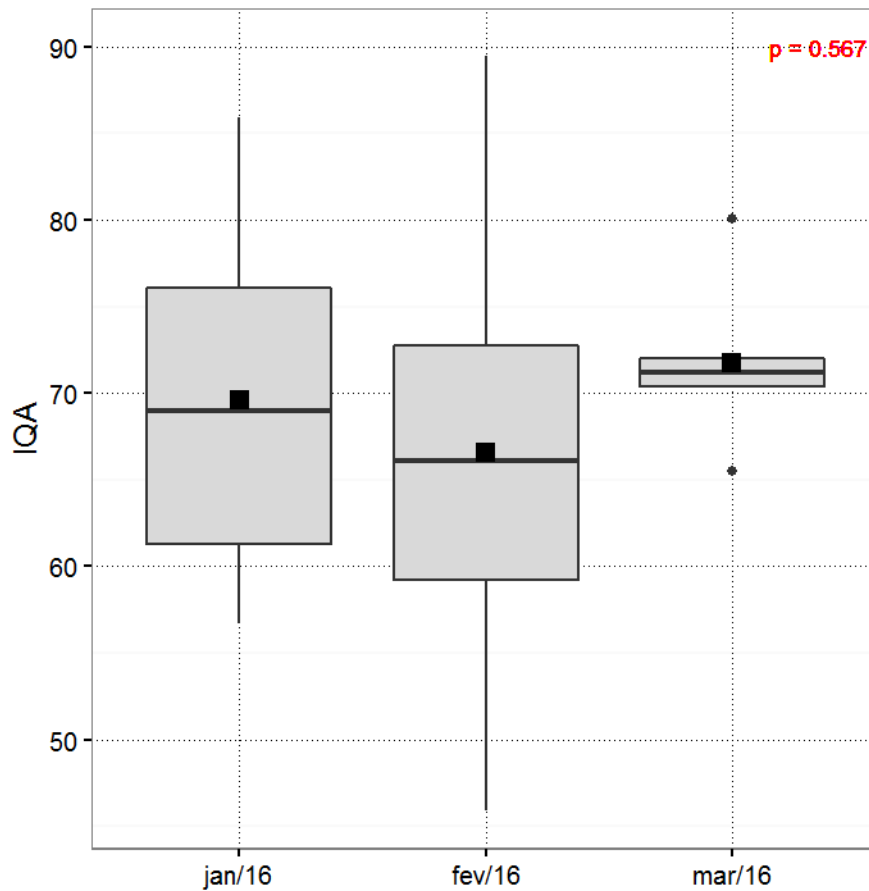


Figura 7-2: Box-plot do índice de Qualidade da Água (IQA) da água entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Pirai.

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos para o índice empregado (IQA) os mesmos são apresentados na forma de mapa na Figura 7-3.



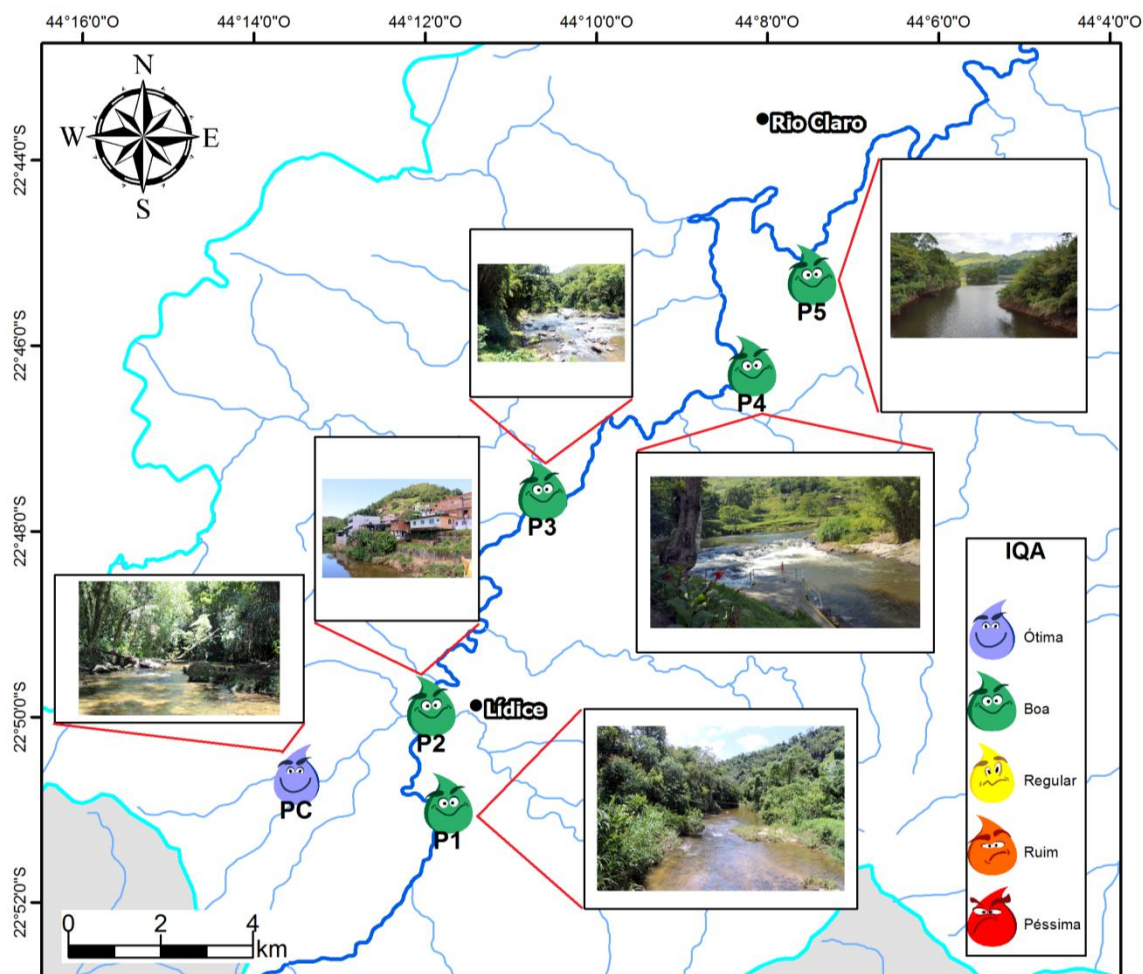


Figura 7-3: Mapa de distribuição do índice de qualidade da água (IQA) médio nas campanhas de janeiro/16 a mar/16.

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 transparência (Transp), temperatura (Temp), sólidos dissolvidos totais (TDS), condutividade (Cond), pH, oxigênio dissolvido (OD), turbidez, vazão, 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 (CT), nitrato (NO<sub>3</sub>) 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 54,5%, e a maior parte da variação foi explicada pelo eixo 1 de 35,83 %, enquanto que o eixo 2 teve explicação de 18,70 %.

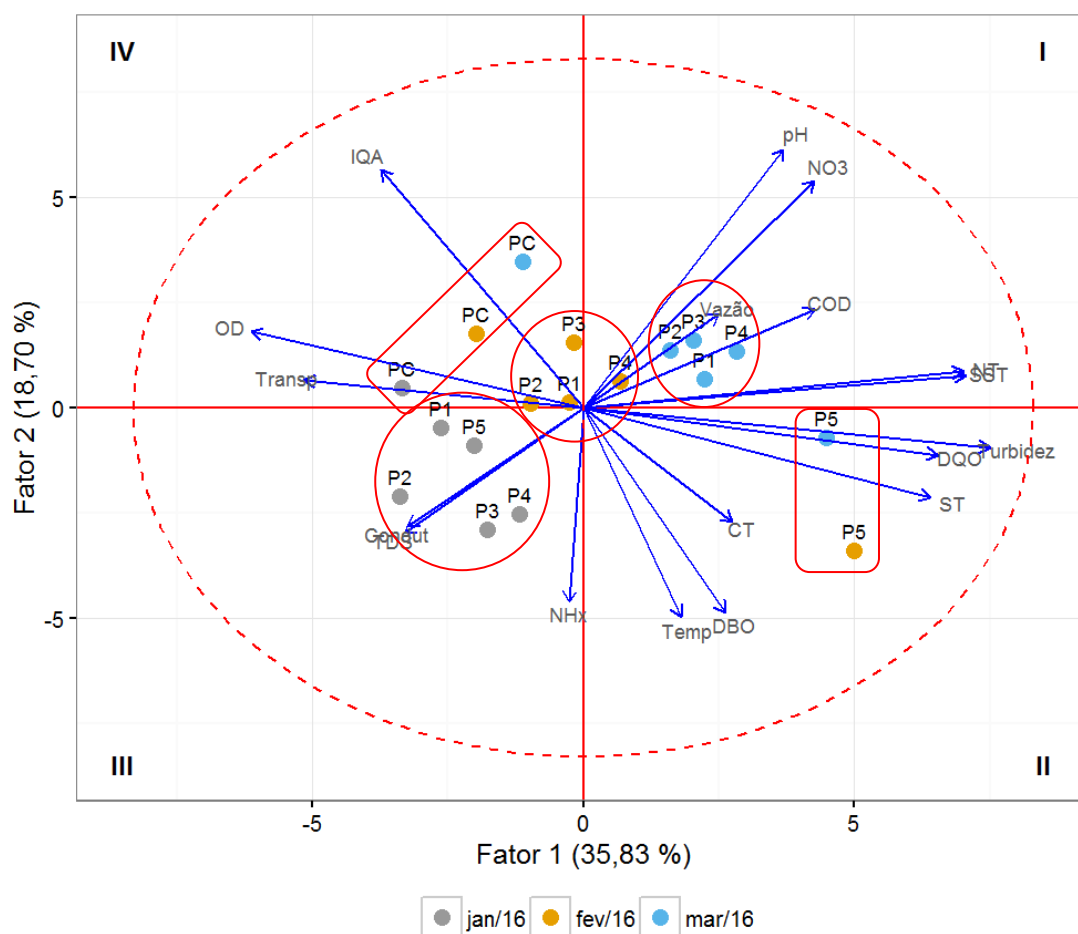


Figura 7-4: Análise de componentes principais (PCA) das campanhas entre janeiro e março de 2016 no monitoramento do rio Piraí.

A partir do posicionamento das amostras no plano da PCA foi possível notar a separação principalmente por mês de campanha. Nos quadrantes I e II estão localizadas as amostras positivamente correlacionadas com o fator 1, portanto, positivamente



correlacionadas com a turbidez, DQO, sólidos totais, sólidos suspensos totais, nitrogênio total, carbono orgânico dissolvidos e outros parâmetros como a DBO, coliformes termotolerantes e nitrato. Logo, são amostras com qualidade ambiental inferior devido a maior quantidade de matéria orgânica registrada. Desta maneira, as amostras localizadas nos quadrantes I e II foram predominantemente referentes a campanha de mar/16. Contudo, vale destacar a presença no quadrante II da amostra referente ao P5 do mês de fevereiro visto que o mesmo apresentou alta turbidez, DBO entre outras características semelhantes a campanha de mar/16.

Correlacionado negativamente com o fator 1 nos quadrantes III e IV estão as amostras com correlação direta com o IQA, OD e transparência além de ter correlação negativa com os parâmetros supracitados. Ou seja, amostras com qualidade superior. Em particular no quadrante III estão localizadas as amostras referentes ao mês de jan/16 com condutividade e concentração de sólidos dissolvidos totais superior as demais. No quadrante IV próximo ao eixo estão localizados as amostras referentes a campanha de fev/16 com resultados intermediários não apresentando correlação forte com nenhum parâmetro.

Vale destacar que o agrupamento das amostras referente ao PC no quadrante IV evidencia a estabilidade e a boa qualidade ambiental descrito ao longo do presente relatório.

Pode-se concluir que as características do rio ao longo do trimestre avaliado tiveram ampla variação principalmente na turbidez a carga orgânica (DQO) evidenciando a suscetibilidade a fatores alóctones carregados por chuvas. As variações observadas foram atribuídas aos fortes eventos pluviométricos nos dias antecedentes a coleta principalmente em mar/16 (Figura 6-4).



## 8 COMPARAÇÃO GERAL DAS CAMPANHAS

Durante o monitoramento do trimestre avaliado alguns parâmetros apresentaram desconformidade com o artigo 14 da Resolução CONAMA 357/2005: pH com 28 % de desconformidade (5 amostras), oxigênio dissolvido com 17 % (3 amostras), turbidez com 33 % (6 amostras), coliformes termotolerantes com 56 % (10 amostras) e DBO com 50 % (9 amostras). Levando em consideração apenas os parâmetros citados no artigo 14 da resolução CONAMA 357/05 o índice de desconformidade geral foi de 20,37 %.

Os resultados referentes a demanda bioquímica de oxigênio apresentou resultados mais críticos devido ao alto índice de desconformidade sendo a maioria referente a campanha de jan/16. Contudo, vale ressaltar que não foram observadas diferenças estatisticamente significativa entre as campanhas de coleta. Logo, a carga orgânica do rio Piraí requer cautela visto que trata-se de um curso hídrico suscetível a fatores alóctones carreados por eventos de precipitação intensa.

Pontos positivos também foram registrados. O baixo índice de desconformidade para a concentração de oxigênio dissolvido indica a ausência de hipoxia e constata a boa oxigenação das águas do rio Piraí ao longo do estudo.



## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O primeiro trimestre de monitoramento do rio Pirai atendeu todas as especificações técnicas solicitadas realizados nos meses de jan/16 a mar/16.

A avaliação das características da água ao longo do rio apontaram para uma qualidade satisfatória sem impactos expressivos dos empreendimentos no entorno. Cinco parâmetros estiveram em desconformidade com a legislação vigente, contudo, apenas a concentração de coliformes termotolerantes e a demanda bioquímica 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.

Em relação ao índice de estado trófico (IET) o rio Pirai variou entre oligotrófico e ultraoligotrófico, ambas classificações remetem à baixas concentrações de nutrientes no trecho amostrado. Enquanto o Índice de Qualidade de água (IQA), as águas do trecho amostrado foram classificadas entre qualidade “boa” e “ótima”. Contudo, em média a qualidade obtida foi de 69, 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.

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

BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2<sup>a</sup>. 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.

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<sup>a</sup>. ed. London: Chapman & Hall, p. 51–120. 1992.

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<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

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.

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.





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.

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.

MARQUES, J.; RANGEL, T.; BRITO, F.; CARVALHO, R.; SALOMÃO, M.; REZENDE, C.; BERNARDES, M. & DITTMAR, T. Variação espacial da concentração de Carbono Orgânico dissolvido no estuário do Rio Paraíba do Sul e na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. XII Congresso Brasileiro de Geoquímica, p. 1–4, 2009.

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.

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.

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

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. 3<sup>a</sup>. 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. 4<sup>a</sup>. ed. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014.

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**





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



## **ANEXO I – Mapa com possíveis fontes poluidoras**







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



## **ANEXO II – Mapas indicando parâmetros acima do esperado**





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



# ANEXO III – LAUDOS LABORATORIAIS

## Janeiro a Março 2016