



CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ANÁLISE GEOAMBIENTAL

**Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu
Guaçu, Contribuinte do Reservatório Guarapiranga –
Região Metropolitana de São Paulo**

João Alexandre de Andrade

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Saad

Guarulhos

2014



João Alexandre de Andrade

**Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu
Guaçu, Contribuinte do Reservatório Guarapiranga –
Região Metropolitana de São Paulo**

Dissertação apresentada à Universidade
Guarulhos para obtenção do título de Mestre em
Análise Geoambiental

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Saad

Guarulhos

2014



A Comissão Julgadora dos Trabalhos de Defesa de Dissertação de MESTRADO, intitulada “**Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu, Contribuinte do Reservatório Guarapiranga – Região Metropolitana de São Paulo**” em sessão reservada realizada em 20 de Fevereiro de 2014 considerou o candidato **João Alexandre de Andrade** aprovado.

A Banca Examinadora foi composta pelos seguintes pesquisadores:

Prof. Dr. Antonio Roberto Saad
Orientador
Universidade Guarulhos - UnG

Prof. Dr. Reinaldo Romero Vargas
Universidade Guarulhos - UnG

Prof. Dr. Daniel Nery dos Santos
Faculdade Tecnológica de São Paulo - FATEC

RESUMO

Estudos realizados possibilitaram analisar a qualidade das águas da Bacia Hidrológica do Rio Embu Guaçu, contribuinte do Reservatório Guarapiranga, frente aos seus atributos geoambientais, principalmente o de uso da terra. Para tanto, contou-se com dois pontos de monitoramento da CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo: EMGU-00800 (2009 a 2012) e CIPO-00900 (2000 a 2012). Os estudos foram realizados, em relação aos Índices de Qualidade de Água – IQA e do Estado Trófico – IET, bem como seus respectivos parâmetros. Com relação ao ponto EMGU-00800, de acordo com os valores obtidos entre 2000 e 2012, o IQA oscilou em média de 57 a 69, o que implica em uma classificação Boa para as águas do Rio Embu Guaçu neste ponto. O IET, por sua vez, com análise entre os anos de 2002 a 2012, apresentou valores anuais médios de 59 (2002) a 46 (2012), isto é, de condição mesotrófica para ultraoligotrófica. Já para o ponto CIPO-00900, localizado no rio Cipó, afluente do Rio Embu Guaçu, devido à ocupação urbana, apresentou piora nos seus índices. O IQA apresentou qualidade Regular para o período de 2009 a 2012 em 86% dos valores, com variação média entre 30 e 52. Dos parâmetros que compõem o IQA, coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, DBO e fósforo total apresentaram valores médios fora do estabelecido pelo CONAMA 357/05, o que confirma a falta de saneamento básico na região. O IET para o ponto CIPO-00900, também confirma esta situação, com níveis de trofia predominantes mesotróficos (35%) e eutróficos (30%). O ferro dissolvido, presente nas águas da região da bacia apresentou valores acima do estabelecido em legislação, devido a presença deste elemento nas rochas (biotita). No entanto, no ponto CIPO-00900 devido ao baixo teor de oxigênio dissolvido, o que favorece a solubilização dos íons Fe^{2+} , foi observada uma maior concentração de ferro dissolvido. Ressalta-se que nessa bacia hidrográfica as classes de uso da terra predominante são as matas, os campos/capoeiras e o reflorestamento, caracterizando a área de estudo como rural, este cenário auxilia na qualidade da água no ponto EMGU-00800, próximo ao reservatório de Guarapiranga.

Palavras-chave: Região Metropolitana de São Paulo. Represa do Guarapiranga. Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu. Qualidade de Águas.

ABSTRACT

Studies conducted to analyze the water quality of the Hydrographic Basin of Embu Guaçu River, contributor of Guarapiranga Reservoir, front of their geo-environmental attributes, especially land use. This involved with two points of monitoring Cetesb - Environmental Company of São Paulo: EMGU-00800 (2009 to 2012) and CIPO-00900 (2000 to 2012). The studies were conducted in relation to the Water Quality Index - WQI and Trophic State Index- TSI, as well as their parameters. Regarding EMGU-00800, in accordance with the values obtained between 2000 and 2012, the WQI ranged on average 57 to 69, which implies a Good rating for the waters of the Embu Guaçu River in this point. The TSI, in turn, with analysis between 2002 to 2012, showed average annual values of 59 (2002) to 46 (2012), ie, mesotrophic to ultraoligotrophic condition. As for the CIPO-00900 on the Cipó river, affluent of the Embu Guaçu river, due to urban occupation, showed worsening in their indexes. The WQI showed Regular quality presented for the period 2009-2012 in 86% of values, with an average variation between 30 and 52. Parameters that make up the WQI, fecal coliforms, dissolved oxygen, BOD and total phosphorus showed mean values out of established by CONAMA 357/05, which confirms the lack of sanitation in the region. The TSI for CIPO-00900, also confirms this, with mesotrophic (35 %) and eutrophic (30%) levels prevalent. The dissolved iron, present in the waters of the basin showed values above the established in legislation, due to the presence of this element in the rocks (biotite). However, in CIPO-00900 due to low dissolved oxygen content, which favors the solubilization of Fe^{2+} ions, a higher concentration of dissolved iron was observed. It is emphasized that this hydrographic basin the classes of the predominant land use are the forests, fields/barns and reforestation, characterizing the study area as rural. This scenery improves the water quality at the EMGU-00800, near the Guarapiranga reservoir.

Keywords: Metropolitan Region of São Paulo. Guarapiranga Reservoir. Hydrographic Basin of Embu Guaçu River. Water Quality.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Pólos de desenvolvimento urbanos no Brasil	10
FIGURA 2: Megalópole formada pelas regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro	10
FIGURA 3: Crescimento da região metropolitana de São Paulo (vermelho) no entorno do Sistema Billings/Guarapiranga	11
FIGURA 4: Localização dos pontos de monitoramento da CETESB (EMGU-00800 e CIPO-00900), na área de estudo	13
FIGURA 5: Ponto de monitoramento EMGU-00800 no rio Embu Guaçu	14
FIGURA 6: Ponto de monitoramento CIPO-00900 no Rio Cipó	14
FIGURA 7: Curvas dos parâmetros analíticos para cálculo do IQA	22
FIGURA 8: Localização da Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga	39
FIGURA 9: Bacias hidrográficas contribuintes do Reservatório Guarapiranga	40
FIGURA 10: Principais unidades litológicas aflorantes na Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu	41
FIGURA 11: Exposição de maciço rochoso de migmatito. Nota-se a presença de Paleossoma (avermilhado) e Neossoma (branco), com alteração intensa	42
FIGURA 12: Detalhe de uma rocha granítica, com matriz dada principalmente por feldspato, biotita e quartzo, pórfiro isolado de feldspato branco	42
FIGURA 13: Mapa hipsométrico da área de estudo	43
FIGURA 14: Mapa geomorfológico da área de estudo	44
FIGURA 15: Mapa de declividade da área de estudo	46
FIGURA 16: Mapa de densidade de drenagens da área de estudo	47
FIGURA 17: Mapa pedológico de drenagens da área de estudo	48
FIGURA 18: Perfil pedológico de solo do tipo cambissolos	49
FIGURA 19: Perfil pedológico de solo do tipo latossolo	49
FIGURA 20: Mapa de densidade de drenagens da área de estudo	50
FIGURA 21: Mapa de Uso da Terra da área de estudo	51
FIGURA 22: Atividade agrícola na área de estudo	52
FIGURA 23: Representação de área urbana consolidada	52
FIGURA 24: Paisagem representativa da classe campo / capoeira	53
FIGURA 25: Ilustração de classe do tipo chácara	53
FIGURA 26: Ocorrência de mata ao sul da área de estudo	54
FIGURA 27: Várzea do Rio Embu Guaçu ao sul da área de estudo	54
FIGURA 28: Valores médios de IQA para o ponto EMGU-00800 no período de 2000 a 2012	56
FIGURA 29: Histograma referente aos valores de IQA do ponto EMGU-00800 para o período de 2000 a 2012	56
FIGURA 30: Gráfico tipo Boxplot referente ao IQA no ponto EMGU-00800 em diferentes períodos	57
FIGURA 31: Gráfico pareto para os nove parâmetros de IQA, com valores médios de 2011 para o ponto EMGU-00800	58

FIGURA 32: Gráfico do logaritmo da concentração de coliformes de 2000 a 2012 para o ponto EMGU-00800	59
FIGURA 33: Análise do comportamento da DBO entre 2000 e 2012 para o ponto EMGU-00800	59
FIGURA 34: Perfil de valores médios de oxigênio dissolvido (OD) para o ponto EMGU00800 entre 2000 e 2012	60
FIGURA 35: Valores anuais médios de IET para o ponto EMGU 00800 entre 2002 e 2012.....	61
FIGURA 36: Histograma dos neveis de estado trófico para o ponto EMGU-00800 no período de 2000 a 2012.....	62
FIGURA 37: Perfil do fósforo total no ponto EMGU00800 entre os anos 2000 e 2012.....	62
FIGURA 38: Gráfico boxplot para análise de IET do ponto EMGU-00800 em diferentes períodos.....	63
FIGURA 39: Valores médios do teor de ferro dissolvido nas águas do rio Embu Guaçu no ponto EMGU-00800	64
FIGURA 40: Valores médios de IQA para o ponto CIPO-00900 no período de 2009 a 2012.....	65
FIGURA 41: Gráfico pareto para os nove parâmetros de IQA, com valores médios de 2009 para o ponto CIPO-00900	65
FIGURA 42: Valores médios do oxigênio dissolvido nas águas do Rio Cipó no ponto CIPO-00900.....	66
FIGURA 43: Valores médios de Coliformes termotolerantes (escala logarítmica) nas águas do Rio Cipó no ponto CIPO-00900	66
FIGURA 44: Valores médios de DBO nas águas do Rio Cipó no ponto CIPO-00900	67
FIGURA 45: Valores médios de fósforo total nas águas do Rio Cipó no ponto CIPO-00900	67
FIGURA 46: Histograma referente aos valores de IET do ponto CIPO-00900 para o período de 2009 a 2012	68
FIGURA 47: Valores médios de IET para o ponto CIPO-00900 no período de 2009 a 2012	68
FIGURA 48: Gráfico tipo Boxplot referente ao IQA nos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800 de 2009 a 2012	69
FIGURA 49: Gráfico tipo Boxplot referente ao IET nos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800 de 2009 a 2012	70
FIGURA 50: Gráfico tipo Boxplot referente ao Fósforo total nos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800 de 2009 a 2012	71
FIGURA 51: Gráfico tipo Boxplot referente ao Ferro dissolvido nos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800 de 2009 a 2012	72

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Relação dos usos das Águas	17
QUADRO 2: Variáveis de qualidade medidas nos índices de qualidade de água	20
QUADRO 3: Classificação do Estado Trófico – Rios.....	24

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Padrões de Qualidade das Águas do Estado de São Paulo	18
TABELA 2: Padrões de Qualidade das Águas no Território Nacional Brasileiro.....	19
TABELA 3: Classificação do Índice de Qualidade da Água – IQA	22
TABELA 4: Índice do Estado Trófico para Rios	25
TABELA 5: Valores médios de 2011 para os nove parâmetros que compõem o IQA	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
1.1 Objetivos	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise.....	15
2.2 Classificação das Águas no Brasil.....	16
2.3 Padrão de Qualidade dos Corpos D'água e Legislações.....	17
2.4 Qualidade das Águas e seu Cálculo	20
2.4.1 Índice de Qualidade da Água – IQA.....	20
2.4.2 Índice do Estado Trófico – IET	23
2.5 Significado ambiental das variáveis físicas, químicas e microbiológicas das águas	25
2.5.1 Variáveis Físicas	25
2.5.1.1 Temperatura.....	26
2.5.1.2 Turbidez	27
2.5.1.3 Teor de Sólidos Totais (Resíduo total)	27
2.5.1.4 Cor, sabor e odor	28
2.5.2 Variáveis Químicas	28
2.5.2.1 Oxigênio Dissolvido.....	29
2.5.2.2 Fósforo Total.....	31
2.5.2.3 Nitrogênio Total.....	31
2.5.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)	32
2.5.2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	33
2.5.2.6 Ferro.....	34
2.5.3 Variáveis Microbiológicas	34
3. TRABALHOS REALIZADOS	36
3.1 Pesquisa Bibliográfica.....	36
3.2 Aquisição e Organização dos Dados - CETESB e UnG	36
3.3 Tratamento dos Dados	37
4. CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.1 Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu	38
4.1.1 Uso da Terra	50
5. RESULTADOS OBTIDOS	55
5.1 Análise do IQA e de seus parâmetros para o ponto EMGU-00800.....	55
5.2 Análise do IET para o ponto EMGU-00800.....	60
5.3 Ferro dissolvido	63
5.4 Análise do IQA e de seus parâmetros para o ponto CIPO-00900.....	64
5.5 Análise do IET para o ponto CIPO-00900.....	67
5.6 Análise conjunta da qualidade das águas dos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800	69
6. CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1. INTRODUÇÃO

O mundo está se tornando cada vez mais urbano e prevê-se que em 2050 a população mundial atinja a marca dos 9 bilhões; nesse cenário, estima-se que a maioria do crescimento ocorrerá nas cidades. Essas previsões, contidas nas obras de Tucci (2005, 2010), preocupam sobremaneira os ambientalistas, a ponto de Braga (2003) já afirmar que as cidades representam as construções humanas de maior impacto na superfície terrestre.

Braga (2003) chama a atenção para o fato de que a forma desordenada como vem ocorrendo o crescimento urbano no Brasil, caracterizado principalmente pelo avanço significativo das metrópoles sobre o meio natural, têm ocasionado inúmeros impactos negativos para a qualidade ambiental do meio urbano no que se refere à utilização dos recursos hídricos. Essa preocupação tem fundamento nos meios técnico-acadêmicos, pois sob a ótica de que a água é um recurso finito e bastante impactado, traz em seu bojo a questão da habitabilidade dos centros urbanos.

O crescimento urbano no Brasil tem ocorrido principalmente nas regiões metropolitanas (RM) ou em cidades consideradas pólos regionais (Figura 1) (RAMPANELLI, 2010). As regiões metropolitanas possuem um núcleo principal, circundados por várias cidades vizinhas. Por vezes, esse modelo conduz à formação de megalópoles, como é o caso da Região Sudeste do Brasil, na qual se encontram contempladas as regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro, amplamente conurbadas (Figura 2).

A questão da qualidade dos recursos hídricos em regiões metropolitanas é de fundamental importância, especialmente nas periferias das grandes cidades, pois essas áreas crescem invariavelmente de forma acelerada. De acordo com Tundisi (2011), além de avançarem sobre os mananciais, como exibido na Figura 3, trazem problemas permanentes para a disponibilidade de água potável de boa qualidade. Qualquer acidente no tratamento e transporte para os centros consumidores pode causar uma tragédia e a morte de parte da população assistida.

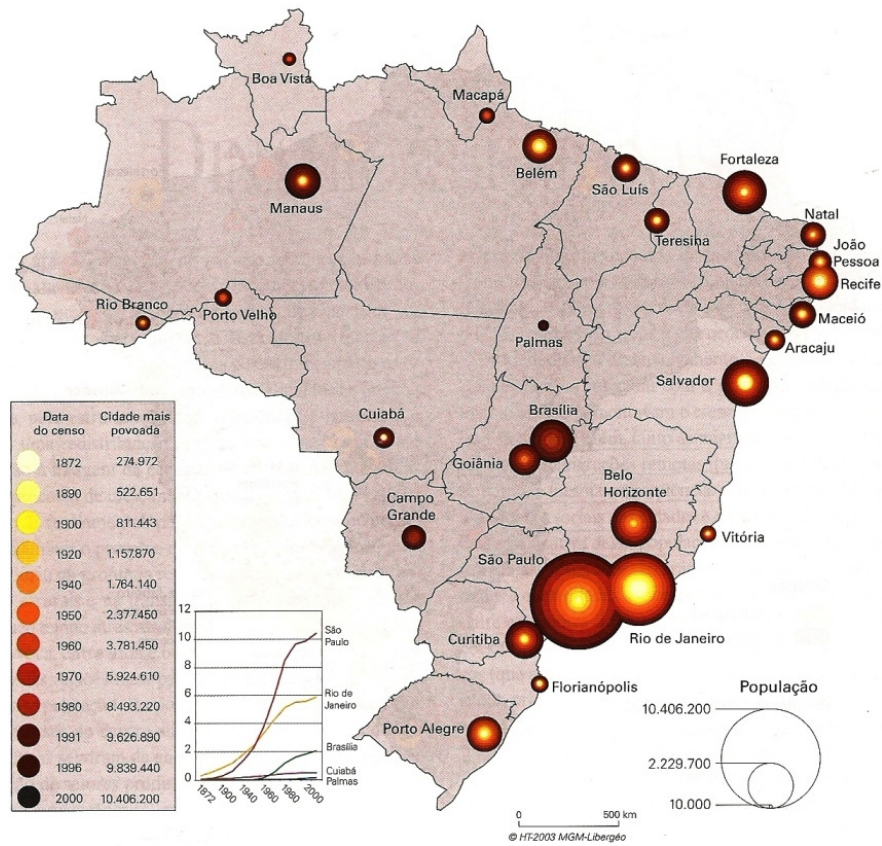


FIGURA 1: Pólos de desenvolvimento urbanos no Brasil (RAMPANELLI, 2010).

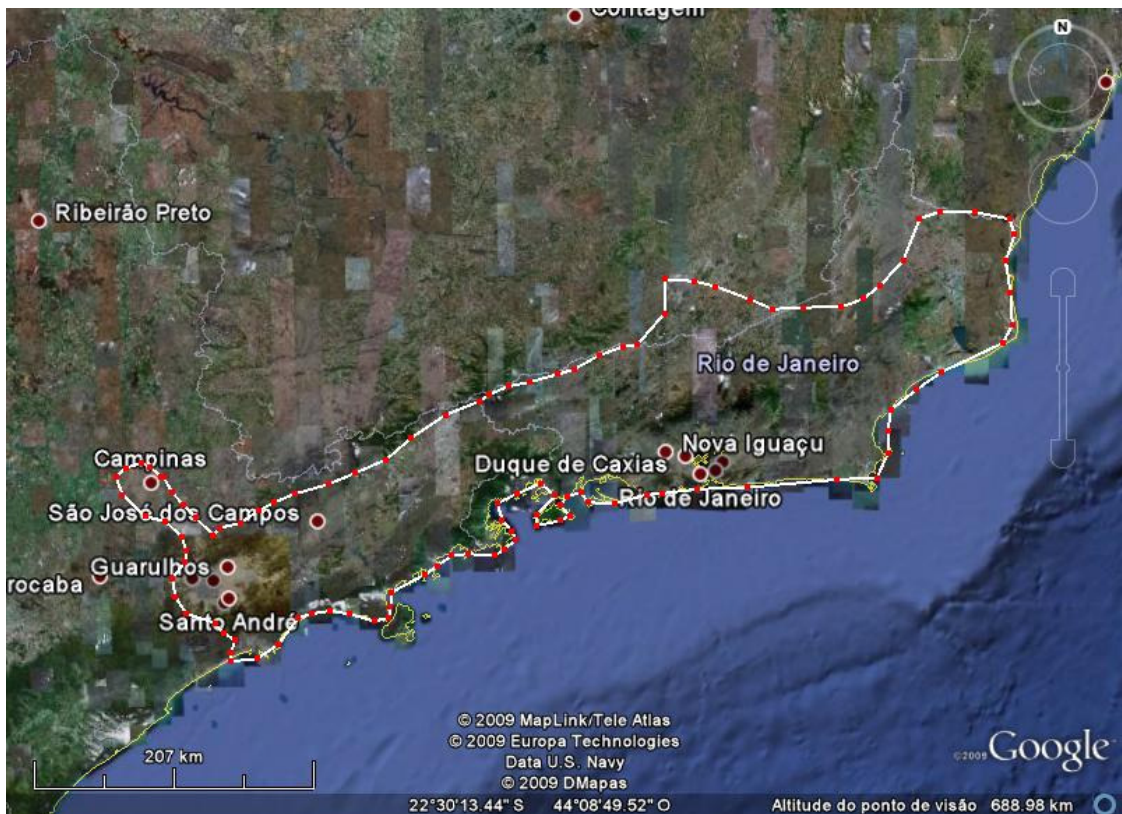


FIGURA 2: Megalópole formada pelas regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro (modificado de RAMPANELLI, 2010).

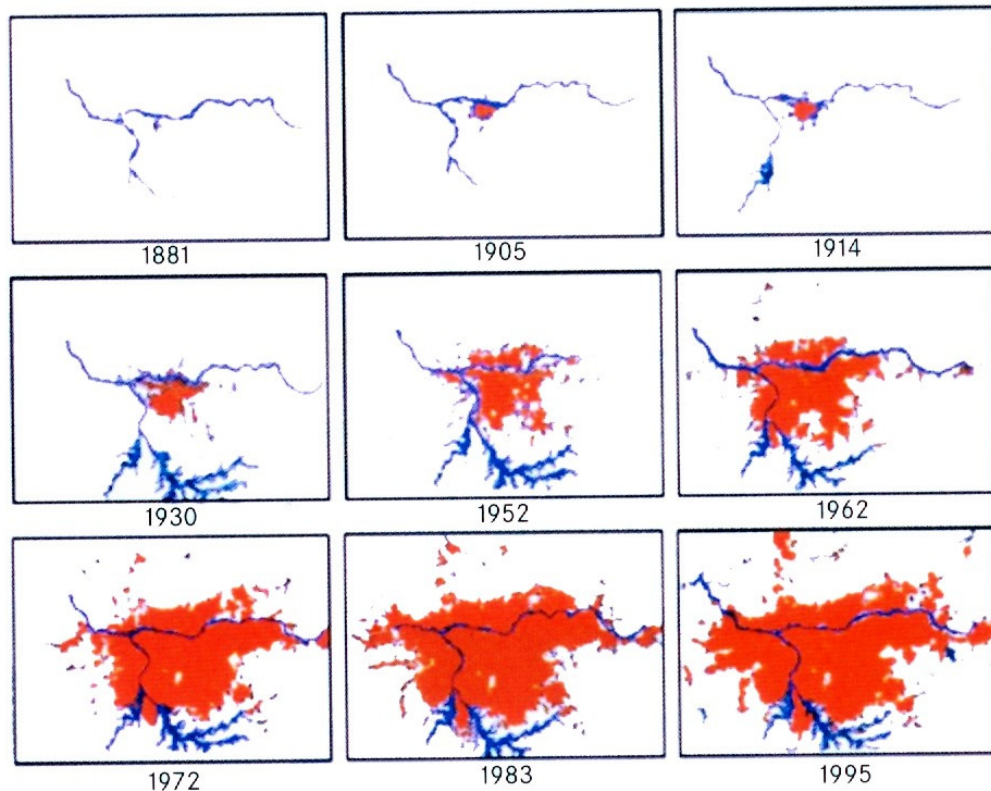


FIGURA 3: Crescimento da região metropolitana de São Paulo (vermelho) no entorno do Sistema Billings/Guarapiranga (TUNDISI, 2011).

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) tem cerca de 8 mil quilômetros quadrados e abriga 12% da população do Brasil (TUNDISI, 2011). Em função da ausência de um modelo de planejamento urbano nas décadas passadas, obriga aos órgãos estaduais responsáveis pelo abastecimento público a buscarem, em bacias hidrográficas vizinhas, os recursos hídricos necessários para atender aos 20 milhões de usuários.

Atualmente, em termos de reservatórios, a RMSP é abastecida por 8 sistemas produtores: Alto Cotia, Baixo Cotia, Alto Tietê, Cantareira, Billings / Guarapiranga, Ribeirão da Estiva, Rio Claro e Rio Grande. No total, contém 22 reservatórios (represas) de abastecimento de água, localizados dentro de áreas urbanas, onde se encontra a Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo (RBCV/SP).

Dentro do enfoque descrito, esta dissertação busca avaliar a qualidade das águas de uma das bacias contribuintes da Represa Guarapiranga, frente aos seus atributos geoambientais, notadamente o do uso da terra. A pesquisa faz parte do Projeto Temático “*Reconstrução paleolimnológica da Represa Guarapiranga e diagnóstico da qualidade atual da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP,*

com vistas ao gerenciamento do abastecimento” – ACQUASED, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP e coordenado pelo Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo (BICUDO, 2010).

1.1 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo principal verificar os reflexos no comportamento da qualidade dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu, frente aos seus atributos geoambientais, notadamente aqueles referentes ao uso da terra. O período de análise compreende os anos de 2.000 a 2.012.

Como objetivos específicos pretendem-se avaliar o comportamento dos parâmetros que compõe o Índice de Qualidade das Águas – IQA e Índice de Estado Trófico – IET (*sensu* CETESB, 2012), ao longo dos 13 últimos anos, e apontar as fontes e os fatores responsáveis pelos índices alcançados. Para tanto, serão utilizados os dados calculados pela CETESB – Companhia Ambiental do estado de São Paulo, por meio de duas estações de monitoramento: EMGU-00800 e CIPO-00900, que podem ser visualizados nas Figuras 4 a 6.

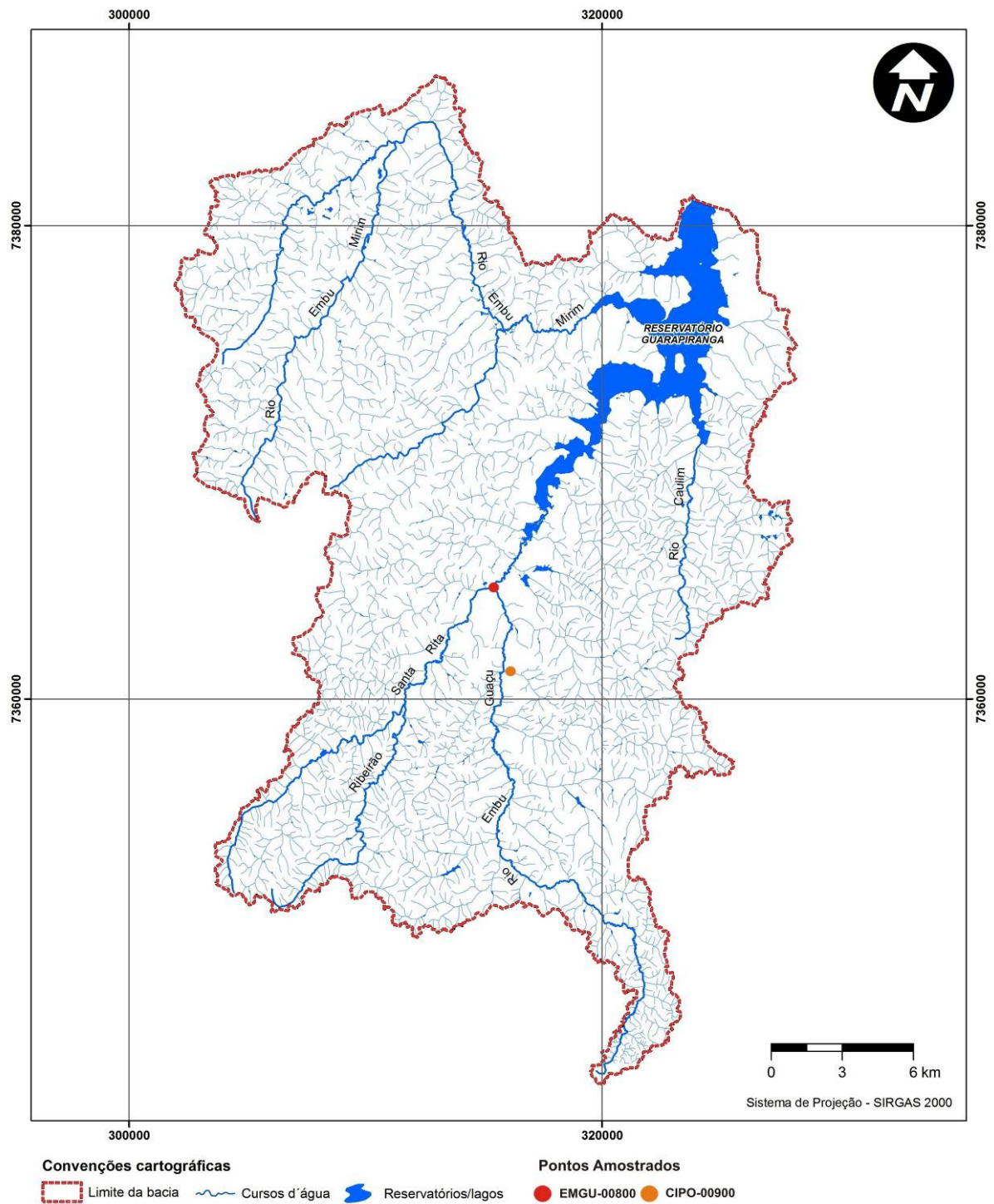


FIGURA 4: Localização dos pontos de monitoramento da CETESB (EMGU-00800 e CIPO-00900), na área de estudo (OLIVEIRA et al., 2013).



FIGURA 5: Ponto de monitoramento EMGU-00800 no Rio Embu Guaçu (Foto do Autor).



FIGURA 6: Ponto de monitoramento CIPO-00900 no Rio Cipó (Foto do Autor).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise

Historicamente, a bacia hidrográfica tem sido adotada como uma unidade territorial preferencial para os estudos, planejamento, gestão e gerenciamento dos recursos hídricos, pois possibilita uma perfeita interação entre as características de seus meios físicos e bióticos com as várias formas de usos da água, assim como de outros recursos naturais (MACHADO; TORRES, 2012).

A crescente demanda para todos os usos da água (pesca, irrigação, geração de energia elétrica, abastecimentos público e industrial, e lazer) possibilitou, nas últimas décadas, a elaboração de políticas e legislações específicas, ao mesmo tempo que consagraram a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Esse é o caso, por exemplo, da Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas), que estabeleceu que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SNGRH (MACHADO; TORRES, 2012). Dessa forma, percebe-se que o conceito de bacia hidrográfica se amplia e se consolida como unidade preferencial de estudo, conforme já referido.

Nas últimas décadas, o Brasil teve um desenvolvimento socioeconômico considerável, com expressivo crescimento demográfico o que conduziu à formação de regiões metropolitanas. Nessas megalópolis, as expansões urbanas e industriais implicaram num aumento significativo da demanda por recursos hídricos. Como consequência, originaram-se diferentes tipos de impactos ambientais, tais como os da poluição resultante do lançamento de efluentes (industriais e/ou domésticos) *in natura* nos corpos d'água (TUCCI, 2010).

MOTA (1988) chama a atenção para o fato de que nas propostas de gestão dos recursos hídricos deve ser dispensada importância especial ao uso da terra, com o objetivo de impedir, previamente, a deteriorização da saúde ambiental de um corpo de água.

Como se pode depreender, a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental de uma bacia hidrográfica torna-se um fato relevante, pois ao se analisar as modificações na sua paisagem natural verificam-se uma relação íntima entre elas e o processo histórico de uso e ocupação da terra (TUCCI, 2005).

2.2 Classificação das Águas no Brasil

A classificação das águas com base no artigo 7º do regulamento da Lei Estadual 997 de 31 de maio de 1976, aprovado pelo decreto n. 8.468 de 08 de setembro de 1976, determina como:

- **Classe 1:** águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção.
- **Classe 2:** águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho).
- **Classe 3:** águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e da flora e à dessedentação de animais.
- **Classe 4:** águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento avançado, ou à navegação, à harmonia paisagística, ao abastecimento industrial, à irrigação e a usos menos exigentes.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por sua vez, baixou a resolução n. 357/05, estabelecendo a classificação dos corpos de água, enfatizando que as águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes (BRASIL, 2005). O Quadro 1 exprime uma relação dessa resolução:

QUADRO 1: Relação dos usos das Águas

Resolução CONAMA 357/05						
Usos		Classes				
		Esp	1	2	3	4
Abastecimento para o consumo humano	Após desinfecção					
	Após tratamento simplificado					
	Após tratamento convencional					
	Após tratamento convencional ou avançado					
Preservação do equilíbrio das comunidades aquáticas						
Preservação do ambiente aquático em UC de proteção integral						
Proteção às comunidades aquáticas						
Proteção às comunidades aquáticas em terras indígenas						
Recreação	Contato primário					
	Contato secundário					
Recreação	Hortaliças e frutas consumidas cruas, desenvolvem rente o solo					
	Hortaliças, frutas e parques com contato direto ao público					
	Cultura arbórea, cerealíferas e forrageiras					
Agricultura e pesca						
Pesca amadora						
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Fonte: BRASIL (2005).

2.3 Padrão de Qualidade dos Corpos D'água e Legislações

O decreto estadual 10.755/97 estabelece que as águas da Bacia do Guarapiranga e todos os seus afluentes, com exceção do Rio Embu-Mirim e seus afluentes, até a barragem no Município de São Paulo são classificados como corpos d'água pertencentes à classe 0. No entanto, em termo de legislação, os corpos d'água especiais são enquadrados como classe 1 e, portanto, todas as análises feitas nesta dissertação serão fundamentadas nesta classificação.

O Decreto nº 8.468 também estabeleceu os seguintes padrões de qualidade dos corpos d'água (Tabela 1), e de emissão dos efluentes líquidos:

a) Aos corpos d'água classe - 1 não são permitidos lançamentos de efluentes líquidos, gerados por qualquer fonte poluidora, mesmo tratados; e,

b) Aos corpos d'água classes 2, 3 e 4 não são permitidos lançamentos de efluentes líquidos, gerados por qualquer fonte poluidora, que alterem os padrões de qualidade.

TABELA 1: Padrões de Qualidade das Águas do Estado de São Paulo

Substâncias Potencialmente Prejudiciais Conforme o Decreto 8.468/76		Corpos d'água Concentrações Máximas Permitidas		
Parâmetros	Unidades	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Amônia	mg/L de N	0,5	0,5	#
Arsênio	mg/L	0,1	0,1	#
Bário	mg/L	1	1	#
Cádmio	mg/L	0,01	0,01	#
Cromo (total)	mg/L	0,05	0,05	#
Cianeto	mg/L	0,2	0,2	#
Cobre	mg/L	1	1	#
Chumbo	mg/L	0,1	0,1	#
Estanho	mg/L	2	2	#
Fenóis	mg/L	0,001	0,001	#
Flúor	mg/L	1,4	1,4	#
Mercúrio	mg/L	0,002	0,022	#
Nitrato	mg/L de N	10	10	#
Nitrito	mg/L de N	1	1	#
Selênio	mg/L	0,01	0,01	#
Zinco	mg/L	5	5	#
DBO 5,20	mg/L	5	10	#
Coliforme Fecal	UFC/100 mL	1.000	4.000	#
Coliforme Total	UFC/100 mL	5.000	20.000	#
Materiais flutuantes		Ausentes	Ausentes	Ausentes
Materiais solúveis em hexana		Ausentes	Ausentes	#
Substâncias que comuniquem gosto ou odor		Ausentes	Ausentes	#
Odor e aspecto		#	#	Não objetáveis
Corantes artificiais *		Ausentes	Ausentes	#
Parâmetros	Unidades	Concentração Mínima Permitida		
OD (oxigênio dissolvido)	mg/L	5	4	> 0,5

Fonte: Decreto Estadual n. 8.468, de 08 de setembro de 1976

Sem padrão estabelecido

* Corantes artificiais não removíveis por processos físico-químicos convencionais

Observação: Nas águas de classe 1 não são tolerados lançamentos de efluentes.

Segundo Milaré (2009), o enquadramento dos corpos de água em classes, de acordo com os usos preponderantes, estabelecidos pela legislação ambiental, incorpora à Política Nacional de Recursos Hídricos, a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Tabela 2), através dos Planos de Recursos Hídricos, assegurar às águas qualidade compatível com os mais exigentes usos a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas mediante ações preventivas permanentes. Milaré (2009) cita também, que se trata, como se vê, de instrumento fortalecedor da integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, diretriz fundamental para a PNRH.

TABELA 2: Padrões de Qualidade das Águas no Território Nacional Brasileiro (CONAMA 357/2005)

Parâmetros físico-químico e microbiológico	Unidade	Concentrações Máximas Permitidas*			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,1	0,1	0,2	NA
Antimônio	mg/L	0,005	0,005	NA	NA
Arsênio Total	mg/L	0,01	0,01	0,033	NA
Bário Total	mg/L	0,7	0,7	1	NA
Berílio Total	mg/L	0,04	0,04	1	NA
Boro Total	mg/L	0,5	0,5	0,75	NA
Cádmio Total	mg/L	0,001	0,001	0,01	NA
Cianeto Livre	mg/L	0,005	0,005	0,022	NA
Cloreto Total	mg/L	250	250	250	NA
Cloro Residual Total (combinado e livre)	mg/L	0,01	0,01	0,033	NA
Cobalto Total	mg/L	0,05	0,05	0,2	NA
Cobre Dissolvido	mg/L	0,009	0,009	0,013	NA
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	200	1000	4000	NA
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	NA
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg O ₂ /L	3	5	10	NA
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	0,3	0,5	NA
Fluoreto Total	mg/L	1,4	1,4	1,4	NA
Fósforo Total (ambiente lêntico)	mg/L	0,02	0,03	0,05	NA
Fósforo Total (ambiente intermediário)	mg/L	0,025	0,05	0,075	NA
Fósforo Total (ambiente lótico)	mg/L	0,1	0,1	0,15	NA
Lítio Total	mg/L	2,5	2,5	2,5	NA
Manganês Total	mg/L	0,1	0,1	0,5	NA
Mercúrio Total	mg/L	0,0002	0,0002	0,002	NA
Níquel Total	mg/L	0,025	0,025	0,025	NA
Nitrato	mg/L	10	10	10	NA
Nitrito	mg/L	1	1	1	NA
Nitrogênio Amoniacal Total para pH ≤ 7,5	mg/L	3,7	3,7	13,3	NA
Nitrogênio Amoniacal Total para pH <7,5 ≤ 8,0	mg/L	2	2	2	NA
Nitrogênio Amoniacal Total para pH 8,0 < pH ≤ 8,5	mg/L	1	1	2,2	NA
Nitrogênio Amoniacal Total para pH >8,5	mg/L	0,5	0,5	1	NA
Oxigênio dissolvido (min.)	mg/L	6	5	4	2
pH	U pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Prata Total	mg/L	0,01	0,01	0,05	NA
Selênio Total	mg/L	0,01	0,01	0,05	NA
Sulfato Total	mg/L	250	250	250	NA
Sulfeto (como H ₂ S não dissociado)	mg/L	0,002	0,002	0,3	NA
Turbidez	UNT	40	100	100	NA
Urânio Total	mg/L	0,02	0,02	0,02	NA
Vanádio Total	mg/L	0,1	0,1	0,1	NA
Zinco Total	mg/L	0,18	0,18	5	NA

*Valores máximos dos parâmetros, para os valores mínimos estão destacados na tabela

NA – Não Aplicável

2.4 Qualidade das Águas e seu Cálculo.

2.4.1 Índice de Qualidade da Água – IQA

Segundo a CETESB (2012), os índices e indicadores ambientais nasceram como resultado da crescente preocupação social com os aspectos ambientais do desenvolvimento, processo que requer um número elevado de informações em graus de complexidade cada vez maiores. Por outro lado, os indicadores tornaram-se fundamentais no processo decisório das políticas públicas e no acompanhamento de seus efeitos. Esta dupla vertente apresenta-se como um desafio permanente de gerar indicadores e índices que tratem um número cada vez maior de informações, de forma sistemática e acessível, para os tomadores de decisão.

Nessa linha, a CETESB utiliza desde 1975, o Índice de Qualidade das Águas – IQA, com vistas a servir de informação básica de qualidade de água para o público em geral, bem como para o gerenciamento ambiental das 22 Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

As principais vantagens do IQA são a facilidade de comunicação com o público leigo, o status maior do que as variáveis isoladas e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. No entanto, sua principal desvantagem consiste na perda de informação das variáveis individuais e da sua interação. O índice, apesar de fornecer uma avaliação integrada, jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica.

No Quadro 2 são indicadas as variáveis utilizadas para análise do Índice de Qualidade da Água - IQA.

QUADRO 2: Variáveis de qualidade medidas nos índices de qualidade de água.

Índice de Qualidade	Variáveis de qualidade
IQA	Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Totais e Turbidez.

Fonte: CETESB, 2012

A CETESB adaptou e desenvolveu o IQA – Índice de Qualidade das Águas a partir de um estudo realizado em 1970 pela “*National Sanitation Foundation*” dos

Estados Unidos, e incorporou nove variáveis para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público. Sua fundamentação se fez por meio de uma pesquisa de opinião junto à especialistas em qualidade de águas, que indicaram as variáveis a serem avaliadas, o peso relativo e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores “*rating*” fundamentando a criação do IQA.

Das 35 variáveis indicadoras de qualidade de água inicialmente propostos, somente nove foram selecionados. Para estes, a critério de cada profissional, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro. Estas curvas de variação, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente (CETESB, 2012).

O IQA é calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice. A seguinte fórmula (Eq.1) é utilizada:

$$(Eq.1) \quad IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

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 e,
- **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:

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

em que: **n**= número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Geralmente, são necessárias nove variáveis para o cálculo do IQA (Figura 7):

- Coliformes fecais;
- Potencial Hidrogeniônico (pH);
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- Nitrogênio total;

- Fósforo total;
- Temperatura;
- Turbidez;
- Resíduo total (sólido total) e,
- Oxigênio dissolvido (OD).

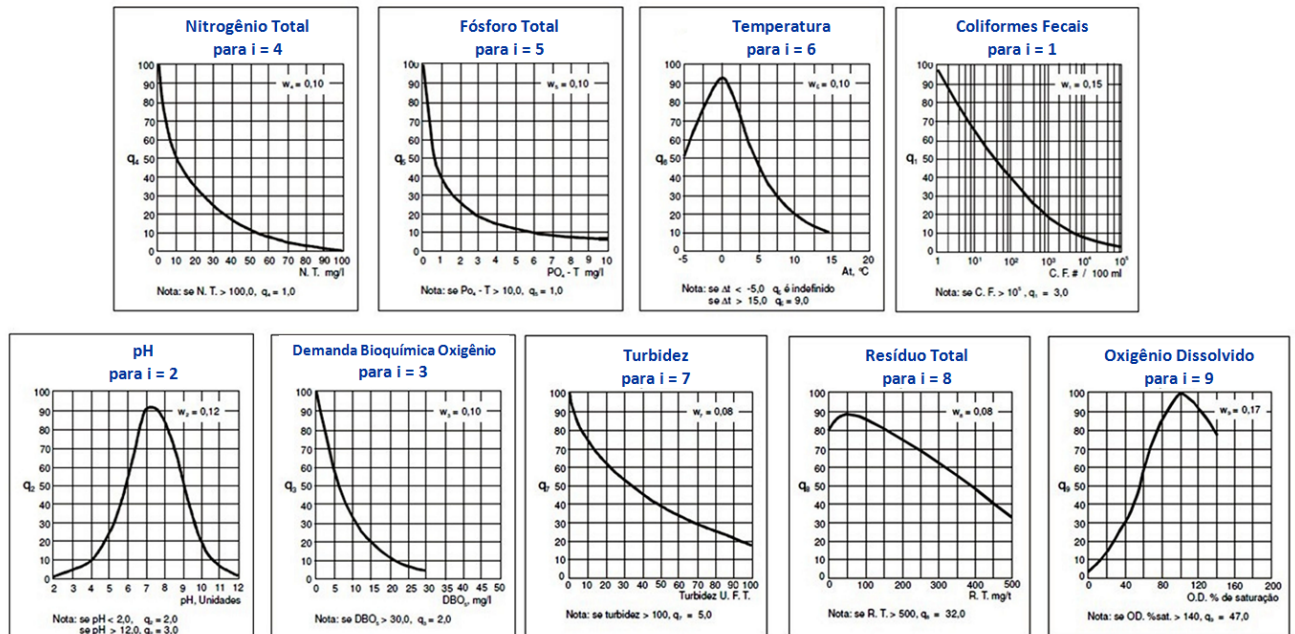


FIGURA 7: Curvas dos parâmetros analíticos para cálculo do IQA. Fonte: CETESB (2013).

No caso de não se dispor do valor de alguma das nove variáveis, o cálculo do IQA é inviabilizado, sendo que a partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100 (conforme a Tabela 3).

TABELA 3: Classificação do Índice de Qualidade da Água - IQA

Categoria	Ponderação
Ótima (cor azul)	$79 < IQA \leq 100$
Boa (cor verde)	$51 < IQA \leq 79$
Regular (cor amarela)	$36 < IQA \leq 51$
Ruim (cor vermelha)	$19 < IQA \leq 36$
Péssima (cor roxa)	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB, 2012.

2.4.2 Índice do Estado Trófico - IET

Segundo Esteves (2011), a eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, principalmente do fósforo e do nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades (desenvolvimento de plantas aquáticas e fitoplâncton). Dentre os efeitos da eutrofização na água, citam-se:

- produção de macrófitas aquáticas (ex.: aguapé);
- aflorações de algas, inclusive cianobactérias;
- produção de toxinas na água;
- variação da concentração de oxigênio dissolvido na água;
- emanção de odores para a atmosfera;
- mortalidade de peixes;
- mudanças na biodiversidade aquática;
- modificações na qualidade e quantidade de peixes; e
- contaminação da água destinada ao abastecimento público.

A eutrofização dos corpos d'água provoca entupimento dos sistemas de filtragem e deficiência nas etapas de decantação e floculação das estações de tratamento de água, confere gosto e odor às águas de abastecimento público, reduz o fluxo de entrada de água em usinas hidroelétricas, inviabiliza a navegação e impede o uso para recreação (Quadro 3).

QUADRO 3: Classificação do Estado Trófico – Rios.

Categorias (Estado Trófico)	Características
Ultraoligotrófico	Corpos de água limpos, produtividade muito baixa e concentrações de nutrientes insignificantes. Não prejudicam os usos da água.
Oligotrófico	Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
Mesotrófico	Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, em níveis aceitáveis na maioria dos casos.
Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferência nos seus múltiplos usos.
Supereutrófico	Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas.
Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente por elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento dos usos, associado a episódios de florações de algas e mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: CETESB (2012).

O IET – Índice do Estado Trófico tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia a partir da avaliação da qualidade da água de um determinado corpo hídrico quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2012).

Para a determinação do IET utilizam-se três variáveis: clorofila a, fósforo total e transparência. O fósforo total (causa) age como contaminante causador da eutrofização enquanto a concentração de clorofila a (efeito) revela o grau de eutrofização do recurso hídrico. É comum desprezar-se os dados relativos ao nível de transparência da água, pois eles podem estar associados à turbidez gerada por material mineral em suspensão e não pela presença de organismos planctônicos.

Assim, ao calcular-se o IET relacionado ao fósforo total (PT) tem-se a medida do potencial de eutrofização e ao avaliar-se o índice relacionado à concentração de clorofila a – IET (CL) tem-se a medida da resposta do curso hídrico ao agente causador, expressa pelo nível de crescimento de algas nas águas. O índice publicado anualmente pela CETESB é composto pelo IET para o fósforo total (PT) e

o IET para a clorofila a (CL), modificados por Rampanelli (2004 *apud* CETESB, 2012).

A partir dos parâmetros de clorofila e fósforo total é possível calcular o IET. Cabe destacar que por se tratar de um rio, o Rio Embu Guaçu temos um meio lótico e, portanto o parâmetro mais relevante passa a ser o fósforo total. Os cálculos destes parâmetros para o Rio Embu Guaçu, baseiam-se nas equações descritas a seguir (Eq.2 e Eq.3):

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)) - 20 \text{ (Eq.2)}$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) - 20 \text{ (Eq.3)}$$

Onde o fósforo total (PT) e Clorofila (CL) são expressos em µg/L.

A Tabela 4 ilustra a classificação de trofia do meio à partir dos cálculos realizados com as equações 2 e 3, seguido do cálculo da média dos dois valores de IET.

TABELA 4: Índice do Estado Trófico para Rios.

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação
ultraoligotrófico	IET ≤ 47
oligotrófico	47 < IET ≤ 52
mesotrófico	52 < IET ≤ 59
eutrófico	59 < IET ≤ 63
supereutrófico	63 < IET ≤ 67
hipereutrófico	IET > 67

Fonte: CETESB (2013)

2.5 Significado ambiental das variáveis físicas, químicas e microbiológicas das águas.

2.5.1 Variáveis Físicas

A caracterização física de qualidade das águas é realizada com base na verificação das propriedades físicas com significado ambiental relevante, cuja

interpretação de dados permita desenvolver ações, assegurando o uso da água no respectivo corpo hídrico (PIVELI; KATO, 2005). Dentre as variáveis, destacam-se:

- Temperatura;
- Turbidez;
- Teor de sólidos;
- Cor;
- Sabor; e
- Odor.

Segundo Piveli e Kato (2005), as aplicações das variáveis físicas nos estudos de fenômenos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos e na caracterização e controle de qualidade das águas para abastecimento público e residuárias, tornam as propriedades físicas indispensáveis à maioria dos trabalhos envolvendo qualidade das águas.

2.5.1.1 Temperatura

A temperatura desempenha um papel importante de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam (CETESB, 2012).

Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo. Portanto, variações de temperatura são parte do regime climático normal e, corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da

temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas.

2.5.1.2 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc.

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas, que é intensificada pelo mau uso do solo, é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exige manobras operacionais, tais como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas Estações de Tratamento de Águas.

Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático.

Alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água (CETESB, 2012).

2.5.1.3 Teor de Sólidos Totais (Resíduo total)

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Dependendo do processo ao qual a amostra é submetida tem-se, por método gravimétrico, a fração de sólidos desejada. Por método volumétrico no qual um litro de amostra é mantido em repouso pelo período de uma hora, determina-se a concentração volumétrica de sólidos (em mL/L).

Os sólidos totais ou resíduos totais (ST ou RT) empregados no cálculo do IQA referem-se aos resultados das análises nas quais as amostras coletadas dos cursos d'água são submetidas aos processos de evaporação e secagem (103°C -

105°C) até peso constante. Os resíduos que se mantiveram no recipiente ao final do processo correspondem ao teor de sólidos totais.

Os ST ou RT podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas (CETESB, 2012).

2.5.1.4 Cor, sabor e odor

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la. Resulta da existência, na água, de substâncias em solução; pode ser causada pelo ferro ou manganês, pela decomposição da matéria orgânica da água (principalmente vegetais), pelas algas ou pela introdução de esgotos industriais e domésticos. Padrão de potabilidade é: intensidade de cor inferior a 5 unidades.

O Sabor e odor resultam de causas naturais (algas; vegetação em decomposição; bactérias; fungos; compostos orgânicos, tais como gás sulfídrico, sulfatos e cloretos) e artificiais (esgotos domésticos e industriais). O padrão de potabilidade é: água completamente inodora (CETESB, 2012).

2.5.2 Variáveis Químicas

As variáveis químicas de qualidade das águas permitem: classificar a água por seu conteúdo mineral através dos íons presentes; determinar o grau de contaminação e identificar a origem dos principais poluentes; caracterizar picos de concentração de poluentes tóxicos e as possíveis fontes geradoras; e avaliar o equilíbrio bioquímico necessário à manutenção da vida aquática (CETESB, 2012).

Semelhante à caracterização física, a caracterização química de qualidade das águas é realizada com base na medição das propriedades químicas com significado sanitário e ambiental relevantes, cuja interpretação dos resultados permita aos gestores públicos ou privados, desenvolverem ações que assegurem às atuais e futuras gerações os múltiplos usos estabelecidos para o corpo hídrico. Dentre as diversas variáveis existentes (alumínio, bário, cádmio, carbono orgânico total, chumbo, cloreto, cobre, cromo, demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$),

demanda química de oxigênio (DQO), fenóis, ferro, fluoreto, fósforo total, manganês, mercúrio, níquel, óleos e graxas, oxigênio dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), sódio, sulfato surfactantes, zinco e outros mais) (CETESB, 2012).

Vale ressaltar que os parâmetros químicos são em grande número e, portanto serão descritos a seguir apenas os parâmetros que serão discutidos posteriormente e que compõem o IQA e IET.

As aplicações das variáveis químicas nos estudos de fenômenos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos e de caracterização e controle de qualidade de águas para abastecimento público e residuárias, assim como as aplicações das variáveis físicas citadas por Piveli e Kato (2005), tornam, também, as características químicas indispensáveis à maioria dos trabalhos envolvendo qualidade das águas.

2.5.2.1 Oxigênio Dissolvido

Segundo Piveli e Kato (2005), águas poluídas são as que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido em decorrência do consumo na decomposição de compostos orgânicos, enquanto que águas limpas apresentam elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, próximo de concentrações padronizadas. Sendo que o oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura (CETESB, 2012):

$$C_{SAT} = \alpha \cdot p_{gás}$$

Onde α é uma constante que varia inversamente proporcional à temperatura e $p_{gás}$ é a pressão exercida pelo gás sobre a superfície do líquido. No caso do oxigênio, ele é constituinte de 21% da atmosfera e, pela lei de Dalton, exerce uma pressão de 0,21 atm.

Desta forma, obtém-se a concentração de saturação de oxigênio dissolvido na água pelo produto da constante e a pressão desse gás. Assim, tem-se:

$$C_{SAT} = \alpha \cdot p_{gás}$$

Onde: $\alpha = 43,9$ para $20^{\circ}C$, $p_{gás} = 0,21$ atm e $C_{sat} = 9,2$ mg/L

A taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas e é proporcional à velocidade, sendo que a taxa de reaeração superficial em uma cascata (queda d'água) é maior que a de um rio de velocidade normal, que por sua vez apresenta taxa superior a de uma represa, com a velocidade normalmente bastante baixa (CETESB, 2012).

Além da dissolução do oxigênio atmosférico na água, outra origem natural é a produção de oxigênio pelos organismos fotossintéticos.

Segundo Branco (1986), ao enfatizar a importância do processo fotossintético no fornecimento de oxigênio, preponderantemente, ao meio aquoso, relatou que no ambiente aquático são os vegetais submersos, especialmente as algas, os principais responsáveis pela oxigenação da massa líquida, fornecendo o elemento necessário a todas as oxidações biológicas ou bioquímicas que nela se verificam.

Com efeito, a simples aeração através da superfície nem sempre é suficiente para a oxidação da matéria orgânica e respiração dos organismos aquáticos, principalmente nas águas paradas e enriquecidas por despejos orgânicos e minerais.

Os vegetais subaquáticos desempenham, nesse sentido, um papel de “agente depurador das águas”, sendo os principais responsáveis pelo fornecimento do oxigênio necessário à autodepuração dos corpos d'água poluídos por despejos orgânicos. Todavia, quando se pretende avaliar o grau de poluição de um determinado recurso hídrico tendo-se como base a concentração de oxigênio nele dissolvido, deve-se, preliminarmente, observar que o processo fotossintético pode “mascarar” esse procedimento.

Segundo Piveli e Kato (2005), águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido decorrente do consumo na decomposição de compostos orgânicos, enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, aproximando-se à concentração de saturação.

No entanto, ainda segundo Piveli e Kato (2005), uma água eutrofizada pode apresentar concentrações de oxigênio bem superiores a 10 mg/L, mesmo em temperaturas superiores a 20°C, caracterizando uma situação de supersaturação, o que levaria a uma interpretação errônea e, por conseguinte, a uma tomada de decisão equivocada.

2.5.2.2 Fósforo Total

O fósforo aparece em águas naturais devidos, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais (CETESB, 2012).

O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos estão diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem a necessidade de conversões às formas mais simples.

As formas em que os ortofosfatos se apresentam na água (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ e H_3PO_4) dependem do pH, sendo a mais comum na faixa usual de pH o HPO_4^{2-} . Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo. O fósforo orgânico é normalmente de menor importância (VON SPERLING, 2005).

Assim como o nitrogênio e o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macronutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Nesta qualidade, torna-se parâmetro imprescindível em programas de caracterização de efluentes industriais que se pretende tratar por processo biológico (VON SPERLING, 2005).

2.5.2.3 Nitrogênio Total

As fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, apresentando entre (8,0 a 35 mgN/L) associado à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal (entre 12,0 a 50 mgN/L), pela hidrólise da uréia na água (CETESB, 2012).

Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes. Além disso, a atmosfera é outra fonte importante devido a

diversos mecanismos como a biofixação desempenhada por bactérias e algas presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, também acarreta a presença de amônia e nitratos nas águas, pois a chuva transporta tais substâncias, bem como as partículas contendo nitrogênio orgânico para os corpos hídricos (CETESB, 2012).

Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. (como é o caso na área de estudos). Também nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais, associada às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui fonte difusa de difícil caracterização. Como visto, o nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato.

As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. Podem-se associar às etapas de degradação da poluição orgânica por meio da relação entre as formas de nitrogênio. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo; se prevalecerem o nitrito e o nitrato denotam que as descargas de esgotos se encontram distantes (CETESB, 2012).

2.5.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental. Ele mensura a concentração de íons H^+ (Cátion hidrogênio) presente numa determinada amostra.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes.

Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal, quanto pela legislação do Estado de São Paulo.

A faixa de pH varia numa escala de 0 a 14, na qual, valores abaixo de 7,0 indicam acidez (quanto mais próximo ao “0” mais ácida é a amostra), valores acima de 7,0 indicam basicidade (quanto mais próximo ao “14” mais básica é a amostra), e valor igual a 7,0 indica pH neutro.

O pH influencia, indiretamente, no equilíbrio químico dos ecossistemas ao alterar as condições do meio analisado, seja, pela precipitação de metais pesados ou outras substâncias tóxicas insolúveis em determinadas faixas de pH, seja pela solubilização de outras substâncias, como por exemplo, alguns nutrientes solúveis em outras faixas de pH ou, ainda, pela dissolução de gases (VON SPERLING, 2005).

2.5.2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A matéria orgânica presente nos corpos d'água e nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas.

A DBO representa a quantidade de oxigênio consumida pela respiração aeróbia dos microorganismos presentes no meio analisado durante a oxidação da matéria orgânica nutriente e, comumente, é expressa pela concentração de oxigênio dissolvido consumido (em mg/L) em um determinado período de tempo (5 dias), à temperatura de incubação específica (20°C), o que corresponde à quantidade de oxigênio necessária à estabilização das matérias oxidáveis bioquimicamente (BRANCO, 1986).

Nesta linha, existem duas principais categorias de medição: a medição de consumo de oxigênio, por meio da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ou Demanda química de oxigênio (DQO) e a medição de Carbono Orgânico Total (COT) (VON SPERLING, 2005).

Constata-se que mesmo diante de instrumentos legais tão eficazes, não somente no Estado de São Paulo, mas também nos demais estados brasileiros, a degradação dos recursos hídricos está intimamente relacionada ao aumento da DBO que é causada pelo aporte de matéria orgânica continuamente despejada nos corpos d'água, preponderantemente por esgotos domésticos, uma vez que os

efluentes líquidos industriais, quando apresentam desconformidade as condições legais, sofrem tratamento, geralmente, na própria unidade industrial.

2.5.2.6 Ferro

O ferro, apesar de não se constituir em um elemento químico tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3 mg/L na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. É também padrão de emissão de esgotos e de classificação das águas naturais. No Estado de São Paulo estabelece-se o limite de 15 mg/L para concentração de ferro solúvel em efluentes descarregados na rede coletora de esgotos seguidas de tratamento (Decreto nº 8.468) (CETESB, 2012)

Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens. Também poderá ser importante a contribuição devida a efluentes industriais, pois muitas indústrias metalúrgicas desenvolvem atividades de remoção da camada oxidada (ferrugem) das peças antes de seu uso, processo conhecido por decapagem, que normalmente é procedida através da passagem da peça em banho ácido.

2.5.3 Variáveis Microbiológicas

Variáveis Microbiológicas da Qualidade das Águas: São de suma importância para o saneamento básico, tanto na avaliação do desempenho dos sistemas de tratamento de esgotos como na interpretação de processos de autodepuração dos cursos d'água e na identificação das fontes poluidoras com características biológicas. Assim, esse fator, se torna fundamental na determinação da potencialidade da água em transmitir doenças, especialmente por meio dos grupos de coliformes (VON SPERLING, 2005).

Os coliformes são um grupo de bactérias presentes em amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, e de fezes de seres humanos e de outros animais de sangue quente, largamente utilizado como indicador de poluição, muito embora os

resultados obtidos agreguem também contaminação de origem não fecal. Inclusive, no abastecimento público, o sistema de distribuição, de água potável, deve apresentar ausência de coliformes totais, caso contrário, o sistema de tratamento e de distribuição deverá ser considerado inadequado, uma vez que a qualidade da água produzida estará comprometida.

Em sistemas de tratamento de esgoto a medição da concentração de coliformes totais em amostras brutas (sem tratamento) e em amostras tratadas revela o grau de eficiência da estação de tratamento em relação à remoção de agentes patogênicos. Ao grupo de coliformes totais pertence o grupo de coliformes termotolerantes, assim como, a espécie *Escherichia coli* é uma bactéria do grupo coliforme termotolerantes (CETESB, 2012).

As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal. O grupo coliforme é formado por um número de bactérias que inclui os generos *Klebsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Erwenia* e Enterobactéria. Todas as bactérias coliformes são gran-negativas manchadas, de hastes não esporuladas que estão associadas com as fezes de animais de sangue quente e com o solo. As bactérias coliformes termotolerantes reproduzem-se ativamente a 44,5°C e são capazes de fermentar carboidratos. O uso das bactérias coliformes termotolerantes para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme “total”, porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente. A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, desintéria bacilar e cólera.

3. TRABALHOS REALIZADOS

Para alcançar os objetivos propostos até o momento foram realizadas as seguintes atividades:

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Nesta etapa procurou-se aprofundar em informações referentes à área pesquisada e aos temas abordados, notadamente àqueles relativos à qualidade das águas, incluindo os aspectos legais. Dentro dessa análise, os quesitos IQA e IET mereceram destaque especial. Para tanto, foram pesquisadas dissertações de mestrado, teses de doutorado, relatórios técnicos, periódicos, livros e sites na internet.

Visitaram-se também, bibliotecas de universidades (Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo IGc-USP; Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, campus Rio Claro - IGCE-UNESP; e Universidade Guarulhos – UnG); e bibliotecas de instituições públicas (Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT-SP; Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP; e CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo).

Os dados relativos a bacia hidrográfica do Rio Embu Guaçu, no que se refere aos aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso da terra foram compilados a partir dos trabalhos de Oliveira et al. (2011, 2012, 2013) e Queiroz (2013). Os estudos do uso da terra foram complementados por trabalhos de campo na busca de ilustrações referentes às diversas classes identificadas por esses autores.

3.2 Aquisição e Organização dos Dados - CETESB e UnG

Essa etapa de desenvolvimento da dissertação consistiu na aquisição e tratamento dos dados referentes aos pontos de monitoramento EMGU-00800 e CIPO-00900, relativos aos anos de 2000 a 2012. Os dados coletados referem-se aos parâmetros físicos (temperatura da água, turbidez e sólidos totais), químicos (pH, DBO, fósforo total, nitrogênio total e suas frações, e oxigênio dissolvido), microbiológicos (coliformes termotolerantes e mais recentemente *E. coli*), e hidrobiológico (clorofila a) empregados pela CETESB na determinação do IQA e IET.

Assim, foram utilizados o IQA e o IET publicados pela CETESB. Para o IQA, os valores publicados abrangem o período de 2000 a 2012, enquanto que, para o

IET, somente a partir de 2002. Desta forma, calculou-se esse índice com base nas concentrações de fósforo total obtidas pela CETESB no Rio Embu Guaçu, curso d'água característico de ambiente lótico.

3.3 Tratamento dos Dados

A partir dos resultados analíticos foram realizados tratamentos estatísticos das séries temporais; geração de gráficos do tipo Linha, Histogramas, Pareto, Box e Whisker; análise de correlação entre os parâmetros analisados e o uso da terra.

4. CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Reservatório Guarapiranga faz parte da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê e localiza-se na porção sudoeste da Região Metropolitana de São Paulo. Abrangem, de forma total, os municípios de Embu Guaçu e Itapeverica da Serra e, de modo parcial, os municípios de Cotia, Embu das Artes, Juquitiba, São Lourenço da Serra e São Paulo (Figura 8).

A Bacia do Guarapiranga possui uma área de 638 km² e tem como principais tributários os rios Caulim, Embu Mirim, Embu Guaçu e seu afluente o ribeirão Santa Rita (Figura 3), que formam cinco sub-bacias exibidas na Figura 9 (OLIVEIRA et al., 2011; QUEIROZ, 2013).

4.1 Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu

A Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu possui uma área de 140,43 km² e abrange os municípios de São Paulo, Embu Guaçu e Juquitiba (OLIVEIRA et al., 2012; QUEIROZ, 2013).

Do ponto de vista litológico, as unidades aflorantes encontram-se representadas por rochas metamórficas dos tipos sericita-xistos, gnaisses e xistos migmatizados, intensamente alterados; rochas magmáticas, na forma de granitoides; e, rochas sedimentares, clásticas, paleógenas além de depósitos aluvionares recentes (Figuras 10 a 12). As idades das unidades pré-cambrianas variam de mesoproterozóicas a neoproterozóicas (OLIVEIRA et al., 2013).

A classe das elevações topográficas presentes na área podem ser observadas na Figura 13 elaborada por Oliveira et al. (2013). As classes mais significativas enquadram-se nas de menor 740m, 740 – 760m, 760 – 780m, 780 – 800m.

Tendo por base o mapa hipsométrico e os sistemas de relevo identificados por Ponçano et al. (1981), Oliveira et al. (2013) apresentaram o mapa geomorfológico ilustrado na Figura 14.

As formas de relevo presentes são morrotes, morrotes + colinas e planícies aluvionares.

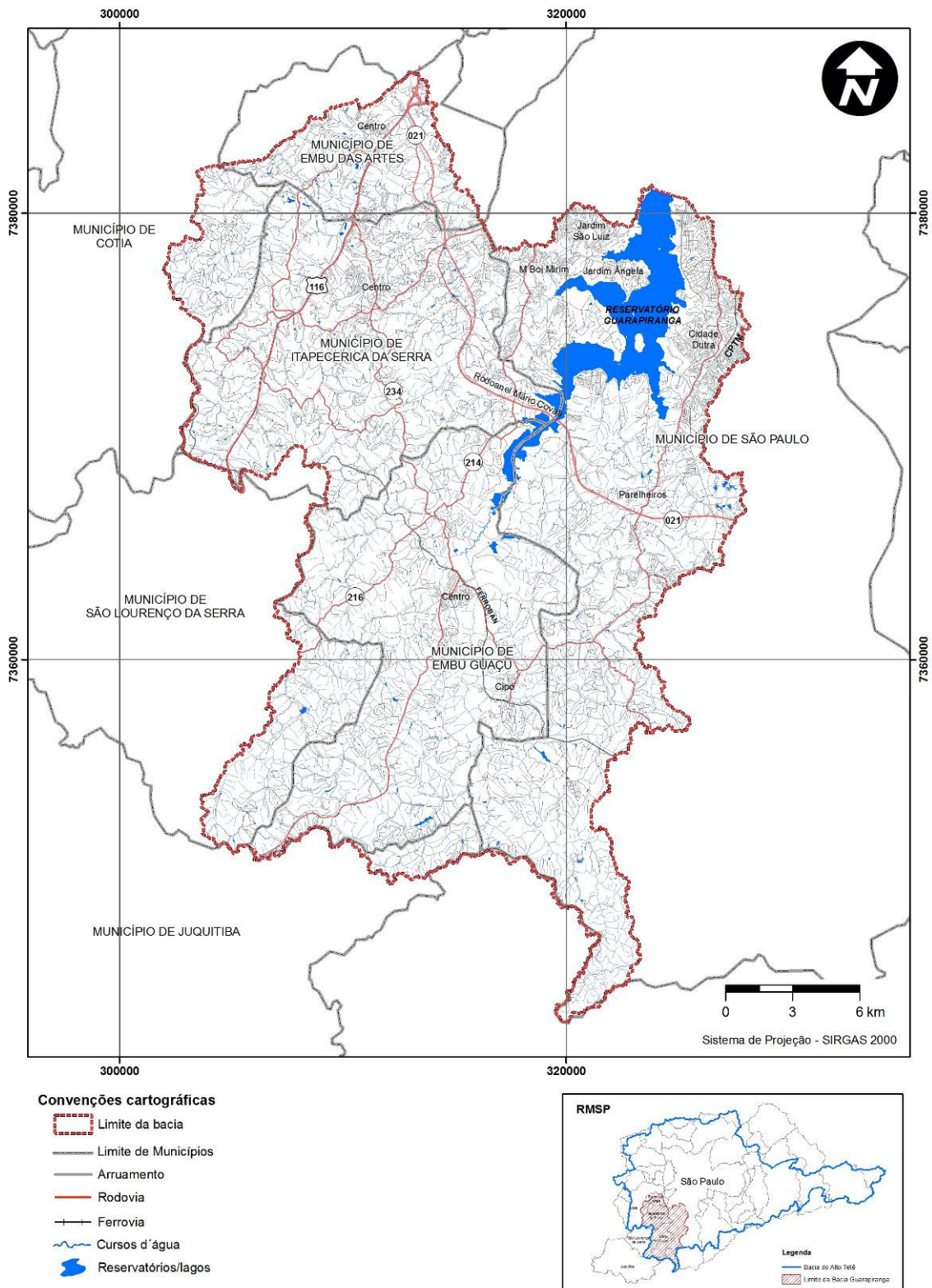


FIGURA 8: Localização da Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga (OLIVEIRA et al., 2011)

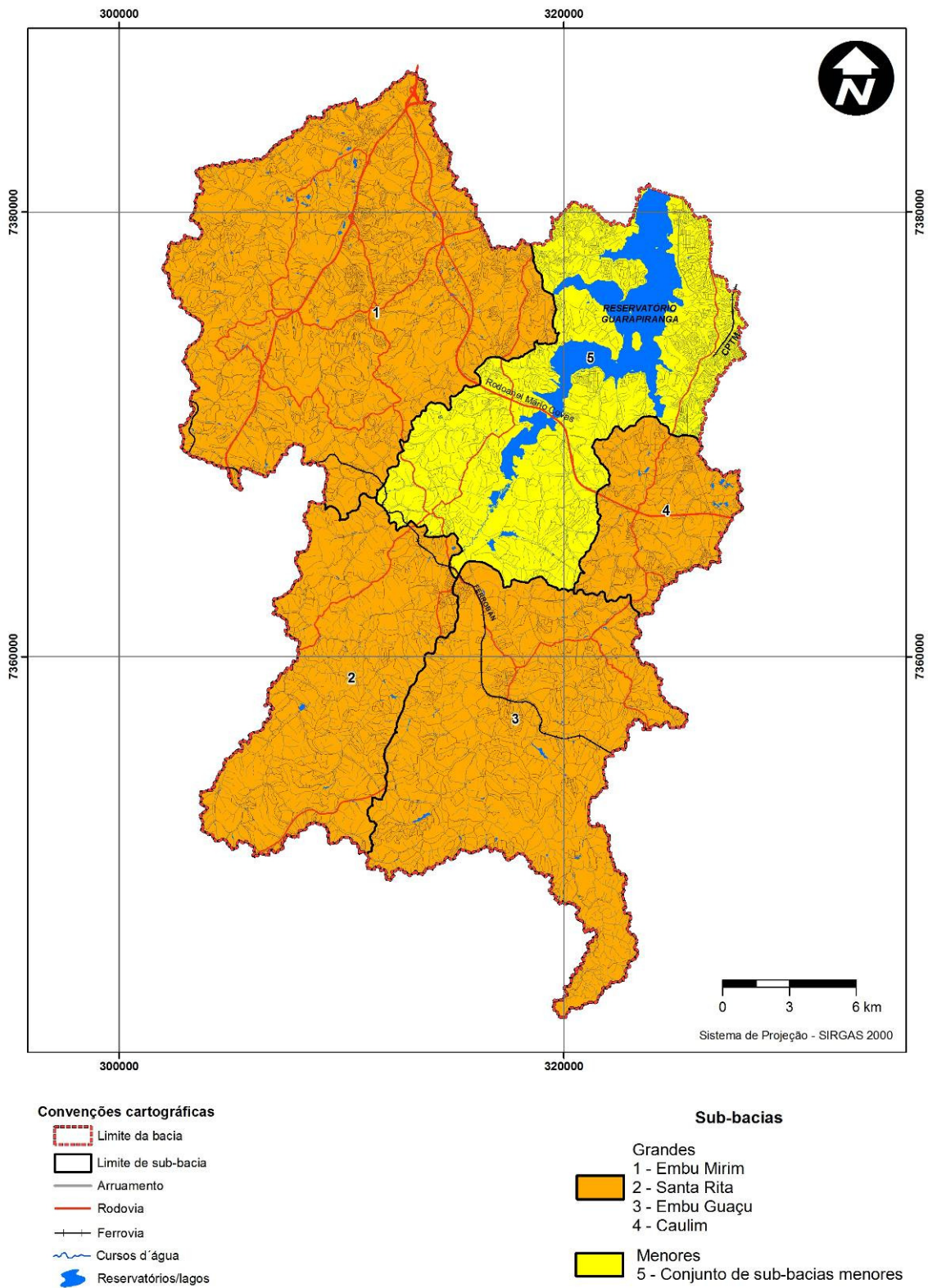


FIGURA 9: Bacias hidrográficas contribuintes do Reservatório Guarapiranga (OLIVEIRA et al., 2011).

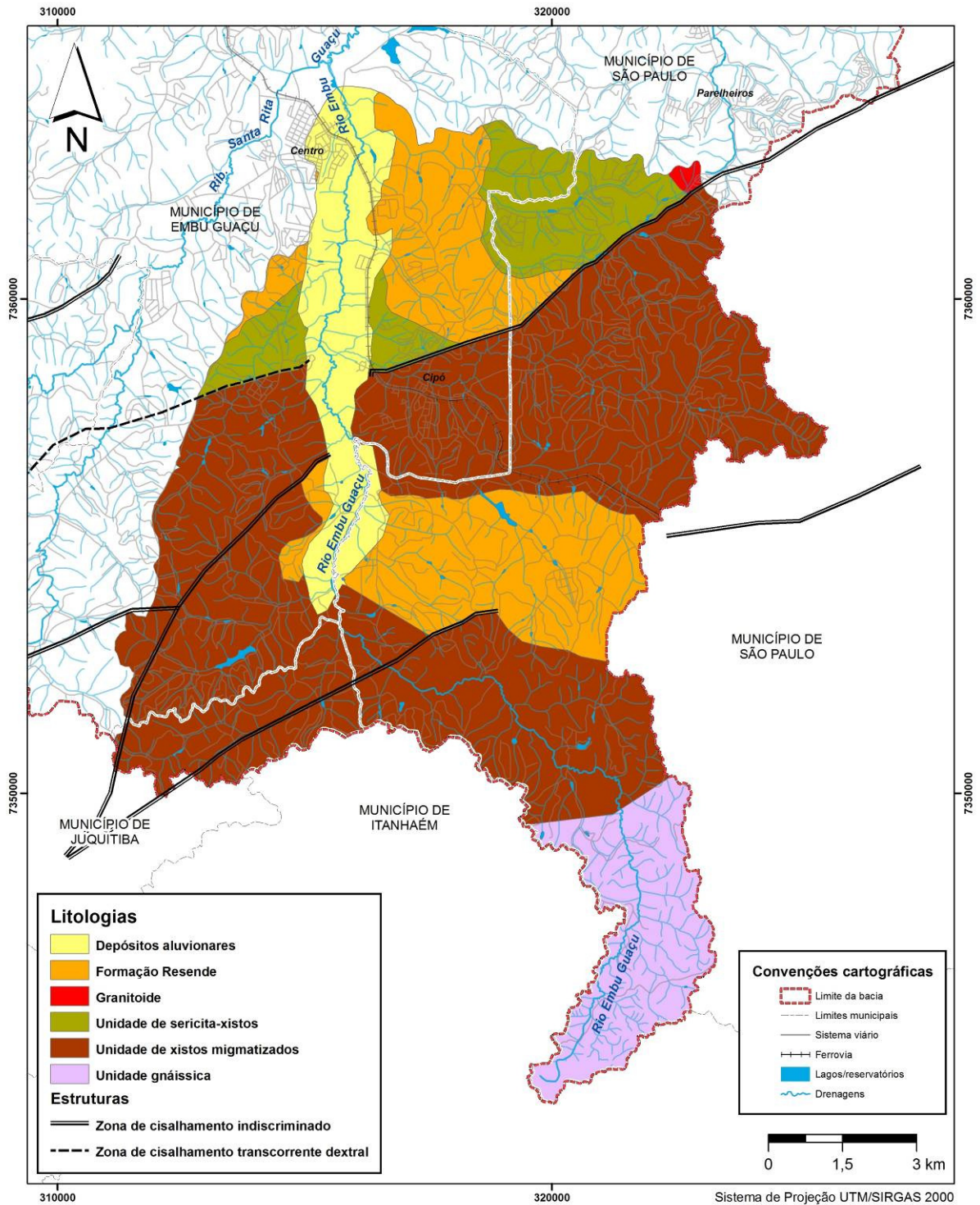


FIGURA 10: Principais unidades litológicas aflorantes na Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu (OLIVEIRA et al., 2013).



FIGURA 11: Exposição de maciço rochoso de migmatito. Nota-se a presença de Paleossoma (avermelhado) e Neossoma (branco), com alteração intensa. (OLIVEIRA et al., 2013).



FIGURA 12: Detalhe de uma rocha granítica, com matriz dada principalmente por feldspato, biotita e quartzo, pórfiro isolado de feldspato branco (OLIVEIRA et al., 2013).

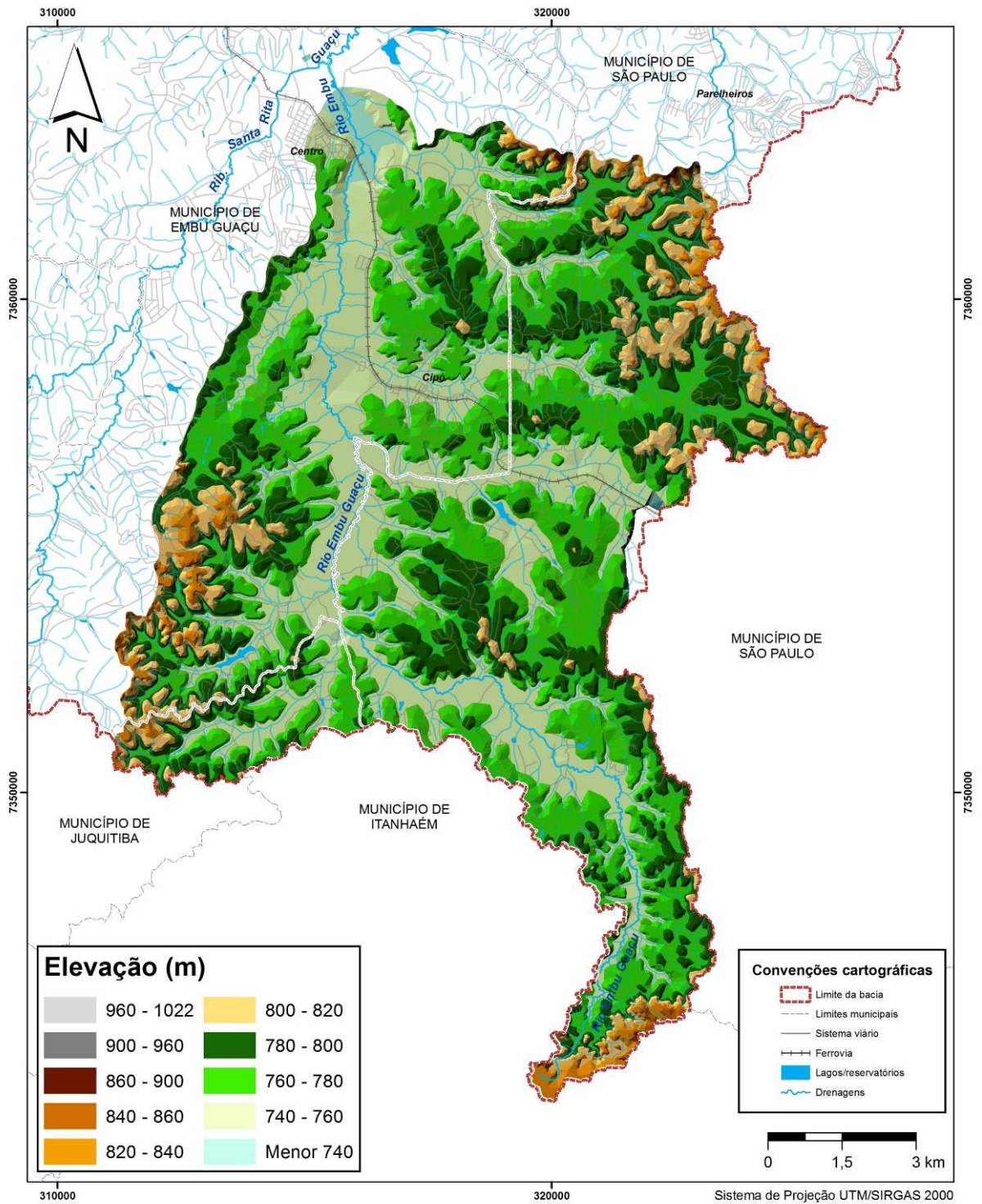


FIGURA 13: Mapa hipsométrico da área de estudo (OLIVEIRA et al., 2013).

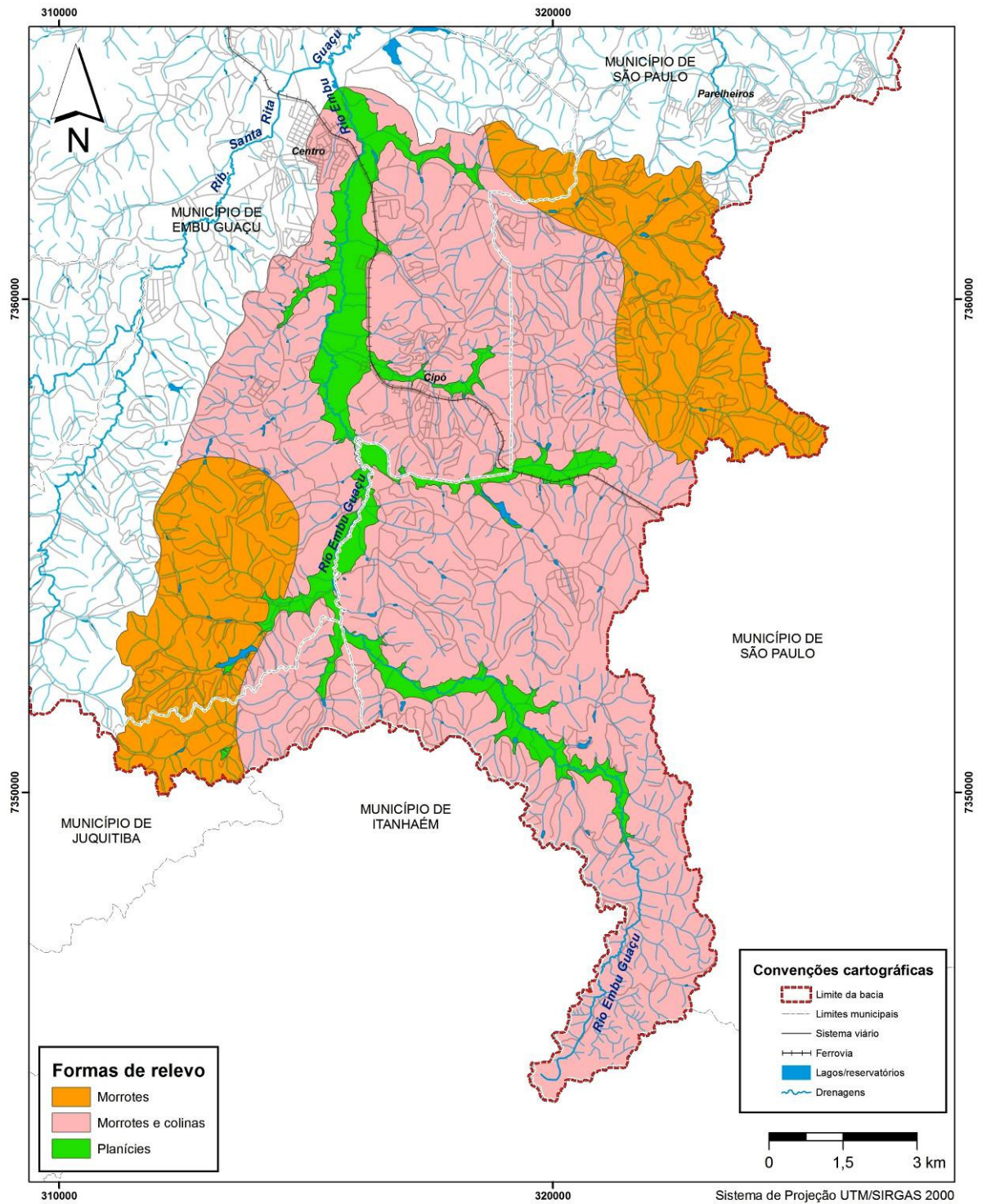


FIGURA 14: Mapa geomorfológico da área de estudo (OLIVEIRA et al., 2013).

Os morrotes encontram-se nas altitudes entre 780 a 840m e, possuem amplitudes menores que 100m. Os topos são arredondados, vertentes com perfis convexos e retilíneos. Ocorrem nas porções nordeste e sudoeste da Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu (QUEIROZ, 2013).

Os morrotes e colinas predominam na maior parte da área. As altitudes em que se encontram presentes variam de 740 a 760m, com amplitudes menores que 50m. As planícies aluvionares, por sua vez, acompanham os principais cursos d'água. Encontra-se em altitudes menores que 740m. Representam terrenos baixos, sujeitos a inundações periódicas (QUEIROZ, 2013).

Na área de estudo, as declividades predominantes situam-se no intervalo de 5 a 30% (classe média), segundo Queiroz (2013), Figura 15. A densidade de drenagem situa-se na faixa maior que 3,3 km/ km², enquadrados nas classes média e baixa, respectivamente (QUEIROZ, 2013), ilustrada na Figura 16.

Quanto aos tipos de solos, predominam os da Associação Latossolo Vermelho – Amarelo e Cambissolo Háplico (LVA + CX). Secundariamente, tem-se Cambissolo Háplico (CX mg), Associação Cambissolo Háplico, Neossolo Flúvico e Organossolo (GX + Ry + O) (OLIVEIRA et al., 2013).

As Figuras 17, 18 e 19 ilustram, respectivamente, a distribuição desses tipos de solos na área de estudo, e dois exemplos de ocorrência, cujos atributos principais encontram-se descritos em Queiroz (2013).

No que se refere ao clima, há predominância do clima tipicamente úmido, com temperaturas médias entre 16º e 23ºC, e índices pluviométricos entre 1.600 e 2.500 mm anuais. Via de regra, os teores de umidade relativa do ar são altos, porém com tendência mais baixa conforme se aproxima da mancha urbana. A direção dos ventos tem sentido SW-NE, que apresentam dificuldade de dissipar os constantes nevoeiros que se formam, principalmente na porção centro-sul da área, devido a maior proximidade com o oceano (45 km em média) (QUEIROZ, 2013).

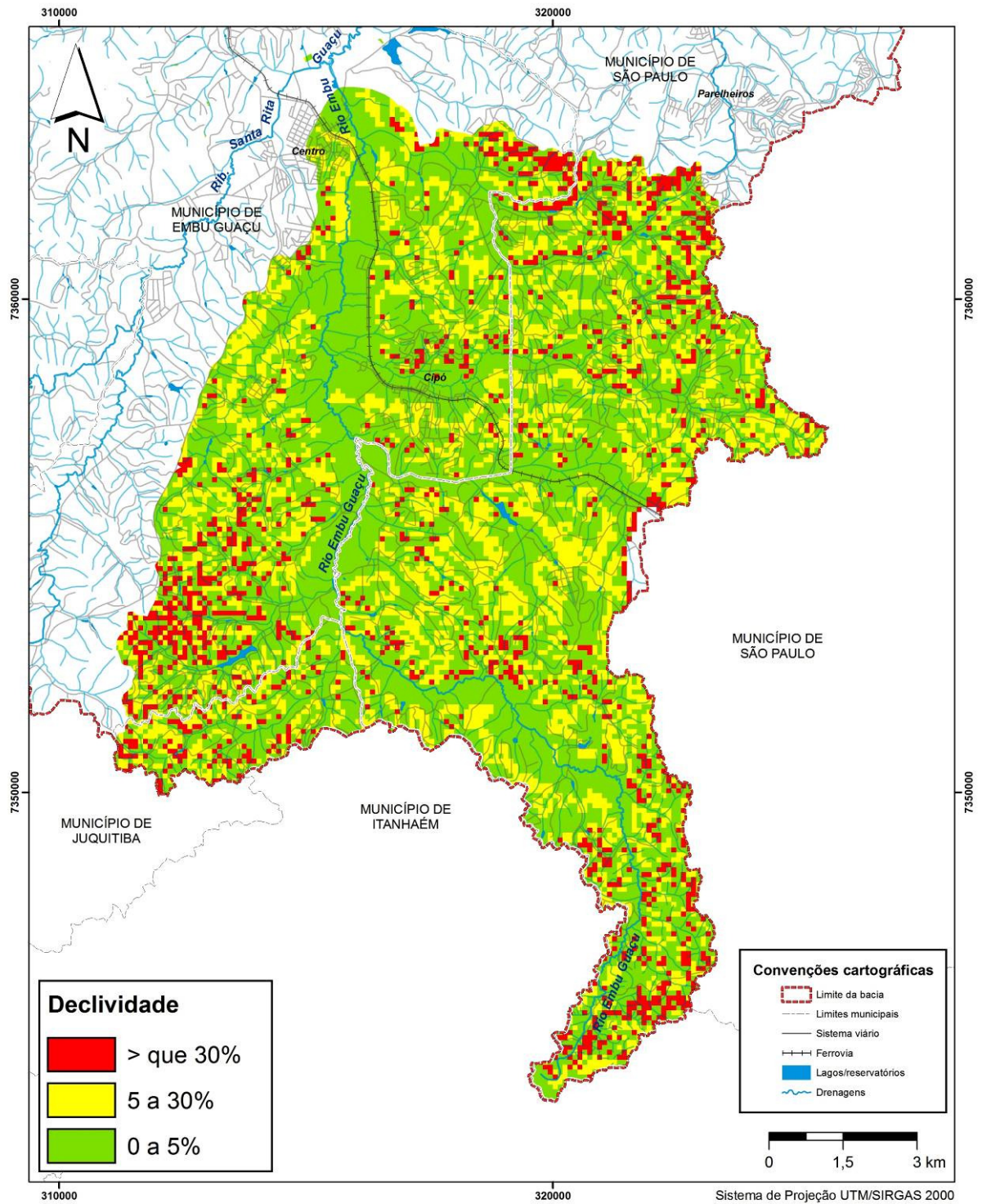


FIGURA 15: Mapa de declividade da área de estudo (QUEIROZ, 2013).

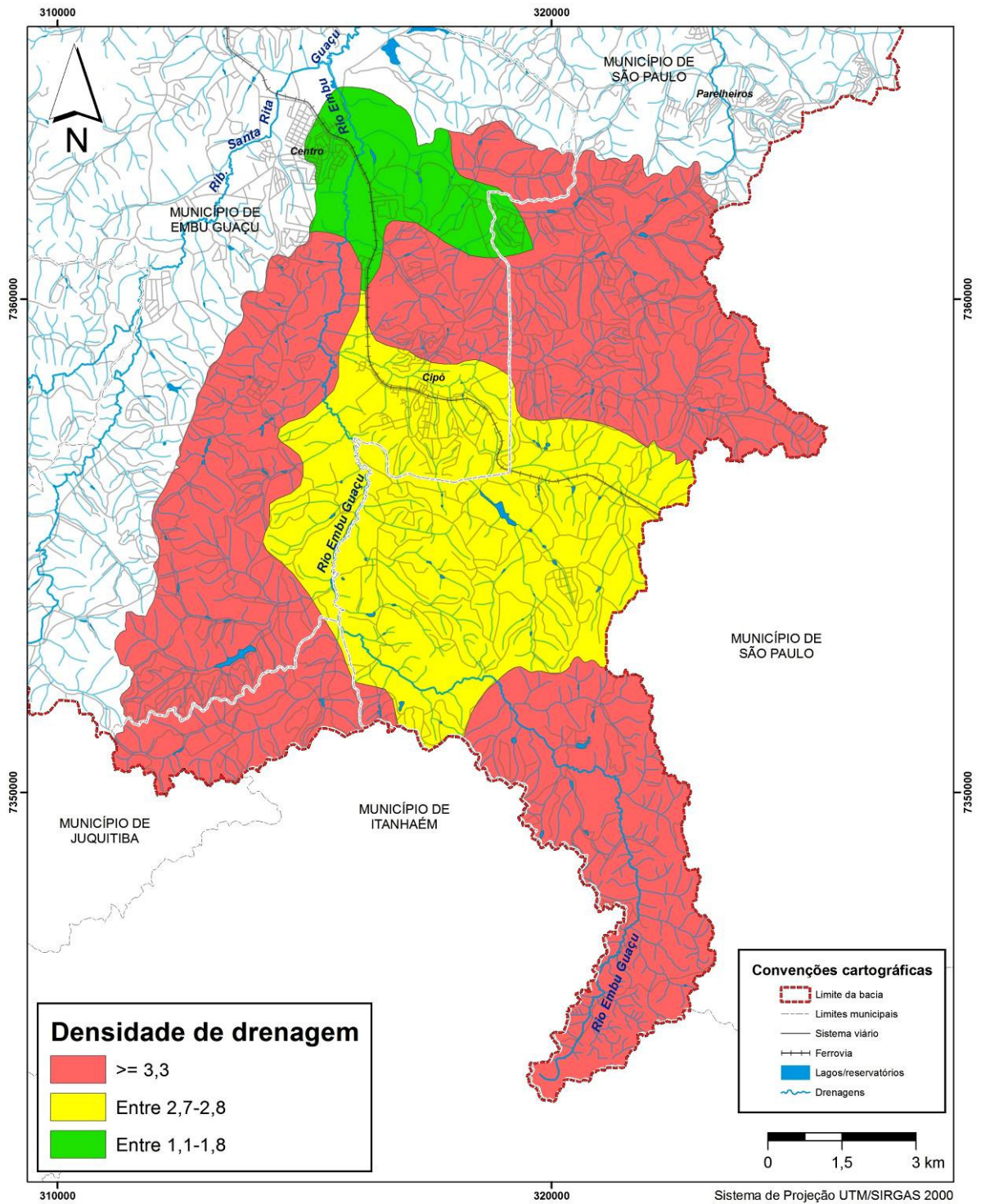


FIGURA 16: Mapa de densidade de drenagens da área de estudo (QUEIROZ, 2013).

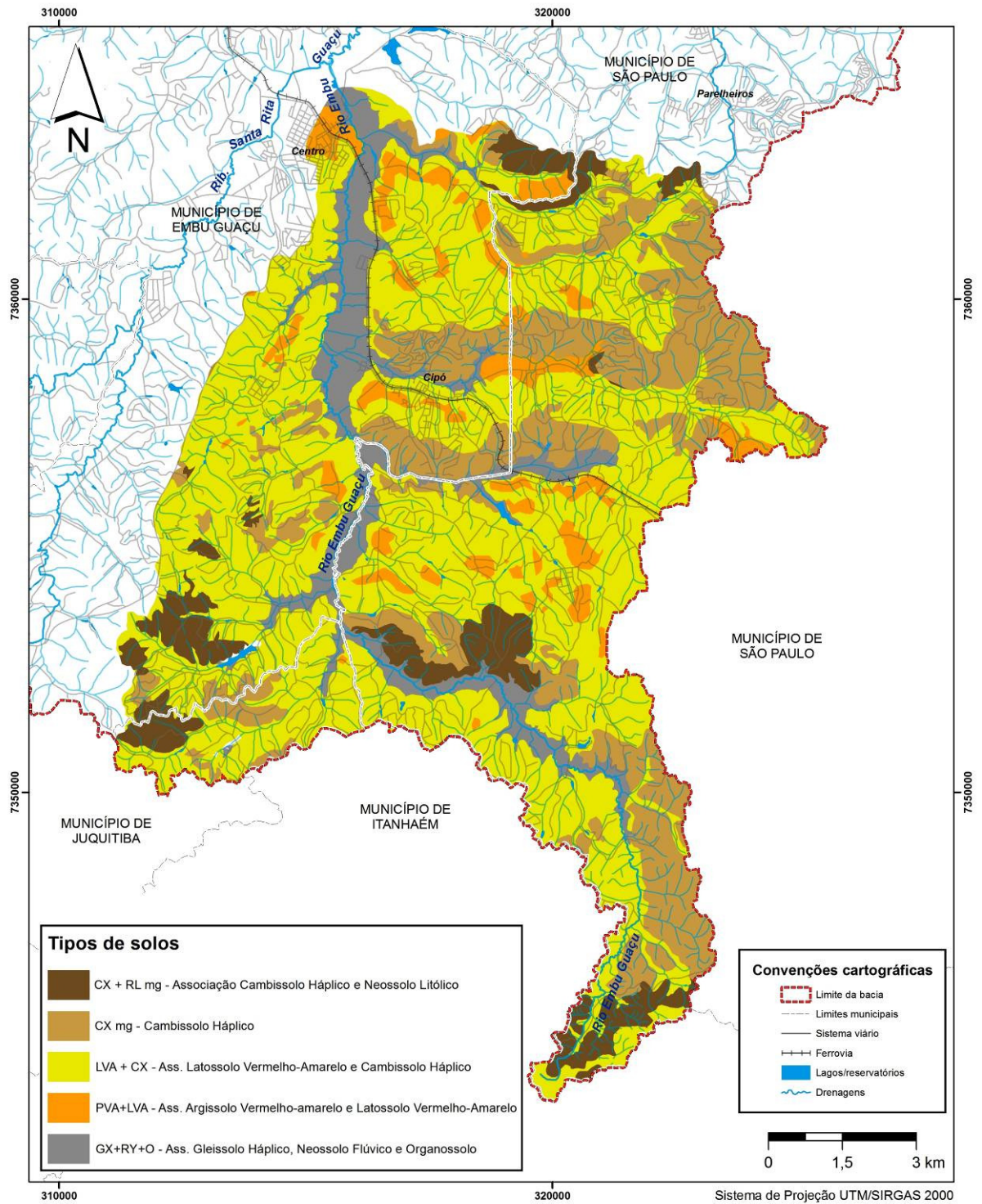


FIGURA 17: Mapa pedológico de drenagens da área de estudo (QUEIROZ, 2013).



FIGURA 18: Perfil pedológico de solo do tipo cambissolos (OLIVEIRA et al., 2013).

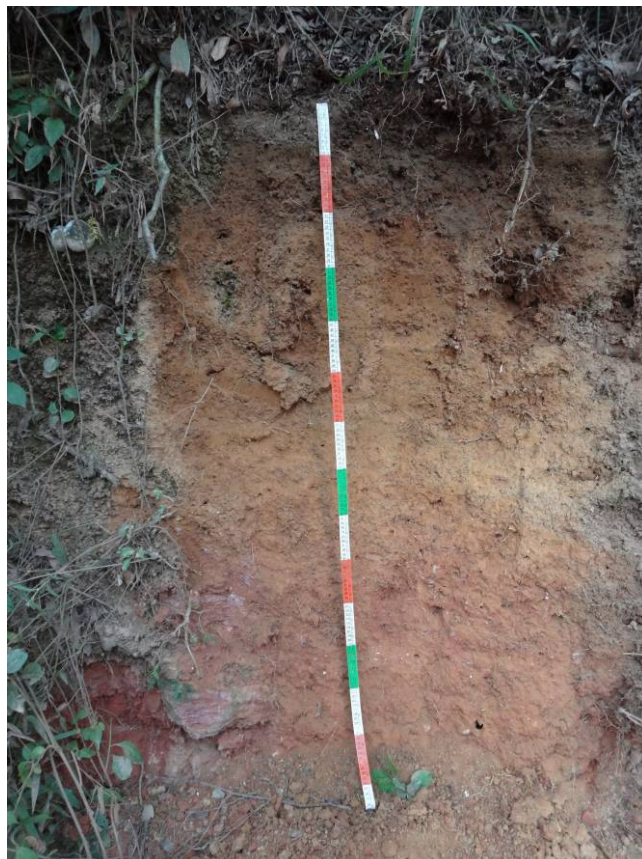


FIGURA 19: Perfil pedológico de solo do tipo latossolo (OLIVEIRA et al., 2013).

4.1.1 Uso da Terra

O mapa de uso da terra elaborado por Queiroz (2013) evidencia que na área em apreço predominam condições rurais, nas quais se destacam as seguintes classes: *mata*, *campo/capoeira*, *reflorestamento*, *várzea*, *agricultura*, *chácara* e pequenos *corpos d'água*; a área urbana principal é representada pelo município de Embu Guaçu e bairros da cidade de São Paulo (Figuras 20 e 21).

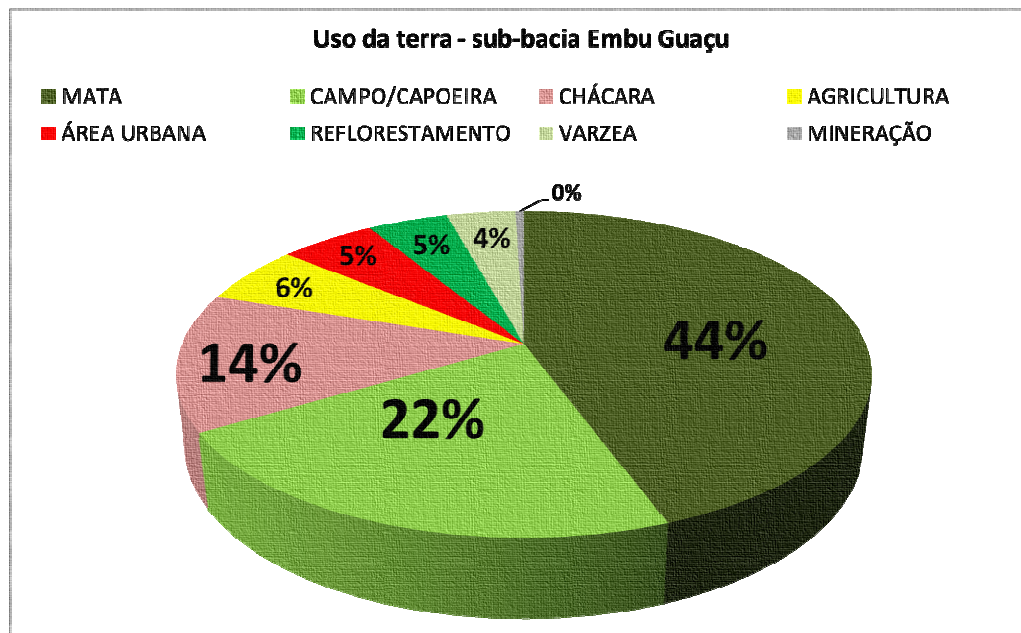


FIGURA 20: Mapa de densidade de drenagens da área de estudo (QUEIROZ, 2013).

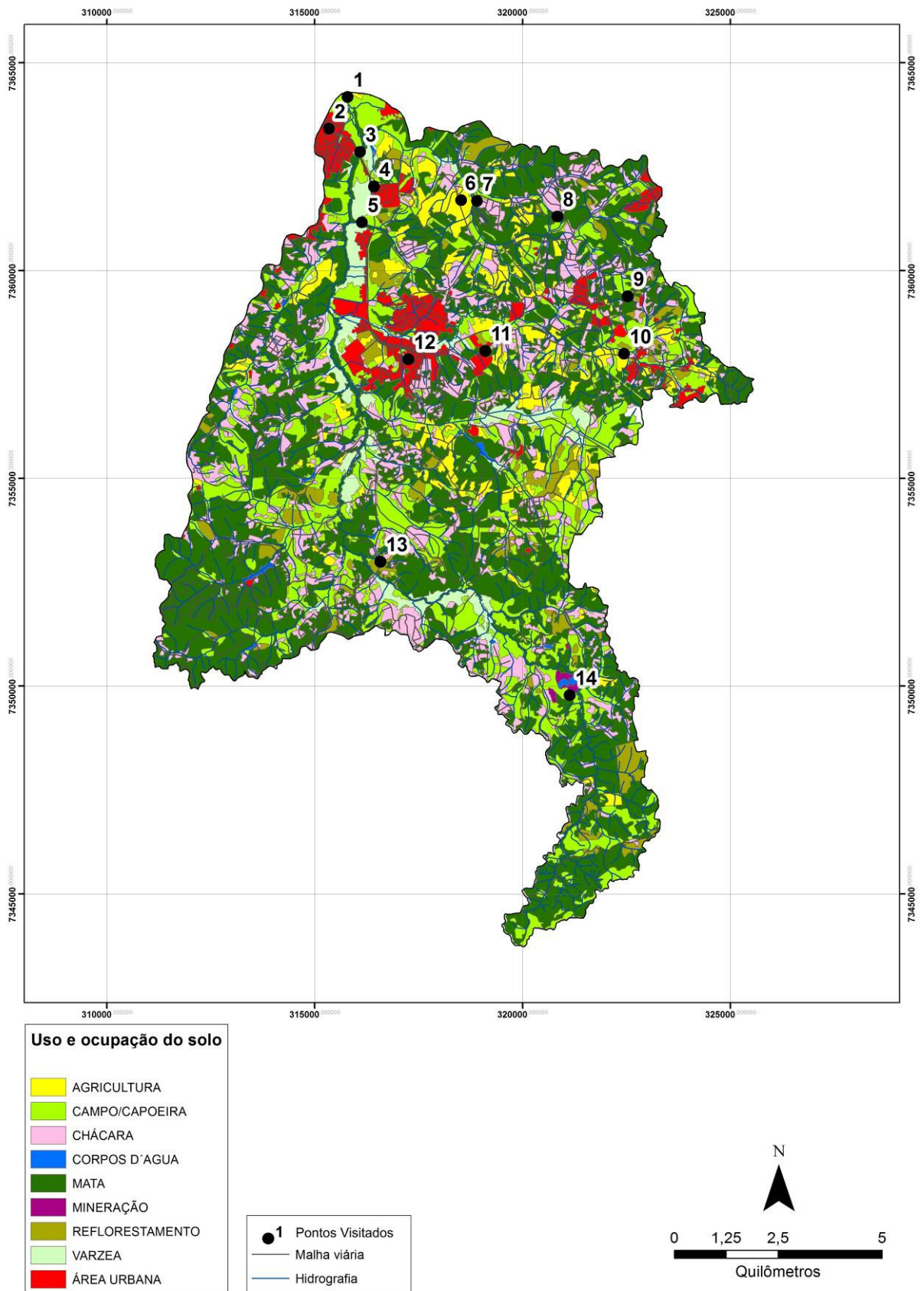


FIGURA 21: Mapa de Uso da Terra da área de estudo (modificado de QUEIROZ, 2013).

As Figuras 22 a 27 ilustram algumas das classes de uso da terra identificadas.



FIGURA 22: Atividade agrícola na área de estudo.



FIGURA 23: Representação de área urbana consolidada (ponto 2).



FIGURA 24: Paisagem representativa da classe campo / capoeira.



FIGURA 25: Ilustração de classe do tipo chácara.



FIGURA 26: Ocorrência de mata ao sul da área de estudo.



FIGURA 27: Várzea do Rio Embu Guaçu ao sul da área de estudo (Ponto 8 ou 9).

5. RESULTADOS OBTIDOS

Em 1996, cerca de 3,4 milhões de pessoas dependiam das águas do Reservatório do Guarapiranga em termos abastecimento público (ISA, 1996). Atualmente, a vazão natural da represa está em $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e a SABESP capta atualmente $14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para o abastecimento (SÃO PAULO, 2008). Para suprir esta diferença, são bombeados do Sistema Billings (braço do Taquacetuba) $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para a Represa Guarapiranga, fato que, segundo ambientalistas, piora a qualidade da água deste reservatório (PREFEITURA SÃO PAULO, 2014)

Sabendo-se que o Rio Embu Guaçu é um dos contribuintes do Reservatório do Guarapiranga, o presente trabalho tem como objetivo verificar os reflexos no comportamento da qualidade dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu, frente aos seus atributos geoambientais, analisou-se inicialmente o ponto EMGU-00800 que se encontra descrito a seguir. Este ponto, enquadrado na classe especial (0), em termos de legislação é comparado com os padrões de qualidade de um corpo d'água de classe 1.

5.1 Análise do IQA e de seus parâmetros para o ponto EMGU-00800

Os dados referentes ao ponto EMGU-00800 foram coletados a partir dos relatórios anuais da CETESB para o período de 2000 a 2012. De acordo com análise destes dados, Figura 28, observa-se que os valores oscilaram em média de 57 a 69, o que implica em classificação BOA para as águas do Rio Embu Guaçu neste ponto.

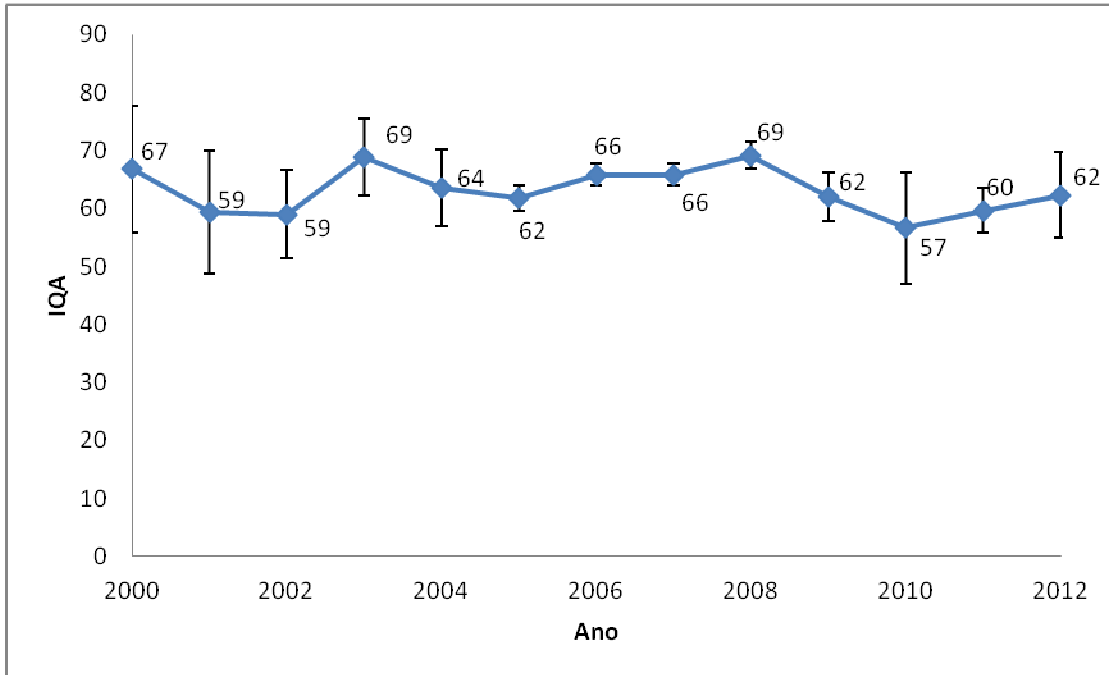


FIGURA 28: Valores médios de IQA para o ponto EMGU-00800 no período de 2000 a 2012.

Isto também pode ser observado na Figura 29, onde 92% das amostras encontravam-se classificadas como categoria BOA, 7% como RUIM, e apenas 1% como EXCELENTE para o período estudado.

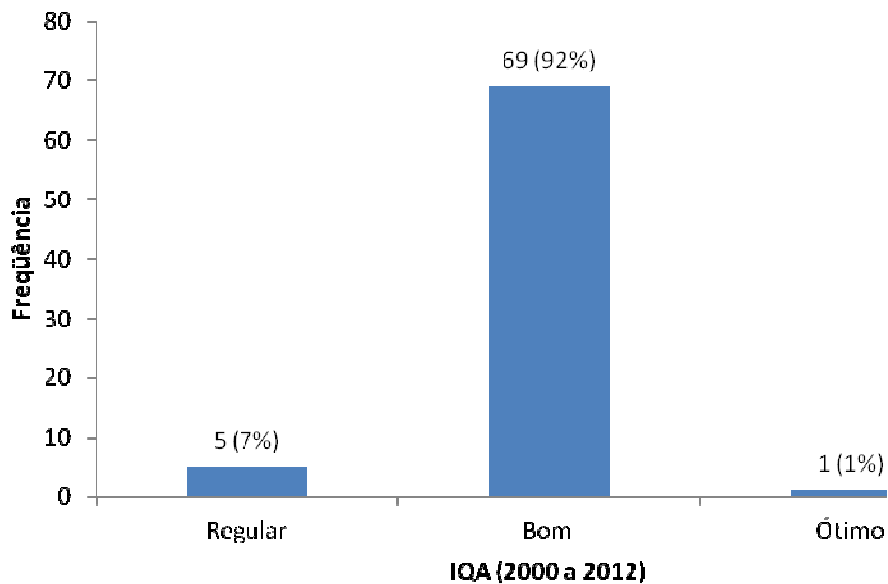


FIGURA 29: Histograma referente aos valores de IQA do ponto EMGU-00800 para o período de 2000 a 2012

No entanto, em uma análise por períodos, em um gráfico do tipo boxplot, Figura 30, observa-se um decréscimo da qualidade das águas ao longo do período estudado, o que parece refletir no aumento da atividade antrópica.

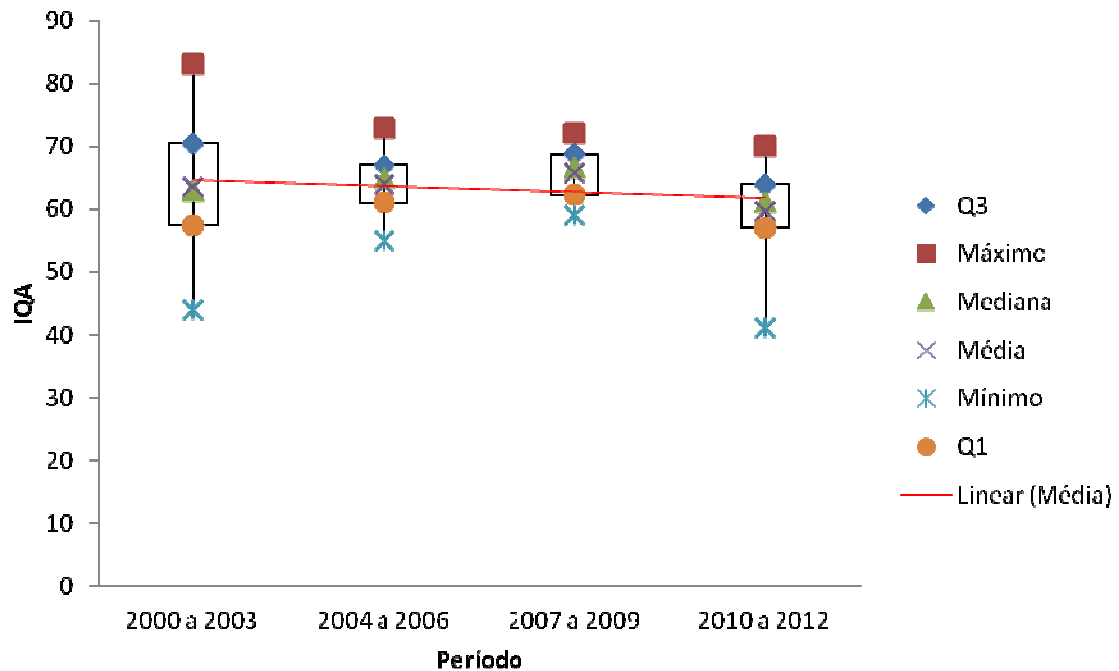


FIGURA 30: Gráfico tipo Boxplot referente ao IQA no ponto EMGU-00800 em diferentes períodos.

Apesar da água do Rio Embu Guaçu ser classificada, de maneira geral, como boa, quando os parâmetros que constituem o IQA são analisados separadamente, observa-se que alguns deles encontram-se fora dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05. Para o ano de 2011 foi realizado uma análise do tipo pareto, Figura 31, a partir dos valores médios dos parâmetros que compõem o IQA (Tabela 5).

TABELA 5: Valores médios de 2011 para os nove parâmetros que compõem o IQA

Parâmetro (unidade)	Valor médio
Temperatura (°C)	19,7
pH (Unidade de pH)	6,7
DBO (mg O ₂ /L)	3,7
Fósforo total (mg/L)	0,043
Nitrogênio total (mg/L)	1,09
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,0
Turbidez (mg/L)	11,8
Sólidos Totais (mg/L)	Menor que 100
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)	21400

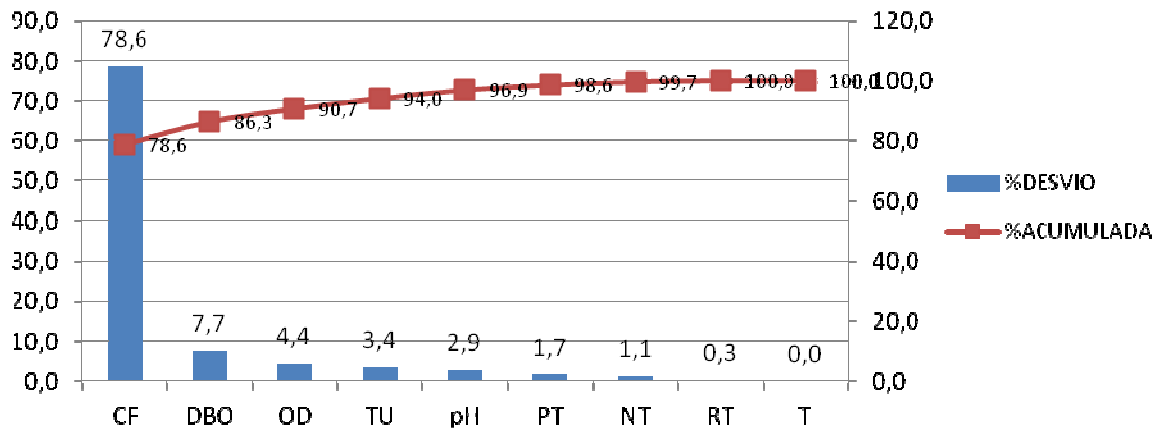


FIGURA 31: Gráfico pareto para os nove parâmetros de IQA, com valores médios de 2011 para o ponto EMGU-00800.

Pela análise da Figura 31 observa-se que o parâmetro microbiológico, coliformes termotolerantes, é destacadamente o de maior impacto na qualidade das águas do Rio Embu Guaçu neste ponto EMGU-00800. Na análise deste parâmetro microbiológico de 2000 a 2012, Figura 32, observa-se os valores médios acima do valor máximo permitido por legislação que é de 200 UFC/100mL. Cabe destacar que a escala logarítmica de coliformes termotolerantes possui um valor de 2,3 para o limite em questão e que na Figura 32 está destacado na linha vermelha.

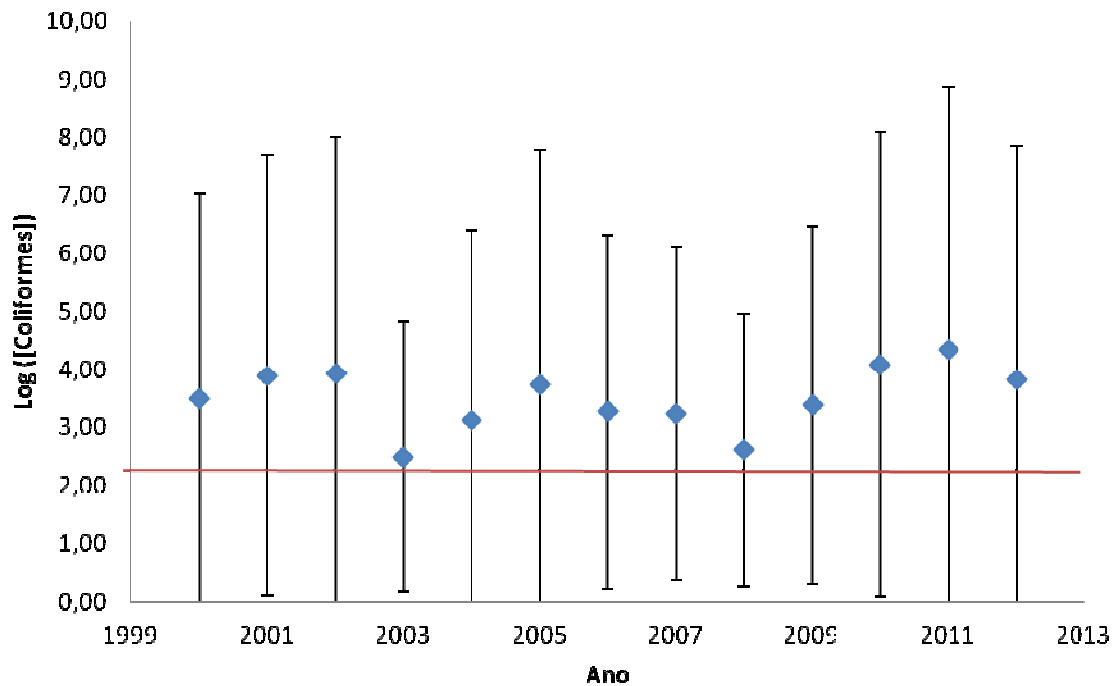


FIGURA 32: Gráfico do logaritmo da concentração de coliformes de 2000 a 2012 para o ponto EMGU-00800.

O segundo parâmetro de maior impacto na qualidade das águas do Rio Embu Guaçu foi a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que em análise gráfica mais detalhada (Figura 33) apresentou valores médios próximos do limite estabelecido pelo CONAMA 357/05, mas que ao se considerar os desvios padrões, em muitos anos, os valores encontram-se acima do valor mínimo exigido por legislação.

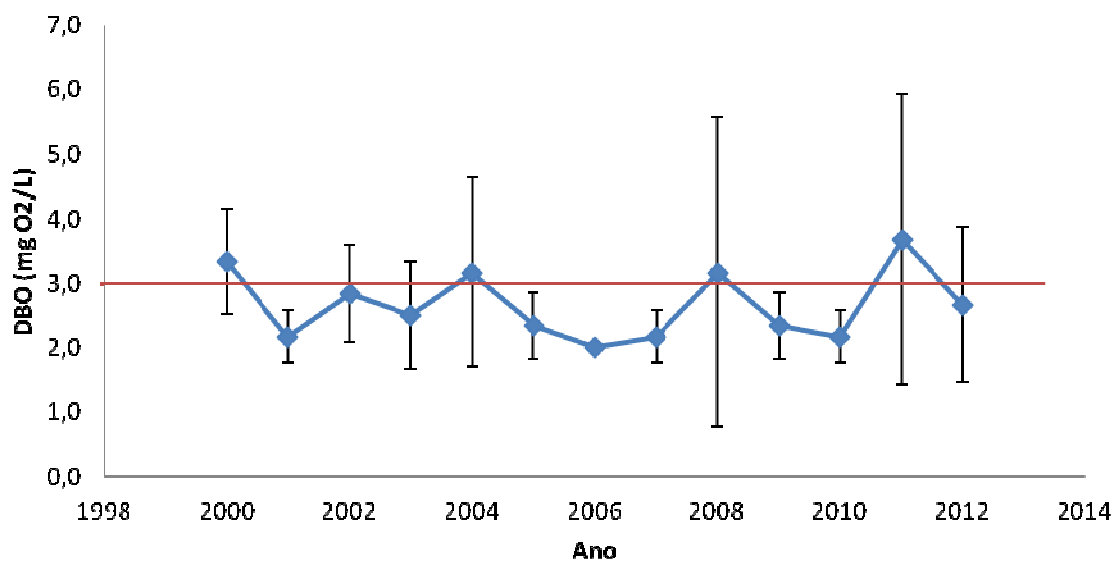


FIGURA 33: Análise do comportamento da DBO entre 2000 e 2012 para o ponto EMGU-00800.

Estes dois parâmetros, coliformes termotolerantes e DBO, com valores elevados indicam a presença de lançamento de esgoto doméstico nas águas do Rio Embu Guaçu devido à presença de área urbana, conforme pode ser observado no mapa de uso e ocupação da terra (Figura 21).

Dos demais parâmetros do IQA, o oxigênio dissolvido apresenta valores médios próximos ao valor estabelecido em legislação, de 6,0 mg/L para classe 1 (Figura 34). Isto está coerente com os valores médios de DBO para o mesmo ponto, pois a presença de matéria orgânica biodegradável leva a um consumo de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005). Para os parâmetros como turbidez, sólidos totais e nitrogênio amoniacal, os valores ficaram dentro dos limites estabelecidos em legislação na quase totalidade das medidas. O parâmetro fósforo total será discutido a seguir no tópico referente ao índice de estado trófico (IET).

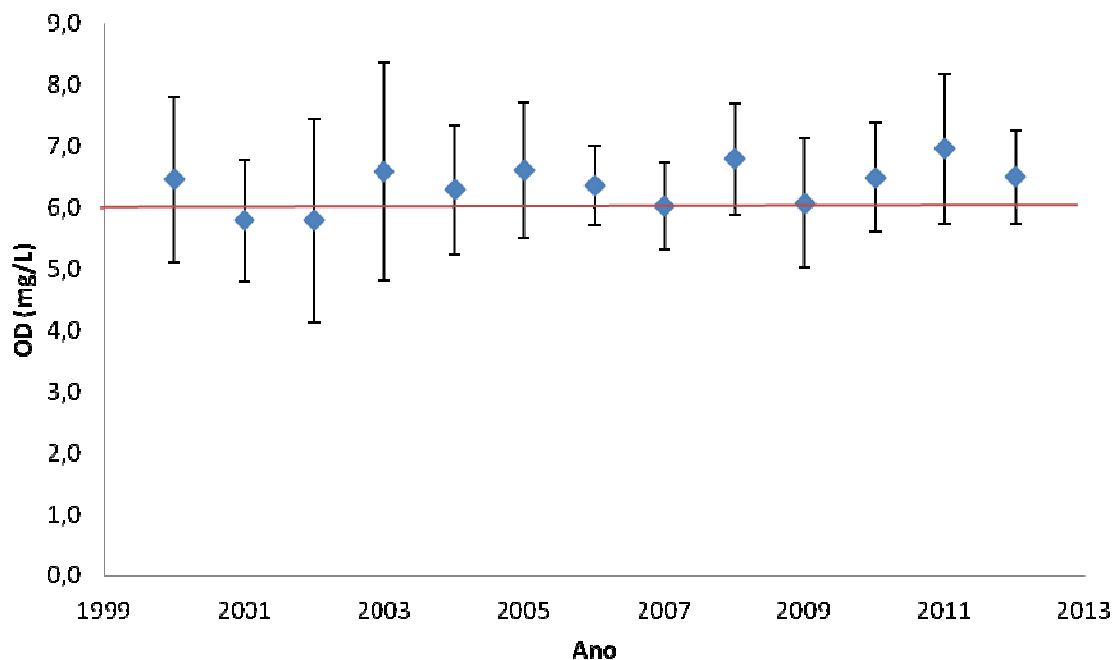


FIGURA 34: Perfil de valores médios de oxigênio dissolvido (OD) para o ponto EMGU-00800 entre 2000 e 2012.

5.2 Análise do IET para o ponto EMGU-00800

A água do Rio Embu Guaçu foi analisada quanto ao seu grau de trofia no ponto EMGU-00800. De acordo com análise da Figura 35, constata-se uma diminuição do IET em suas águas ao longo do período estudado. Isto indica uma

melhora no grau de trofia. Os valores de IET são médias aritméticas dos valores de IET do fósforo, IET (PT), e da clorofila a, IET (CL).

Quando se analisa a distribuição do nível de estado trófico, Figura 36, observa-se uma grande variação, ou seja, de ultraoligotrófico a hipereutrófico. Isto indica uma oscilação na quantidade de fósforo que é liberada no Rio Embu Guaçu. Para confirmar tal proposta, analisou-se o comportamento do fósforo nas águas do rio, Figura 37. Observa-se que o fósforo apresenta oscilação em seus teores, e para alguns anos seus valores encontraram-se acima do estabelecido em legislação para corpos d'água lóticos.

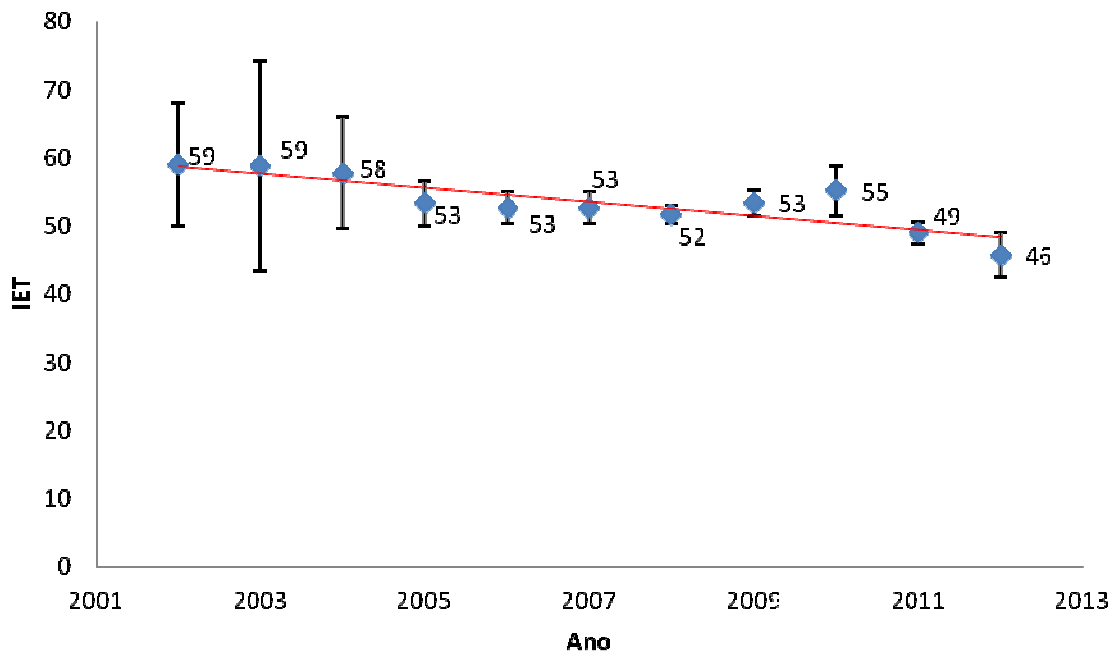


FIGURA 35: Valores anuais médios de IET para o ponto EMGU-00800 entre 2002 e 2012.

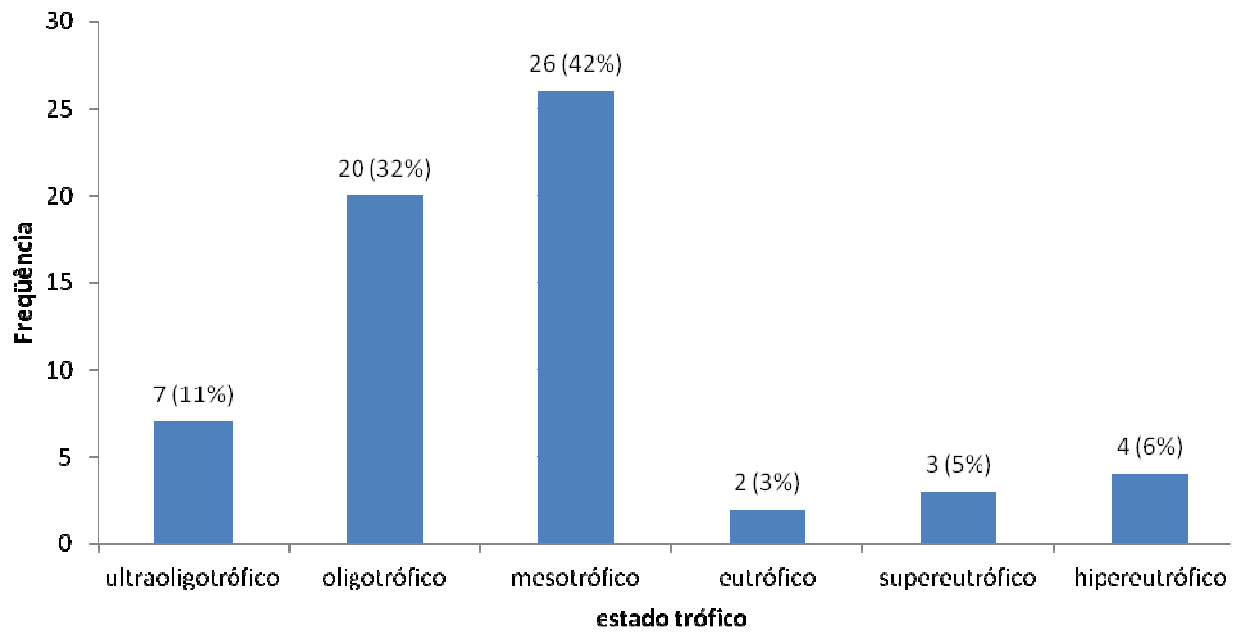


FIGURA 36: Histograma dos níveis de estado trófico para o ponto EMGU-00800 no período de 2000 a 2012.

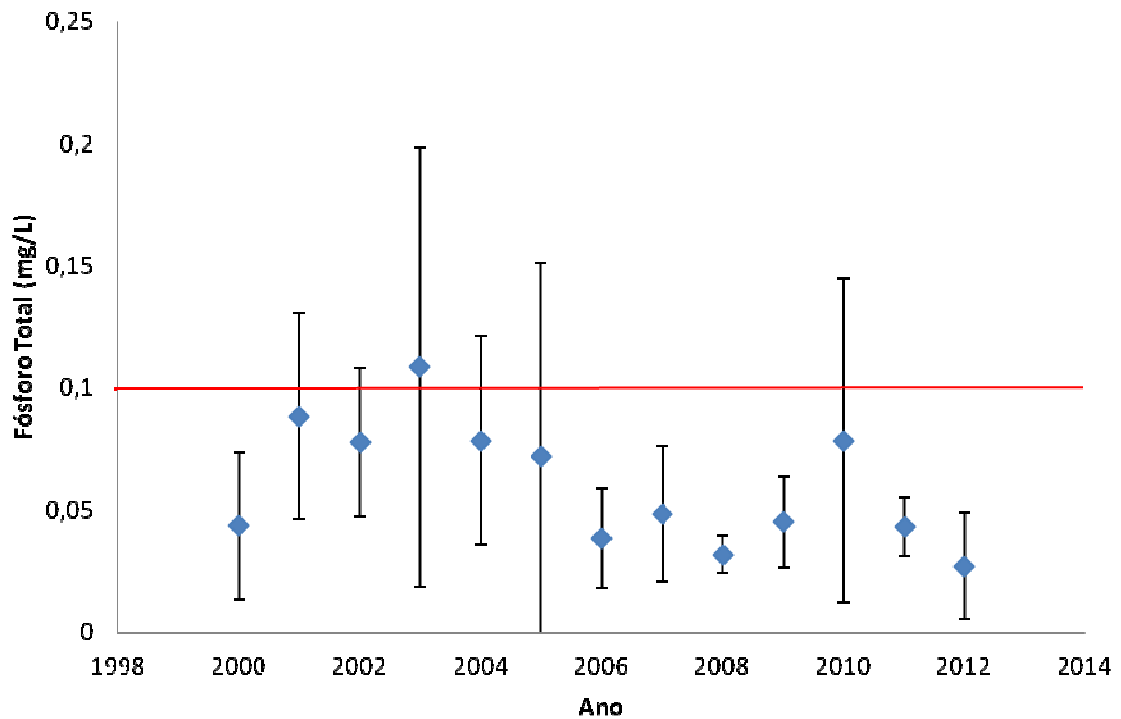


FIGURA 37: Perfil do fósforo total no ponto EMGU-00800 entre os anos 2000 e 2012.

Apesar da oscilação do fósforo nas águas do Rio Embu Guaçu, existe uma tendência de queda no teor de fósforo em suas águas, que é refletida também no IET, conforme se observa em uma análise temporal em gráfico boxplot (Figura 38). Esta tendência de queda do fósforo total e por consequência uma diminuição do IET deve ser acompanhada pelos próximos anos, pois estes resultados são incompatíveis com o aumento da atividade antrópica.

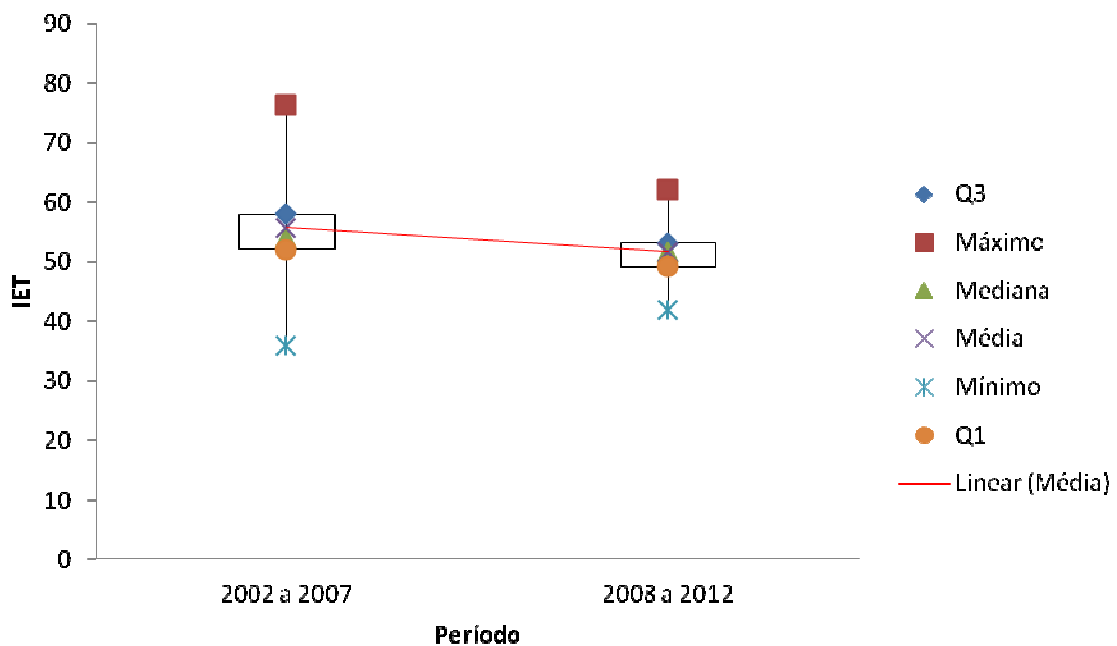


FIGURA 38: Gráfico boxplot para análise de IET do ponto EMGU-00800 em diferentes períodos.

5.3 Ferro dissolvido

A presença de elevados teores de ferro dissolvido nas águas do Rio Embu Guaçu no ponto EMGU-00800 pode ser observada na Figura 39. Segundo Oliveira et al. (2013), os tipos de rochas que predominam são os migmatitos com predominância do paleossoma, bastante alterados. Nestes materiais destaca-se a presença da biotita, $K(MgFe)_3(OH,F)_2(Al,Fe)Si_3O_{10}$, e que devido ao intemperismo físico pela ação das águas, leva a solubilização destes elementos. Cabe destacar que o íon alumínio dissolvido também apresenta valores elevados em suas águas, devido também a este processo de dissolução, uma vez não existirem atividades industriais na região que justifique a presença de tais elementos.

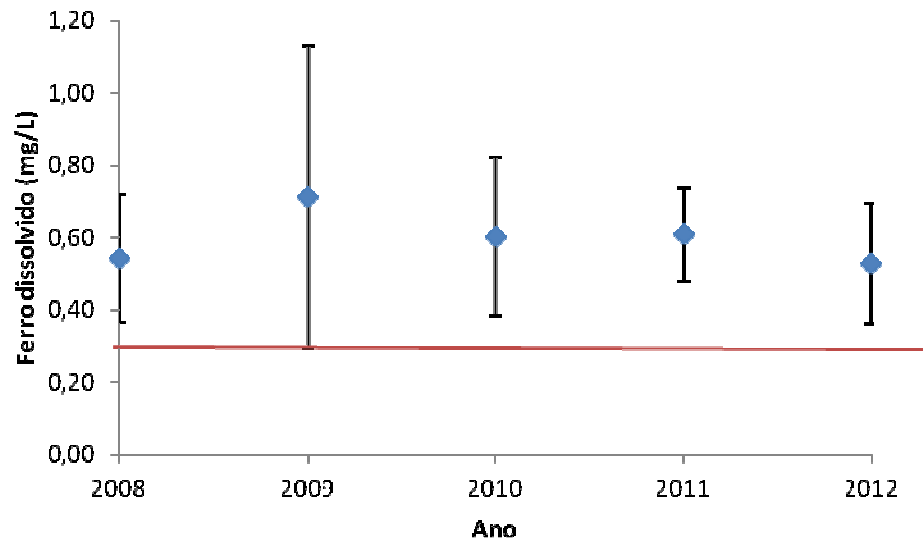


FIGURA 39: Valores médios do teor de ferro dissolvido nas águas do Rio Embu Guaçu no ponto EMGU-00800.

5.4 Análise de IQA e de seus parâmetros para o ponto CIPO-00900

O ponto CIPO-00900 entrou em substituição ao ponto EMGU-00700 que apresentava dificuldades de acesso por estar em área de alagamento (CETESB, 2009). O ponto CIPO-00900 localiza-se sobre a ponte na Rua Afonso Pena, cerca de 200m do cruzamento com a Av. Luza Corrêa, no bairro do Cipó, no município de Embu-Guaçu. Este ponto passou a ser monitorado a partir do ano de 2009 e, portanto os valores analisados nesta dissertação referem-se ao período entre 2009 e 2012.

Neste ponto e durante os quatro anos de análise, 86% das amostras de água foram classificadas como REGULAR, 5% como RUIM e 9% como BOA. Trata-se, portanto, de um corpo d'água bastante comprometido e que está próximo do reservatório Guarapiranga. Neste período os valores de IQA variaram entre 30 e 52, e os valores médios com os respectivos desvios padrão podem ser observados na Figura 40. Como estes valores foram bastante insatisfatórios, realizou-se uma análise de pareto para quantificar os principais parâmetros que mais auxiliaram no decréscimo do IQA. Em análise da Figura 41, realizada para os valores médios de 2009, nota-se que os principais parâmetros, coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, DBO e fósforo total, estão relacionados com a falta de saneamento básico na região. De acordo com o mapa de uso e ocupação da terra (Figura 21)

constata-se uma ocupação urbana consolidada próximo ao Rio Cipó e próximo ao ponto de coleta. Isto justifica os valores elevados destes parâmetros.

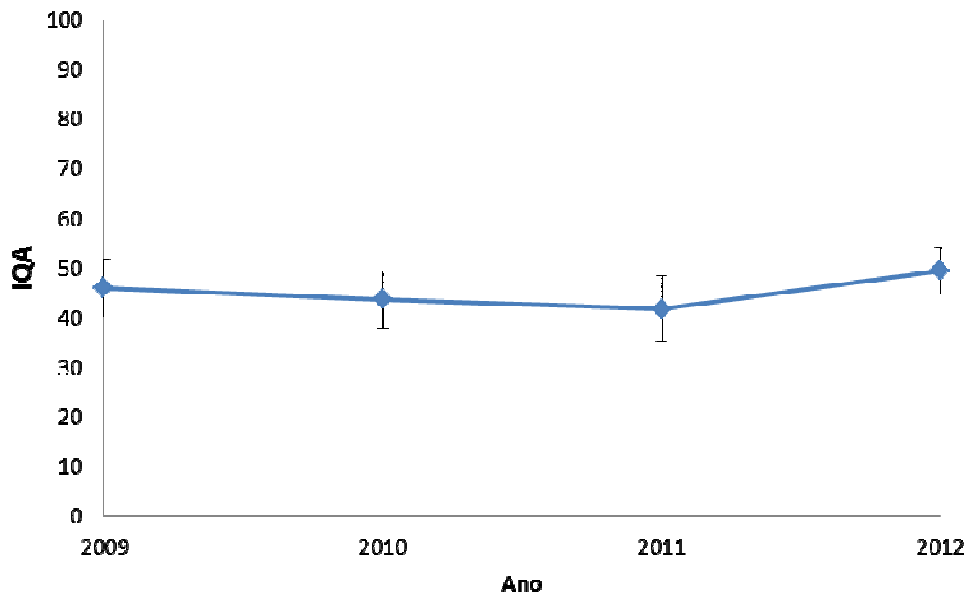


FIGURA 40: Valores médios de IQA para o ponto CIPO-00900 no período de 2009 a 2012.

Em análise individual destes parâmetros constata-se que os valores médios estão acima do limite. Temos um corpo d'água enquadrado em termos legais como classe 1 e portanto, o oxigênio dissolvido deve ser no mínimo de $6,0 \text{ mgL}^{-1}$. Na Figura 42 observam-se valores médios bem inferiores ao mínimo permitido.

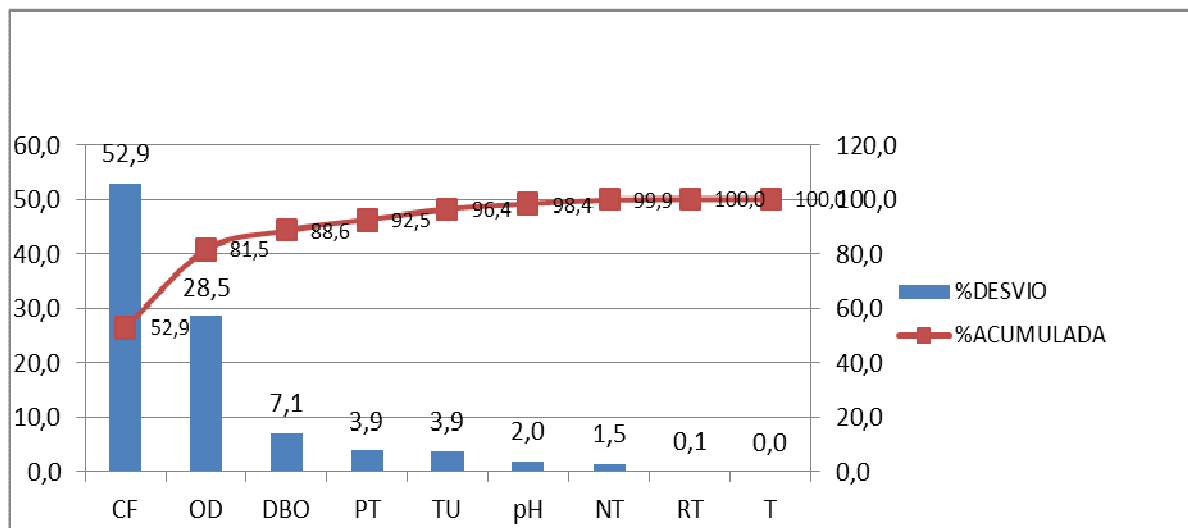


FIGURA 41: Gráfico Pareto para os nove parâmetros de IQA, com valores médios de 2009 para o ponto CIPO-00900.

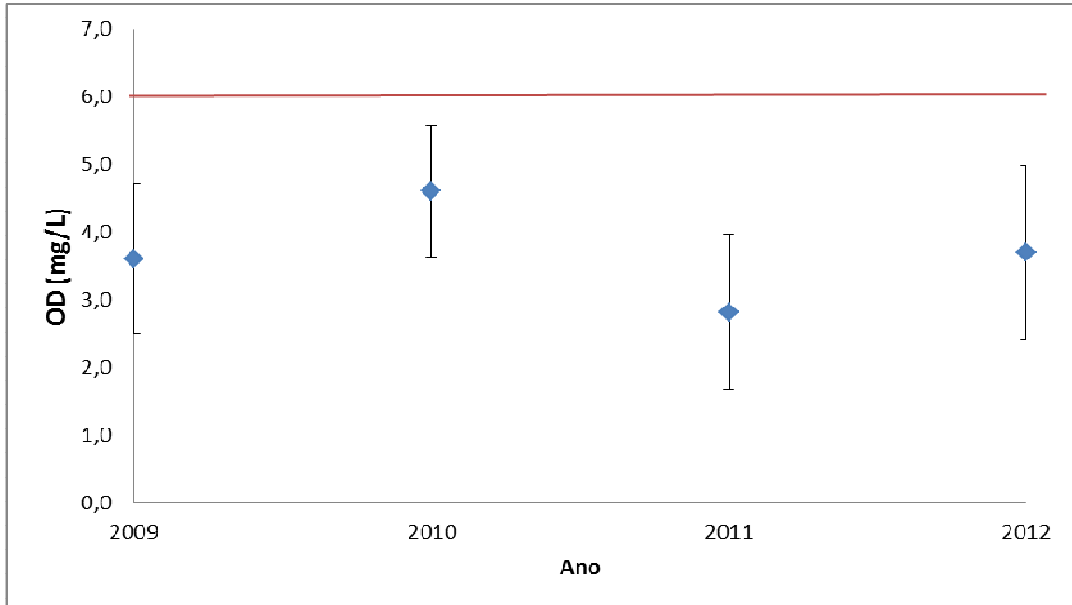


FIGURA 42: Valores médios do oxigênio dissolvido nas águas do Rio Cipó no ponto CIPO-00900.

Os parâmetros coliformes termotolerantes (*E.coli* em 2012), também apresentaram valores médios bem acima do limite estabelecido pelo CONAMA 357/05, conforme pode ser observado na Figura 43. Cabe destacar que para o valor limite, linha vermelha, o valor de 2,3 refere-se ao valor logaritmo de 200 UFC/100mL.

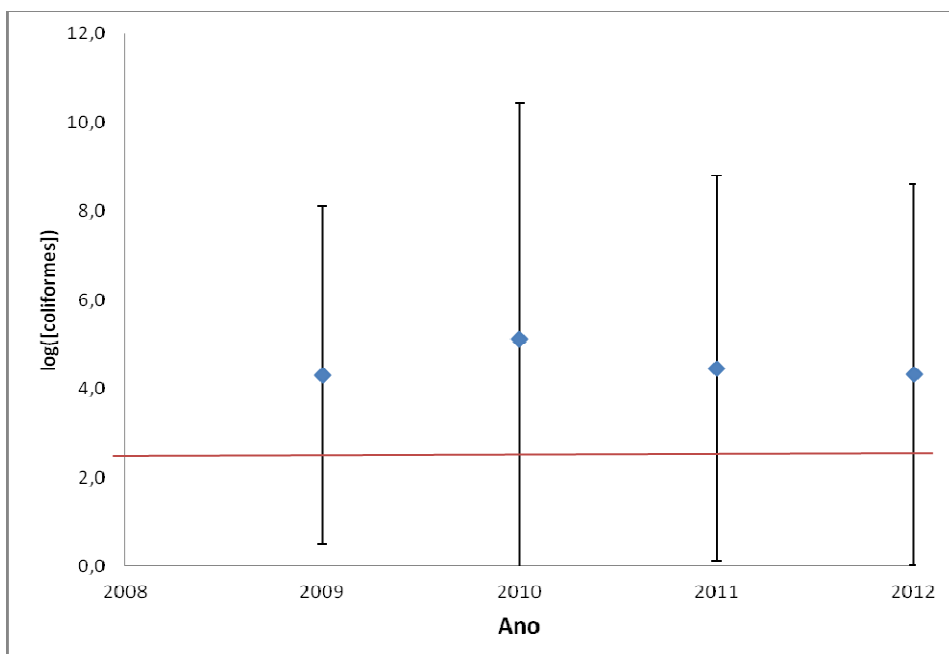


FIGURA 43: Valores médios de Coliformes termotolerantes (escala logarítmica) nas águas do Rio Cipó no ponto CIPO-00900.

Similarmente aos parâmetros descritos anteriormente, os parâmetros DBO e fósforo total, Figura 44 e Figura 45, respectivamente, também apresentam valores acima do estabelecido em legislação.

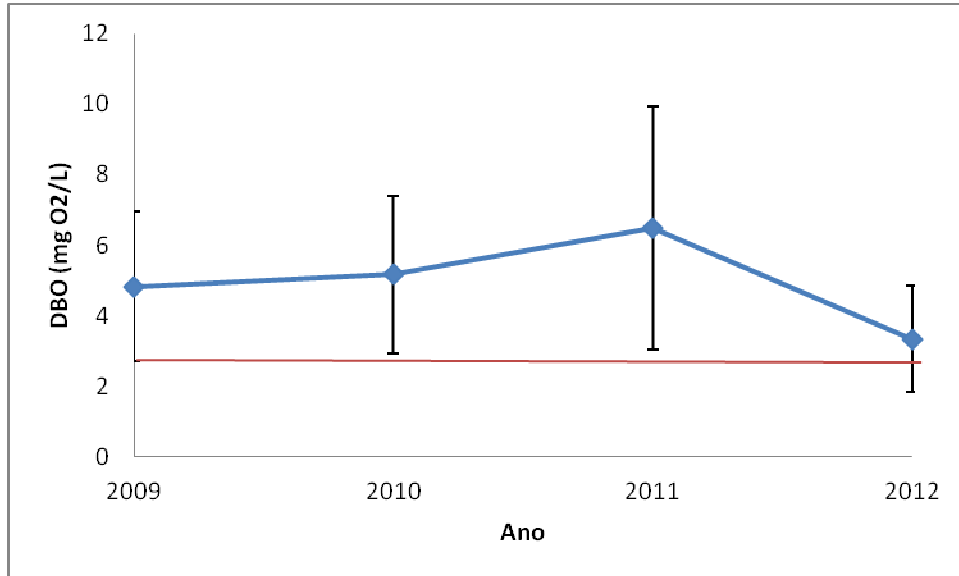


FIGURA 44: Valores médios de DBO nas águas do Rio Cipó no ponto CIPO-00900.

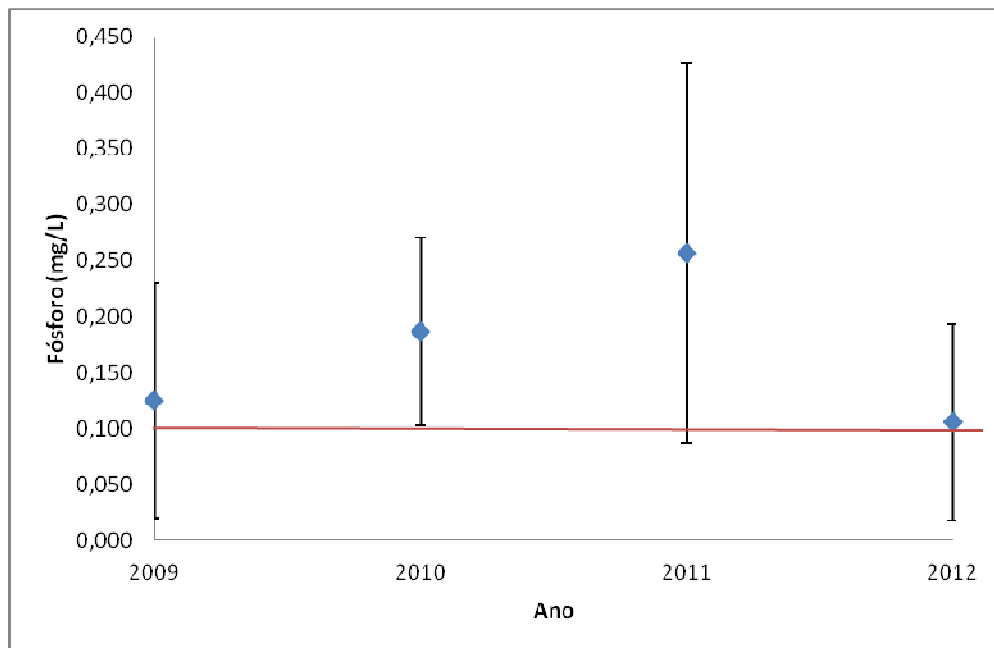


FIGURA 45: Valores médios de fósforo total nas águas do Rio Cipó no ponto CIPO-00900.

5.5 Análise de IET no ponto CIPO-00900

Com relação ao estudo da eutrofização das águas do Rio Cipó, observa-se também um grande efeito do fator antrópico. A distribuição dos níveis de trofia, vão desde condições de ultraoligotrófico até hipereutrófico com predominância de eutrófico (30%) e mesotrófico (35%) conforme pode ser observado na Figura 46.

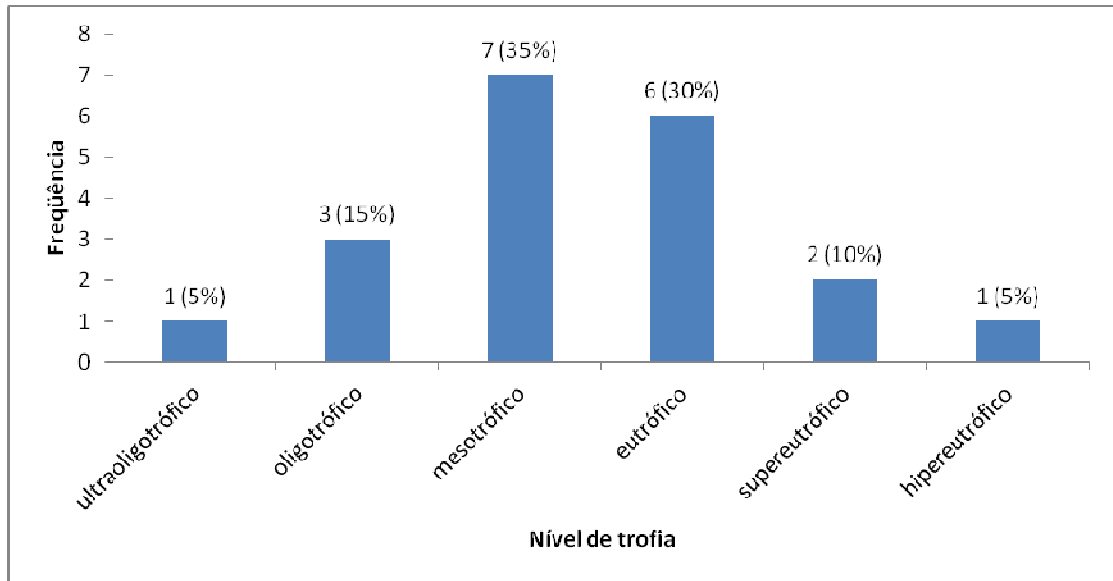


FIGURA 46: Histograma referente aos valores de IET do ponto CIPO-00900 para o período de 2009 a 2012

Neste período de análise observa-se uma oscilação nos níveis de trofia (Figura 47) similar ao observado nos valores de fósforo total (Figura 45), devido ao lançamento de esgoto nas águas do Rio Cipó.

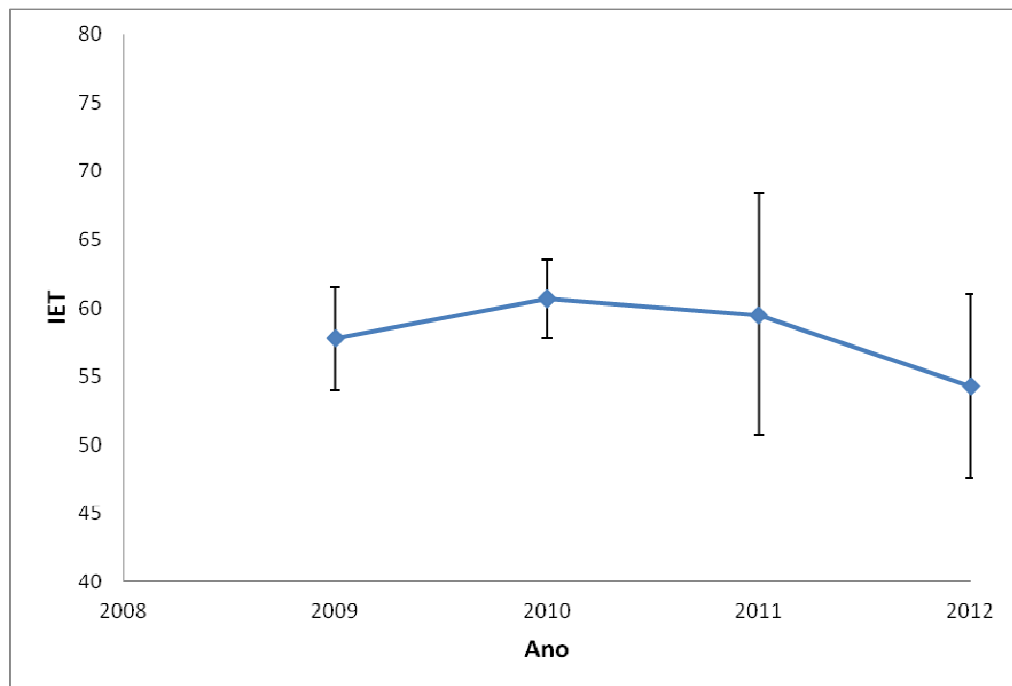


FIGURA 47: Valores médios de IET para o ponto CIPO-00900 no período de 2009 a 2012.

5.6 Análise conjunta da qualidade das águas dos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800

As águas do Rio Cipó começaram a ser monitoradas em 2009, e, portanto para efeito de análise conjunta, optou-se por analisar o mesmo período para o ponto EMGU-00800, ou seja, entre 2009 e 2012. A análise do IQA para os dois pontos da bacia, mostram realidades diferentes, pois para o período estudado o ponto EMGU00800 apresenta qualidade de seu corpo d'água superior ao do ponto CIPO-00900. Os valores médios de IQA para o período foram de 45 (REGULAR) para o ponto CIPO-00900 e de 60 (BOA) para o EMGU-00800, de acordo com análise gráfica do tipo Boxplot (Figura 48).

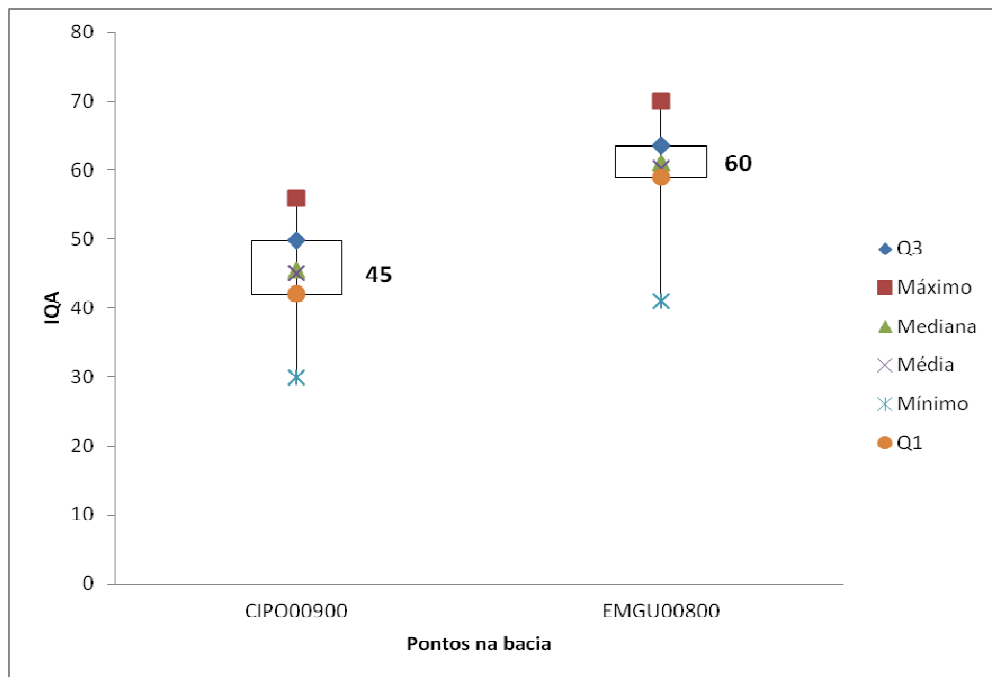


FIGURA 48: Gráfico tipo Boxplot referente ao IQA nos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800 de 2009 a 2012.

Se observarmos o mapa de uso da terra, Figura 21, a bacia do Rio Embu Guaçu apresenta grande quantidade de mata (44%, Figura 26), 22% de campo/capoeira (Figura 24), 14% de chácaras (Figura 25), e 6% de agricultura. No trecho sul da bacia não existe ocupação urbana, o que se reflete em uma maior qualidade do corpo d'água. Como o Rio Cipó é um contribuinte tributário do Rio Embu Guaçu, ocorre um processo de diluição dos poluentes presentes na água devido ao lançamento de esgoto nas águas do Rio Cipó, de acordo com evidências

como a presença de coliformes termotolerantes, baixo teor de oxigênio dissolvido e valores médios de DBO acima do estabelecido em legislação.

A mesma melhora também é observada no nível de trofia de suas águas quando se analisam comparativamente os dois pontos. Cabe destacar que apesar da mesma classificação de nível de trofia, mesotrófico, no ponto CIPO-00900, o valor médio está no limite superior, enquanto que no ponto EMGU-00800 está no limite superior. O efeito da diluição do fósforo para a análise do IET justifica a melhora deste índice (Figura 50), onde valores médios no ponto CIPO-00900 para o ponto EMGU-00800 passaram de 0,169 para 0,048, ou seja, um fator de diluição de 3,5.

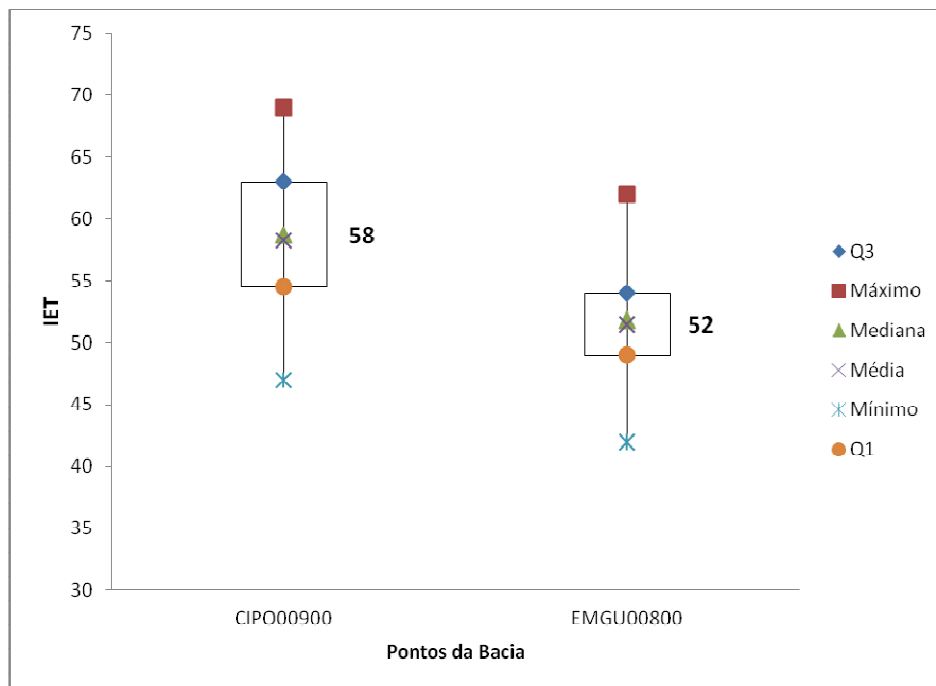


FIGURA 49: Gráfico tipo Boxplot referente ao IET nos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800 de 2009 a 2012.

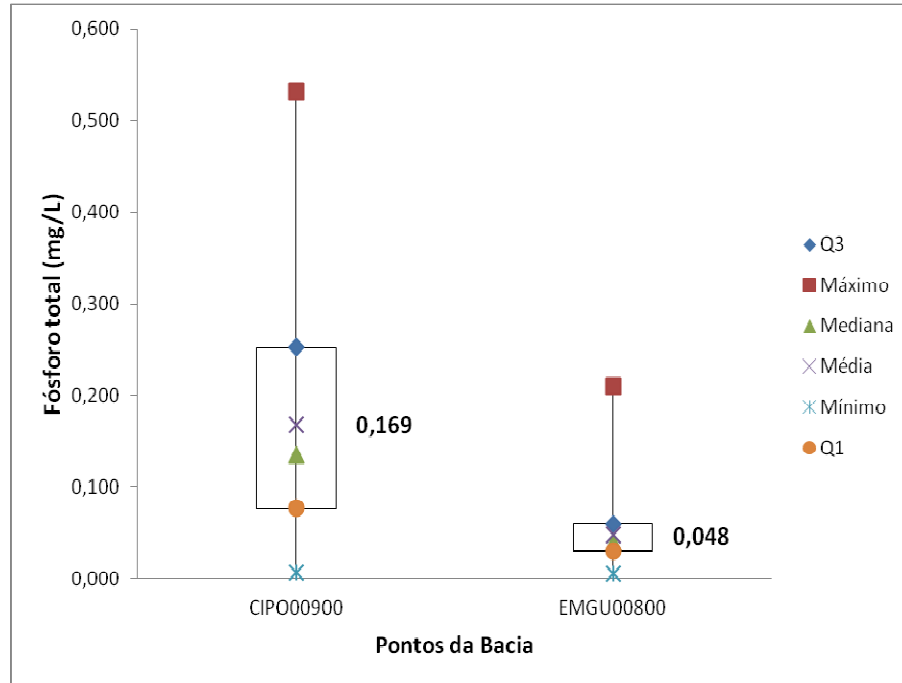


FIGURA 50: Gráfico tipo Boxplot referente ao Fósforo total nos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800 de 2009 a 2012.

Estes valores demonstram que a bacia hidrográfica do Rio Embu Guaçu pode contribuir com uma maior qualidade de água para o reservatório Guarapiranga desde que o aporte de esgoto doméstico no Rio Cipó seja reduzido e, preferencialmente em sua totalidade. De acordo com estimativa do IBGE, censo 2000, cerca de 50% dos 200 mil domicílios da bacia têm coleta de esgoto, no entanto, de todo o esgoto coletado, a maior parte não é tratado, e acaba indo para os corpos de água vizinhos, afluentes da represa (SÃO PAULO, 2008). Ainda segundo dados da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, o crescimento de ocupações urbanas aconteceu em loteamentos irregulares, concentrados nas vizinhanças do Reservatório e com precária infraestrutura de saneamento.

Diante do cenário da falta de saneamento básico e associado às condições naturais das formações rochosas, o teor de ferro dissolvido foi analisado em ambos os pontos, pois conforme destacado anteriormente, trata-se de um solo rico em ferro. De acordo com a Figura 51, observam-se maiores teores de ferro dissolvido no ponto CIPO-00900 do que no ponto EMGU-00800. Este fato explica-se considerando que as águas no ponto CIPO-00900 apresentam baixos teores de oxigênio dissolvido, portanto um meio mais redutor, o que facilita a presença de

maiores concentrações de íons Fe^{2+} , que é mais solúvel em água (MANAHAM, 2013).

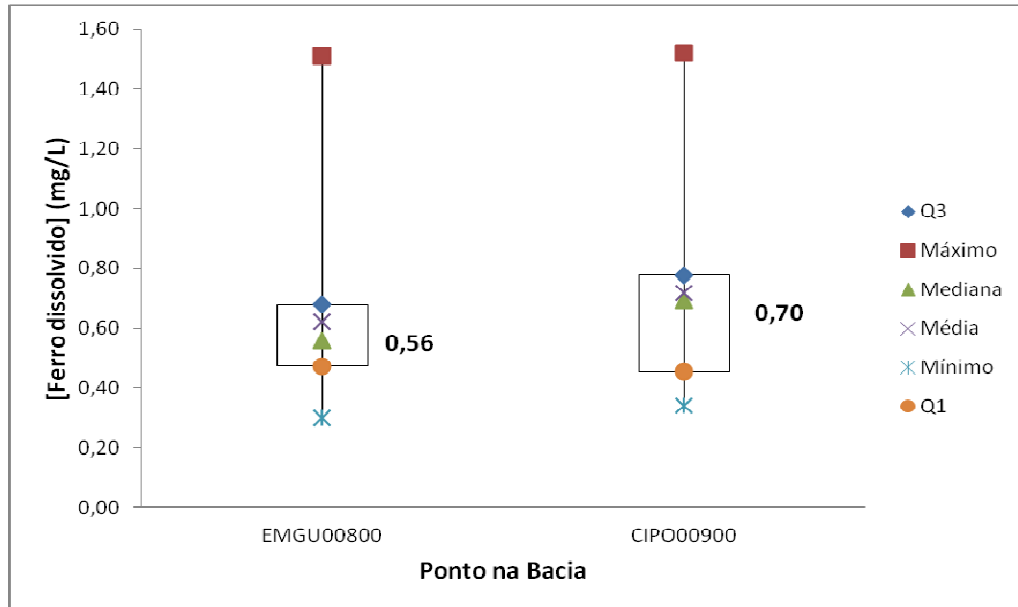


FIGURA 51: Gráfico tipo Boxplot referente ao Ferro dissolvido nos pontos CIPO-00900 e EMGU-00800 de 2009 a 2012.

Estes dados ilustram que despejos de esgotos comprometem a qualidade e a quantidade de água do reservatório fazendo com que seja necessário o aumento do uso de produtos químicos no processo de tratamento de água, realizado na Estação do Alto da Boa Vista. Este aumento do uso de produtos químicos acarreta no aumento dos custos deste tratamento. Segundo estudo realizado, o custo do tratamento de um milhão de litros d'água passou de R\$23,21 em 1998, para R\$54,03 em 2003 (VIVEIROS, 2003). Portanto, a coleta e tratamento de esgoto nas ocupações urbanas existentes na bacia hidrográfica do Rio Embu Guaçu levará a uma melhora significativa na qualidade da água no ponto EMGU-00800, evitando que se gaste mais no tratamento da água, bem como evitando a propagação de doenças de veiculação hídrica.

Apesar da grande importância do Reservatório do Guarapiranga para a população da região, um número reduzido de trabalhos podem ser localizados na literatura sobre estudos e avaliações de seu grau de poluição. Dentre eles, destaca-se pesquisa sobre a composição química das águas do sistema Guarapiranga entre os anos de 2002 e 2003, quanto à presença de metais pesados e dos principais íons, tais como fosfato e amônio, principais fontes de fósforo e nitrogênio,

respectivamente (RICHTER et al., 2007). Vários pontos foram amostrados no sistema Guarapiranga: Córrego Parelheiros, Rio Embu Guaçu, Rio Embu-Mirim; Córrego Guavirutuba, Córrego Itupu e na barragem da Represa, próximo ao ponto onde a SABESP coleta água, para posterior distribuição à população. Eles constataram que nos Córregos Guavirutuba e Itupu, os íons fosfato e amônio apresentaram concentrações acima dos máximos permitidos pela Legislação, o que segundo os autores, pode estar diretamente relacionado às características de uso e ocupação da terra com precária infraestrutura sanitária. Os teores de metais pesados, principalmente o chumbo, apresentaram índices preocupantes apesar de estarem abaixo do estabelecido em legislação em diversos pontos analisados. Dentre os pontos amostrados estudou-se a qualidade das águas do Rio Embu Guaçu, também objeto de estudo deste trabalho. Neste caso, a qualidade da água, avaliada quanto ao parâmetro condutividade, dentre outros como metais pesados e íons fosfato e amônio, apresentou ótimos resultados quando comparados aos demais pontos. A qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Embu Guaçu também foi analisada no plano de manejo da Prefeitura do Município de São Paulo, sendo que o trecho sul da bacia, denominada Alto Embu Guaçu, apresentou grande porcentagem de vegetação nativa dentre as sub-bacias da Guarapiranga, sendo que grande parte da bacia hidrográfica do Rio Embu Guaçu está inserida no Núcleo Curucutu do Parque Estadual da Serra do Mar (BELLENZANI, 2011).

A análise apresentada nesta dissertação juntamente com os dados apresentados por Richter e col. (2007) e por Bellenzani e col. (2011) demonstram que a Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu é uma das mais preservadas e, portanto abrem-se perspectivas para novos estudos em outras bacias hidrográficas que compõem o sistema Guarapiranga e que certamente apresentarão maiores níveis de comprometimento na qualidade de suas águas.

6. CONCLUSÃO

Segundo estimativa, o Reservatório de Guarapiranga é responsável por produzir aproximadamente 14 mil litros de água por segundo e abastece, cerca de quatro milhões de pessoas, o que corresponde a cerca de 20% de toda a população da RMSP (SÃO PAULO, 2008). A bacia hidrográfica do Rio Embu Guaçu, localizada no trecho sul do Reservatório de Guarapiranga exerce um papel importante na qualidade de suas águas. Neste trabalho podem ser verificados os reflexos da ocupação urbana na qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica no período analisado entre 2000 e 2012 para o ponto EMGU-00800 e de 2009 a 2012 para o ponto CIPO-00900. A ocupação desordenada em seu trecho norte, próximo ao reservatório, compromete a qualidade e a quantidade de suas águas. O Índice de Qualidade das Águas – IQA e Índice de Estado Trófico – IET (*sensu* CETESB, 2012), foram analisados conjuntamente e conclui-se que a contribuição do Rio Cipó, devido à ocupação urbana desordenada, conduz a uma diminuição da qualidade da água do Rio Embu Guaçu no ponto EMGU-00800. De acordo com os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05, o ponto CIPO-00800 para os parâmetros coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, DBO e fósforo total apresentou valores fora dos padrões estabelecidos para um corpo d'água classe 1. Ressalta-se que nessa bacia hidrográfica as classes de uso da terra predominante são as matas, os campos/capoeiras e o reflorestamento, caracterizando a área de estudo como rural, este cenário auxilia na qualidade da água no ponto EMGU-00800, próximo ao reservatório de Guarapiranga, diluindo, e, portanto minimizando os efeitos causados pelas ocupações urbanas nas proximidades do ponto CIPO-00900.

Medidas como a proteção das matas e, principalmente a coleta e tratamento do esgoto nas proximidades do ponto CIPO-00900, bem como o controle mais efetivo da expansão de diferentes formas de uso e ocupação da terra nesta bacia hidrográfica certamente auxiliarão no abastecimento hídrico da Região Metropolitana de São Paulo, minimizando assim os custos no tratamento das águas do Reservatório de Guarapiranga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLENZANI, M.L.R. et al., **Plano de manejo: APA Capivari-Monos**, São Paulo: Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, 2011. Disponível em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/diagnostico_qualidade_ambiental_1302707773.pdf acesso em Fev 2014.

BICUDO, C.E.M. **Reconstrução paleolimnológica da Represa Guarapiranga e diagnóstico da qualidade atual da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP, com vistas ao gerenciamento de abastecimento**. Processo FAPESP 2009/53898-9.

BRAGA, R. Planejamento Urbano e Recursos Hídricos. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. C. **Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional**. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – IGCE-UNESP, 2003. p. 113-127.

BRANCO, S. M. Água e o Homem. **Hidrologia Ambiental**, v. 3, 1986. p. 34 – 48.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**, 2009. São Paulo: CETESB, 2009.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**, 2012. São Paulo: CETESB, 2012.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**, 2013. São Paulo: CETESB, 2013.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª Edição. São Paulo: Interciência, 2011.

ISA, Instituto Socioambiental; **Diagnóstico Socioambiental Participativo Preliminar da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga** - Projeto Ecoscambio, 1996.

MACHADO, P. J. O. ; TORRES, F. T. P. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MANAHAN, S.E., **Química ambiental**, 9ª. ed, Porto Alegre: Bookman, 2013.

MILARÉ, E.. **Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco - doutrina, jurisprudência, glossário**. 6.ª edição. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2009. 1343 p.

MOTA, S. **Preservação de Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 1988.

OLIVEIRA, A.M.S. et al. (Coord.) **Análise geoambiental da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo e da bacia do Guarapiranga**. Relatório Geoambiental I. 2011. 25p.

OLIVEIRA, A.M.S. et al. (Coord.) **Análise geoambiental da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo e da bacia do Guarapiranga**. Relatório Geoambiental II. 2012. 38p.

OLIVEIRA, A.M.S. et al. (Coord.) **Análise geoambiental da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo e da bacia do Guarapiranga**. Relatório Geoambiental III. 2013. 27p + Anexos.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e Poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, **Abastecimento de água**. Disponível em www.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/meio_ambiente/bacias/abastecimento_de_agua.rtf, acesso em Fev 2014

Ponçano, W.L. et al., **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. 94 p. (Publicação no. 1183).

QUEIROZ, W. **Análise geoambiental da bacia contribuinte ao Reservatório Guarapiranga (SP) para a avaliação de sedimentos**. 2013. 69f. Exame de Qualificação (Mestrado em Análise Geoambiental). Universidade Guarulhos. 2013.

RAMPANELLI, A.M. **os recursos naturais como condicionantes do desenvolvimento Econômico e cultural: um estudo aplicado à Bacia Sedimentar de Taubaté, nos municípios de Taubaté e Tremembé, Vale do Paraíba, estado de São Paulo**. 2010. 94f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental). Universidade Guarulhos. 2010.

RICHTER, E.M., FORNARO, A., do LAGO, C.L., ANGNES, L., **Avaliação da composição química de águas do sistema Guarapiranga: estudo de caso nos anos de 2002 e 2003**, Química Nova, Vol. 30, No. 5, 1147-1152, 2007.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Educação Ambiental. **Caderno Ambiental Guarapiranga**. São Paulo: SMA/CEA, 2008.

TUCCI, C.E.M. **Programa Nacional de Águas Pluviais**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C.E.M. Urbanização e Recursos Hídricos In: **Águas do Brasil: análises estratégicas** (BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. organizadores). São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. P. 113 – 132.

TUNDISI, J.G. A crise mundial da água. In: Nussenzveig, H.M. (Org.). **O futuro da Terra**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2011. p.61-88.

VIVEIROS, M. **Esgoto dobra custo de tratamento da água**, disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u97316.shtml>. Acesso em 14 fev 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 2005. 452p.

ANDRADE, João Alexandre

Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu,
Contribuinte do Reservatório Guarapiranga – Região Metropolitana de São
Paulo / João Alexandre de Andrade. Guarulhos, 2014.

78f.: il.; 31 cm

Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Centro de
Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Guarulhos, 2013.

Orientador: prof. Dr. Antonio Roberto Saad

Bibliografia: f. 75-77.

1. Região Metropolitana de São Paulo. 2. Represa do
Guarapiranga. 3. Bacia Hidrográfica do Rio Embu Guaçu. 4. Qualidade de
Águas. I. Título. II. Universidade Guarulhos.