



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

**Índice de Estado Trófico da Sub-Bacia Hidrográfica do
Ribeirão Tanque Grande, Guarulhos (SP): análise
comparativa entre as zonas rural e urbana**

João Carlos Lopes

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Saad

Guarulhos
2013



João Carlos Lopes

**Índice de Estado Trófico da Sub-Bacia Hidrográfica do
Ribeirão Tanque Grande, Guarulhos (SP): análise
comparativa entre as zonas rural e urbana**

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Saad

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

Guarulhos

2013

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha família, minha esposa Nanci, meus filhos Andrey e Ivan, pela colaboração e incentivo carinhoso, para que sempre fosse persistente no objetivo.

Agradeço ao Prof. Dr. Antonio.Roberto Saad, meu orientador, pela incansável participação e apoio para concretização deste, e também a todos aqueles que colaboraram direta e indiretamente para o êxito dessa conclusão.

Quero ainda agradecer a Deus, por ter preparado todo o longo caminho que percorremos até aqui, tendo sido a fonte constante de minha inspiração e motivação.

“O amor não é algo que se fossiliza, mas sim que traz a vida. Os trabalhos realizados com amor, que proclamam o amor, são o caminho para a paz. E onde começa o amor? Em nossos próprios corações. Nós precisamos saber que fomos criados para coisas maiores, não apenas para ser mais um número no mundo, não só para receber diplomas e títulos, para este ou aquele trabalho. Nós fomos criados para amar e ser amados.”

Madre Tereza de Calcutá

RESUMO

O Índice de Estado Trófico (IET), no sentido utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), tem sido um dos principais parâmetros para averiguar as condições de degradação ambiental de ambientes lóticos e lênticos. Quando se analisa um corpo aquoso para suas múltiplas funções, tais como abastecimento público, irrigação, lazer, dessedentação animal, dentre outras, é comum associar as análises de trofia, por meio da análise de fósforo total e clorofila-a, com as de microrganismos patogênicos. Com base nessas premissas, elegeu-se a Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande, localizado na região metropolitana de São Paulo, no município de Guarulhos, para analisar seu Índice de Estado Trófico, em função desse curso d'água ser utilizado para diversos fins, sendo o de abastecimento público o principal deles. Além desse fato, essa sub-bacia contempla áreas rural e urbana do município de Guarulhos, contendo diferentes classes de uso da terra. As análises de fósforo total efetuadas ao longo de 12 meses em 7 pontos previamente selecionados, mostraram condições oligotróficas na zona rural, enquanto que na zona urbana predominaram estágios de mesotrofia a hipereutrofia. Paralelamente, as análises de microrganismos patogênicos evidenciaram a presença, nos pontos urbanos amostrados, de *Escherichia coli* em quantidades superiores aos limites máximos permitidos, o que a princípio condena o seu uso para várias das alternativas possíveis, em função da legislação estadual. Detectou-se, também, que a baixa qualidade ambiental urbana é decorrente do fato da inexistência de Estação de Tratamento de Esgotos (ETE). Sugere-se que a mancha urbana não se desloque rumo norte para preservar as condições ambientais verificadas na zona rural.

Palavras-chave: índice de estado trófico; sub-Bacia hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande; região metropolitana de São Paulo; município de Guarulhos.

ABSTRACT

The Trophic State Index (TSI), in the sense used by Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB), has been one of the key parameters to determine the conditions of environmental degradation of lotic and lentic environments. When analyzing a water body to its multiple functions, such as public water supply, irrigation, recreation, watering animals, among others, is common to associate the trophic analyzes through the total phosphorus and chlorophyll-a analysis, with pathogenic microorganisms. Based on these assumptions, the Ribeirão do Tanque Grande subwatershed was elected, located in the metropolitan region of São Paulo, municipality of Guarulhos, to analyze its TSI, due to this stream be used for various purposes, being the public water supply the main one. Besides this fact, this subwatershed includes rural and urban areas of the municipality of Guarulhos, containing different classes of land use. The analysis of total phosphorus performed over 12 months in 7 points previously selected showed oligotrophic conditions in rural areas, while, in urban areas, the predominated mesotrophic to hipereutrophic stages. In parallel, analysis of pathogenic microorganisms showed the presence, in urban points sampled, of *Escherichia coli* in quantities exceeding the maximum allowable limits, which, in turn, condemns its use for various possible alternatives, depending on state law. It also turned out that poor urban environmental quality is due to the fact of lack of Sewage Treatment Station (STS). Then, preliminary, it is suggested that urban sprawl does not move northward to preserve the environmental conditions prevailing in rural areas.

Key-words: trophic state index; Ribeirão do Tanque Grande subwatershed; metropolitan region of São Paulo; Municipality of Guarulhos.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 01: Localização do Município de Guarulhos e seus limites	01
FIGURA 02: Divisão do Município de Guarulhos em Macrocompartimentos Norte (Alto) e Sul (Baixo), limitados pela falha do Rio Jaguari	02
FIGURA 03: Exemplos de inter-relação entre Uso da Terra e focos alteradores da Qualidade da Água	03
FIGURA 04: Mapa de Uso da Terra	23
FIGURA 05: Mapa geomorfológico da área de estudo.....	29
FIGURA 06: Mapa litológico da área de estudo	30
FIGURA 07: Mapa pedológico da área de estudo.....	31
FIGURA 08: Pontos de amostragem ao longo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande...	34
FIGURA 09: Valores médios de IET ao longo do trecho analisado do Ribeirão Tanque Grande	41

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 01: PRINCIPAIS AGENTES POLUIDORES DAS ÁGUAS	09
TABELA 02: PRINCIPAIS EFEITOS DE EUTROFIZAÇÃO EM RESERVATÓRIOS.....	13
TABELA 03: CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO – RIOS	14
TABELA 04: CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO PARA RESERVATÓRIOS SEGUNDO ÍNDICE DE CARLSON MODIFICADO	16
TABELA 05: ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS DE JANEIRO DE 2011 A OUTUBRO DE 2012 (MÊS A MÊS)	32
TABELA 06: VALORES DE PT (mg/L) OBTIDOS AO LONGO DOS MESES ANALISADOS	40
TABELA 07: VALORES DE IET OBTIDOS DURANTE O PERÍODO DE TEMPO ANALISADO	40
TABELA 08: VALORES MICROBIOLÓGICOS OBTIDOS DURANTE O PERÍODO DE TEMPO ANALISADO (NMP/100mL)	42

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 01: CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO TANQUE GRANDE	28
--	-----------

ÍNDICE DE FOTOS

FOTO 01: PESQUEIRO	24
FOTO 02: CHÁCARAS E SÍTIOS	24
FOTO 03: RESERVATÓRIO TANQUE GRANDE, COM PRESENÇA DE MATA NA MARGEM ESQUERDA E PASTO NA DIREITA	25
FOTO 04: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA.....	25
FOTO 05: AGRICULTURA A CÉU ABERTO	26
FOTO 06: MINERAÇÃO DE GRANITO	26
FOTO 07: SOLO EXPOSTO	27
FOTO 08: MONTANTE DO RESERVATÓRIO TANQUE GRANDE - PONTO 1	35
FOTO 09: PONTO DE CAPTAÇÃO DO RESERVATÓRIO TANQUE GRANDE - PONTO CETESB	35
FOTO 10: ZONA RURAL – AGRÍCOLA - PONTO 2	36
FOTO 11: ZONA RURAL – MATA NATIVA - PONTO 3.....	36
FOTO 12: ZONA URBANA – JARDIM VILA RICA - PONTO 4.....	37
FOTO 13: ZONA URBANA – PARQUE SANTOS DUMONT - PONTO 5.....	37
FOTO 14: ZONA URBANA – BAIRRO SÃO JOÃO - PONTO 6.....	38
FOTO 15: PASTAGENS DE GADO ÀS MARGENS DO RESERVATÓRIO	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3.1 A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão	6
3.2 Poluição das águas	7
3.3 Eutrofização.....	8
3.3.1 Causas da eutrofização.....	10
3.3.2 Mecanismos da eutrofização.....	12
3.3.3 Eutrofização de lagoas e reservatórios.....	13
3.4 Índice do estado trófico	14
3.5 Variáveis microbiológicas.....	16
3.6 Classificação dos corpos de água	19
3.6.1 Enquadramento dos corpos de água no Estado de São Paulo	21
4. CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO	22
5. MÉTODOS E TÉCNICAS	33
5.1 Pesquisa bibliográfica	33
5.2 Seleção dos pontos de amostragem.....	33
5.3 Coleta de dados	38
5.4 Análises laboratoriais	38
5.5 Organização dos dados	38
5.6 Elaboração do mapa do uso da terra.....	39
5.7 Elaboração do documento final.....	39
6. RESULTADOS OBTIDOS	40
7. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	43
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
10. ANEXOS	53

1. INTRODUÇÃO

O município de Guarulhos localiza-se na porção norte da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, entre os paralelos 23° 16' 23" e 23° 30' 33" de latitude Sul e entre os meridianos 46° 20' 06" e 46° 34' 39" de longitude Oeste (Figura 1).

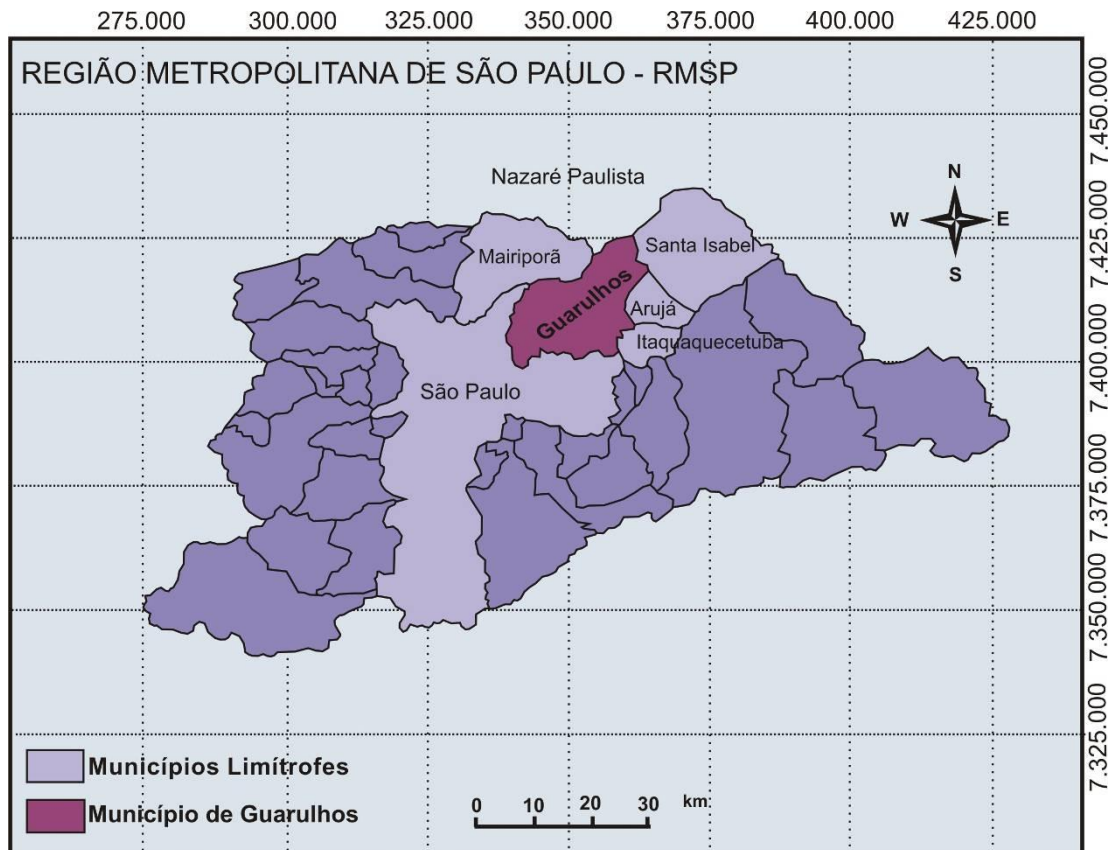


Figura 1. Localização do município de Guarulhos e seus limites (GRAÇA, 2007).

Ao se analisar os aspectos fisiográficos da paisagem guarulhense, depara-se com duas regiões bastante discrepantes, as quais foram subdivididas por Graça (2007), Oliveira *et al.* (2008) e Oliveira *et al.* (2009) em macrocompartimentos norte e sul, tendo como balizador a Falha do Rio Jaguari (Figura 2). De acordo com Andrade *et al.* (2008), na porção norte, o relevo é mais acidentado, composto especialmente por morros e montanhas e está associado aos terrenos cristalinos, pré-cambrianos. Apresenta densa rede de drenagem, encostas longas, com alta declividade; as altitudes alcançam valores de até 1.422 m.

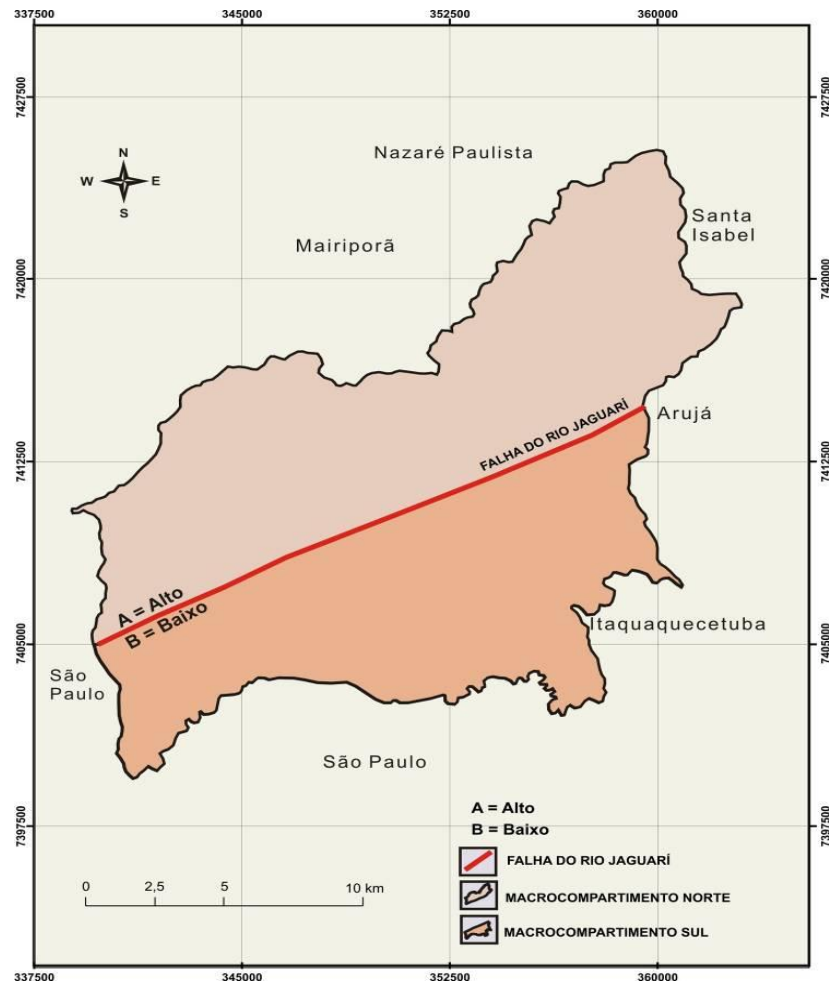


Figura 2. Divisão do município de Guarulhos em macrocompartimentos norte (alto) e sul (baixo), limitados pela Falha do Rio Jaguari (GRAÇA, 2007).

Na região sul de Guarulhos, segundo esses mesmos autores, a topografia é formada por relevos mais suaves, na forma de colinas e planícies fluviais, e apresenta padrão de drenagem com densidade menor. As declividades das encostas são menores e, do ponto de vista geológico, essa região associa-se, em geral, aos sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo e aos aluviões quaternários.

Nas áreas de relevo mais suave, teve início o povoamento de Guarulhos e, mais tarde, desenvolveu-se a urbanização e a industrialização, pelas facilidades topográficas e geotécnicas (GRAÇA, 2007; ANDRADE et al., 2008; MESQUITA, 2010). Ao norte, onde ocorrem os relevos de morros e montanhas, as paisagens são do tipo rural e, invariavelmente, concentram-se as áreas de mananciais. No entanto, nessas áreas, em função do surgimento de vários núcleos urbanos (bairros),

verificam-se impactos ambientais acentuados, dos quais se destacam: desmatamento, erosão e assoreamento de corpos d'água, contaminação de água e do solo, e escorregamentos de encostas (ANDRADE *et al.*, 2008; MESQUITA, 2010).

Guarulhos encontra-se inserido em duas grandes bacias hidrográficas: a do Alto Tietê e a do Paraíba dos Sul, sendo que a primeira ocupa 81% do município, com uma área de 259 km². Nela, verificam-se 4 sub-bacias, das quais a do Baquirivu Guaçu, com área aproximada de 149 km² (46,6% do território municipal) é a maior. Ela é constituída por várias sub-bacias contribuintes, sendo que as localizadas em sua margem direita têm cabeceiras originadas em áreas de relevos mais acidentados, declivosos, com canais fluviais em padrão dendrítico a sub-paralelo e de alta densidade; ao atingirem a região da bacia sedimentar cenozóica, os cursos d'água mudam seus padrões de drenagem, em função da topografia ser bem mais suave (ANDRADE *et al.*, 2008)

Nessas sub-bacias, do ponto de vista de zoneamento municipal, encontram-se zonas rurais e urbanas, que evidenciam diferentes formas de uso da terra, as quais podem representar focos alteradores da qualidade da água dos cursos fluviais, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

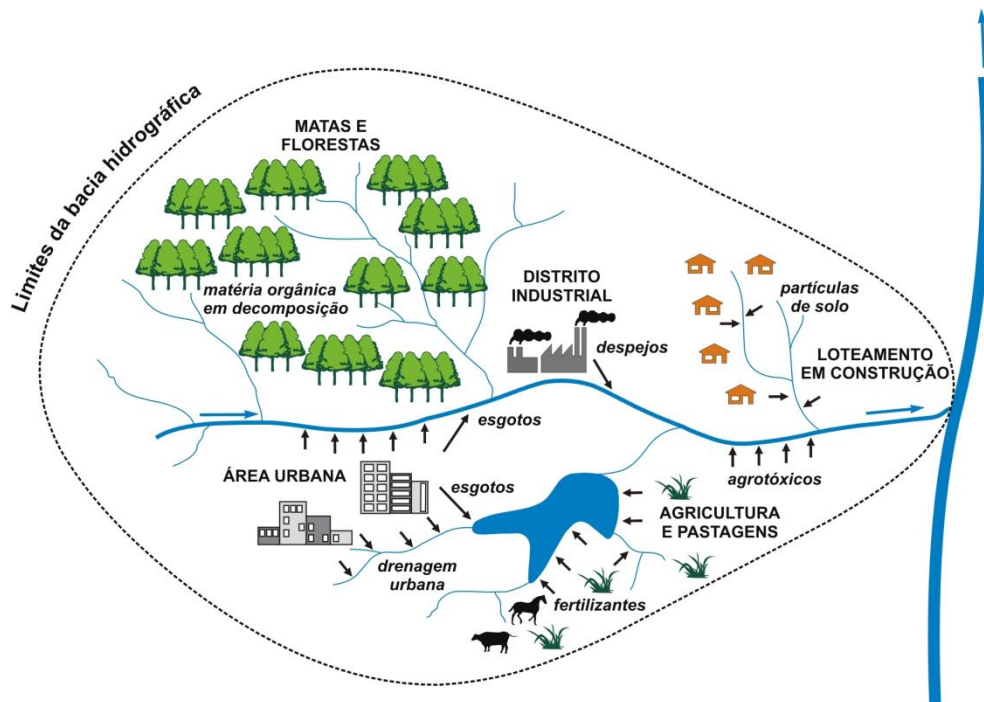


Figura 3: Exemplos de inter-relação entre uso da terra e focos alteradores da qualidade da água (VON SPERLING, 2005).

Dentro dessa premissa, selecionou-se a Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande, contribuinte da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu Guaçu e localizada na sua margem direita, para investigar o estado trófico de suas águas, em função do uso e ocupação da terra, pelas seguintes razões:

- abranger em seu curso fluvial tanto áreas rurais como urbanas, portadoras de diferentes atividades antrópicas;
- abrigar o Reservatório Tanque Grande, em sua porção montante, cujas águas são utilizadas para abastecimento público de parte da população guarulhense;
- possuir um ponto de monitoramento da qualidade da água bruta do Reservatório Tanque Grande desde 1983, cuja responsabilidade é da CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo;
- inserir-se, parcialmente, na Área de Proteção Ambiental – APA Cabuçu Tanque Grande;
- contemplar bairros em sua zona urbana que, por não disporem de Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, têm suas águas residuais lançadas diretamente em seus tributários.

Dessa forma, para caracterizar o estágio de eutrofização dos corpos d'água dessa sub-bacia, optou-se por avaliar o Índice de Estado Trófico - IET (CETESB, 2003), bem como verificar a presença de microrganismos patogênicos, em seu corpo d'água principal (Ribeirão Tanque Grande), ao longo de um período de 12 meses. Os pontos selecionados contemplam um total de sete, sendo 4 deles na zona rural e 3 na zona urbana.

2. OBJETIVOS

A presente pesquisa teve como objetivo principal caracterizar, num ciclo anual, o estágio de eutrofização em que se encontram as águas superficiais do Ribeirão Tanque Grande. Adota-se como premissa que o nível de eutrofização estaria associado ao uso e ocupação da terra predominante em cada uma das microbacias tributárias que compõem a sub-bacia hidrográfica pesquisada.

A quantificação do nível trófico baseou-se na classificação adotada pela CETESB (2009), no monitoramento da qualidade da água do Reservatório Tanque Grande.

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- quantificar a presença de microrganismos indicadores de contaminação fecal, por meio da bactéria *Escherichia coli*, tanto na área rural quanto na urbana;
- compatibilizar a qualidade da água encontrada no Reservatório Tanque Grande, (enquadrado na Classe 1, de acordo com Decreto Estadual nº 10.755, de 22/11/1977), com os requisitos exigidos em função de seus usos previstos;
- idem para os trechos a jusante do reservatório, enquadrados na Classe 3, de acordo com o mesmo Decreto Estadual;
- identificar as principais razões para a constatação dos diferentes níveis de estado trófico encontrados ao longo do Ribeirão Tanque Grande.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão

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 interação adequada entre as características de seus meios físico e biótico 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 megalópoles, as expansões urbana e industrial 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 uma abordagem relevante, pois ao se analisar as modificações na sua paisagem natural, verifica-se uma relação íntima entre elas e o processo histórico de uso e ocupação da terra (TUCCI, 2005).

3.2 Poluição das águas

Segundo Von Sperling (2005), a Lei 6.938, de 31/08/81, publicada no Diário Oficial da União em 02/09/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, expressa as seguintes conceituações:

Poluição: a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a. prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b. criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c. afetem desfavoravelmente a biota;
- d. afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e. lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos

Degradação da qualidade ambiental: a alteração adversa das características do meio ambiente.

Braga *et al.* (2005), por sua vez, definem por 'poluição da água' qualquer alteração de suas características seja por ações naturais seja pela intervenção antrópica. É importante ressaltar, que a noção de poluição deve estar associada ao uso que se faz da água.

Os conceitos de poluição e contaminação, que em muitos casos são utilizados como sinônimos, devem ser aplicados de maneira distintas. Contaminação refere-se à transmissão de substâncias ou microorganismos nocivos à saúde pela água (BRAGA *et al.*, 2005).

De modo geral, pode-se afirmar que a qualidade ambiental de um corpo de água é afetada pelas atividades humanas desenvolvidas numa bacia hidrográfica (GALLI; ABE, 2010). Dentre as ações antrópicas que alteram negativamente sua saúde ambiental, citam-se: (1) lançamento de águas residuárias *in natura*; (2) escoamento de água da chuva proveniente de áreas agrícolas e/ou solos com alta erosibilidade; (3) percolação do chorume de lixões próximos aos corpos de água; (4) águas contaminadas por xenobióticos, compostos orgânicos resistentes a traços de produtos farmacêuticos, que atualmente denominam-se poluentes orgânicos emergentes; (5) compostos tóxicos oriundos de pesticidas utilizados na agricultura e no reflorestamento; (6) assoreamento dos corpos de águas, dentre outros.

Straskaba e Tundisi (2008), e Tucci (2010) afirmam que existe uma relação direta entre o grau de poluição dos recursos hídricos e a densidade populacional, propiciada pela urbanização, industrialização e atividades agrícolas em grande escala.

Baseados em informações provenientes da Agência Nacional de Águas – ANA (2012), pode-se afirmar que mais da metade dos municípios brasileiros utiliza as águas superficiais como pelo menos uma das fontes de abastecimento público, o que aumenta o risco de poluição e contaminação.

A Tabela 1 lista os principais agentes de poluentes, em associação com os seus efeitos poluidores mais representativos (VON SPERLING, 2005).

Na presente pesquisa, os parâmetros mais representativos são o fósforo e os coliformes, que serão abordados a seguir.

3.3 Eutrofização

Eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes (compostos químicos ricos em fósforo ou nitrogênio) numa massa de água, provocando a proliferação excessiva de algas. Estas, por sua vez, fomentam o desenvolvimento dos consumidores primários e eventualmente de outros elementos da cadeia alimentar nesse ecossistema. Este aumento da biomassa pode levar a uma diminuição do oxigênio dissolvido, provocando a morte e conseqüente decomposição de muitos organismos, diminuindo a qualidade da água e eventualmente a alteração profunda do ecossistema (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Este processo, normalmente de origem antrópica, ou raramente, de ordem natural, tem como princípio básico a gradativa concentração de matéria orgânica acumulada nos ambientes aquáticos. Entre os fatores impactantes, que contribuem com a crescente taxa de poluição nestes ecossistemas, estão: os dejetos domésticos (esgoto), fertilizantes agrícolas e efluentes industriais, diretamente despejados ou percolados em direção aos cursos hídricos (rios e lagos, por exemplo). Durante esse processo, a quantidade excessiva de minerais (fosfato e nitrato) induz a multiplicação de micro-organismos (as algas) que habitam a superfície da água, formando uma camada densa, impedindo a penetração da luminosidade (MACHADO; TORRES, 2012).

Tabela 1: Principais agentes poluidores das águas (VON SPERLING, 2005).

Constituinte	Principais parâmetros representativos	Fonte			Possível efeito poluidor	
		águas residuárias urbanas	industriais	águas pluviais urbanas		agricultura e pastagem
Sólidos em suspensão	Sólidos em suspensão totais	***	-	**	*	Problemas estéticos; Depósitos de lodo; Adsorção de poluentes; Proteção de patogênicos.
Matéria orgânica biodegradável	Demanda bioquímica de oxigênio	***	-	**	*	Consumo de oxigênio; Mortandade de peixes; Condições sépticas.
Nutrientes	Nitrogênio Fósforo	***	-	**	*	Crescimento excessivo de algas; Toxicidade aos peixes (amônia); Doença em recém-nascidos (nitrato); Poluição de água subterrânea.
Organismos patogênicos	Coliformes	***	-	**	*	Doenças de veiculação hídrica
Matéria orgânica não biodegradável	Pesticidas Alguns detergentes Produtos farmacêuticos Outros	**	-	*	**	Toxicidade (vários); Espumas (detergentes); Redução da transferência de oxigênio (detergentes); Biodegradabilidade reduzida ou inexistente; Maus odores (ex. fenóis)
Metais	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc)	**	-	*		Toxicidade; Inibição do tratamento biológico dos esgotos; Problemas na disposição do lodo na agricultura; Contaminação da água subterrânea.
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Sólidos dissolvidos totais Condutividade elétrica	**	-		*	Salinidade excessiva – prejuízo às plantações (irrigação); Toxicidade a plantas (alguns íons); Problemas de permeabilidade do solo (sódio)

(*): pouco; (**): médio; (***): muito; (-): variável; (em branco): usualmente não importante.

Esse fato implica na redução da taxa fotossintética nas camadas inferiores, ocasionando o déficit de oxigênio suficiente para atender a demanda respiratória dos

organismos aeróbios (os peixes e mamíferos aquáticos), que em virtude das condições de baixo suprimento, não conseguem sobreviver, aumentando ainda mais o teor de matéria orgânica no meio. Em consequência, o número de agentes decompositores também se eleva (bactérias anaeróbias facultativas), atuando na degradação da matéria morta, liberando toxinas que agravam ainda mais a situação dos ambientes afetados, comprometendo toda a cadeia alimentar, além de alterar a qualidade da água, tornando-a imprópria ao consumo humano (VON SPERLING, 2005).

Os casos de eutrofização de ecossistemas lacustres passaram a ser mais frequentes após a introdução de produtos de limpeza sintéticos, especialmente detergentes da qual faz parte de sua composição os polifosfatos, que quando jogados em rios ou lagos vão servir como fonte geradora de fosfato. Além dos detergentes, também faz parte dos efluentes domésticos os excrementos humanos em cuja composição podem-se detectar consideráveis concentrações de fósforo e nitrogênio (VON SPERLING, 2005).

Os efluentes industriais provocam grandes alterações nos níveis de fósforo e nitrogênio dos lagos; entre as indústrias, merece destaque as da área alimentícia, pois são as principais fontes de efluentes orgânicos, ricos em fósforo e nitrogênio. Entre as atividades agrícolas e pastoris, a que tem mais efeitos sobre a eutrofização é a agricultura, que aumentou consideravelmente a utilização de superfosfatos como sendo uma forma de melhorar a produção agrícola.

As chuvas são os elementos principais na eutrofização natural, mas também contribuem para a eutrofização artificial, especialmente nas regiões de intensa poluição atmosférica, onde lagos localizados próximos às rodovias podem receber aporte adicional de fosfato e nitrogênio, devido ao tráfego de veículos, principalmente nos períodos de chuva.

Sendo assim, diante desse grande desequilíbrio ecológico, que além de tornar a água e seus reservatórios inúteis ao homem, pois ficam inadequados para o uso humano, podemos afirmar que o avanço da tecnologia, o crescimento da população e a busca do homem por mais conforto trazem sérias consequências aos ambientes aquáticos, acelerando o processo da eutrofização (TUCCI, 2010).

3.3.1 Causas da eutrofização

A contínua interferência das atividades humanas nos sistemas aquáticos continentais do Brasil produz impactos diretos ou indiretos, com consequências significativas para a qualidade da água, a biota aquática e o funcionamento de lagos, rios e represas (TUCCI, 2010). Assim, os principais impactos classificados como prováveis causas do processo de eutrofização são:

- *Desmatamento*: perda da zona tampão entre sistemas terrestres e aquáticos, aumento do material particulado em suspensão na água, perda de florestas ripárias e habitats para as aves aquáticas e alterações na composição do sedimento dos sistemas aquáticos;
- *Mineração*: atividades de mineração de ouro, areia, bauxita e outros produzem alterações físicas e químicas extremamente elevadas nos sistemas. Acúmulo de mercúrio caracteriza outro problema grave como consequência da mineração de ouro;
- *Construção de rodovias e ferrovias*: drenagem de áreas alagadas e florestas, alterações nos rios e lagos ao longo de obras rodoviárias e ferroviárias.
- *Despejo de material residual*: material residual proveniente de fontes orgânicas e inorgânicas, resultantes de atividades industriais, agrícolas ou de resíduos domésticos é outra fonte extremamente importante de poluição e contaminação. Deve-se distinguir entre fontes pontuais e não pontuais de poluentes e contaminação;
- *Introdução de espécies exóticas*: a introdução de espécies exóticas de plantas, peixes e outros organismos produz extensas modificações nas cadeias alimentares, em lagos e reservatórios no Brasil. Por exemplo, a introdução acidental ou proposital de *Cichla ocellaris* Schn., popularmente conhecida como tucunaré, alterou profundamente as cadeias alimentares em lagos do Rio Doce (Minas Gerais);
- *Remoção de espécies críticas*: espécies críticas que têm uma importância fundamental para as cadeias alimentares, ou para a manutenção da biodiversidade sustentada dos ecossistemas aquáticos, podem ser removidas por prática excessiva de pesca, caça ou poluição, produzindo grandes transformações no sistema. A remoção de várias espécies de vegetação ripária produz muitas alterações no sistema aquático. Por

exemplo, a remoção de espécies de vegetação, cujos frutos servem de alimento para peixes, pode causar alterações fundamentais na estrutura da comunidade biológica em ecossistemas aquáticos;

- *Construção de reservatórios*: a construção de reservatórios de represas produz inúmeros impactos no sistema, com alterações qualitativas e quantitativas. Como consequência destes impactos, os sistemas aquáticos passam por inúmeras alterações e mudanças estruturais e funcionais resultando no desencadeamento do processo de eutrofização.

3.3.2 Mecanismos da eutrofização

Conforme referido anteriormente, as causas da eutrofização estão intimamente relacionadas com nutrientes, principalmente compostos fosforados e nitrogenados, cuja entrada ocorre a partir de fontes pontuais, geralmente de descarga de esgotos, bem como a partir de fontes difusas, tal como agricultura e outras atividades antropogénicas possivelmente realizadas na bacia de drenagem. O aparecimento de eutrofização pode trazer deficiências graves para a qualidade da água (SAAD et al., 2007), tais como proliferação de algas, déficit de oxigênio, maus odores e o crescimento excessivo de macrófitas. Ressalte-se que corpos de água localizados em regiões tropicais apresentam características bastante peculiares, tais como (VON SPERLING, 2005):

- Intensa radiação solar e altas temperaturas da água aceleraram a absorção de nutrientes pelas algas;
- Os picos da população fitoplanctônica são menos frequentes em comparação com ambientes aquáticos temperados;
- A capacidade de assimilação de nutrientes, associada com altas taxas de reciclagem, conduz à prevalência de um intenso grau de produtividade;
- Há uma ocorrência frequente de baixas densidades de fitoplâncton, que são, no entanto, associadas com altas taxas de crescimento;
- Taxas de mineralização elevadas podem acarretar consumo de oxigênio acelerado e formação de sedimentos pobres em matéria orgânica, uma vez que a decomposição completa de materiais orgânicos é executada na coluna de água, antes de alcançar o sedimento.

3.3.3 Eutrofização de lagoas e reservatórios

O processo de eutrofização é um problema mundial que atinge lagos, represas, rios e águas costeiras de todo o planeta (PINTO-COELHO; BEZERRA-NETO; MORAIS Jr., 2005). Em razão da eutrofização, muitos reservatórios e lagos no mundo já perderam sua capacidade de abastecimento, de manutenção da vida aquática e de recreação. Vários trabalhos apontam para a gravidade do problema, como por exemplo, Sakamoto (1966); Brylinsky e Mann (1973); Dillon e Rigler (1974); Vollenweider (1976); Canfield e Bachmann (1981); Prairie, Duarte e Kalf (1989); Watson et al. (1992); Dodson, Arnott e Cottingham (2000); Masson, Pinel-Alloul e Smith (2000). Entretanto, além de causar desequilíbrios significativos como o superpovoamento de algas microscópicas, a eutrofização pode ser benéfica, uma vez que é capaz de aumentar a produtividade primária, tornando o sistema ideal para a presença de consumidores como zooplânctons, moluscos, crustáceos e peixes (PADUA, 2000).

Tabela 2. Principais efeitos da eutrofização em reservatórios

Efeitos da eutrofização
Anoxia (ausência de oxigênio dissolvido), que causa a morte de peixes e de invertebrados e resulta na liberação de gases tóxicos com odores desagradáveis.
Florescimento de algas e crescimento incontrolável de outras plantas aquáticas.
Produção de substâncias tóxicas por algumas espécies de cianofíceas.
Altas concentrações de matéria orgânica, as quais, se tratadas com cloro, podem criar compostos carcinogênicos.
Deterioração do valor recreativo de um lago ou de um reservatório devido à diminuição da transparência da água.
Acesso restrito à pesca e a atividades recreativas devido ao acúmulo de plantas aquáticas.
Menor número de espécies e diversidade de plantas e animais (biodiversidade).
Alterações na composição de espécies daquelas mais importantes para as menos importantes (em termos econômicos e valor protéico).
Depleção de oxigênio, particularmente nas camadas mais profundas, durante o outono em lagos e reservatórios de regiões temperadas.
Diminuição da produção de peixes causada por depleção significativa de oxigênio na coluna de água e nas camadas mais profundas de lagos e reservatórios.

Fonte: Adaptado (UNEP-ILEC, 2001).

3.4 IET - Índice do Estado Trófico

Segundo Esteves (1998), dentre os principais 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; mortandade 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 (Tabela 3).

Tabela 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.
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 de 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 (2009).

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, conforme pode ser visto na Tabela 2 (CETESB, 2009).

Para a determinação do IET – Índice do Estado Trófico utiliza-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 (CETESB, 2009).

Das três variáveis citadas para o cálculo do Índice do Estado Trófico, foram aplicadas apenas duas: clorofila-a e fósforo total, uma vez que os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos, além de muitas vezes não se dispor desses dados.

Assim, ao calcular-se o IET - Índice do Estado Trófico 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 IET - Índice do Estado Trófico publicado anualmente pela CETESB é composto pelo IET - Índice do Estado Trófico para o fósforo (PT) e o IET - Índice do Estado Trófico para a clorofila-a (CL).

O cálculo do IET – Índice do Estado Trófico para ambientes lóticos (Tabela 4), condição na qual se enquadra o Ribeirão Tanque Grande, baseia-se nas seguintes equações:

Rios:

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

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

Onde o fósforo total (PT) é expresso em µg/L.

Tabela 4 - Classificação do Estado Trófico para rios segundo Índice de Carlson Modificado.

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Secchi – S (m)	P-total – P (mg.m ⁻³)	Clorofila a (mg.m ⁻³)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47		P ≤ 13	CL ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52		13 < P ≤ 35	0,74 < CL ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59		35 < P ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63		137 < P ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67		296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET > 67		640 < P	7,46 < CL

Fonte: CETESB (2009).

3.5 Variáveis microbiológicas

A caracterização microbiológica de qualidade das águas tem importância preponderante para o saneamento básico, assim como as variáveis físicas e as variáveis químicas, tanto para a avaliação do desempenho dos sistemas de tratamento de esgotos, interpretação dos processos de autodepuração dos cursos d'água e identificação de fontes poluidoras com características biológicas, uma vez que, nesses processos, os microorganismos são os responsáveis pela conversão da matéria orgânica em matéria inorgânica, quanto na obtenção da eficiência dos sistemas de tratamento de água e na verificação da integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede), cuja presença de coliformes pode indicar contaminação fecal e potencial de contaminação por agentes patogênicos.

Pode-se, desta forma, afirmar que a função fundamental das variáveis microbiológicas é a determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças, através dos seus diversos usos (potabilidade, balneabilidade, esporte, lazer, etc.), o que pode ser obtida de forma indireta usando-se organismos indicadores de contaminação fecal, principalmente aqueles pertencentes ao grupo coliformes (VON SPERLING, 2005), a saber:

- *Coliformes totais*

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.

Para abastecimento público, inclusive para o sistema de distribuição, a água potável deve apresentar ausência de coliformes totais, caso contrário, esse sistema de tratamento de água deverá ser considerado inadequado uma vez que qualidade da água produzida estará comprometida. Em sistemas de tratamento de esgotos, 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 de esgotos em relação a remoção de agentes patogênicos. Ao grupo de coliformes totais pertence o grupo de coliformes termotolerantes, assim como, a espécie *Escherichia coli*.

- *Coliformes termotolerantes*

Os coliformes termotolerantes são um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários predominantemente do trato intestinal humano e outros animais, portanto, trata-se de um importante indicador de contaminação fecal.

Segundo Von Sperling (2005), o grupo dos coliformes termotolerantes compreende o gênero *Escherichia* e, em menor grau, espécies de *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. O ensaio para determinação da concentração dos coliformes termotolerantes presentes no meio analisado é realizado à elevada temperatura, pois, pretende-se nessa condição eliminar a presença das bactérias não-fecais mantendo-se nas amostras analisadas somente as bactérias coliformes termotolerantes, as quais se reproduzem ativamente a 44,5 °C e são capazes de fermentar carboidratos.

Todavia, ainda assim, não é possível afirmar que o resultado refere-se exclusivamente à concentração de bactérias coliformes termotolerantes de origem fecal, pois, algumas bactérias não-fecais (de vida livre) reproduzem-se mesmo em temperaturas elevadas (fator limitante imposto).

O emprego de indicadores de contaminação fecal deve-se, principalmente, à complexidade em se detectar agentes patogênicos em amostras de água, haja vista os seguintes fatores:

- A necessidade de se analisar grandes volumes de amostras para se detectar poucos microorganismos patogênicos, pois, comumente, numa população, apenas

parcela dela apresenta doenças de veiculação hídrica e, com relação a essa parcela, pode-se ainda esperar que nas fezes desses habitantes a presença de patógenos não ocorra em grande concentração;

- Diluição das águas contaminadas ao serem lançadas nos corpos d'água ou nos sistemas de esgotamento sanitário, acarretando, novamente na necessidade de se analisar grandes volumes.

Desta maneira, aplica-se a determinação da concentração do grupo coliforme como parâmetro indicador da existência de microorganismos patogênicos presentes na água contaminada por fezes humanas ou de animais, capazes de transmitir doenças de veiculação hídrica (febre tifóide, febre paratífóide, disenteria bacilar e cólera).

De acordo com Von Sperling (2005), deve-se também observar outras características que viabilizam a aplicação do grupo coliforme como indicador da existência de microorganismos patogênicos, quais sejam:

- Entre 1/5 e 1/3 da massa das fezes humanas corresponde às bactérias do grupo coliforme, o que torna a sua detecção nas águas, ao compararmos com a determinação da concentração de microorganismos patogênicos, muito mais facilitada;

- Os coliformes apresentam resistência ligeiramente superior à maior parte das bactérias patogênicas intestinais;

- Os mecanismos de remoção dos coliformes nos corpos d'água, nas estações de tratamento de água e nas estações de tratamento de esgoto são os mesmos mecanismos de remoção de bactérias patogênicas, assim sendo a remoção de bactérias patogênicas está associada à remoção de coliformes. Outros organismos patogênicos podem ser removidos por mecanismos diferentes;

- As técnicas bacteriológicas para a detecção de coliformes são rápidas e econômicas.

As bactérias do grupo coliformes são habitantes normais do intestino humano ou de outros animais homeotermos, onde vivem saprofiticamente, não causando, em geral, nenhum dano ao hospedeiro, e sua presença na água indica a contaminação por fezes ou esgoto doméstico (VON SPERLING, 2005).

- *Escherichia coli*

A bactéria *Escherichia coli* tem destacada importância no grupo dos coliformes termotolerantes. Esse microorganismo está presente nos esgotos brutos, nos efluentes líquidos tratados e nas águas naturais contaminadas por dejetos humanos, atividades agropecuárias e animais.

O emprego da bactéria *Escherichia coli* como indicador mostra-se extremamente interessante, pois, o resultado analítico obtido corresponde à contaminação exclusivamente fecal, o que não prevalece com as determinações de coliformes totais e de coliformes termotolerantes.

A legislação brasileira aplica a concentração de coliformes fecais como padrão para qualidade microbiológica de águas superficiais destinada ao abastecimento público, recreação, irrigação e piscicultura, e as concentrações de coliformes totais e de *Escherichia coli* como padrões de potabilidade, conforme Resolução nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

3.6 Classificação dos corpos de água

O Ministério do Meio Ambiente, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabeleceu as condições e padrões de lançamento de efluentes. E dá outras providências, tendo por base a Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005 (BRASIL, 2005).

No capítulo II, que trata da classificação dos corpos de água, em seu Artigo 3º tem-se que “As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade”.

Neste item, serão abordadas a classe de águas doces, dispostas na Seção I, Artigo 4º, que diz: “As águas doces são classificadas em:

- I. *classe especial* - águas destinadas:
 - a) ao abastecimento para consumo, com desinfecção;
 - b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e,

c) a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II. *classe 1* - águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274 de 2000;
- d) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e,
- e) a proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.

III. *classe 2* - águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) a aquicultura e a atividade de pesca.

IV. *classe 3* - águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) a pesca amadora;
- d) a recreação de contato secundário e,
- e) a dessedentação de animais.

V. *classe 4* - águas que podem ser destinadas:

- a) a navegação; e
- b) a harmonia paisagística”.

3.6.1 Enquadramento dos corpos de água no Estado de São Paulo

O Decreto nº 10.755, de 22 de Novembro de 1977, assinado pelo Governador do Estado de São Paulo, Paulo Egydio Martins, dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 08 de Setembro de 1976, e dá providências correlatas.

Com relação à área de estudo, têm-se os seguintes enquadramentos:

- Reservatório do Tanque Grande e todos os seus afluentes até a barragem no Município de Guarulhos – **classe 1**;
- Rio Baquirivu Guaçu e todos os seus afluentes, com exceção do Reservatório do Tanque Grande e seus afluentes, até a confluência com o Rio Tietê, no Município de Guarulhos – **classe 3**.

4. CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu Guaçu e localiza-se em sua margem direita, na porção correspondente ao município de Guarulhos (CAMPOS, 2011).

Segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Econômico e Social do município de Guarulhos – PDMG (2004), o município contempla zonas urbana e rural, sendo que nessa última encontram-se as áreas de proteção ambiental. Na área de estudo, tem-se exatamente essa situação: a zona rural contém a Área de Proteção Ambiental Cabuçu – Tanque Grande – APA municipal criada pela lei nº 6.798 de 2010; no terço inferior da sub-bacia, verifica a zona urbana.

Conforme pode ser observado na Figura 4, na zona rural predominam as seguintes classes de uso da terra: pesqueiro; chácaras e sítios (edificações rurais); reservatório para abastecimento público, mata e pasto; Estação de Tratamento de Água – ETA; agricultura; mineração de granito (fotos 1, 2, 3, 4, 5 e 6). Os pontos de amostragens 1, 2 e 3, além do ponto de monitoramento da CETESB no Reservatório Tanque Grande, localizam-se na porção rural.

Na zona urbana, a classe urbana consolidada é a preponderante e contempla os bairros Jardim Vila Rica, Jardim Bondança, Parque Santos Dumont, Jardim Lenize e Jardim São João (Figura 5). Secundariamente, tem-se campo, agricultura, capoeira e solo exposto (foto 7). Nessa zona encontram-se os pontos de amostragens 4,5 e 6.

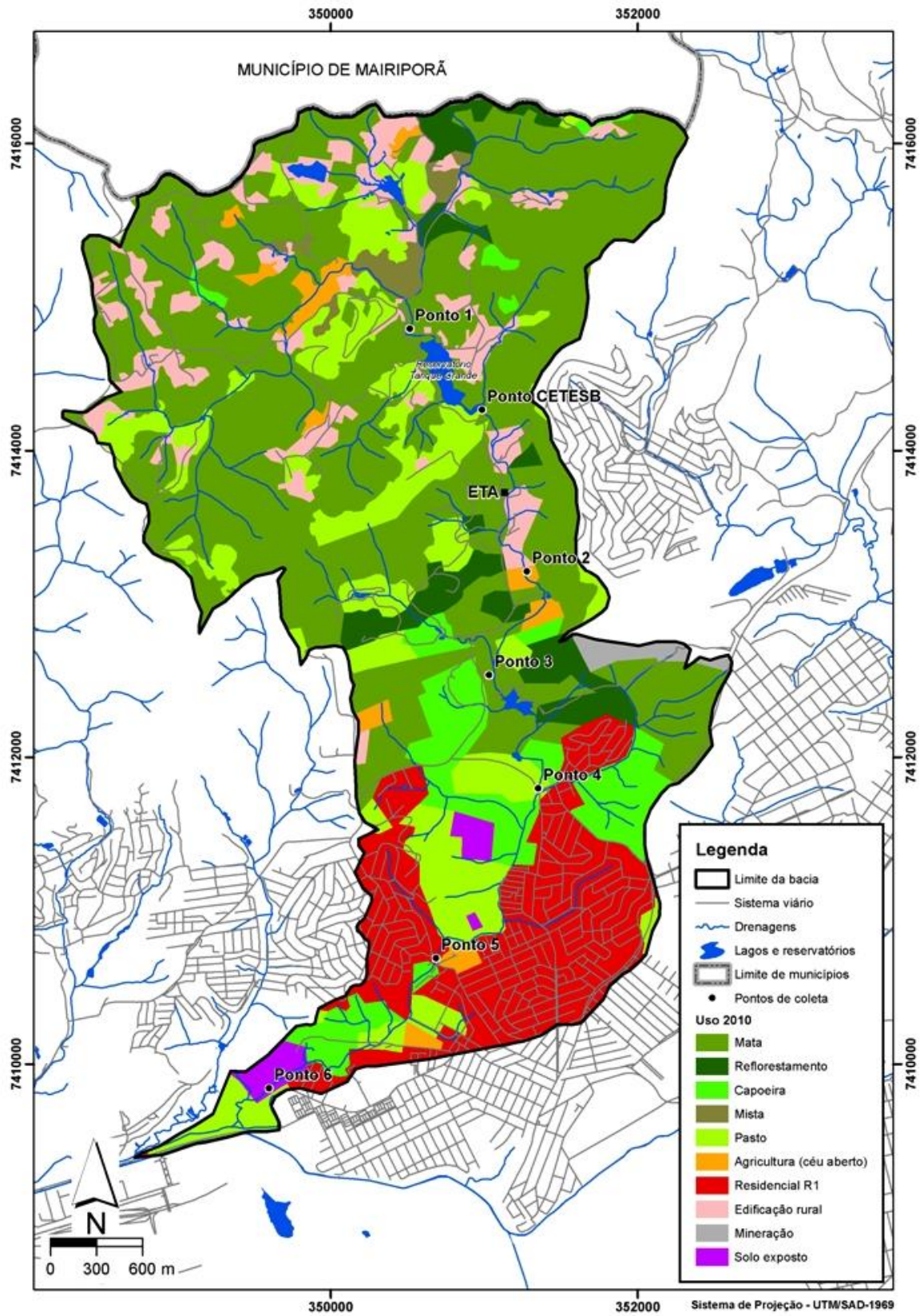


Figura 4: Mapa do uso da terra (atualizado de OLIVEIRA et al., 2009).



Foto 1: Pesqueiro (349909,36E / 7415529,90S)



Foto 2: Chácaras e sítios (348824E / 7414867,9S)



Foto 3: Reservatório Tanque Grande, com presença de mata na margem esquerda e pasto na direita (350850,92E / 7414238,71S)



Foto 4: Estação de Tratamento de Água – ETA (351094,79E / 7413658,76S)



Foto 5: – Agricultura a céu aberto (351164,36E / 7413142,8 S)



Foto 6: Mineração de granito (351714,22E / 7412733,70S)



Foto 7: Solo exposto (349623,39E / 7409822,75 S)

No que se refere ao meio físico, valem as seguintes considerações, de acordo com Oliveira et al. (2009) e Campos (2011), bem como as sumarizadas no Quadro 1:

1. A área da sub-bacia em avaliação é de 16 km²;
2. O desnível é de 770 – 1129m;
3. A declividade média é de 5,83%;
4. O comprimento do talvegue é de 6.153m;
5. Nessa sub-bacia, destacam-se três compartimentos geomorfológicos predominantes: as planícies aluvionares, constituídas de sedimentos quaternários na porção sul; as colinas, formadas por sedimentos terciários, na parte central; e os morros e montanhas, constituídas por rochas metamórficas e ígneas pré-cambrianas na parte norte (Fotos 5 e 6);
6. de um modo geral, possui uma considerável rede de drenagem, coincidentes com as rochas cristalinas, caracterizada por um padrão de drenagem dendrítico, com canais encaixados, fortemente condicionados por estruturas tectônicas, com altas energias de escoamento, propiciando maiores condições de escoamento superficial. Na área da bacia sedimentar

cenozoica, passa a ter padrão de drenagem subparalelo, com vales mais amplo e menor energia de escoamento;

7. com relação aos solos, sua profundidade varia de acordo com a declividade do terreno: de um modo geral, na porção montanhosa, os solos são pouco profundos, com exceção dos provenientes das rochas metabásicas, que podem atingir espessuras de até 1,5 – 2,0 m. Nas colinas e planícies, predominam os gleissolos melânicos GM₁ e GM₂, os quais geralmente alcançam valores maiores, conforme pode ser visualizado na Foto 7.

ZONA	CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO		
	FORMAS DE RELEVO (Figura 6)	TIPOS LITOLÓGICOS (Figura 7)	Tipos de Solos (Figura 8)
RURAL	• Montanhas	• Predomínio de rochas metamórficas (metassedimentos, formação ferrífera, metavulcânica) e ígneas (granitos).	• Latossolos Vermelho-Amarelo;
	• Morros médios e baixos		• Latossolos Amarelo;
	• Morrotes		• Cambissolos;
			• Gleissolos.
URBANA	• Morros baixos	• Metassedimentos;	• Latossolo Amarelo;
	• Morrotes	• Sedimentos cenozoicos	• Latossolo Vermelho-Amarelo;
	• Colinas grandes e pequenas		• Cambissolos;
	• Planícies amplas e restritas		• Gleissolos.

Quadro 1: Características do Meio Físico da Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande. **Fonte:** Campos (2011).

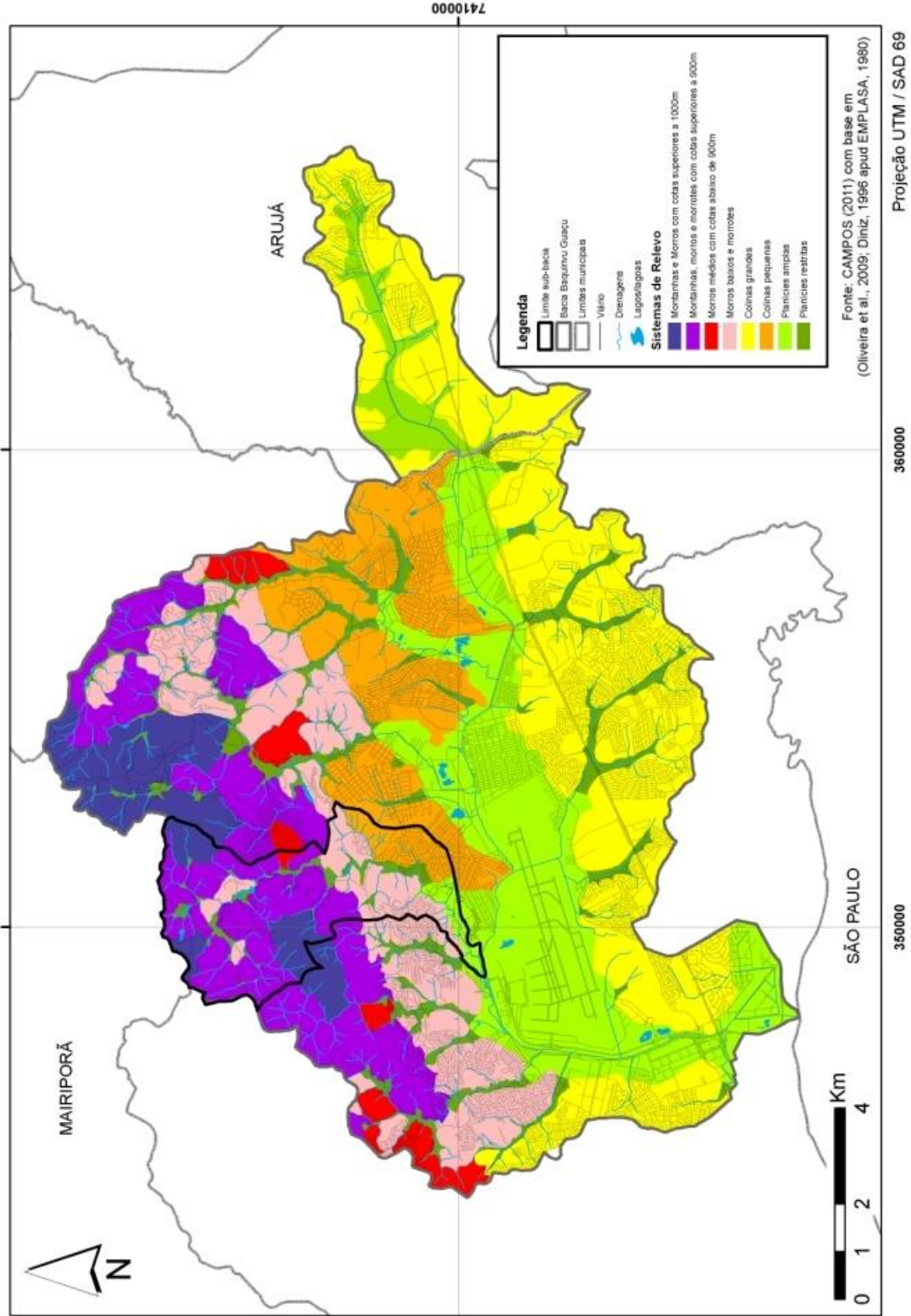


Figura 5: Mapa geomorfológico da área de estudo.
Fonte: Campos (2011).

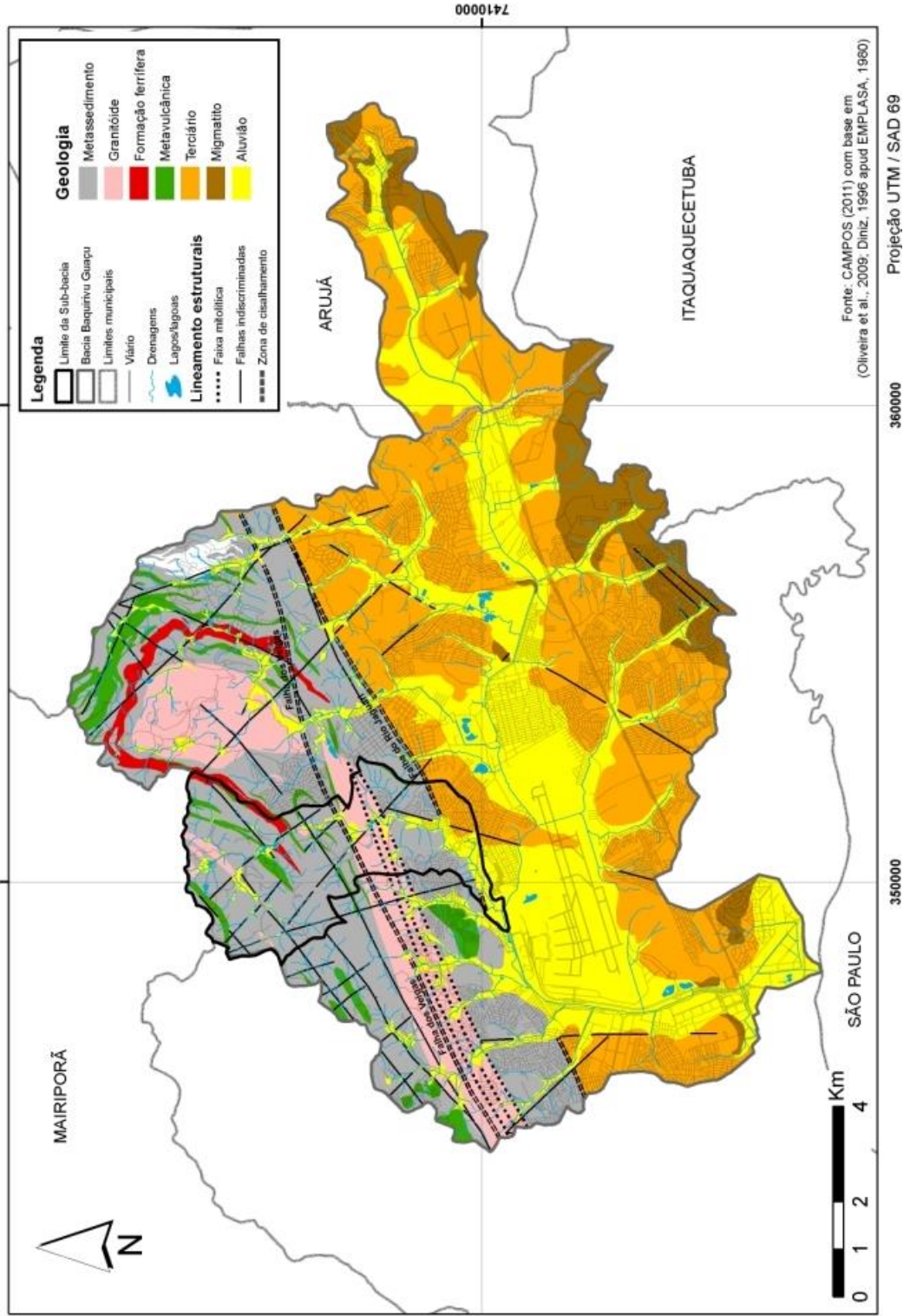


Figura 6: Mapa litológico da área de estudo.
Fonte: Campos (2011).

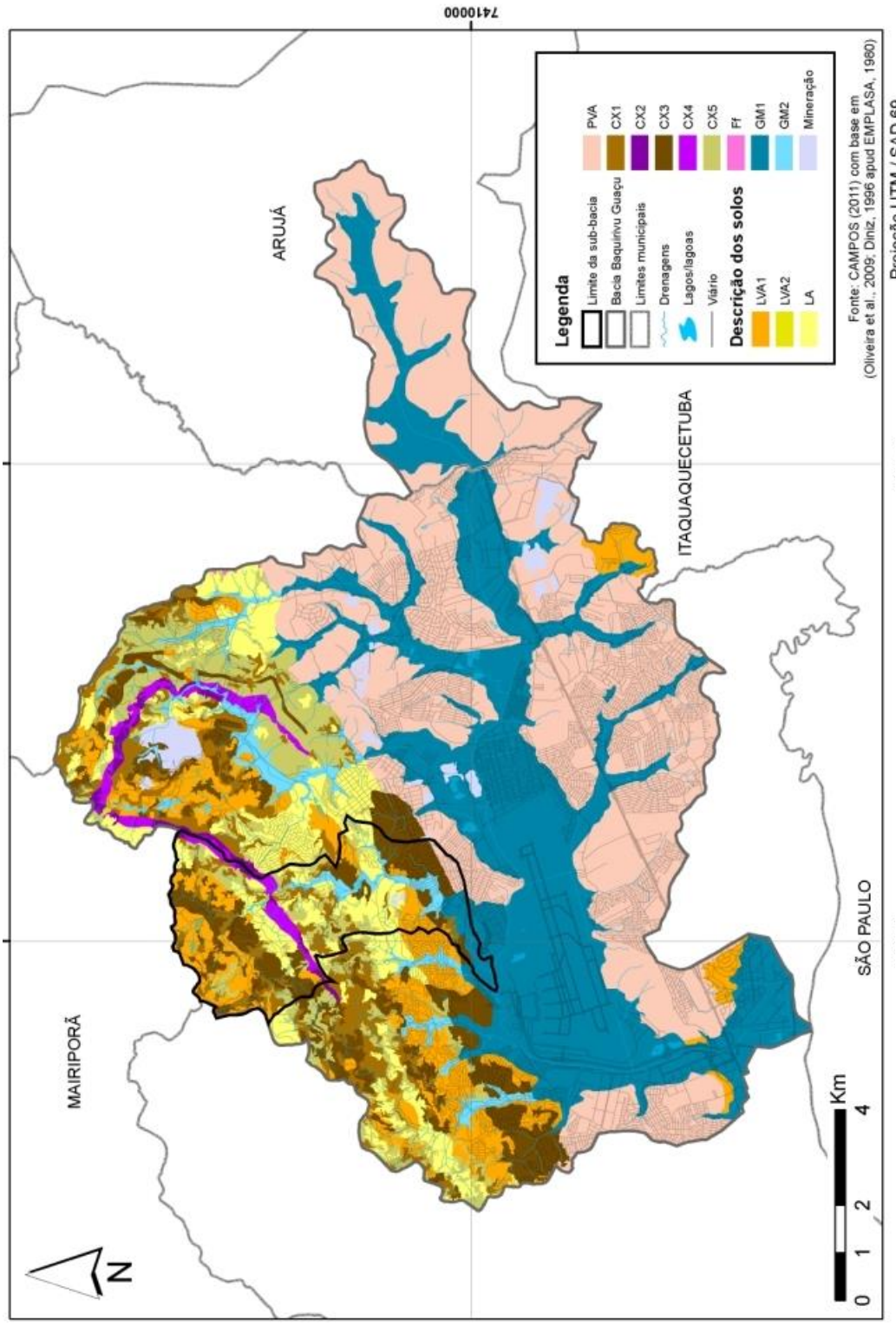


Figura 7: Mapa pedológico da área de estudo.
Fonte: Campos (2011).

C

om relação aos aspectos climáticos, a região é caracterizada como sub-tropical úmido, com chuvas médias anuais de 1.470 mm, temperatura média anual entre 17 °C a 19 °C;

a média do mês mais frio é de 15°C, enquanto que nos meses de verão varia entre 23 °C e 24 °C (OLIVEIRA et al., 2009). A Tabela 5 ilustra os dados pluviométricos do município de Guarulhos ao longo dos anos de 2011 e 2012. Ainda de acordo com esses autores, os ventos dominantes são de sudeste-noroeste. Como característica marcante, no que se refere à pluviosidade, o clima apresenta um inverno seco e um verão chuvoso, com influência da unidade oceânica e frente frias antárticas.

Conforme já referido, a área de estudo abrange desde a Serra da Cantareira, ao norte, até a várzea do Rio Baquirivu Guaçu, ao sul. Dessa forma, segundo Coutinho; Sato e Oliveira (2003) podem ser consideradas duas sub-unidades climáticas, a saber:

- área do conjunto da Serra da Cantareira, correspondente ao “Clima Tropical Úmido Serrano da Cantareira”, com altitudes mais elevadas (800 a 1.400m), presença de Mata Atlântica e altos teores de umidade;
- área coincidente com a várzea do Baquirivu Guaçu, com altitudes que variam entre 700 a 800 m, com presença de colinas e planícies, correspondente à unidade climática “Clima Tropical Úmido de Altitude de Planalto Paulista”.

Adicionalmente, chama-se a atenção para o fato de que a área mais intensamente urbanizada deve alterar o clima, produzindo o fenômeno conhecido como “ilha de calor” (OLIVEIRA et al., 2009).

Tabela 5: Índices Pluviométricos de Janeiro de 2011 à Outubro de 2012 (mês a mês).

MÊS	2011			2012		
	PRECIPITAÇÃO (mm/cm ²)			PRECIPITAÇÃO (mm/cm ²)		
	TOTAL	MAX	DIAS	TOTAL	MAX	DIAS
JAN	491,1	101,4	24	285,0	36,8	23
FEV	285,4	74,1	15	241,2	48,2	17
MAR	226,9	108,9	17	151,8	47,8	11
ABR	137,7	31,0	11	109,8	24,2	13
MAI	25,2	17,0	07	66,0	29,9	08
JUN	63,4	27,2	04	208,9	38,4	11
JUL	04,5	04,0	03	69,1	28,1	07
AGO	40,8	19,2	11	00,7	00,6	02
SET	06,6	05,2	03	19,9	07,1	05
OUT	149,2	32,9	12	111,2	19,8	11
NOV	104,4	31,3	09			
DEZ	157,1	65,1	14			

Fonte: Estação Agroclimatológica nº83075. Estação Universidade Guarulhos – UnG / Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

5. MÉTODOS E TÉCNICAS

Para alcançar os objetivos propostos, foram executadas as seguintes etapas de trabalho:

5.1. Pesquisas bibliográfica

A pesquisa bibliográfica consistiu na busca de informações técnicas e científicas a respeito do tema e da área geográfica de estudo, com ênfase aos aspectos ambientais.

Nesse sentido, procurou-se obter o maior número de informações possíveis, por meio de dissertações de mestrado, teses de doutorado, periódicos, livros, relatórios técnicos e sites da Internet, envolvendo várias instituições de ensino superior, companhias estatais, secretarias e órgãos estaduais e municipais, e empresas privadas.

5.2. Seleção dos pontos de amostragem

O primeiro fator decisivo na escolha dos pontos a serem amostrados foi o custo das análises, tendo em vista que os parâmetros avaliados foram analisados mensalmente, num período de 12 meses (agosto/2011 a julho/2012).

Outros dois fatores preponderantes, relacionam-se ao fato da área de estudo contemplar duas zonas distintas do município de Guarulhos: uma com característica rural e outra tipicamente urbana. Nelas verificam-se diferentes classes de uso da terra, sendo que o Reservatório Tanque Grande, localizado na zona rural e utilizado para abastecimento público, é a principal desta sub-bacia montante.

Diante dos custos envolvidos e dos critérios técnicos, decidiu-se por um total de seis pontos para serem monitorados ao longo de um ano, conforme ilustrado na Figura 8. Acrescenta-se a estes, o ponto de monitoramento da CETESB, localizado do corpo terminal do reservatório.

Os pontos de amostragem e suas coordenadas UTM encontram-se nas fotos 8 a 14.

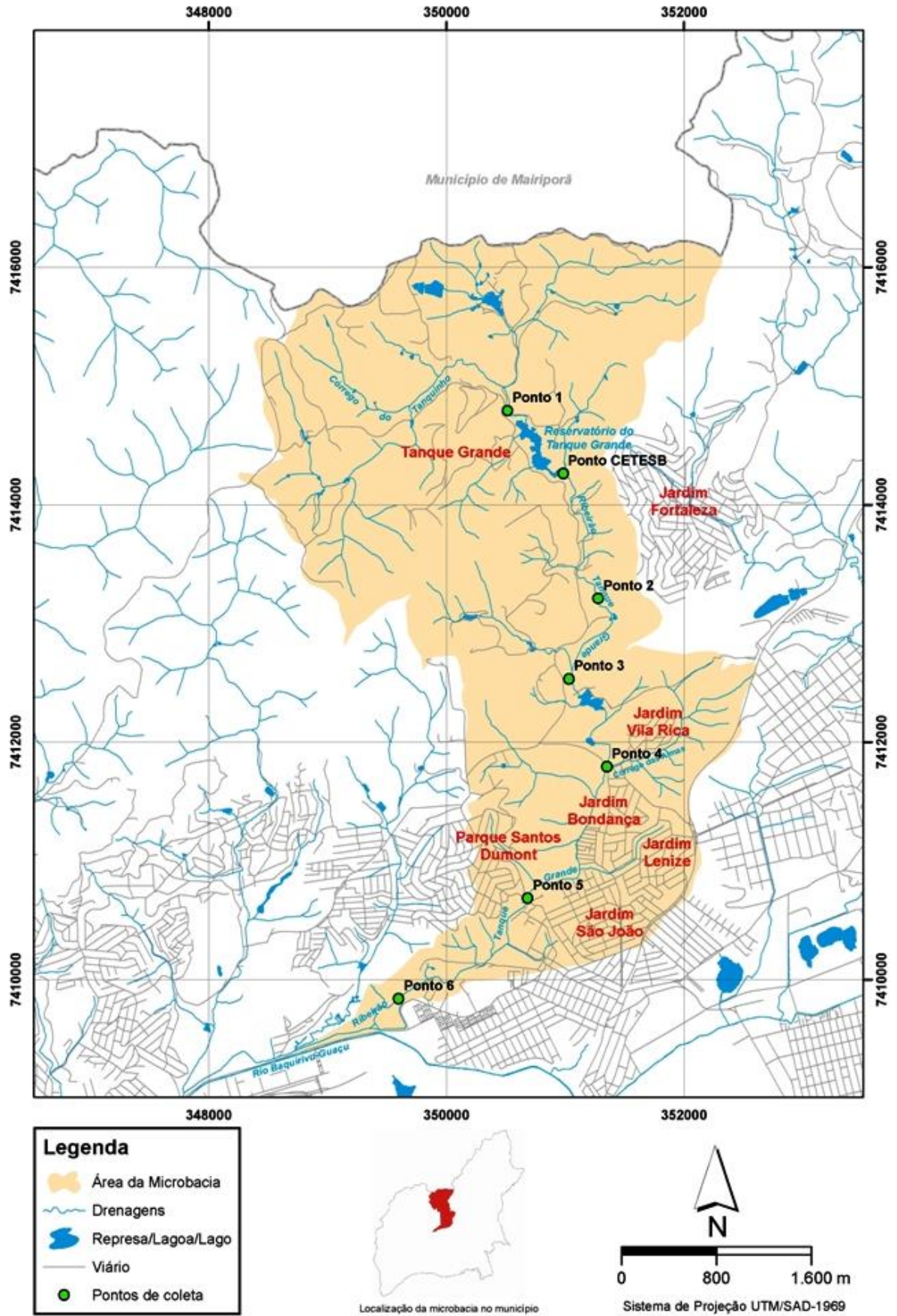


Figura 8: Pontos de amostragem ao longo da Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande.



Foto 8: Montante do Reservatório Tanque Grande - ponto 1 (350450,25 E; 7414757,58 N).



Foto 9: Ponto de captação do Reservatório Tanque Grande - ponto CETESB (350927,58 E / 7414227,77 N).



Foto 10: Zona Rural – Agrícola - ponto 2 (351210,62 E / 7413193,66 N).



Foto 11: Zona Rural - Mata Nativa - ponto 3 (351015,48 E / 7412525,40 N).



Foto 12: Zona Urbana - Jardim Vila Rica - ponto 4 (351306,76 E / 7411741,47 N).



Foto 13: Zona Urbana – Parque Santos Dumont - ponto 5 (350637,29 E / 7410647,28 N).



Foto 14: Zona Urbana - Bairro São João - ponto 6 (349626,95 E / 7409860,88 N).

5.3. Coleta de dados

Conforme já referido, foram realizadas coletas mensais, totalizando um período de 12 meses (agosto/2011 a julho/2012). As amostras coletadas foram mantidas em condições controladas, acondicionadas em frascos plásticos com 250 ml de capacidade, autoclaváveis e esterilizados, sendo preservados sob refrigeração a $4 \pm 2^\circ \text{C}$ por no máximo 24 horas (CETESB, 2003).

As análises de Fósforo total foram realizadas nos pontos 01 a 06, enquanto que as microbiológicas foram amostradas nos pontos 04 e 06, nos meses de outubro de 2011 e janeiro / abril / julho de 2012.

5.4 Análises laboratoriais

As amostras laboratoriais de Fósforo total e de *Escherichia coli* foram feitas pela empresa ECOLABOR (Anexo A).

5.5 Organização dos dados

Após a aquisição dos dados laboratoriais, procedeu-se ao cálculo do IET. Os valores obtidos referentes a esse índice somado ao dos coliformes termotolerantes foram organizados em tabelas e elaborados gráficos para que auxiliassem na interpretação final dos resultados.

5.6 Elaboração do mapa do uso da terra

Oliveira et al. (2009) elaboraram mapas de uso da terra para cada uma das sub-bacias hidrográficas encontradas no município de Guarulhos. Por meio de trabalhos de campo, o mapa do uso da terra relativo à área de estudo foi atualizado.

5.7 Elaboração do documento final

Os resultados alcançados foram cotejados com o uso da terra. Sua integração possibilitou alcançar os objetivos pretendidos e elaborar o documento ora apresentado.

6. RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 6 contempla os resultados obtidos das análises de Fósforo total (Pt) para cada um dos 6 pontos analisados. Dessa forma, foi possível calcular o valor do IET para esses pontos, conforme pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 6: Valores de Pt ($\mu\text{g/L}$) obtidos ao longo dos meses analisados.

MÊS PONTO	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
1	6	5	15	5	5	7	6	5	6	6	6,3	6,3
2	47	45	31	17	5	13	8	9	12	11	9,1	9,1
3	5	7	6	9	5	5	5	5	6	6	6,6	6,6
4	240	583	555	122	18	9	14	26	23	23	22	22
5	3.450	4.960	4.460	897	383	101	310	587	645	687	715	715
6	3.490	4.830	3.730	622	214	99	399	557	615	715	862	862

Tabela 7: Valores de IET obtidos durante o período de tempo analisado.

MÊS PONTO	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
1	43	42	48	42	42	44	43	42	43	43	43	43	43	2
2	54	54	52	49	42	47	45	45	47	46	45	45	48	4
3	42	44	43	45	42	42	42	42	43	43	44	44	43	1
4	62	67	67	59	42	42	48	42	50	50	50	50	53	9
5	76	78	78	69	65	58	64	67	68	68	68	68	69	6
6	76	78	77	67	62	58	65	67	67	68	69	69	69	6

IET – Índice de Estado Trófico (Rios)

Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$

Dados constantes em relatório técnico da CETESB (2012), referente ao Reservatório Tanque Grande, ano – base 2011, mostraram os seguintes resultados para o Fósforo total e Clorofila a:

1. Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)

Janeiro	25
Março	25
Maio	25
Julho	30
Setembro	11
Novembro	10

2. Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)

Janeiro	1,15
Março	-
Maio	0,30
Julho	1,78
Setembro	-
Novembro	2,92

A partir das análises de fósforo total calcularam-se os valores do Índice de Estado Trófico para o fósforo total (IET PT) destes corpos hídricos, conforme pode ser observado na Figura 5. Cabe destacar que o ponto da CETESB encontra-se entre os pontos 1 e 2 analisados neste trabalho. O valor médio de IET considerado pela CETESB, para o ano de 2011/2012, foi 50. Dessa forma, tomando-se por base os valores médios obtidos para o IET, construiu-se um gráfico que contempla os sete pontos considerados, conforme pode ser observado na Figura 9.

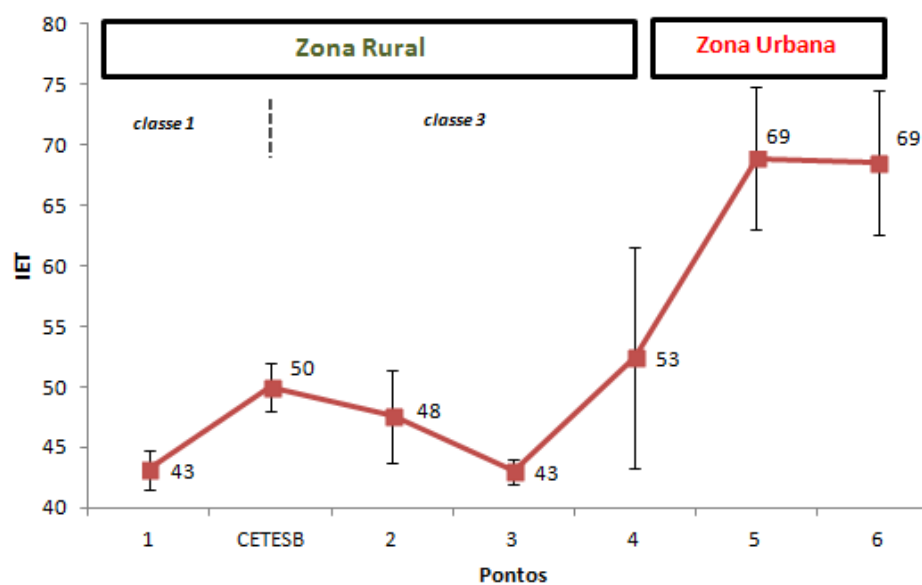


Figura 9: Valores médios do IET ao longo do trecho analisado do Ribeirão Tanque Grande.

Os aspectos microbiológicos da água também foram analisados para os pontos 4 e 6, durante quatro meses do ano, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Valores Microbiológicos obtidos ao longo dos meses analisados (NMP/100mL)

MÊS	OUT	JAN	ABR	JUL
PONTO	(2011)	(2012)	(2012)	(2012)
4				
<i>Escherichia coli</i>	>16.000	>16.000	>16.000	> 5.400
6				
<i>Escherichia coli</i>	>16.000	>16.000	>16.000	>16.000

A análise e interpretação integrada dos dados obtidos encontram-se discutidas no próximo capítulo.

7. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A análise e interpretação dos dados anuais obtidos para a Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande, ao longo dos seis pontos de amostragens, em conjunto com o ponto de monitoramento da CETESB, devem ser realizadas à luz da classificação do corpo aquoso principal, relacionando-as com os usos previstos pela legislação pertinente.

De acordo com o Decreto nº 10.755 de 22 de Novembro de 1977, tem-se:

1. os pontos 1 e o da CETESB localizam-se na zona rural e são enquadrados como classe 1;
2. os pontos 2 e 3 localizam-se na zona rural e são enquadrados como classe 3, e
3. os pontos 4, 5 e 6 localizam-se na zona urbana e são enquadrados como classe 3.

Quando se analisa o gráfico exibido na Figura 9, observa-se que a partir do ponto 1 (montante do Reservatório Tanque Grande) até o ponto 6 (exutório, próximo ao Rio Baquirivu Guaçu), há um aumento das condições da eutrofização, isto é, passa-se do estágio ultraoligotrófico a hipereutrófico, conforme classificação do IET (CETESB, 2009), expressa na Tabela 4.

O ponto de inversão é o de número 4, exatamente na passagem da zona rural para a urbana. Nele, verificam-se condições de mesotrofia, associada à presença de *E. coli*. A degradação do corpo aquoso é evidenciada em direção aos pontos 5 e 6, como acima mencionado, corroborada pela presença de *E. coli*.

A razão dessas condições ambientais verificadas na área urbana, deve-se muito provavelmente à falta de saneamento básico. Situação similar também foi encontrada em outras áreas da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu Guaçu, como por exemplo, por Martinez (2012), em seu alto curso (município de Arujá), e por Porto (2013), no Córrego Capão de Sombra, no município de Guarulhos.

Dessa forma, a utilização da água do Ribeirão Tanque Grande, em seu trecho urbano – pontos 4,5 e 6 fica comprometida. Especula-se seu uso inadequado na irrigação das verduras e hortaliças vendidas em chácaras localizadas junto ao ponto 5 (Foto 13).

Ressalta-se que na área urbana consolidada, referente aos pontos 5 e 6, tem-se a impermeabilização do solo, nos quais durante o período intenso de chuvas observam-se menores valores para o fósforo devido a diluição das águas. Ao contrário, os valores maiores de fósforo associam-se aos períodos de menor pluviosidade. Para a zona rural, tal relação não pode ser observada, pois os valores de fósforo obtidos evidenciam um ambiente ecologicamente equilibrado, em que os pontos analisados poderiam perfeitamente serem enquadrados na classe 1.

Na zona rural, as condições ambientais do Reservatório Tanque Grande foram pesquisadas anteriormente por Ayres (2007), Oliveira (2008), Piasentin (2009) e Silva (2009). Os três primeiros autores são unânimes ao afirmarem que o maior problema desse reservatório é a presença em quantidade indesejáveis de coliformes fecais, provenientes das criações de animais em sua bacia contribuinte, incluindo suas margens (Foto 15). Essas condições se agravam nas épocas das chuvas, em função das características geomorfológicas dessa porção da sub-bacia. Em razão das condições de altas declividades, há um maior escoamento das águas em comparação com sua penetração no sub-solo.



Foto 15: Pastagem de gado às margens do Reservatório.

Piasentin (2009) constatou, também, a presença de valores anômalos de fósforo em pontos localizados a montante do reservatório, nas épocas mais chuvosas. De acordo com esta autora, este comportamento pode ser atribuído à intensificação das atividades nos pesqueiros durante o verão, pois a ração e a ceva utilizadas para os peixes contêm uma concentração relativamente alta de fósforo.

Com relação ao ponto 3, os valores obtidos surpreenderam positivamente. Nesse sentido, pode-se afirmar que, no período analisado, esse ponto satisfaz às condições exigidas para corpos aquosos inseridos na classe 1, apesar de estar contemplado na classe 3. Inferi-se que as razões para esse comportamento encontrado pode estar associado a um conjunto de fatores: processo de autodepuração, declividade menos acentuada, mata preservada e tributário com água extremamente limpa.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com Braga (2003), no período Antropoceno, as cidades são as construções humanas que provocam os maiores impactos em nosso planeta. O uso urbano contribui, significativamente, para a descarga de agentes poluidores em nossos ambientes lênticos e/ou lóticos. Além disso, o avanço da urbanização em direção ao meio rural, quando efetuado de modo desordenado, tem causado a degradação progressiva das áreas de mananciais e florestas remanescentes.

Com efeito, ainda nas áreas urbanas, de nosso país, constata-se que 70 milhões de brasileiros sofrem com a falta de saneamento básico. Os setores de infraestrutura dos estados e municípios brasileiros têm um grande passivo em relação ao tratamento de esgotos. Em decorrência da falta de saneamento adequado, geram-se problemas ambientais, incluindo os de saúde pública (CONFALONIERI; HELLER; AZEVEDO, 2010).

O município de Guarulhos não foge dessa realidade, em especial a Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu Guaçu, a maior em área do município (MARTINEZ, 2012). No caso da sub-bacia do Ribeirão Tanque Grande, ao longo do perfil analisado, a sua área rural encontra-se, ainda, relativamente imaculada, pela presença do Reservatório Tanque Grande e por se tratar de uma Área de Proteção Ambiental (pontos 1 e CETESB); os pontos 2 e 3 mantêm suas qualidades ambientais, em função, principalmente, da presença de mata preservada na porção intermediária desse corpo aquoso. No ambiente rural a análise do fósforo reforça que esta porção da bacia hidrográfica encontra-se em um ambiente ecologicamente equilibrado, tendo em vista que os valores encontrados evidenciam pequeno desvio padrão e situam-se abaixo do valor máximo permitido pelo CONAMA 357/2005.

Ao se adentrar na zona urbana (pontos 4, 5 e 6), as condições ambientais começam a se alterar para estágios de eutrofização. Nos pontos 5 e 6 o IET alcança níveis de hipereutrofização, atribuídos à ausência de infraestrutura básica de saneamento. Nesse caso, reforça-se a necessidade da construção de, pelo menos, uma Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, no trecho final desse tributário, antes de sua confluência com o Rio Baquirivu Guaçu. É importante também que a mancha urbana não se desloque rumo norte, para preservar as condições ambientais satisfatórias verificadas na zona rural.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Indicadores de Qualidade das Águas*. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas <http://pnQA.ANA.gov.br/IndicadoresQA.aspx>, acessado em Dezembro 2012.

ANDRADE, M. R. M. et al. Aspectos Fisiográficos da Paisagem Guarulhense. In: OMAR, E. E. H. (org.). *Guarulhos tem História: questões sobre a história natural, social e cultural*. São Paulo: Ananda, 2008.

AYRES, F. M. *Diagnóstico da Qualidade da Água do Reservatório do Tanque Grande, Município de Guarulhos, Estado de São Paulo, no Período Compreendido entre 1990 e 2005*. 2007. 119f. Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2007.

BRAGA, B. et al. *Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

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.

BRASIL. *Decreto nº 10.755 de 22 de novembro de 1977*. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos d'água receptores na classificação prevista no Decreto nº8.468, de 08 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. Consulta em publicação oficial.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Consulta em publicação oficial.

BRYLINSKY, M.; MANN, K. H. An Analysis of Factors Governing Productivity in Lakes and Reservoirs. *Limnology and Oceanography*, v.18, p. 1 – 14, 1973.

CAMPOS, D. C. *Inundações: Problemas ou Fenômenos Naturais? A Ocupação das Várzeas dos Principais Rios no Alto Tietê e a Reprodução deste Modelo Urbano na Bacia do Rio Baquirivu Guaçu, Guarulhos, SP.* 2011. 224f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2011.

CANFIELD, D. E.; BACHIMANN, R. W. Prediction of Total Phosphorus Concentrations, Chlorophyll-a and Secchi Depths in Natural and Artificial Lakes". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, v.38, p.414 – 423, 1981.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Coleta e Preservação de Amostras de Água.* São Paulo: CETESB, 2003, 53p.

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.

CONFALONIERI, U.; HELLER, L.; AZEVEDO, S. Água e Saúde: aspectos globais e nacionais. In: BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTHUL, M.C.B. *Águas do Brasil: análises estratégicas.* São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. p. 27-42.

COUTINHO, A. T. N. F.; SATO, S. E.; OLIVEIRA, A. M. S. *Influência da Altitude nas Unidades Climáticas do Município de Guarulhos – SP.* Guarulhos: Jornada Científica da UnG, 2003.

DILLON, P. J. RIGLER, F. H. The Phosphorus-Chlorophyll Relationship in Lakes. *Limnology and Oceanography*, v.19, p. 767 – 773, 1974.

DODSON, S. I.; ARNOTT, S. E.; COTTINGHAM, K. L. The Relationship in Lake Communities Between Primary Productivity and Species Richness. *Ecology*, v.81, p.2662 – 2679, 2000.

ESTEVEES, F. A. “*Fundamentos de Limnologia*”. 2ª Edição. São Paulo: Interciência, 1998.

GALLI, C. C.; ABE, D.S. Disponibilidade, Poluição e Eutrofização das Águas. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUEWSTUHL, M. C. B. (orgs.). *Águas do Brasil: análises estratégicas*, 2010. p.165-178.

GRAÇA, B. A. *Condicionantes Geoambientais no Processo Histórico da Ocupação Territorial do Município de Guarulhos, Estado de São Paulo*. 2007. 147f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2007.

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

MARTINEZ, S. S. *Reflexos do Uso da Terra na Qualidade das Águas do Alto Curso do Rio Baquirivu-Guaçu, Municípios de Arujá e Guarulhos (SP)*. 2012. 140f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2012.

MASSON, S.; PINEL-ALLOUL, B.; SMITH, V. H. Total Phosphorus-Chlorophyll a Size Fractions Relationships in Southern Quebec Lakes. *Limnology and Oceanography*, v.45, p. 732 – 740, 2000.

MESQUITA, M. V.; *Degradação do Meio Físico em loteamentos nos Bairros Invernada, Fortaleza e Água Azul, como estudos de casos da expansão urbana do Município de Guarulhos (SP)*. 2010. 145p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

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

OLIVEIRA, A. M. S. et al. *Guarulhos Espaços de muitos Povos*. São Paulo: Nooroha America, 2008.

OLIVEIRA, A. M. S.; ANDRADE, M. R. M.; QUEIRÓS, N. *Diagnóstico Ambiental para Manejo Sustentável do Núcleo Cabuçú do Parque Estadual da Cantareira e Áreas Vizinhas do Município de Guarulhos*. São Paulo: Relatório de Pesquisa FAPESP, 2005.

OLIVEIRA, A. M. S. et al. *Bases Geoambientais para um Sistema de Informações Ambientais do Município de Guarulhos*. 2009. 179f. Guarulhos: Universidade Guarulhos. 2009. (Relatório FAPESP, processo nº 05/57.965-1).

OLIVEIRA, R. C. M. *Flora Diatomácea do Reservatório de Tanque Grande, Município de Guarulhos – SP, como Indicadora da Qualidade de Água*. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) - Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2008.

PÁDUA, H. B. *Principais Variáveis Físicas e Químicas da Água na Aquicultura*. In: Workshop sobre qualidade de água na aquicultura, 2000. 28–30, ago, Pirassununga: CEPTA. p. 17-23.

PIASENTIN, A. M. *Índice de Qualidade da Água – IQA da Bacia Contribuinte do Reservatório Tanque Grande, Município de Guarulhos, SP*. 2009. 91f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) - Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2009.

PINTO-COELHO, R. M.; BEZERRA-NETO, J. F.; MORAIS-JR.; C. A. Effects of Eutrophication on Size and Biomass of Crustacean Zooplankton in a Tropical Reservoir. *Brazilian Journal of Biology*, v.65, p.325 – 338, 2005.

PLANO DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO URBANO, ECONÔMICO E SOCIAL DO MUNICÍPIO DE GUARULHOS. *Decreto lei nº 6.055*, aprovado pela Câmara Municipal de Guarulhos – 30/12/2004.

PORTO, A. A. *Uso do Solo e Contaminação por Esgoto do Córrego Capão da Sombra, Guarulhos, SP*. 2013. 85f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2013.

PRAIRE, Y. T.; DUARTE, C. M.; KALF, J. Unifying Nutrient-Chlorophyll Relationships in Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, v.46, p.1176 – 1182, 1989.

SAAD, A. R. et al. Índice de Qualidade da Água – IQA do Reservatório do Tanque Grande, Município de Guarulhos, Estado de São Paulo, Brasil: 1990 – 2006. *Revista UnG – Geociências*, v.6, nº1, p. 118 – 133, 2007.

SAKAMOTO, M. Primary Production by Phytoplankton Community in some Japanese Lakes and its Dependence on Lake Depth. *Archiv für Hydrobiologie*, v.62, p. 1 – 28, 1966.

SILVA, C. *Análise Geoambiental do Delta do Assentamento do Reservatório Tanque Grande, Guarulhos, SP*. 2009. 118f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2009.

STRASKABA, M.; TUNDISI, J. G. *Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos: gerenciamento de qualidade de água de represas*. São Carlos: ILEC/IIE, 2008.

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

TUCCI, C. E. M. Urbanização e Recursos Hídricos. In: BICUDO, C .E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTHUL, M. C. B. *Águas do Brasil: análises estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. p.113-132.

TUNDISI, J. G. *Ecologia, Limnologia e aspectos socioeconômicos da construção de hidrelétricas nos trópicos*. Encontro de Tropicologia, CNPq, Recife, 4,p.47-85. 1987.

TUNDISI, J. G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos: Rima, 2003.

TUNDISI, I.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

UNEP - United Nations Environment Programme. *Lagos e Reservatórios – Qualidade da Água: O Impacto da Eutrofização*. Vol.3, 2001.

VOLLENWEIDER, R. A. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, v.33, p.53 – 83, 1976.

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

WATSON, R. A. et al. Sigmoid Relationships between phosphorus, algal biomass, and algal community structure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, v.49, p.2605 – 2610, 1992.

ANEXO A

*Métodos e técnicas empregadas na análise de Fósforo
Total e E. coli*

DETERMINAÇÃO DO FÓSFORO TOTAL

1. Reagentes e soluções utilizadas

- Molibdato de Amônio PA $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$;
- Metavanadato de Amônio PA (NH_4VO_3) ;
- Fosfato Diácido de Potássio PA (KH_2PO_4) ;
- Persulfato de Amônio Cristalino PA $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$;
- Ácido Sulfúrico Concentrado PA (H_2SO_4) ;
- Ácido Nítrico Concentrado PA (HNO_3) ;
- Solução de Vanadomolibdato de Amônio: Dissolver 40,0 de Molibdato de Amônio em 400 mL de água. Dissolver 1,0g de Metavanadato de Amônio em uma mistura de 300 mL de água e 200 mL de ácido Nítrico concentrado PQ;. Adicionar a Primeira solução à Segunda, misturar e diluir para 1000 mL com água deionizada.
- Solução Padrão de Fósforo (1 mL = 0,025 mg): Diluir 500 mL da Solução Estoque em um balão volumétrico de 1000 mL, completando o volume com água deionizada.
- Solução de Ácido Sulfúrico 31%: Em um béquer de 2000 mL, adicionar 600 mL de Água Deionizada, e em seguida, lentamente e com agitação constante, 310 mL de Ácido Sulfúrico Concentrado PA. Esperar esfriar e avolumar para 1000mL com água deionizada.

2. Procedimentos

As amostras destinadas à análise de Fósforo receberam um tratamento preliminar, onde para cada ponto de coleta foram pipetados 100 mL da amostra previamente homogeneizada e acidificada com 5 mL de H_2SO_4 31%. Em seguida, adicionou-se 1,0g de Persulfato de Amônio Cristalino PA $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$, aquecendo-se a solução até o ponto de ebulição. Após resfriada à temperatura ambiente, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e completada com água deionizada.

Para construção da curva padrão, foram pipetados 2, 6, 10, 15 e 20 mL de Solução Padrão de Fósforo em balões volumétricos de 50 mL, para padrões de 1;3;5;7,5 e 10mg/L de fósforo, respectivamente. aCurva foi plotada conforme o procedimento de espectrofotômetro DR/2500.

Uma vez encerrada a preparação para análise, foram acrescentados 25 mL de Solução de Vanadomolibdato de Amônio à 50 mL da amostra. As amostras preparadas foram analisadas em espectrofotômetro Hach modelo DR/2500, sendo que em paralelo também foi analisado em branco que passou pelo mesmo procedimento de preparação das amostras.

DETERMINAÇÃO DE *E. COLI* (NMP / 100 ML)

1. Objetivo

Este método é utilizado para determinar Coliformes Totais e *E.coli* com substratos cromogênicos e fluorogênicos.

2. Campo de Aplicação

Este método se aplica em amostras de águas brutas, tratadas e efluentes domésticos e industriais.

3. Referências

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Ed. Method 9223B;
- Norma Técnica CETESB L5.406 (tabelas) de junho de 2007.

4. Equipamentos

- Estufa;
- Incubadora;
- Autoclave;
- Lâmpada de UV (Spectroline "Model E A-160") ou similar;
- Balança semi-analítica com sensibilidade de 0,1 g ou menor;
- Bico de bunsen ou similar;
- Tubos de ensaios estéreis;
- Pipeta graduada de vidro ou descartável.

5. Reagentes e Meios de Cultura

- Colilert WP 020;
- Buffer;
- LMX plus;
- Aquatest;
- Colitag.

6.1 Preparação do meio

- Colilert, LMX, Aquatest ou Colitag

Em frasco de diluição, adicionar 1 ampola do meio de cultura descrito acima para cada 100 mL de água deionizada ou purificada, autoclavada e resfriada à temperatura ambiente.

Validade: preparar antes do uso.

Nota: A utilização dos meios LMX, Aquatest e Colitag é opcional, dependendo da disponibilidade.

6. Descrição do método

7.1. Método de ensaio qualitativo

- 1) Colocar com proveta autoclavada, 100 mL da amostra bem homogeneizada, em um frasco estéril com tampa;
- 2) Transferir o conteúdo de uma ampola do meio para o frasco, agitar até dissolver completamente o sal;
- 3) Incubar em estufa por 24 a 28 horas à $35 \pm 0,5$ °C e efetuar a leitura de acordo com o reagente utilizado.

7.2. Método de ensaio quantitativo

7.2.1. Água Limpa

- 1) Colocar com proveta autoclavada, 100 mL da amostra bem homogeneizada em um frasco estéril com tampa;
- 2) Transferir o conteúdo de uma ampola do meio de cultura ao frasco;
- 3) Utilizar 100 mL de água deionizada ou purificada, autoclavada e resfriada à temperatura ambiente para as provas em branco;
- 4) Agitar até dissolver completamente o sal;
- 5) Adicionar 10 mL desta solução com o uso de pipeta graduada à cada um de um total de dez tubos de ensaio (totalizando 100 mL);
- 6) Utilizar 2 tubos para as 2 provas em branco;
- 7) Incubar em estufa por 24 à 28 horas à $35 \pm 0,5$ °C e efetuar a leitura de acordo com o reagente utilizado;
- 8) Realizar duas provas em branco transferindo 1 mL de buffer para tubo de ensaio e realizar dois padrões controles negativos/ especificidade negativa (*P. aeruginosa* e *E.aerogenes*) e um padrão controle positivo/ especificidade positiva (*E. coli*) por lote

feito de meio, seguindo as instruções da IT-LABVII-006, adicionar 10 mL do meio em cada tubo.

7.2.2. Água Bruta e Efluente

- 1) Utilizar para cada amostra 15 tubos de ensaio (5 para cada diluição);
- 2) Efetuar no mínimo três diluições da amostra com buffer estéril, sempre mantendo uma seqüência. Ex.: (10-1, 10-2, 10-3);
- 3) Conforme o aspecto da amostra aumentar a diluição sempre utilizando diluições seqüenciais;

Ex.:

10-4 = 10000x

10-5 = 100000x

10-6 = 1000000x

- 4) Inocular no mínimo as três maiores diluições;
- 5) Colocar 1 mL da amostra diluída em cada tubo de ensaio utilizando pipeta graduada ou ponteiras estéreis;
- 6) Adicionar com pipeta graduada 10 mL de meio em cada tubo;
- 7) Realizar duas provas em branco transferindo 2 alíquotas de 10 mL do meio de cultura para 2 tubos e 1mL de padrão controle por lote de ensaio, seguindo as instruções da IT-LABVII-007, e 10 mL do meio;
- 8) Incubar em estufa de 24 horas a 28 horas, a $35 \pm 0,5$ °C e efetuar a leitura de acordo com o reagente utilizado.

NOTA: Se as amostras apresentarem coloração, comparar os tubos inoculados a um controle.

7. Leitura

- Colilert, Aquatest e Colitag

1. Contar o nº de tubos que desenvolvem coloração **amarela** e registrar no formulário F-LABVII-002, no campo “Coliformes Totais”;
2. Expor os tubos à lâmpada de UV e contar o nº de tubos que apresentam fluorescência, registrar no formulário F-LABVII-002, no campo “Coliformes Totais”;

- LMX plus

1. Contar o n^o de tubos que desenvolvem coloração **verde** e registrar no formulário FLABVII-002 no campo “Coliformes Totais”;
2. Expor os tubos à lâmpada de UV e contar o n^o de tubos que apresentam fluorescência e registrar no formulário F-LABVII-002, no campo “*E. coli*”.

8. Expressão dos Resultados

Para água bruta, efluentes e amostra sólida, consultar a **Tabela 1**. Para água limpa, consultar a **Tabela 2**.

Ex.: São feitas 3 diluições (10-1, 10-2, 10-3), utilizando 5 tubos para cada uma. Para cada diluição, quantos amarelos? Destes, quantos fluorescentes?

Diluição	Amarelos	Fluorescentes
10 ⁻¹	5	1
10 ⁻²	4	1
10 ⁻³	3	0

Calcular utilizando a equação:

$$\text{NMP}/100 \text{ mL} = \frac{\text{Valor da tabelax}10}{\text{Primeira diluição}}$$

Encontrando o valor da tabela:

- Para Coliformes Totais, tubos que apresentarem coloração **amarela**, procura-se a seqüência 5, 4 e 3 e encontramos na coluna índice de NMP/100 mL o valor 280.

Aplicando-se a equação temos:

$$\text{NMP}/100 \text{ mL} = \frac{280 \times 10}{10^{-1}}$$

- Para cálculo de *E.coli*, aplicar a mesma seqüência, utilizando os tubos que apresentaram fluorescência.

Tabela 1 - Índice de NMP e limites de confiança de 95%, quando são inoculadas porções de 10 mL, 1 mL e 0,1 mL da amostra. Fonte: CETESB/1.5.4 06/jun/07.

Combinação	Limites de	Combinação de	Limites de
------------	------------	---------------	------------

de NMP/100mL		Confiança 95%		NMP/100mL		Confiança 95%	
positivos		inferior	superior	positivos		inferior	superior
0-0-0	<1,8	-	6,8	4-0-3	25	9,8	70
0-0-1	1,8	0,090	6,8	4-1-0	17	6,0	40
0-1-0	1,8	0,090	6,9	4-1-1	21	6,8	42
0-1-1	3,6	0,70	10	4-1-2	26	9,8	70
0-2-0	3,7	0,70	10	4-1-3	31	10	70
0-2-1	5,5	1,8	15	4-2-0	22	6,8	50
0-3-0	5,6	1,8	15	4-2-1	26	9,8	70
1-0-0	2,0	0,10	10	4-2-2	32	10	70
1-0-1	4,0	0,70	10	4-2-3	38	14	100
1-0-2	6,0	1,8	15	4-3-0	27	9,9	70
1-1-0	4,0	0,71	12	4-3-1	33	10	70
1-1-1	6,1	1,8	15	4-3-2	39	14	100
1-1-2	8,1	3,4	22	4-4-0	34	14	100
1-2-0	6,1	1,8	15	4-4-1	40	14	100
1-2-1	8,2	3,4	22	4-4-2	47	15	120
1-3-0	8,3	3,4	22	4-5-0	41	14	100
1-3-1	10	3,5	22	4-5-1	48	15	120
1-4-0	10	3,5	22	5-0-0	23	6,8	70
2-0-0	4,5	0,79	15	5-0-1	31	10	70
2-0-1	6,8	1,8	15	5-0-2	43	14	100
2-0-2	9,1	3,4	22	5-0-3	58	22	150
2-1-0	6,8	1,8	17	5-1-0	33	10	100
2-1-1	9,2	3,4	22	5-1-1	46	14	120
2-1-2	12	4,1	26	5-1-2	63	22	150
2-2-0	9,3	3,4	22	5-1-3	84	34	220
2-2-1	12	4,1	26	5-2-0	49	15	150
2-2-2	14	5,9	36	5-2-1	70	22	170
2-3-0	12	4,1	26	5-2-2	94	34	230
2-3-1	14	5-9	36	5-2-3	120	36	250
2-4-0	15	5,9	36	5-2-4	150	58	400
3-0-0	78	2,1	22	5-3-0	79	22	220
3-0-1	11	3,5	23	5-3-1	110	34	250
3-0-2	13	5,6	35	5-3-2	140	52	400
Tabela 1 - Continuação							
3-1-0	11	3,5	26	5-3-3	170	70	400
3-1-1	14	5,6	36	5-3-4	210	70	400
3-1-2	17	6,0	36	5-4-0	130	36	400

3-2-0	14	5,7	36	5-4-1	170	58	400
3-2-1	17	6,8	40	5-4-2	220	70	440
3-2-2	20	6,8	40	5-4-3	280	100	710
3-3-0	17	6,8	40	5-4-4	350	100	710
3-3-1	21	6,8	40	5-4-5	430	150	1100
3-3-2	24	9,8	70	5-5-0	240	70	710
3-4-0	21	6,8	40	5-5-1	350	100	1100
3-4-1	24	9,8	70	5-5-2	540	150	1700
3-5-0	25	9,8	70	5-5-3	920	220	2600
4-0-0	13	4,1	35	5-5-4	1600	400	4600
4-0-1	17	5,9	36	5-5-5	>1600	700	-
4-0-2	21	6,8	40	-	-	-	-

Tabela 2 - III, Índice de NMP e limites de confiança de 95% para todas as combinações de resultados positivos e negativos quando porções de 10-mL são usadas.

Nº de tubos com reação positiva (10 mL cada)	Índice de NMP/100 mL	Limites de Confiança de 95 % (Exato)	
		Inferior	Superior
0	< 1.1	-	3.4
1	1.1	0.051	5.9
2	2.2	0.37	8.2
3	3.6	0.91	9.7
4	5.1	1.6	13
5	6.9	2.5	15
6	9.2	3.3	19
7	12	4.8	24
8	16	5.8	34
9	23	8.1	53
10	>23	13	-

9. Controle de qualidade analítico

Os controles são realizados de acordo com a IT-LABVII-006 “I.T. para controle de qualidade do laboratório microbiológico”. Anotar no Formulário F-LABVII-002 no campo de **Observação** o lote do meio utilizado e o lote do buffer.

10. Controle de Registros

O controle de registros do F-LABVII-002 é realizado através do software QUALIS.