

**ANÁLISE GEOAMBIENTAL APLICADA AO USO DA TERRA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CAPÃO DA SOMBRA, GUARULHOS  
(SP), UTILIZANDO FÓSFORO COMO INDICADOR DE QUALIDADE  
AMBIENTAL**

***GEOENVIRONMENTAL ANALYSIS APPLIED TO LAND USE IN THE  
STREAM WATERSHED OF THE CÓRREGO CAPÃO DA SOMBRA,  
GUARULHOS (SP), USING PHOSPHORUS AS ENVIRONMENTAL  
QUALITY INDICATOR***

**Afonso Aparecido Porto**

Discente do Mestrado em Análise Geoambiental da Universidade Guarulhos – UnG  
E-mail: [afonporto@uol.com.br](mailto:afonporto@uol.com.br)

**Antonio Manoel dos Santos Oliveira**

Pesquisador e colaborador do Mestrado em Análise Geoambiental da Universidade Guarulhos – UnG  
E-mail: [amanoel2030@gmail.com](mailto:amanoel2030@gmail.com)

**Antonio Roberto Saad**

Docente do Mestrado em Análise Geoambiental da Universidade Guarulhos – UnG  
E-mail: [asaad@prof.ung.br](mailto:asaad@prof.ung.br)

**Reinaldo Romero Vargas**

Docente do Mestrado em Análise Geoambiental da Universidade Guarulhos – UnG  
E-mail: [rvargas@prof.ung.br](mailto:rvargas@prof.ung.br)

**Regina de Oliveira Moraes Arruda**

Docente do Mestrado em Análise Geoambiental da Universidade Guarulhos – UnG  
E-mail: [rarruda@prof.ung.br](mailto:rarruda@prof.ung.br)

**Fabício Bau Dalmas**

Docente do Mestrado em Análise Geoambiental da Universidade Guarulhos – UnG  
E-mail: [fdalmas@prof.ung.br](mailto:fdalmas@prof.ung.br)

**Fernanda Dall'Ara Azevedo**

Docente da Universidade Guarulhos – UnG  
E-mail: [fdallara.azevedo@gmail.com](mailto:fdallara.azevedo@gmail.com)

## RESUMO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) apresenta grandes reservatórios e possui uma grande demanda por água tratada, uma vez que a população é estimada em 20 milhões de habitantes. Grandes ameaças comprometem o estabelecimento da qualidade e quantidade de água disponível, tais como: a expansão urbana, industrial e agrícola, além do consumo elevado de água e poluição hídrica causada pela falta de saneamento básico. O objetivo deste trabalho é correlacionar o uso da terra com a contaminação das águas do Córrego Capão da Sombra, Guarulhos (SP), por esgoto doméstico, utilizando o fósforo como indicador da qualidade ambiental desta bacia hidrográfica. Os resultados demonstraram que o fósforo se comporta como eficiente indicador de contaminação por esgoto doméstico, apontando uma contaminação crescente de montante para jusante, na medida em que predominam as áreas urbanas, consideradas potencialmente produtoras de esgoto (APEs). A área preservada por mata apresentou estado de ultraoligotrófico a oligotrófico, já nas análises em áreas urbanas observou-se um estado de hipereutrófico a supereutrófico revelando a forte influência de áreas produtoras de esgoto. Portanto, esta análise também possibilitou constatar o importante papel da mata na atividade ecossistêmica, conservando a boa qualidade da água do Córrego Capão da Sombra na área preservada. Nestas áreas, o fósforo manteve-se praticamente inalterado independentemente do índice pluviométrico, já em áreas ocupadas e com falta de saneamento básico, em períodos de baixos índices pluviométricos os valores foram bem superiores quando comparados com o período chuvoso, devido principalmente ao efeito da diluição.

**Palavras-chave:** Águas Urbanas. Fósforo Total. Índice de Estado Trófico. Poluição Hídrica. Guarulhos.

## ABSTRACT

*The Metropolitan Region of São Paulo (MRSP) presents large reservoirs and has a great demand for treated water, since the population is estimated at 20 million inhabitants. Major threats compromise the establishment of the quality and quantity of water available, such as urban, industrial and agricultural expansion, as well as high water consumption and water pollution caused by lack of basic sanitation. The main objective of this study is to correlate the land use with water contamination of Córrego Capão da Sombra, Guarulhos (SP), for sewage, using the phosphorus as an indicator of environmental quality in this watershed. The results demonstrate that the phosphorus contamination behaves as an effective indicator for sewage, indicating a greater contamination from upstream to downstream, in that predominate urban areas considered potentially producing sewage. The area preserved by forest presented ultraoligotrophic and oligotrophic state, since the analysis in urban areas there was a hypereutrophic and supereutrophic state revealing the strong influence of producing areas of sewage. Therefore, this analysis also allowed to note the important role of the forest in the ecosystem activity service, conserving the good water quality of Córrego Capão da Sombra in the preserved area. In these areas, phosphorus remained practically unchanged regardless of the rainfall index, already in occupied areas and lack of basic sanitation, in periods of low rainfall rates, the values were much higher when compared with the rainy season, mainly due to the effect of the dilution.*

**Keywords:** Urban Water. Total Phosphorus. Trophic State Index. Water Pollution. Guarulhos.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a população da região Sudeste do Brasil vem sofrendo com déficit hídrico, em especial o Estado de São Paulo. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), uma região privilegiada, por suas bacias hídricas apresentando cerca de 1,9 trilhões de litros de água como capacidade máxima dos

reservatórios, Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Rio Grande, Alto Cotia e Rio Claro. No entanto, apesar da RMSP apresentar grandes reservatórios, a demanda pela água é elevada. Com uma população estimada em cerca de 20 milhões de habitantes, os desafios para oferecer água tratada para esta população também são da mesma grandeza (TUNDISI, 2005). Grandes ameaças comprometem o estabelecimento da qualidade e quantidade de

água disponível, tais como: a expansão urbana, industrial e agrícola (por meio de canalização de rios, barragens, desmatamentos), além do consumo elevado de água e poluição hídrica causada pela falta de saneamento básico (TUCCI, 2008). Associados a isso, tem-se na SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) uma rede de distribuição de água tratada com tubulações de mais de 80 anos de uso, diante do estado de conservação podem gerar perdas de 30% a 35% de água. Outro fator que é de extrema importância qualitativa e quantitativa é a preservação de mananciais que circundam as grandes metrópoles. No entanto, a lei de Proteção dos Mananciais, que no estado de São Paulo foi criada em 1970, não vem sendo respeitada (BERÉ, 2005). Ocupações desordenadas tomam conta de lugares que deveriam estar com a mata preservada. Nestas áreas que seriam geradoras de água de qualidade continuam sendo deterioradas por meio de desmatamento, lançamento de esgoto doméstico, industrial e lixo, apresentando processos erosivos resultantes da urbanização sem planejamento.

De acordo com Esteves (2011), a eutrofização significa o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, em um dado ecossistema aquático, e que tem como consequência o aumento da produtividade da biomassa. Sendo um processo natural ou artificial. No primeiro caso, lento e contínuo, e que resulta do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e pelas águas superficiais. A eutrofização natural é resultado da descarga normal de nitrogênio e fósforo nos sistemas aquáticos, no entanto, o aporte destes nutrientes em função de despejos de esgotos domésticos, industriais e da

descarga de fertilizantes aplicados na agricultura leva a um processo de aceleração da eutrofização denominada de eutrofização “cultural” ou antrópica (THOMASNN; MUELLER, 1987). Este processo consiste no rápido desenvolvimento de plantas aquáticas, inicialmente cianobactérias, as quais produzem substâncias tóxicas que podem afetar a saúde da população e causar a mortalidade de animais e intoxicações. Além disso, a eutrofização, em seus estágios mais avançados, resulta em crescimento excessivo de aguapé (*Eichhornia crassipes*) ou alface-d'água (*Pistia stratiotes*), que são plantas aquáticas superiores mais comuns nesse processo (TUNDISI, 2003). A eutrofização antrópica conduz à multiplicação de microrganismos na água, formando uma barreira para a penetração da luminosidade reduzindo a taxa fotossintética nas camadas inferiores, diminuindo a concentração de oxigênio, necessário a respiração de organismos aeróbios (ROCHA; LOUGON; GARCIA, 2009).

O fósforo constitui um dos principais nutrientes para os processos biológicos, sendo macronutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Os esgotos sanitários no Brasil apresentam, tipicamente, concentração de fósforo total na faixa de 6 a 10 mg.L<sup>-1</sup>, não exercendo efeito limitante sobre os tratamentos biológicos (SPERLING, 2005).

O fósforo aparece em águas de córregos urbanos, devido principalmente às descargas de esgotos sanitários. Assim, os detergentes empregados domesticamente em larga escala, constituem a principal fonte (15,5% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas (SPERLING, 2005). 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, por conta da aplicação de fertilizante no solo.

O Índice do Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao

crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas. Os resultados dos índices calculados a partir dos valores de Fósforo devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo (CETESB, 2007).

Segundo Lamparelli (2004), o cálculo do IET (Pt) – Índice do Estado Trófico para o fósforo total em ambientes lóticos, condição na qual se enquadra o Córrego Capão da Sombra, baseia-se na Equação 1 para rios:

$$\text{IET (Pt)} = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)) - 20 \quad (1)$$

Onde o fósforo total (Pt) é expresso em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

A relação entre urbanização e eutrofização foi claramente evidenciada no Projeto “Brasil das Águas”, no qual foram amostrados 1162 pontos em corpos de água do território brasileiro. As maiores concentrações de fósforo total foram observadas nas regiões hidrográficas Nordeste Oriental, Costeira Sul, Costeira Sudeste, Paraná e Costeira Leste, que apresentam maiores densidades demográficas e cuja população representa 75% do total nacional (ABE et al., 2006). Considerando a escassez de estudos sobre a qualidade de água dos corpos hídricos no município de Guarulhos, e dentro do contexto da falta de água na região que está inserida na RMSP, o objetivo do presente artigo é correlacionar o uso da terra com a contaminação das águas do Córrego Capão da Sombra, Guarulhos (SP), por esgoto doméstico, utilizando o fósforo como indicador da qualidade ambiental desta bacia hidrográfica.

Cabe destacar que o Rodoanel Metropolitano Mário Covas (SP-21), em seu trecho norte encontra-se atualmente em fase de

construção. Na área de estudo, ele a corta no sentido oeste leste, no limite entre a zona rural e urbana. Justifica-se a divulgação acadêmica dos dados relativos à qualidade da água do Córrego Capão da Sombra, referentes aos anos 2011 e 2012, pois com a implantação desta obra, os dados do EIA / RIMA apontam para a possibilidade de impactos ambientais em vários tributários do Rio Baquirivu-Guaçu (DERSA, 2010).

Dessa forma, esta pesquisa deve ser também considerada como um acervo de dados ambientais da Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra (BHCCS), numa situação pré-implantação deste sistema viário.

## METODOLOGIA

A presente bacia localiza-se no município de Guarulhos (SP), situada entre as coordenadas geográficas 23°22'30" a 23°25'0" de latitude Sul e 46°30'0" a 46°28'30" de longitude Oeste, foi escolhida por apresentar

ocupação da terra bastante similar à de outras bacia na região do município, apresentando na porção norte uma área pouco habitada, relativamente intocada e ocupação urbana praticamente inexistente. Na direção da porção sul, a existência de áreas ocupadas permite uma correlação com a qualidade das águas do Córrego Capão da Sombra.

### **Caracterização do meio físico**

A caracterização do meio físico partiu do conhecimento disponível no relatório “Bases Geoambientais para um Sistema de Informações Ambientais do Município de Guarulhos” (OLIVEIRA et al., 2009), sendo complementado por reconhecimento de campo da bacia.

Esse relatório é constituído, além do arquivo texto, de um banco de dados espaciais, composto por vetores (formato *shapefile*) referente às classes de uso da terra, geomorfologia, litologia, pedologia e topografia (curvas de nível na escala 1:10.000, com espaçamento de 10 metros); e dados em formato *raster*, como imagens dos sensores LANDSAT, ALOS e da missão *Shuttle Land Elevation Data* (SRTM), que foram utilizados no mapeamento do uso da terra e análise da topografia.

Assim, a partir desta base de dados espaciais foi possível elaborar mapas do meio físico da Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra, no programa Quantum GIS – versão 2.8 Wien (SHERMAN et al., 2015), para compreender o comportamento da ocupação antrópica e auxiliar na decisão de onde seriam fixados os pontos de monitoramento.

### **Caracterização do uso da terra**

A caracterização do uso da terra foi realizada por fotointerpretação de levantamento disponível, correspondente a fotos aéreas ortorretificadas de 2008, da Prefeitura Municipal de Guarulhos. Entretanto, para se verificar a pertinência da comparação dos resultados das análises de água (2011-2012), foi realizada uma atualização no mapa de uso do solo referente ao ano 2008 para 2012, utilizando-se o aplicativo Google Earth. Nesta atualização, foram vetorizadas as áreas das classes de uso do solo da área de estudo, no formato *Keyhole Markup Language* (.kml), para, posteriormente, serem abertas no programa de geoprocessamento Quantum GIS (SHERMAN et al., 2015) e salvas no formato *shapefile* (.shp). No Quantum GIS, foi possível estimar as áreas e a representatividade de cada classe em relação à área total e elaborar o layout final do mapa de uso da terra de 2012. As classes de uso da terra consideradas foram: mata (as copas das árvores se tocam); capoeira (as copas das árvores estão afastadas entre si); campo antrópico (com poucas árvores ou sem árvores); solo exposto; reflorestamento; chácara; cultivo; galpão; corpos de água, incluindo rios e reservatórios; ocupação urbana de alta densidade (quando as edificações ocupam mais de 75% da área da quadra); ocupação urbana de média densidade (aquela em que a quadra representa-se com uma área ocupada entre 25 e 75%); e ocupação urbana de baixa densidade (quando ocupa menos de 25%).

### **Análise do Fósforo total**

As análises do fósforo total (Pt) foram realizadas no Laboratório Ecolabor Consultoria e Análise Ltda. e os valores apresentados referem-se as medidas realizadas em triplicata

por ponto de coleta. Os procedimentos de coleta e preservação das amostras, bem como de determinação laboratorial seguiram as orientações constantes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). Os dados obtidos foram analisados pelos métodos de estatística descritiva (Box-plot, Histograma e Regressão linear). Para análise espaço temporal das concentrações de fósforo na Bacia Hidrográfica Capão da Sombra os dados foram logaritimizadas e verificados quanto a normalidade utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov. Após atingir a premissa de normalidade, foi realizada a análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas, seguido do teste de Tukey para comparação par a par. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software *GraphPad Prism* versão 6.0 para o Windows.

### Índice pluviométrico

Os índices pluviométricos para o período de estudo foram obtidos à partir da Estação Agroclimatológica nº 87075, localizada na Universidade Guarulhos, *Campus* Centro, Guarulhos (SP).

### Seleção dos pontos de monitoramento

Os pontos de monitoramento foram escolhidos para se obter uma relação com o uso do solo, especialmente a densidade de ocupação urbana da bacia. Assim, foram selecionados 6 pontos representativos na Figura 1, segundo os seguintes critérios principais, com apoio de trabalhos de campo: pontos de monitoramento sem presença de ocupação; pontos com ocupação urbana crescente, e especialmente após receberem tributários que drenam áreas urbanizadas; pontos acessíveis; e

ponto extremo de jusante próximo à foz do rio Baquirivu-Guaçu.

O Ponto 1 (46°28'59.36"W/23°23'31.52"S) situa-se em área de mata da última edificação da bacia, tendo mais a montante a floresta relativamente bem preservada do Parque Estadual da Cantareira. Este ponto corresponde a uma nascente de água na margem direita do córrego.

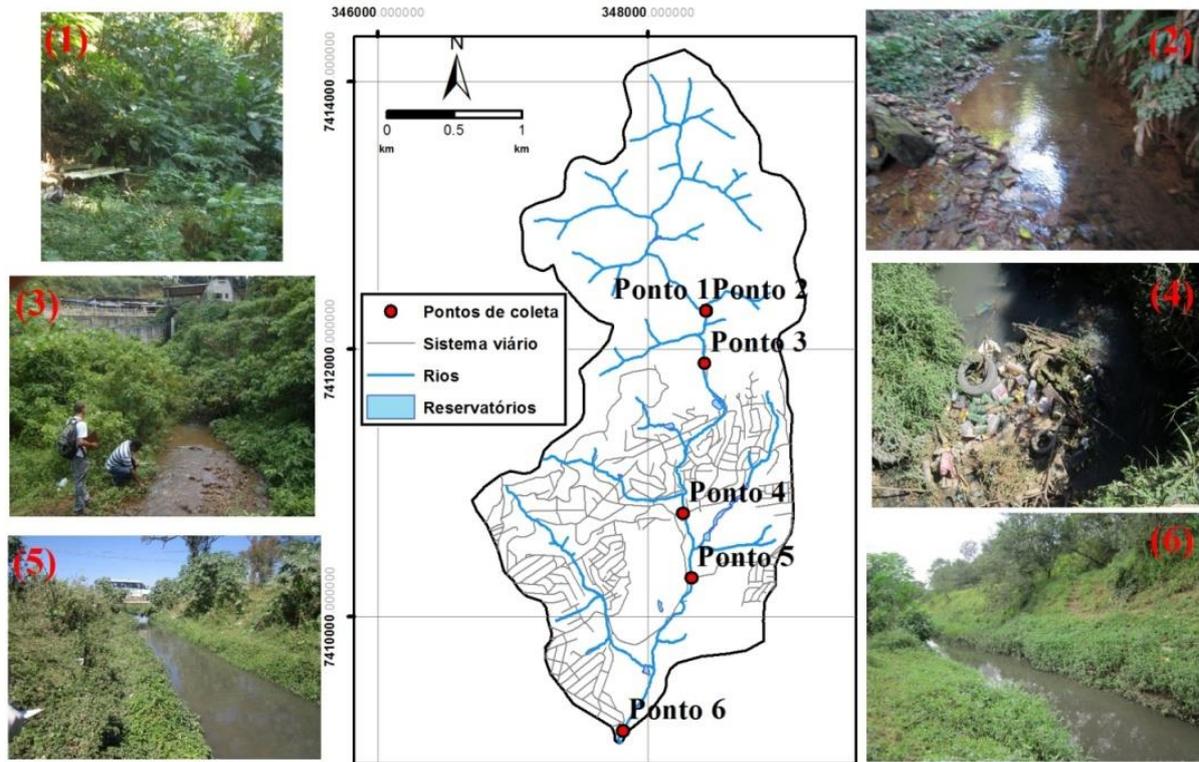
O Ponto 2, com as mesmas coordenadas do Ponto 1, situa-se a frente deste Ponto no próprio córrego.

O Ponto 3 (46°29'0.01"W/23°23'44.37"S) localiza-se em área de chácaras e de um clube de recreação (Clube do Alemão), ainda a montante da área urbana.

O Ponto 4 (46°29'6.03"W/23°24'20.81"S) localiza-se em área com alta densidade de ocupação urbana, recebendo a influência de dois afluentes que recebem águas servidas e dejetos da Vila União e Parque Primavera.

O Ponto 5 (46°29'4.04"W/23°24'36.54"S) localiza-se em área de pouca ocupação com presença de mata, chácaras e solo exposto, porém sofre influência da carga poluidora de montante e também de mais outros dois afluentes que passam em área urbanizada do Bairro do Bananal.

O Ponto 6 (46°29'22.34"W/23°25'13.56"S) localiza-se numa área de campo antrópico a poucos metros de sua foz no rio Baquirivu-Guaçu, correspondente portanto à somatória das cargas polidoras monitoradas em toda a bacia e ainda mais um afluente do lado oeste que passa em área urbana relativamente extensa do bairro Taboão (Jardim São Domingos e Jardim Santa Lídia) além do Jardim Santa Edwiges do Bairro da Invernada.



**Figura 1.** Pontos de monitoramento na Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra (BHCCS). Fonte: Porto (2013).

**Figure 1.** Monitoring points in the Capão da Sombra Stream Watershed. Source: Porto (2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

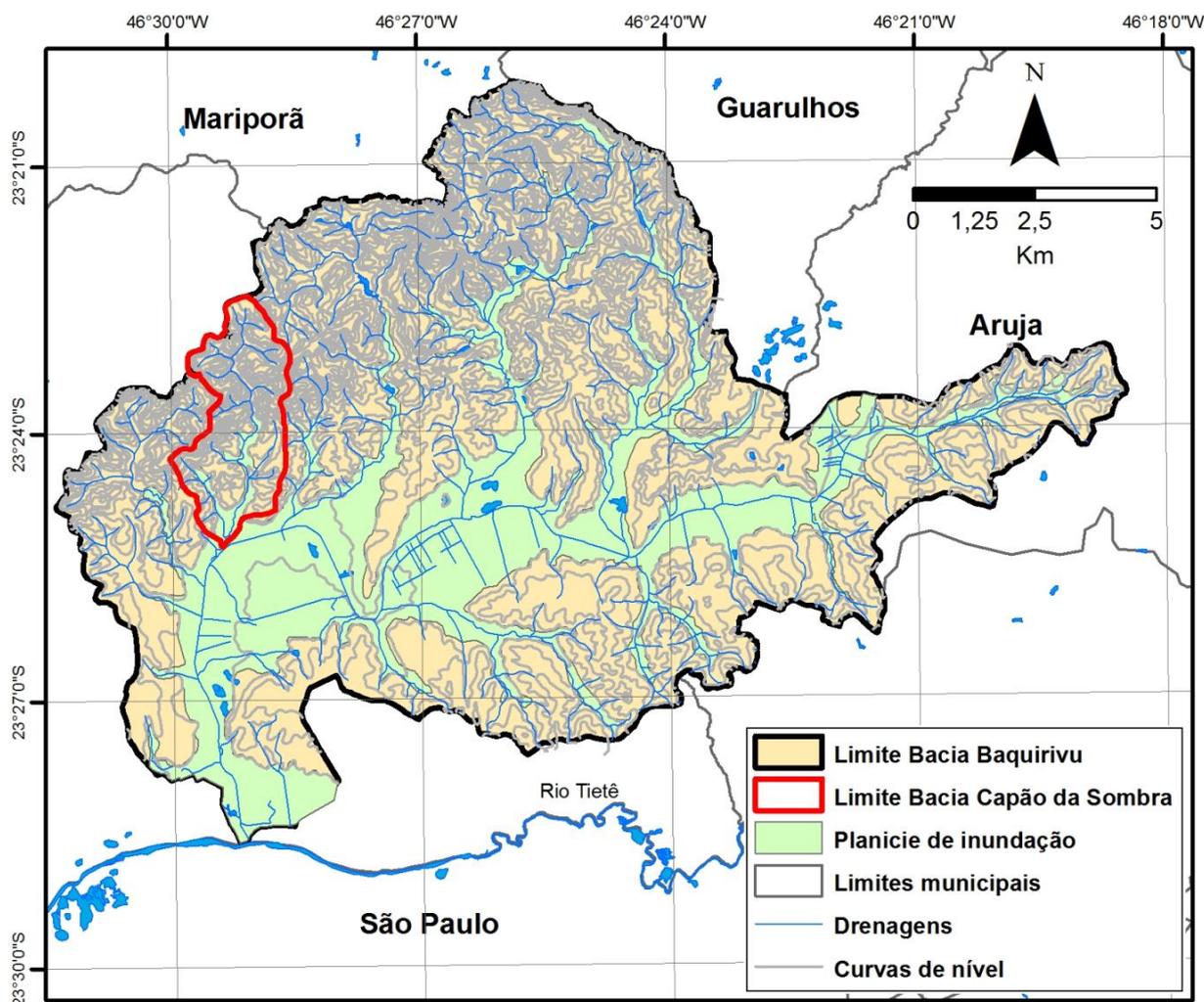
### Meio Físico

O levantamento das características geoambientais da área de estudo, com relação aos aspectos do meio físico e uso da terra, foi baseado na compilação e análise dos dados pré-existentes sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu- BHRBG, afluente do Rio Tietê, onde se encontra inserida a Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra- BHCCS, conforme pode ser visualizado na Figura 2 (CAMPOS, 2011).

Segundo Campos (2011), a BHCCS possui uma área de 7,6 km<sup>2</sup> com um comprimento total de 5.260 m e largura máxima de 2.400m. Suas nascentes encontram-se em altas altitudes, em área do Parque Estadual da

Cantareira, e atingem a planície do rio Baquirivu-Guaçu com uma declividade geral da ordem de 5,3 %. A bacia possui alta densidade de drenagem, com 1,96 km/km<sup>2</sup>.

A Tabela1 sintetiza as principais características do meio físico da Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra (BHCCS).



**Figura 2.** Bacia Hidrográfica Baquirivu-Guaçu, com destaque da Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra. Fonte: Campos (2011)

**Figure 2.** Baquirivu-Guaçu Stream Watershed, with emphasis on the Capão da Sombra Stream Watershed. Source: Campos (2011).

**Tabela1.** Características do meio físico, sintetizadas da Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra (BHCCS).

**Table 1.** Physical characteristics, synthesized from the Capão da Sombra Stream Watershed.

Meio físico	Características
Litologias	Predomínio de rochas metamórficas dos tipos filitos e metabásicas; vulcânicas (granitos) e sedimentos aluvionares.
Formas de relevo	Montanhas, morros altos, morrotes e planícies fluviais.
Solos	Predominam cambissolos e latossolos vermelho-amarelados, secundariamente gleissolos.
Drenagens	Predomina padrão de drenagem dentrítico a subparalelo, de alta densidade. Secundariamente, ocorrem vales mais amplos, por vezes meandrantés, com densidade de drenagem baixa.

**Fonte:** Adaptado de Andrade et al. (2008).

**Source:** Adapted from Andrade et al. (2008)

### Uso da terra

A Figura 3 apresenta o mapa de uso da terra da Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra, que possui área de 7,6 km<sup>2</sup>. As principais classes de uso da terra reconhecidas na área de estudo são representadas, principalmente, por coberturas mata (54,51% da área da bacia); capoeira (7,23%); solo exposto (3,89%); reflorestamento (1,22%); chácara (2,22%); cultivo (0,25%); galpão (0,83%); corpos de água, incluindo rios e reservatórios (0,28%); ocupação urbana de alta densidade (16,69%); ocupação urbana de média densidade (4,34%); e ocupação urbana de baixa densidade (1,09%).

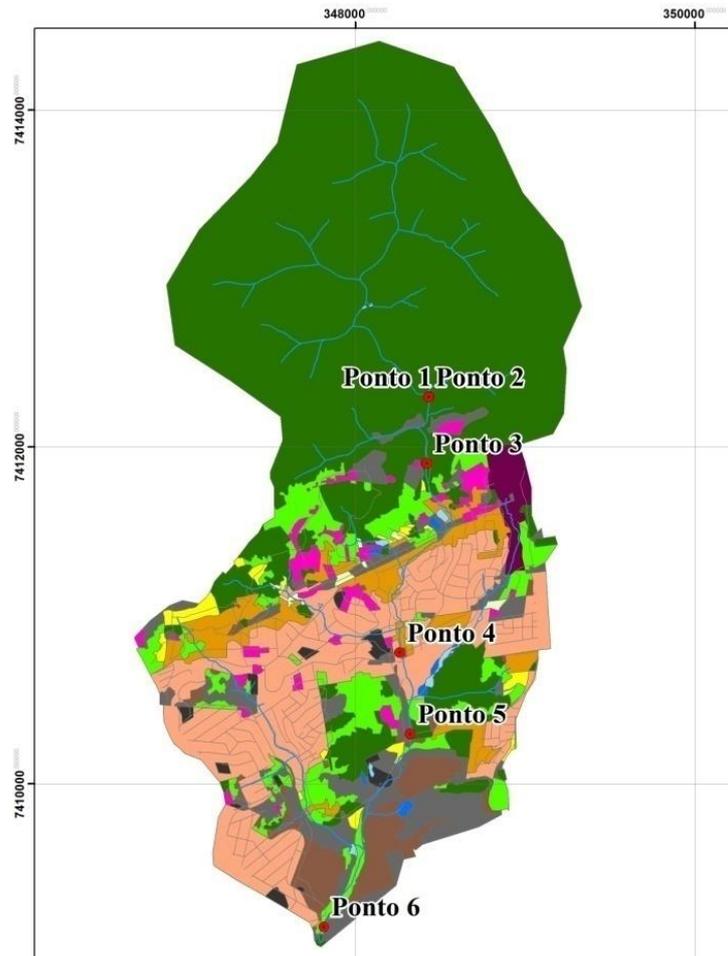
A distribuição dos pontos de amostragem, em relação ao uso da terra, pode ser assim definida: pontos P1, P2 e P3 distribuem-se nas partes de mata; o ponto P4 está localizado em área de ocupação urbana de alta densidade; os pontos P5 e P6 estão associados à área de campo antrópico.

### Correlação Fósforo total e Área produtora de Esgoto (APE)

Segundo Decreto nº 10.755 de 22 de novembro de 1977 (SÃO PAULO, 1977) que dispõe sobre o enquadramento dos corpos d'água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976 têm-se que o Rio Baquirivu Guaçu e todos os seus afluentes, como o Córrego Capão da Sombra, até a confluência com o Rio Tietê, no Município de Guarulhos são enquadrados como classe 3. Segundo Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), o teor de fósforo total para ambiente lótico é 0,15 mg.L<sup>-1</sup> para classe 3.

A Figura 4 apresenta as médias e os desvio padrão das medidas de fósforo total

(mg.L<sup>-1</sup>) realizadas em triplicata para os pontos de monitoramento P1 a P6, entre setembro de 2011 e julho de 2012. A ANOVA indica que as concentrações de fósforo são diferentes entre os pontos ( $F = 4,003$ ,  $p = 0,0008$ ) e que essa diferença ocorre principalmente entre os pontos 1, 2 e 3 e os pontos 4, 5 e 6, como demonstrado pelas letras **a** e **b**, respectivamente, na Figura 4.

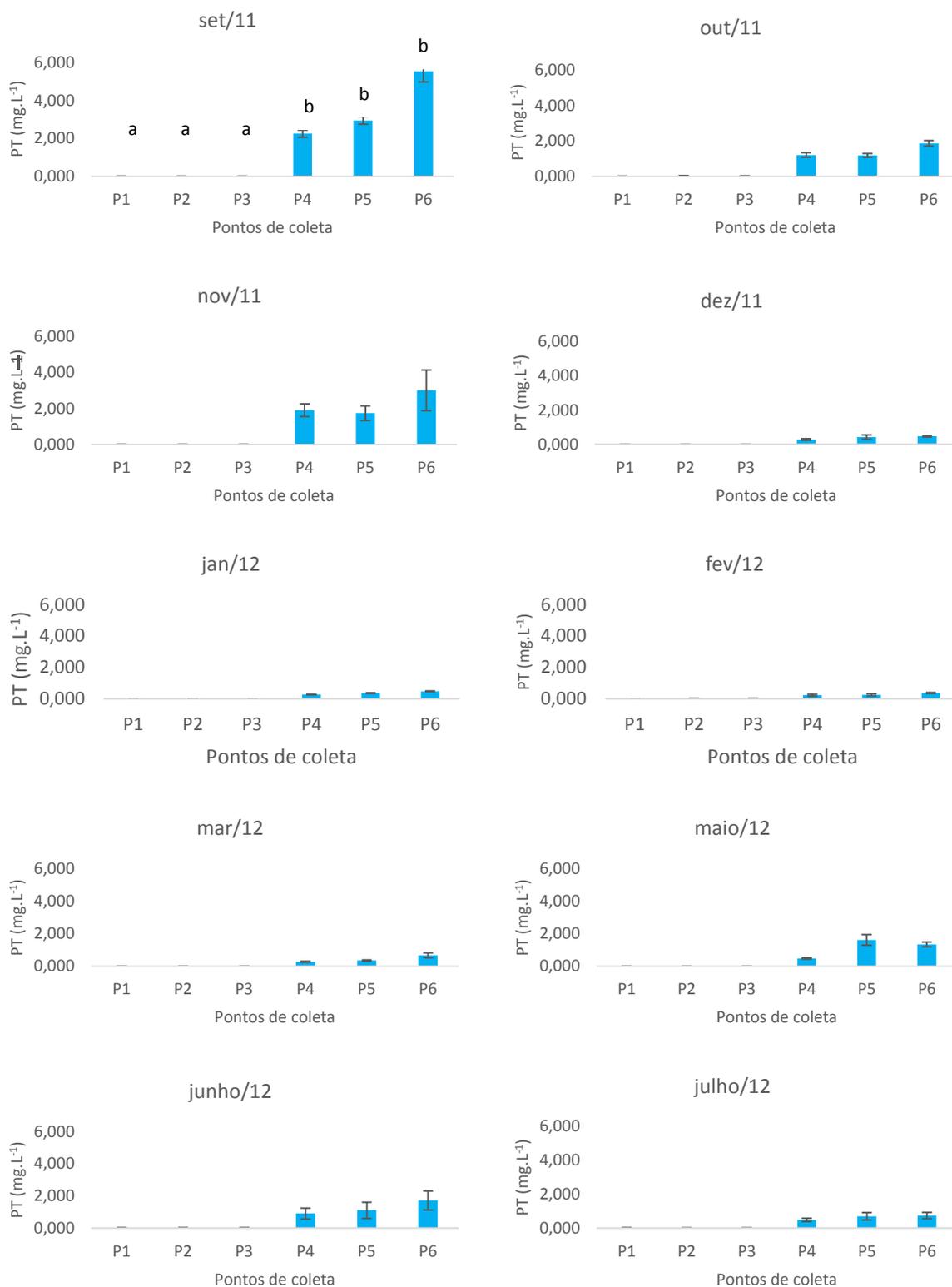


Área das classes de uso do solo, em 2012 (%)



**Figura 3.** Uso da terra da Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra. Fonte: Atualizado de Porto (2013).

**Figure 3.** Land use of the Capão da Sombra Stream Watershed. Source: Updated Porto (2013).



**Figura 4.** Avaliação espaço temporal do Fósforo Total (PT) das águas (média  $\pm$  desvio padrão) na Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra (BHCCS) no período de 09/2011 a 07/2012. As letras **a** e **b** indicam os pontos que são estatisticamente diferentes segundo a ANOVA.

**Figure 4.** Time domain of the total phosphorus (TP) of the waters (mean  $\pm$  standard deviation) in the Capão da Sombra Stream Watershed from 09/2011 to 07/2012. The letters **a** and **b** indicate the points that are statistically different according to the ANOVA.

Os valores médios observados na Figura 4 ilustram um aumento crescente no aporte de fósforo total ao corpo hídrico de montante a jusante, ou seja, do ponto P1 ao ponto P6 foram obtidos valores elevados de coeficientes de variação, especialmente para os pontos P4, P5 e P6, devido principalmente à contribuição de efluentes domésticos, e por terem sido realizados em diferentes estações do ano. O nível de significância das medidas de fósforo total dos testes utilizados foi  $p < 0,05$  (5%). Os valores médios dos pontos P1, P2 e P3 apresentaram valores médios abaixo de  $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$ , limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para corpos hídricos de classe 3; no entanto, todas as médias dos pontos P3, P4 e P5 apresentaram-se bem superiores ao estabelecido pela legislação.

Para efeito de correlação com as medidas do monitoramento e tendo em vista a relação destas medidas com a contaminação das águas do córrego pelo esgoto doméstico, foram determinadas as somatórias das classes urbanas de ocupação da terra. As classes produtoras de esgoto (APE) correspondem às áreas urbanizadas de alta, média e baixa densidade, como pode ser visto na Tabela 2 que apresenta os valores em porcentagem das diferentes classes de uso e ocupação da bacia referente a cada ponto de monitoramento. Os pontos 1, 2 e 3 correspondem ao monitoramento em área de mata.

**Tabela 2.** Porcentagens (%) das áreas de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Córrego Capão da Sombra (BHCCS) relativas aos pontos de monitoramento.

**Table 2.** Percentages (%) of the land use areas in the Capão da Sombra Stream Watershed regarding the monitoring points

Categorias	P1-2	P3	P4	P5	P6
Mata	100	97,7	75	65,18	51,64
Capoeira	---	0,6	4,89	6,9	8,51
Campo antrópico	---	1,3	2,95	4,06	8,34
Água	---	---	0,13	0,3	0,33
Ocupação urbana de alta densidade	---	---	9	11,17	18,19
Ocupação urbana de média densidade	---	---	4,15	4,64	5,27
Ocupação urbana de baixa densidade	---	---	0,5	0,67	1,28
Galpão	---	---	0,53	0,44	0,98
Chácara	---	0,4	3,03	2,73	2,58
Cultivo	---	---	0,34	0,38	0,29
Reflorestamento	---	---	0,11	1,9	1,45
Solo exposto	---	---	0,08	0,16	0,02

---

Clube	---	---	---	1,47	1,12
-------	-----	-----	-----	------	------

---

Fonte: Porto (2013)

Os pontos P1, P2 e P3 apresentam valores de fósforo total em suas águas inferiores a  $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$  com a tendência de menor valor para P1. Este comportamento está coerente com o fato desses pontos se situarem em área de mata nativa, respectivamente nascente, córrego a montante e córrego a jusante do empreendimento recreativo, não recebendo carga de esgoto significativa.

Com o avanço da bacia, é observado que os pontos P4, P5 e P6 apresentam as maiores medidas, em geral superiores a  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  mostrando influência do uso urbano da terra. Segundo Piveli e Kato (2005), o fósforo aparece nas águas devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. Considerando que este córrego foi enquadrado como de Classe 3, com um valor máximo permitido de fósforo total de  $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$  para ambiente lótico, segundo Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), verifica-se que as águas nos pontos 4, 5 e 6 ultrapassam consideravelmente este limite. Com a análise, o nível de trofiado Córrego Capão da Sombra, desde sua nascente até sua foz no rio Baquirivu-Guaçu, observa-se uma drástica alteração em sua composição, conforme pode ser verificado na figura 5. Nos pontos P1, P2 e P3, encontra-se um nível oligotrófico a ultraoligotrófico, com predominância deste último; ou seja, na sua nascente e proximidades tem-se um corpo hídrico limpo, com produtividade muito baixa e concentrações de nutrientes insignificantes, e não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água. No entanto, para os pontos P4, P5 e P6, onde a ocupação urbana começa a ser significativo, o nível de trofia das suas águas

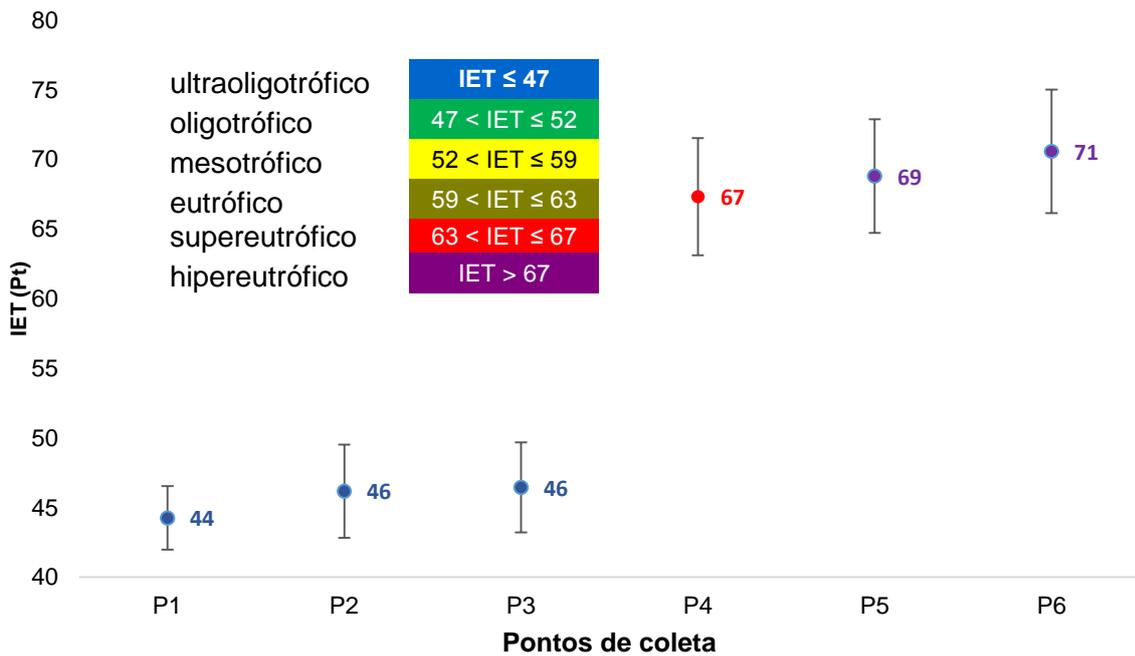
dá um salto para níveis supereutróficos a hipereutróficos, ou seja, trata-se de um corpo hídrico com alta produtividade e que foi afetado por elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes devido à falta de saneamento básico na região.

Estudos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande em Guarulhos - SP, apresentaram resultados similares, pois na zona rural foram observadas condições oligotróficas, enquanto que nas áreas urbanas foram observadas condições de mesotrofia a hipereutrofia (SAAD et al., 2013).

Os pontos P4, P5 e P6 apresentam uma crescente área produtora de esgoto (APE) correspondente às áreas urbanizadas de alta, média e baixa densidade (figura 6), e esta correlação é direta, pois na região não existe coleta de esgoto. Ao se correlacionar os valores médios de fósforo total para cada ponto de monitoramento em função da porcentagem de área produtora de esgoto ou da porcentagem de área de mata, observa-se uma excelente correlação para ambos, como pode ser observado na Figura 6, indicando que quanto maior a área ocupada, maior será a quantidade de esgoto no corpo hídrico, e maior será o teor de fósforo total presente nas águas. Esses resultados vêm de encontro com Souza e Gastaldini (2014) que relacionando uso e ocupação do solo com qualidade das águas em Santa Maria, RS, observaram que baixas concentrações de oxigênio dissolvido (OD), e elevados níveis de condutividade e concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{DBO}_5$ ), fosfato, nitrato e *Escherichia coli*, estavam associadas a áreas com maior

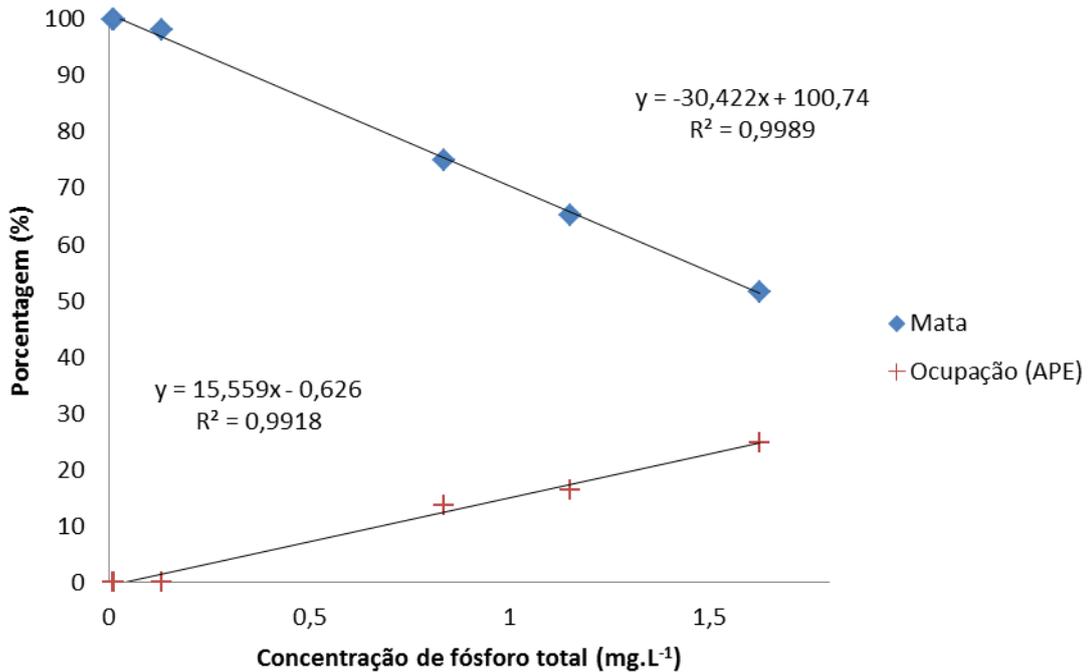
número de habitantes e percentual de impermeabilização.

Cabe destacar que de conforme apresentado na Tabela 2, menos de 1% da área estudada refere-se ao cultivo e, portanto, o fósforo proveniente de um possível uso de fertilizantes levando a um aporte de fósforo como efeito da poluição difusa é desprezível.



**Figura 5.** Variação do Índice de Estado Trófico Fósforo Total. IET(Pt) em função dos diferentes pontos de coleta no período de set/2011 a ago/2012.

**Figure 5.** Variation of the Trophic State Index for Total Phosphorus TSI (Pt) in function of the different sampling points in the period of Sep / 2011 to Aug / 2012.



**Figura 6.** Relação entre porcentagem de ocupação da terra (APE) ou mata frente ao teor de fósforo total nas águas superficiais da bacia.

**Figure 6.** Relationship between land occupation percentage or forest in relation to the total phosphorus content in the surface waters of the watershed.

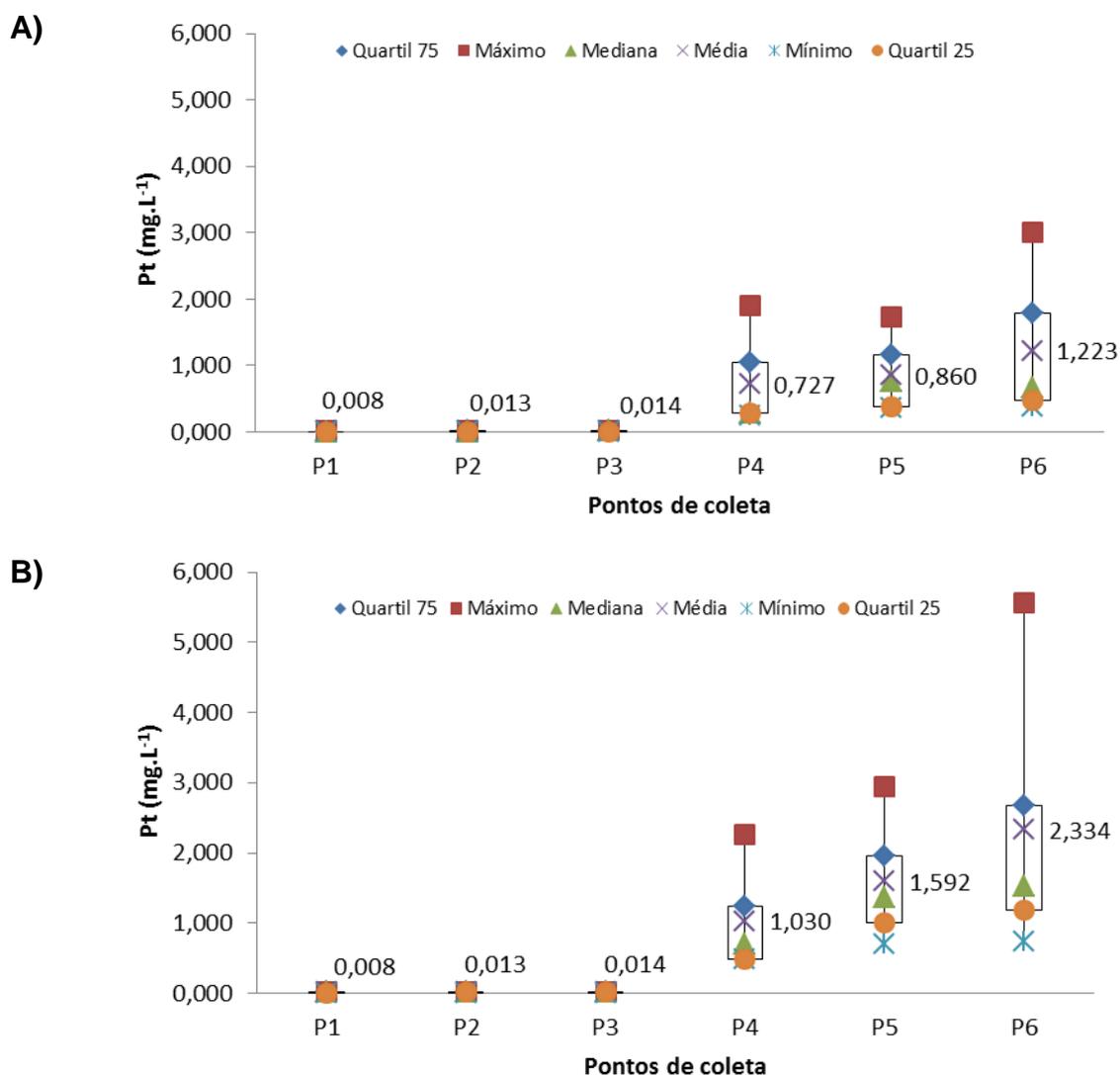
Bollmann e Marques (2006) observaram resultados similares ao avaliarem a influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica, nitrogênio e fósforo em rios urbanos em locais com baixa cobertura sanitária. Segundo os autores, a partir de uma condição natural não urbanizada, mesmo pequenas densidades populacionais são capazes de alterar significativamente a qualidade das águas. A relação obtida na Figura 6 permite estimar a partir do teor de fósforo total em um rio urbano qual a ocupação territorial com baixa ou nenhuma cobertura sanitária.

Durante o período de setembro de 2011 a julho de 2012, o índice pluviométrico médio para o período seco (abril a setembro) foi de 70 mm, enquanto que para o período chuvoso (outubro a março) foi de 182 mm. As quantidades de fósforo total nos corpos hídricos demonstram o efeito entre um período seco e

chuvoso. De acordo com a Figura 7, observa-se que nos pontos P1, P2 e P3, as análises de fósforo em períodos secos e chuvosos não são afetadas pelo índice pluviométrico, pois apresentam um estado ultraoligotrófico e, portanto estão ecologicamente equilibrados. No entanto, para os pontos P4, P5 e P6 observa-se que no período de maior índice pluviométrico, o teor de fósforo total é inferior quando comparado com o período de menor índice pluviométrico, devido principalmente ao efeito da diluição. Em estudo realizado na microbacia do Ribeirão dos Marins, afluente do Rio Piracicaba, SP também foi observado alterações significativas entre os períodos seco e úmido para o fósforo, com valores inferiores no período úmido (LUCAS; FOLEGATTI; DUARTE, 2010). Batista et al. (2014) trabalhando com açude tiveram o Índice de Estado Trófico Médio das águas do reservatório

classificado em mesotrófico, para o período das chuvas e em eutrófico, no período de estiagem. Porém Franco e Hernandez (2014) obtiveram valores de fósforo total superiores no período

chuvoso, em todos os pontos analisados na microbacia do Coqueiro, noroeste do Estado de São Paulo, quando comparado ao período da seca.



**Figura 7.** Boxplot da concentração de fósforo total para os pontos P1 a P6. A) Período chuvoso, B) Período seco.

**Figure 7.** Boxplot of the total phosphorus concentration for points P1 to P6. A) Rainy period, B) Dry period.

### CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que o fósforo se comporta como eficiente indicador de contaminação por esgoto doméstico. Tais

resultados apontam contaminação crescente de montante para jusante, na medida em que predominam as áreas urbanas, consideradas potencialmente produtoras de esgoto (APEs). As análises permitiram constatar que há dois

grupos distintos de qualidade de águas que se manifestam nas análises dos pontos de monitoramento. As análises dos Pontos P1, P2 e P3 mostram um estado ultraoligotrófico a oligotrófico e as dos Pontos P4, P5 e P6, um estado hipereutrófico a supereutrófico revelando a forte influência de APEs crescentes nas sub-bacias monitoradas nos Pontos P4, P5 e P6.

Esta análise também possibilitou constatar o importante papel da mata como serviço ecossistêmico de regulação, conservando a boa qualidade da água do Córrego Capão da Sombra na área preservada, correspondente à Mata Atlântica, assim como da coleta e tratamento de esgoto, evitando o seu lançamento nos corpos d'água.

Não se pode ignorar que a urbanização desordenada na região metropolitana de São Paulo, aqui neste artigo, exemplificada pelo Município de Guarulhos, vem causando intenso impacto no meio ambiente, provocando a degradação dos recursos hídricos, exigindo maiores investimentos em tratamento das águas poluídas, neste cenário a qualidade da água permanece preservada a partir do momento em que estão distantes dos grandes centros urbanos. Essa distância eleva os custos para a captação da água devido ao seu transporte até o local de consumo, tornando cada vez mais oneroso o processo, seja de captação seja de tratamento.

Assim, o presente trabalho mostra que o córrego Capão da Sombra, bem como os demais córregos da periferia norte de Guarulhos, vem sendo alcançados pela expansão urbana que, sem infraestrutura adequada, sofrem a degradação das águas contaminadas pelo esgoto. Neste sentido, ressalta a necessidade da rede de coleta e construção de uma Estação de Tratamento de

Esgoto – ETE, ou de um tronco coletor para uma ETE, no trecho final desse tributário, antes de sua confluência com o Rio Baquirivu Guaçu.

Este quadro de contaminação do córrego Capão da Sombra é coerente com as condições de hipereutrofia encontradas nas avaliações do IET referentes às áreas urbanas localizadas na margem direita da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, no Município de Guarulhos.

## REFERÊNCIAS

- ABE, D. S.; TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T., TUNDISI, J. E. M.; SIDAGIS GALLI, C.; TEIXEIRA-SILVA, V.; AFONSO, G. F.; VON HAEHLING, P. H. A.; MOSS, G.; MOSS, M. **Monitoramento da qualidade ecológica das águas interiores superficiais e do potencial trófico em escala continental no Brasil com o uso de tecnologias inovadoras.** In: Tundisi, J.G., Matsumura Tundisi, T.; Sidagis Galli, C. (orgs) Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias para gerenciamento e controle. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, 2006, p. 225-239.
- ANDRADE, M. R. M; OLIVEIRA, A. M. S.; QUEIROZ, W.; SATO, S. E.; BARROS, E. J.; BAGATTINI, G.; ALEIXO A. A. **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. p. 25-37.
- APHA. **Standard Methods for the Evaluation of water and wastewater.** 19th Ed., Washington D.C., USA, 1995,1106p.
- BATISTA, A. A.; MEIRELES, A. C.M.; ANDRADE, E.M.; IZIDIO, N. S. C.; LOPES, F. B. Sazonalidade e variação espacial do índice de

estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 8, n. 1, 2014, p. 39-48.

BERÉ, C.M., **Legislação Urbanística: A Norma e os fatos nas áreas de proteção aos mananciais da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, 2005, 213p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. BOLLMANN, H. A.; MARQUES, D. M. Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica, carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, 2006, p. 175-184.

BRASIL. **Resolução CONAMA 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.

CAMPOS, D, C. **Inundações: problemas ou fenômenos naturais? A ocupação das várzeas dos principais Rios do Alto Tietê e a reprodução deste modelo urbano na Bacia do Rio Baquirivu Guaçu, Guarulhos, SP**. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) - Universidade Guarulhos, 2011, 229 p. Disponível em: <<http://tede.ung.br/handle/123456789/136>> Acesso em: ago. 2016.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006**. São Paulo: Série Relatórios CETESB, 2007.

DERSA, **Rodoanel Mário Covas, Trecho Norte. Estudos Ambientais**, 2010. Disponível em:

<[http://imagenature.dominiotemporario.com/doc/EA\\_Rodoanel\\_2010\\_11\\_17.pdf](http://imagenature.dominiotemporario.com/doc/EA_Rodoanel_2010_11_17.pdf)> Acesso em: out. 2016.

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

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Qualidade de água na microbacia do Coqueiro, noroeste do Estado de São Paulo. **Water Resources and Irrigation Management**, v.1, n.1, 2012, p.61-69.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia, 2004. 235 p. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.

LUCAS, A. A. T.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, 2010, p. 937-943.

OLIVEIRA, A. M. S.; ANDRADE, M. R. M.; SATO, S. E.; QUEIROZ, W. **Bases Geoambientais para um Sistema de Informações Ambientais do Município de Guarulhos**. Projeto de Pesquisa: 2006 e 2009. Processo FAPESP: 05/57965-1. Relatório Final, 2009.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-químicos**. São Paulo: ABES. 2016, 285 p.

PORTO, A. A. **Uso do solo e contaminação por esgoto do Córrego Capão da Sombra, Guarulhos, SP**. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) - Universidade Guarulhos (UnG), 2013, 89 p.

ROCHA, S. A.; LOUGON, M. S.; GARCIA, G. O. Influência de Diferentes Fontes de Poluição no

Processo de Eutrofização. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Grupo Verde de Agricultura Alternativa (GVAA) ISSN 1981-8203 (Mossoró – RN – Brasil) v.4, n.3, 2009, p. 61 - 69 .

SAAD, A. R.; VARGAS, R. R.; LOPES, J. C.; ARRUDA, R. O. M.; QUEIROZ, W. Índice de estado trófico da bacia hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande, Guarulhos (SP): análise comparativa entre as zonas rural e urbana. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 32, n. 4, 2013, p.611-624.

SÃO PAULO. **Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto no 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 1977.

SHERMAN, G. E.; SUTTON, T.; BLAZEK, R.; HOLL, S.; DASSAU, O.; MORELY, B.; MITCHELL, T; LUTHMAN, L. **Quantum GIS User Guide** - Version 2.8 "Wien". 2015. Acessado em: março de 2015. Disponível em: <<http://docs.qgis.org/2.8/pdf/en/QGIS-2.8-UserGuide-en.pdf>> Acesso em: mar. 2015.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, 2014, p. 263-274.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.1996, 243p.

THOMASNN, R. V.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control**. Harper Internacional Edition, 1987, 644 p.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**, v.22, n.63, 2008, p.1-16.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Carlos: RiMa, 2005, 2 ed. 248 p.