



Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"  
Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

---

Engenharia Civil e Ambiental

**ALESSANDRA MALTA MATTOS BRANCO**

**INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO  
SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA: SUBSÍDIO À  
GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DA SERRA DA MANTIQUEIRA  
(UGRHI-1)**

Bauru  
2014

**ALESSANDRA MALTA MATTOS BRANCO**

**INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO  
SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA: SUBSÍDIO À  
GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DA SERRA DA MANTIQUEIRA  
(UGRHI-1)**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Isabel Cristina de Barros Trannin

Bauru  
2014



Branco, Alessandra Malta Mattos.

Influência do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água: subsídio à gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1) / Alessandra Malta Mattos Branco, 2014  
108f. : il.

Orientador: Isabel Cristina de Barros Trannin

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2014

1. Gestão de recursos hídricos. 2. Poluição das águas. 3. Índice de qualidade da água. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE ALESSANDRA MALTA MATTOS BRANCO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 15 dias do mês de dezembro do ano de 2014, às 09:30 horas, no(a) Sala do Departamento de Engenharia Civil, do Câmpus de Guaratinguetá, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, Prof. Dr. MARCELO DOS SANTOS TARGA do(a) Departamento de Ciências Agrárias / Universidade de Taubaté, Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMOES do(a) Dep de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de ALESSANDRA MALTA MATTOS BRANCO, intitulada "USO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA SERRA DA MANTIGUEIRA (UGRHI-1)". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Profa. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN

  
Prof. Dr. MARCELO DOS SANTOS TARGA

  
Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMOES

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DA ALUNA:  
**ALESSANDRA MALTA MATTOS BRANCO**

DE: "USO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA SERRA DA  
MANTIQUEIRA (UGRHI-1)."

PARA: INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO  
SOLO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA -  
SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS  
HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA  
SERRA DA MANTIQUEIRA (UGRHI-1)

---

---

---

Bauru, 15 de dezembro de 2014.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Bauru

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Isabel", is written over the printed name.

Prof<sup>ª</sup>, Dr<sup>ª</sup>, Isabel Cristina de Barros Trannin

Orientadora



Faculdade de Engenharia de Bauru – Pós-graduação  
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 17033-360 Bauru - SP  
tel. (14) 3103-6108 spg@feb.unesp.br www.feb.unesp.br

Dedico este trabalho com muito amor, ao meu querido filho Pedro Henrique, que durante o meu tempo de estudos, superou com compreensão, paciência e carinho a nossa distância.

## AGRADECIMENTO

À professora Isabel Trannin por me orientar, por confiar em meu trabalho, pela paciência, amizade e dedicação durante todo este período e principalmente, por ser a pessoa que mais incentivou o meu retorno para a área acadêmica.

Ao meu filho, que me inspira e motiva em tudo o que eu faço.

A minha mãe, por todo companheirismo, carinho e auxílio, que foram essenciais e fazem parte de todas as minhas conquistas.

Ao Nélio Bastos pela amizade e grande apoio, com o qual, pude contar nestes “quase” dois anos.

Ao amigo Celso Catelani, pela contribuição e orientação neste estudo e nos trabalhos de campo.

Aos amigos da Unesp que, cada qual à sua maneira, fizeram parte da minha pós graduação: Bruno Zanella, Lívia Machado, David Drezza, Renivaldo Paulino e Silvia Castro.

Ao Prof. Silvio Simões, pelas contribuições.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Unesp.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.



## RECOMEÇAR

[...]

Não importa onde você parou,  
em que momento da vida você cansou,  
o que importa é que sempre é possível  
e necessário "Recomeçar"

[...]

Hoje é um bom dia para começar novos desafios.  
Onde você quer chegar?  
Ir alto.  
Sonhe alto,  
queira o melhor do melhor,  
queira coisas boas para a vida.  
Pensamentos assim trazem para nós  
aquilo que desejamos.

[...]

Paulo Roberto Gaefke

## Resumo

O monitoramento da qualidade da água é uma importante ferramenta de gestão de recursos hídricos, gerando informações estratégicas que podem auxiliar em processos de decisão das políticas públicas. Este estudo utilizou *softwares* livres (Quantum GIS<sup>®</sup> e MapWindow<sup>®</sup>), do Sistema de Informações Geográficas (SIG), para a determinação e avaliação de pontos de monitoramento de qualidade da água da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1), sob a influência de diferentes usos do solo. Para a determinação destes pontos foram considerados os critérios estabelecidos pela CETESB e as vias de acesso e esta seleção de pontos foi validada pelas análises laboratoriais de parâmetros que compõem o IQA. A implementação do SIG permitiu a determinação de 19 pontos de monitoramento de qualidade da água, dos quais, oito tiveram boa representatividade da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água, com potencial uso para o monitoramento da CETESB. Seis pontos foram alocados em nascentes e usados como referência de qualidade de água, bem como, os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, para rios de classe 2. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos que compõem o índice de qualidade da água (IQA) foram avaliados nos períodos chuvoso e de estiagem do ano de 2013. Entre os usos e ocupação do solo, a urbanização e as pastagens foram os que apresentaram maior impacto sobre a qualidade da água nos pontos de amostragem. Os parâmetros que mais contribuíram para a queda da qualidade da água foram *Escherichia coli*, fósforo total, nitrogênio total e turbidez, que em diversos pontos não atenderam a Resolução CONAMA 357/2005. O uso do IQA não se mostrou eficaz na avaliação da real condição da qualidade da água, que no período de estiagem apresentou “boa qualidade” em todos os pontos, mesmo com concentrações de *E. coli* da ordem de 23 vezes superior ao padrão da resolução. Este estudo também evidenciou que o uso de banco de dados georreferenciados manipulados por *softwares* livres pode subsidiar os órgãos públicos e privados na gestão de recursos hídricos, por meio da elaboração de mapas, que podem aumentar a precisão dos levantamentos de campo na seleção de pontos de monitoramento da qualidade da água.

**Palavras-chave:** gestão de recursos hídricos, poluição das águas, índice de qualidade da água, fósforo total, *Escherichia coli*, SIG

## Abstract

The monitoring of water quality is an important management tool of hydric resources, creating strategic information to assist in decision-making processes of public policy. This study used free software (Quantum GIS © and MapWindow©), Geographic Information System (GIS) for the determination and evaluation of the monitoring points for water quality in the Serra da Mantiqueira watershed (UGRHI-1) under the influence of the different land uses. To determine these points were considered the criteria established by the CETESB and access roads, and this selection of points was validated by laboratory analyzes of parameters that compose the WQI. The implementation of the GIS allowed the determination of 19 points of monitoring of the water quality, of which eight had good representation of the influence of the land use and occupation in the water quality, with potential use for monitoring by CETESB. Six points were allocated on water springs and used as a reference for the water quality as well as standards established by CONAMA Resolution 357/2005, rivers to class 2. The physical, chemical and biological parameters that compose the water quality index (WQI) were evaluated in wet and dry seasons of the 2013 year. Among the uses and land use, the urbanization and pastures showed the greatest impact on the water quality at the sampling points. The parameters that most contributed to the decline of the water quality were *Escherichia coli*, total phosphorus, total nitrogen and turbidity, which in many points not attended CONAMA Resolution 357/2005. The use of the WQI was not effective in assessing the actual condition of the water quality, which during the dry season showed "good quality" at all points, even with concentrations of *E. coli* in the order of 23 times the default resolution. This study also showed that the use of georeferenced database worked by free softwares can subsidize public and private agencies in managing water resources through mapping, which can increase the accuracy of field surveys at point selection monitoring of the water quality.

**Keywords:** water resources management, water pollution, water quality index, total phosphorus, *Escherichia coli*, GIS

## Índice de Figuras

Figura 1 - Usos mais restritivos da água em ordem de relevância. Fonte: ANA (2011). Portal PNQA ( <a href="http://pnqa.ana.gov.br">http://pnqa.ana.gov.br</a> ).....	10
Figura 2 – Principais unidades hidrográficas que compõem a bacia da Serra da Mantiqueira (SP).....	23
Figura 3 – Classificação das UGRHIs no estado de São Paulo quanto à vocação. Fonte: Adaptado de CETESB (2014).....	24
Figura 4 – Unidades de Gestão da bacia hidrográfica do Rio Grande, em destaque em vermelho, a UGRHI-1. Fonte: Adaptado de CBH-GRANDE ( <a href="http://www.grande.cbh.gov.br/">http://www.grande.cbh.gov.br/</a> ).....	25
Figura 5 – Rede de drenagem da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1). Fonte: IBGE (2008).....	26
Figura 6 – Rede hidrográfica da UGRHI-1, com suas principais drenagens dentro das duas unidades hidrográficas, Sapucaí-Mirim e Sapucaí-Guaçu. As setas determinam o sentido de fluxo das águas rumo à bacia do rio Grande em Minas Gerais. Fonte: CBH-SM (2012). .....	27
Figura 7 – Indicadores de disponibilidade hídrica na UGRHI-1. Fonte: CTPI (2012)..	28
Figura 8 – Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto do Município ICTEM (2011) para os municípios do estado de São Paulo, com destaque para a UGRHI-1 com os municípios de Campos do Jordão, São Bento do Sapucaí e Santo Antônio do Pinhal. Fonte: SMA (2013). .....	28
Figura 9 – Rede de esgoto existente e projetada na UGRHI-11. Fonte: SABESP (2012). .....	29
Figura 10 – Redes existentes e projetadas de atendimento de água na UGRHI -1. Fonte: Sabesp (2012). .....	30
Figura 11 - Mapa de localização da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1).....	33
Figura 12 – Relevo da Serra da Mantiqueira. Fonte: CBH-SM (2012). .....	34
Figura 13 – Floresta Ombrófila Densa Alta-Montana, no município de São Bento do Sapucaí (SP). .....	35

Figura 14 – Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana ou mata de pinhais em Campos do Jordão. Ao fundo pressão antrópica causada pelo cultivo de Eucalipto.....	35
Figura 15 – Campos de altitude com presença de vegetação graminóide e arbustiva. Ao fundo mata ombrófila densa em Campos do Jordão. ....	36
Figura 16 – Vegetação Ciliar, neste caso, mata secundária no Rio Sapucaí em Campos do Jordão. ....	36
Figura 17 – Rede hidrográfica da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1), com identificação dos rios principais. Fonte: Adaptado de CPLA (2014). ....	37
Figura 18 – Principais classes de solo da bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1):.....	38
Figura 19 - Coleta de amostras de água nas bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira: A) frasco contendo reagente; B) termômetro 0°C a 50°C; C) equipamento multiparâmetro e D) Oxímetro -equipamento para medir oxigênio dissolvido (OD). ....	41
Figura 20 - Faixas de IQA estabelecidas pela ANA. Fonte: ANA ( <a href="http://www.ana.gov.br">www.ana.gov.br</a> ). ....	44
Figura 21 – Mapa das principais sub-bacias hidrográficas da UGRHI-1 e seus respectivos rios.....	45
Figura 22 – Mapa de uso e ocupação do solo com a distribuição dos pontos de monitoramento de qualidade da água na UGRHI 1, gerado da análise do uso e ocupação do solo com potencial influência sobre a rede hidrográfica. ....	46
Figura 23 – Mapa das sub-bacias contribuintes de cada ponto de monitoramento de qualidade da água na UGRHI 1. ....	48
Figura 24 – Lavouras sem a adoção de práticas conservacionistas em terrenos declivosos na bacia da Serra da Mantiqueira.....	54
Figura 25 – Áreas de afloramentos rochosos cultivadas com banana na bacia da Serra da Mantiqueira.....	54
Figura 26 – Construções em encostas, município de Campos do Jordão, na bacia da Serra da Mantiqueira.....	55
Figura 27 – Áreas ocupadas por criação de gado e pastagens mal conduzidas na bacia da Serra da Mantiqueira.....	55
Figura 28 – Remanescentes de mata secundária, cultura de banana e pastagens degradadas em encostas no município de São Bento do Sapucaí (SP). ....	56

Figura 29 – Pastagens mal conduzidas em área de encostas com declive acentuado, à esquerda remoção da cobertura vegetal, à direita, processos erosivos, apresentando no município de Santo Antônio do Pinhal (SP). .....	56
Figura 30 - Perfil de ocupação em encosta na Serra da Mantiqueira, no município de São Bento do Sapucaí (SP). Foto: Marcos Henrique da Silva (2014). .....	57
Figura 31 - Sólidos dissolvidos totais e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. ....	59
Figura 32 - Processo erosivo em estágio avançado decorrente da remoção da cobertura vegetal em encosta, no município de Campos do Jordão (SP). .....	60
Figura 33 – Turbidez e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. *UNT: Unidade Nefelométrica de Turbidez .....	61
Figura 34 – Turbidez observada no ponto 02 no dia da amostragem do período chuvoso (A) e no período de estiagem (B) à jusante da ETE de Campos do Jordão (SP). .....	61
Figura 35 - Temperatura e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. ....	63
Figura 36 – Pontos que apresentaram a menor (A) e as maiores temperaturas (B, C e D). .....	63
Figura 37 - pH e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. ....	64
Figura 38 – Nitrogênio total e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. O N total varia com o pH: N total = até 3,7 (pH ≤ 7,5); N total = até 2,0 (pH 7,5 – 8,0); N total = até 1,0 (pH 8,0 a 8,5) e N total = até 0,5 (pH > 8,5). ....	65
Figura 39 – Presença de animais próximos às margens de córregos, utilizados para dessedentação de animais. Campos do Jordão (SP). .....	66
Figura 40 – Fósforo total e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. ....	67
Figura 41 – Processos erosivos com carreamento de material particulado e sedimentos para os cursos de água, durante período chuvoso, potencial fonte poluidora de fósforo. Campos do Jordão (SP). .....	68

Figura 42 - Oxigênio dissolvido e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. ....	69
Figura 43 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. ....	70
Figura 44 - <i>Escherichia coli</i> e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas quatro sub-bacias analisadas. ....	71

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Classes e Usos para água doce. Fonte: Resolução CONAMA 357/2005.....	9
Tabela 2 - Parâmetros indicadores de qualidade da água utilizados pela CETESB para o cálculo do IQA e respectivos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 2. ....	42
Tabela 3 – Parâmetros utilizados no cálculo do IQA com seus respectivos pesos. Fonte: Adaptado de ANA ( <a href="http://www.ana.gov.br">www.ana.gov.br</a> ) .....	44
Tabela 4 – Índice de Qualidade da Água (IQA) dos 20 pontos amostrados na bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1) no período chuvoso (fevereiro) e no período de estiagem (junho) e sua classificação em relação à qualidade de acordo com a determinação da CETESB. ....	73



## Sumário

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
3.1 POLUIÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA .....	4
3.2 PANORAMA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL.....	6
3.3 ENQUADRAMENTO DOS CORPOS DE ÁGUA NO BRASIL.....	7
<i>Resolução CONAMA 357/2005</i> .....	8
3.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) .....	10
3.5 PARÂMETROS QUE COMPÕEM O IQA.....	11
<i>Parâmetros Físicos</i> .....	11
<i>Parâmetros químicos</i> .....	13
3.6 MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	17
3.7 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	19
<i>Influência da cobertura vegetal na qualidade dos recursos hídricos</i> .....	20
<i>Influência da agropecuária na qualidade dos recursos hídricos</i> .....	20
3.8 USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA .....	21
3.9 BACIA DA SERRA DA MANTIQUEIRA (UGRHI-1).....	22
3.10 HIDROGRAFIA DA BACIA DA SERRA MANTIQUEIRA .....	25
3.11 SANEAMENTO NA BACIA DA SERRA DA MANTIQUEIRA .....	28
3.12 USO DO SOLO NA BACIA DA SERRA DA MANTIQUEIRA .....	31
3.13 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA UGRHI-1 .....	32
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO - A BACIA DA SERRA DA MANTIQUEIRA (UGRHI-1).....	33
<i>Geologia e geomorfologia da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1)</i> .....	34
<i>Cobertura vegetal da bacia da Serra da Mantiqueira</i> .....	34
<i>Hidrologia da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1)</i> .....	36
<i>Hidrografia da bacia da Serra da Mantiqueira</i> .....	37

<i>Pedologia da bacia da Serra da Mantiqueira</i> .....	38
4.2 METODOLOGIA APLICADA A PROPOSIÇÃO DE REDE DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA..	39
<i>Aplicação do SIG no mapeamento da qualidade da água</i> .....	40
<i>Proposição de rede de monitoramento</i> .....	40
4.3 METODOLOGIA DE COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DA SERRA DA MANTIQUEIRA .....	40
4.4 PARÂMETROS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	41
4.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) .....	43
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
5.1 PONTOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA SELECIONADOS.....	45
5.2 PARÂMETROS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS .....	58
5.3 IQA DAS BACIAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA.....	73
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>
<b>9 ANEXOS.....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui uma reserva hídrica abundante, em torno de 13% da água doce do planeta, entretanto, concentrada em áreas que não atingem a maioria da população, tendo em vista que, aproximadamente 80% concentra-se na Amazônia e o restante disponível, encontra-se com a qualidade comprometida, como demonstram estudos de qualidade da água em diversas bacias hidrográficas espalhadas pelo país (ANA, 2013a). De maneira geral, a diminuição da qualidade da água está relacionada ao crescimento progressivo da população, ao uso inadequado do solo para o desenvolvimento de atividades produtivas e ao saneamento básico deficiente, com lançamento de esgotos diretamente em cursos d'água.

Embora o Brasil seja considerado a 7<sup>o</sup> maior economia do mundo, ainda apresenta sérios problemas relacionados à falta de saneamento básico, principalmente, devido à disposição de esgotos *in natura* nos corpos d'água. Diante desta situação, em 2011, o Brasil ocupou a 112<sup>o</sup> posição do Índice de Desenvolvimento do Saneamento, num ranking de 200 países, obtendo médias inferiores as de países com renda média mais baixa, como o Norte da África e o Oriente Médio. Esse baixo índice de tratamento de esgoto tem sido apontado como um dos maiores empecilhos para o desenvolvimento econômico e social do Brasil. Em 2012, as redes coletoras atendiam cerca de 69,4% dos esgotos gerados, dos quais somente 38,6% eram tratados antes de serem dispostos nos corpos d'água (CEBDS, 2014).

Neste contexto, o monitoramento da qualidade da água deve ser visto como um instrumento importante de gestão dos recursos hídricos, gerando informações estratégicas, que auxiliam nos processos decisórios das políticas públicas, visando a adoção de medidas específicas de controle de impactos ambientais e de diminuição de riscos à saúde pública.

A bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira possui a menor área entre as 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos hídricos (UGRHs) do estado de São Paulo, entretanto, apresenta grande importância preservacionista, pois faz parte do bioma de

mata atlântica, decretado Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira de 1988 e considerado insubstituível desde 1993 pela UNESCO (2011). Nesse contexto, este bioma também foi considerado como um dos maiores repositórios de biodiversidade do planeta (Varjabedian, 2010), onde a Serra da Mantiqueira ocupou o 8º lugar na lista dos patrimônios insubstituíveis do planeta (Saout et al., 2013).

De acordo com o Plano de Bacias da Serra da Mantiqueira, Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos - UGRHI-1 (CBH-SM, 2012), os principais problemas encontrados na região estão relacionados à conservação e preservação dos recursos hídricos, à falta de projetos ambientais, monitoramento e gestão de recursos naturais. A bacia da Serra da Mantiqueira possui uma elevada carga poluidora, em especial por falta de tratamento adequado dos resíduos gerados e disposição destes nos cursos d'água, sendo imprescindível o desenvolvimento de estudos mais detalhados sobre a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água.

Apesar de todo o esforço do Comitê das Bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira (CBH-SM) para conseguir implantar ações de intervenção, que visem à preservação dos recursos naturais e o melhoramento dos níveis de saneamento básico desta bacia, estas ações só poderão ser realizadas de forma efetiva, com base em um mapeamento e classificação das sub-bacias hidrográficas principais e das contribuintes da bacia da Serra da Mantiqueira, contendo um levantamento criterioso dos pontos, nos quais a vulnerabilidade dos corpos hídricos aos processos de degradação e poluição merecem maior atenção. Para que o conjunto de ações, possa refletir de forma efetiva na bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira, é necessário o manejo integrado, considerando as peculiaridades de cada sub-bacia.

Este projeto fez parte de um amplo projeto intitulado "Implantação de um Sistema de Informações Geográficas da Bacia Hidrográfica da Serra da Mantiqueira - UGRHI-I, como Instrumento de Gestão Recursos Hídricos" financiado pelo Fehidro.

Neste estudo foi realizada a avaliação da qualidade da água das bacias da Serra da Mantiqueira sob a influência de diferentes usos e ocupação do solo, utilizando ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a proposição de pontos de monitoramento de qualidade da água, validados pelas análises laboratoriais de parâmetros que compõem o IQA.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a influência do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água das bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1), por meio da análise de parâmetros utilizados no cálculo do índice de qualidade da água (IQA), visando gerar subsídios à gestão de recursos hídricos desta bacia.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar o meio físico da bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1);
- Efetuar um levantamento do uso e ocupação do solo da bacia;
- Analisar parâmetros aplicados no cálculo do índice de qualidade da água (IQA), em pontos estratégicos das principais atividades econômicas desenvolvidas na bacia, para avaliar se existe influência do uso do solo na qualidade da água;
- Utilizar ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a proposição de pontos georreferenciados para o monitoramento da qualidade da água, validados pelas análises laboratoriais de parâmetros que compõem o IQA.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Poluição e qualidade da água**

A qualidade da água é um importante indicador das atividades antrópicas desenvolvidas em uma bacia hidrográfica. Os recursos hídricos respondem diretamente aos impactos ambientais e quando o ciclo hidrológico é alterado, toda a bacia hidrográfica é comprometida (TUCCI et al., 2012). Os processos hidrológicos que transferem o volume precipitado aos cursos d'água podem variar com o ambiente em que se encontram. As transformações do sistema hidrológico estão diretamente relacionadas à geologia, tipo de solo, clima, tipo e quantidade de cobertura vegetal, grau de mobilidade humana dentro da bacia hidrográfica e qualquer atividade realizada, que reflita direta ou indiretamente na qualidade dos cursos de água, intensificando o escoamento superficial, bem como, introduzindo compostos no solo, podem causar impactos e degradação do meio ambiente (PHILIPPI JR., 2005). Portanto, além dos processos naturais, as atividades antrópicas, também podem causar impactos negativos à qualidade da água (WEATHERHEAD E HOWDEN, 2009; NETTO et al., 2011).

De acordo com Von Sperling (1998) existem substâncias que, quando encontradas na água, podem acarretar em mudanças no grau de pureza e em alterações físicas, químicas e biológicas. Conforme Philippi e Silveira (2005), dependendo da concentração encontrada, uma substância presente na água pode se tornar um agente de degradação ambiental, se estiver acima dos padrões determinados pela legislação vigente.

Três tipos principais de impurezas podem ser encontradas na água, as físicas, determinadas pela presença de partículas ou sólidos em suspensão, coloidais ou dissolvidas, as impurezas biológicas, apontadas pela presença de organismos, animais ou vegetais, vivos ou mortos (bactérias, vírus, fungos, protozoários, ovos de helmintos, entre outros) e as impurezas químicas, relacionadas à presença de matéria orgânica ou

inorgânica na água (VON SPERLING, 1998). As fontes de poluição podem ser oriundas de esgotos sanitários, águas residuárias industriais, resíduos sólidos, águas de drenagem urbana, despejos acidentais ou fontes atmosféricas, como a queima de combustíveis fósseis (TUCCI et al., 2012).

Há duas maneiras pelas quais os poluentes podem atingir os corpos de água: pela poluição difusa, onde os poluentes atingem o corpo d'água ao longo do seu percurso, de forma não concentrada, sendo difícil determinar sua fonte de origem, geralmente produzida em áreas extensas, oriundas principalmente de escoamentos superficiais urbanos e rurais, de forma inconstante, como a drenagem pluvial natural de uma bacia. A quantidade da carga difusa de nutrientes é influenciada pela ocupação e manejo do solo, pelas condições climáticas, topográficas, pedológicas e geológicas locais. A poluição pontual, é caracterizada por atingir o corpo de água de maneira mais concentrada e seus efeitos podem ser mais perceptíveis, assim como os impactos, como a saída de uma descarga de efluente (PHILIPPI JR., 2005).

Tucci et al. (2005) e Bregunce et al. (2011) ressaltam que as principais fontes de contaminação dos recursos hídricos são os lançamentos de efluentes domésticos e industriais sem tratamento prévio, despejo de águas pluviais, transportando excesso de matéria orgânica nos períodos de alta pluviosidade, resíduos urbanos sólidos e a ocupação urbana sem controle do uso e ocupação do solo.

A qualidade da água requer monitoramento permanente a fim de detectar suas variações, principalmente em bacias hidrográficas com elevado nível de interferência antrópica. O monitoramento da qualidade da água deve ser visto como um instrumento importante de gestão dos recursos hídricos, gerando informações estratégicas, que auxiliam nos processos decisórios das políticas públicas, visando a adoção de medidas específicas de controle de impactos ambientais e de diminuição de riscos à saúde pública (TUCCI et al., 2012).

As bacias hidrográficas são unidades territoriais naturais ou modificadas, bem definidas e delimitadas topograficamente pelos divisores de água, drenadas por um curso d'água principal e seus afluentes, convergindo por gravidade para um único ponto de saída, designado como exutório. Devido a esta constituição espacial de compartimentação, as bacias tornaram-se excelentes sistemas regionais para a avaliação de impactos ambientais de origem antrópica, facilitando o processo de identificação de fontes de poluição, principalmente de origem difusa, onde os

resultados podem determinar quais os padrões sazonais e espaciais refletem sobre as fontes e áreas impactadas (SANTANA, 2003; LI et al., 2009).

O estado de São Paulo, por meio da Lei Estadual 7.663/91, adotou o sistema de bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão. No total, são 22 UGRHIs (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos) integrando a divisão hidrográfica do estado. As UGRHIs foram classificadas quanto a sua vocação econômica conforme a Lei Estadual nº 9.034/94 (SMA, 2014).

### **3.2 Panorama da qualidade da água no Brasil**

No Brasil, como instrumento de gestão e de proteção dos recursos hídricos, foram criados ao longo dos anos, decretos, leis e resoluções de âmbito nacional, tratando principalmente da qualidade da água. Especificamente para a gestão e o monitoramento da qualidade, foi criada a Resolução CONAMA nº 20/1986, substituída pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que "dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências". Esta resolução foi complementada pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que "dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA." (ANA, 2011).

De acordo com dados da ANA (2012), no ano de 2010, aproximadamente 81% dos recursos hídricos monitorados no Brasil encontraram-se em boas condições de qualidade. Dos 1.988 pontos analisados, 75% apresentaram o IQA com classificação boa. Os menores índices concentraram-se nas zonas urbanas, onde 47% foram avaliadas como ruim ou péssima, sendo este fato, decorrente do baixo índice de coleta e tratamento de esgotos. Estes baixos índices foram relacionados, principalmente, ao alto crescimento populacional sem os devidos investimentos em saneamento, manejo de atividades agropecuárias e controle de lançamento de efluentes industriais.

Conforme a ANA (2014), um dos grandes problemas no Brasil com relação ao controle do IQA, refere-se principalmente à falta de padronização e de informações sobre as coletas e as análises laboratoriais. Este fato torna os resultados pouco confiáveis e de difícil comparação entre as diversas regiões do país. Outro fato



importante é a extensa área territorial e a desigualdade de desenvolvimento socioeconômico entre as regiões federativas. Por este motivo, em 2014 foi implementada pela ANA, a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas (RNQA), com propósito de padronizar, monitorar, avaliar e disponibilizar à sociedade, informações sobre a qualidade das águas superficiais, gerando conhecimento para subsidiar a gestão dos recursos hídricos do Brasil. Outro objetivo da implantação desta rede é identificar áreas com situação mais crítica, apoiando as ações de planejamento, outorga, licenciamento e fiscalização das águas do País (ANA, 2014).

Atualmente, das 27 unidades da Federação Brasileira, 17 realizam o monitoramento da água. No Estado de São Paulo, o monitoramento é realizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, utilizando o índice de qualidade da água (IQA) desde 1975, tendo como base, a metodologia da *National Sanitation Foundation* (NSF) (ANA, 2013a).

### **3.3 Enquadramento dos corpos de água no Brasil**

De acordo com a ANA (2013b), o enquadramento dos corpos d'água é mais do que uma simples classificação, é um instrumento para garantir a qualidade a ser mantida ou alcançada ao longo de um tempo, não necessariamente corresponde a condição atual, mas sim à qualidade que deveriam possuir a fim de atender as necessidades públicas.

O enquadramento é visto como um instrumento de gestão, proposto pela Resolução CONAMA 357/2005, no qual a qualidade dos recursos hídricos deve atender necessidades sociais, os problemas regionais e garantir a adequação das funções dos cursos d'água para atingir as demandas de uso e as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos, estabelecidos por uma meta de qualidade da água (classe) segundo seus usos pretendidos, além de servir como base para o planejamento, monitoramento, fiscalização por parte de órgãos de controle e licenciadores, outorga e uso da água, bem como auxiliar a formulação de penalidades e critérios (ANA, 2013b; GOMES, 2013).

De acordo com Philippi Jr. e Silveira (2005), o enquadramento não contempla todos os cursos de água de uma bacia hidrográfica, mas deve ser entendido como uma

diretiva à qualidade a ser mantida em função de seu uso preconizado, a fim de que sejam mantidas a qualidade ambiental e a saúde pública ao longo do tempo.

Como a bacia hidrográfica possui múltiplos usos, os cursos d'água podem ter uma classe ou mais classes ao longo de seu curso, dependendo do uso preponderante, enquadrando sempre a qualidade ao seu uso mais exigente. O enquadramento deve considerar fatores determinantes como o aspecto técnico, econômico, social e político além de estar em acordo com o plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica, quando este existir e ainda, a relação com as políticas de uso e ocupação do solo e saneamento. A determinação de um padrão de qualidade acaba por limitar a forma de ocupação de um território, seja por meio de zoneamento ecológico, planejamento de uso e ocupação ou plano diretor (ANA, 2013b).

No Brasil, a maior parte dos cursos d'água não possuem levantamento técnico determinando seu enquadramento. De acordo com o Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977 e o Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, os cursos de água que necessitam de maiores investigações e diagnóstico mais preciso quanto ao seu uso preponderante, devem ser enquadrados como classe 2 (CBH-SM, 2012). A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece em seu Art. 42 que *“Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.”* Já a Resolução CNRH nº 91/2008, regulamenta no §2º *“...Até que a autoridade outorgante tenha as informações necessárias...poderá ser adotada, para as águas doces superficiais, a classe 2”*.

### ***Resolução CONAMA 357/2005***

A Resolução CONAMA 357/2005 classifica e enquadra os corpos de água e o padrão de lançamento de efluentes e também classifica as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes. Para a água doce são estabelecidas quatro classes, descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes e Usos para água doce. Fonte: Resolução CONAMA 357/2005.

<b>Classes</b>	<b>Usos</b>
I - Classe Especial	a) ao abastecimento para consumo humano, 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	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 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	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) a proteção das comunidades aquáticas; c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 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	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	a) a navegação e; b) a harmonia paisagística.

A Agência Nacional de Águas (ANA) em seu “Portal de Qualidade das Águas” estabeleceu os usos mais restritivos da água em ordem de relevância, apresentados na Figura 1.

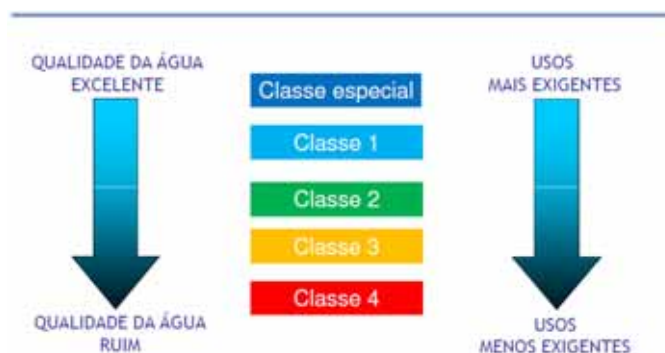


Figura 1 - Usos mais restritivos da água em ordem de relevância. Fonte: ANA (2011). Portal PNQA (<http://pnqa.ana.gov.br>).

### 3.4 Índice de qualidade da água (IQA)

Os índices de qualidade da água foram desenvolvidos com a evolução da detecção ou medição de poluentes e, têm como função, o estabelecimento de padrões de qualidade, fundamentados na concentração de elementos ou compostos presentes na água. O conceito de indicador está diretamente relacionado ao uso que se faz da água, e pode ser feito por meio de uma ou mais variáveis, dependendo das características da bacia analisada (TUCCI et al., 2012). Estes índices foram desenvolvidos pela *National Sanitation Foundation* (NSF), como resultado da pesquisa de 142 especialistas, utilizando a técnica Delphi. Essa pesquisa resultou na seleção de parâmetros que compõem o cálculo do Índice de Qualidade da Água - IQA, com seus respectivos pesos, relacionados a sua relevância (COSTA et al., 2012). O IQA avalia a qualidade da água destinada ao abastecimento público (ANA, 2013a), pois reflete, principalmente, a contaminação gerada por lançamentos de esgotos domésticos. No Brasil, o uso da água, de uma maneira geral, é correspondente ao limite aceitável de poluição determinado pela legislação vigente (ANA, 2012).

O uso do IQA tem como objetivo principal transformar dados complexos em um único número, numa escala de 0 a 100, representativa da qualidade da água, que pode ser utilizado por órgãos ambientais e instituições públicas na adoção de medidas corretivas de uma determinada fonte de poluição e para orientar a população sobre os possíveis riscos relacionados ao consumo da água de um determinado corpo hídrico (TUCCI et al., 2012). A qualidade da água é variável no tempo e no espaço, condicionada por padrões de parâmetros físicos, químicos e biológicos e requer monitoramento permanente a fim de detectar estas variações (ANA, 2014).

De acordo com Tucci et al. (2012), o aspecto qualitativo e quantitativo da água são indissociáveis, considerando que as substâncias diluídas na água estabelecem a qualidade da mesma, sendo que um aumento no índice destas substâncias ou a diminuição do volume de água pode influenciar no processo de diluição, afetando a sua qualidade, fator este notado por Pinto et al. (2009) na bacia do Ribeirão Lavrinha, em Minas Gerais. No entanto, o IQA não representa todo o histórico de qualidade, pois muitos outros parâmetros de qualidade da água não estão incluídos no cálculo (SÁNCHEZ et al., 2007).

Conforme Philippi Jr. (2005), o conceito de “qualidade da água” é considerado subjetivo, visto que é gerado de uma análise de um valor sobre condições temporais e espaciais, e sobre uma realidade ambiental, existindo assim, uma gama de variáveis. Para conceituar o IQA, foram relacionados a qualidade e o uso da água, utilizando-se atualmente não o conceito de bom ou ruim, mas sim de adequado ou não adequado para determinados usos e para a saúde humana.

Piasentin et al. (2009) ressalta que os parâmetros do IQA se comportam de formas distintas, de acordo com o ambiente de coleta de cada ponto de amostragem, independentemente de seus pesos, entretanto o produtório faz com que a faixa tenha tendência de se manter estável durante a maior parte do ano. A estabilidade aparente do patamar de qualidade, pode mascarar variações ambientais importantes, quando os parâmetros são analisados isoladamente. O IQA ainda pode sofrer variações, principalmente nos períodos de pluviosidade elevada, conforme constataram Piasentin et al. (2009) e Pinto et al. (2009).

### **3.5 Parâmetros que compõem o IQA**

#### ***Parâmetros Físicos***

##### ***3.5.1.1 Sólidos dissolvidos totais (SDT)***

Os sólidos são analisados separadamente, classificados de acordo com suas características físicas ou químicas. O resíduo total é a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura. Os resíduos sólidos, que se depositam nos leitos dos corpos d'água, podem causar assoreamento, contribuindo para agravar o risco de enchentes e causando danos à vida aquática, pois ao se depositarem no leito, destroem os

organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos (VON SPERLING, 1998; ANA, 2014). Pinto et al. (2009) verificaram que houve influência do uso do solo sobre a qualidade da água da bacia do ribeirão Lavrinhas (MG), na região da Serra da Mantiqueira, principalmente nos períodos de chuva mais intensa, resultando no aumento das concentrações de sólidos dissolvidos nos cursos de água.

### **3.5.1.2 Turbidez**

A turbidez representa o grau de interferência da luz através da água e pode ser alterada pela quantidade de sólidos em suspensão. Quando estes sólidos são de origem natural, como rocha, argila e silte ou algas e outros microrganismos, não trazem problemas sanitários diretos, mas causam alterações na estética da água, além de servirem de substrato para microrganismos patogênicos, reduzindo a eficiência de tratamentos. Quando são de origem antrópica, os sólidos gerados por despejo de efluentes domésticos, industriais, microrganismos ou principalmente por partículas oriundas de erosão do solo (ANA, 2014). Valores elevados de turbidez fazem com que as estações de tratamento de águas utilizem mais produtos químicos, aumentando os custos que são repassados para a população e afetam também o uso industrial, agrícola e de recreação (VON SPERLING, 1998; TUCCI et al., 2012).

Luíz et al. (2012) verificaram que o transporte de sedimentos apresentou comportamento diferenciado na bacia do rio Taquaral (RS), em função do uso e ocupação do solo. Esses autores destacaram a contribuição do relevo no aporte de sedimentos finos, que foi intensificado em regiões com declive acidentado e ocorrência de Cambissolo relacionado ao uso agrícola, no período chuvoso. No período de estiagem, verificaram uma variação no índice de turbidez, atribuído ao uso da terra na área urbana.

Blume et al. (2010) também observaram aumento nos índices de turbidez nas amostras de água coletadas em períodos de chuvas fortes na região da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos (RS), concluindo que este parâmetro pode variar de acordo com o uso da terra e das condições climáticas.

### **3.5.1.3 Temperatura**

Este é um dos parâmetros físicos mais importantes na avaliação dos impactos dos sistemas aquáticos, devido à influência nos processos metabólicos oxidativos, na respiração dos microrganismos, na densidade da água e na solubilidade dos gases dissolvidos. Neste sentido, a tensão superficial da água pode decrescer com o aumento da temperatura, bem como, com a quantidade de substâncias orgânicas dissolvidas (TUCCI et al., 2012; ANA, 2014).

A temperatura corresponde à intensidade de calor, gerada naturalmente por radiação, condução e convecção ou por fatores antrópicos, como resultado de despejos domésticos e industriais. Um aumento na temperatura pode influenciar as taxas das reações químicas e biológicas, na tensão superficial e viscosidade e, ainda, diminuir a solubilidade e as taxas de transferência dos gases (oxigênio dissolvido e odores desagradáveis (ANA, 2014). Diversos organismos aquáticos são afetados pela temperatura, com alterações no crescimento e na reprodução. A temperatura também influencia na operação das Estações de Tratamentos de Água – ETAs (VON SPERLING, 1998). As velocidades de reação duplicam a cada aumento de 10°C na água, acelerando as reações de microrganismos, o que leva à extinção de níveis tróficos. A temperatura deve ser avaliada em conjunto com o oxigênio dissolvido (TUCCI et al., 2012). A Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece parâmetro limite para temperatura.

### **Parâmetros químicos**

#### **3.5.1.4 Potencial hidrogeniônico (pH)**

É o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio ( $H^+$ ), que demonstra a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. É alterado em função dos sólidos e gases dissolvidos, podendo ser de origem natural, pela dissolução de rochas, gases atmosféricos, oxidação de matéria orgânica e fotossíntese ou de origem antrópica, influenciados por despejos domésticos e industriais. O pH apresenta uma faixa de 0 a 14, sendo que a água com pH inferior a 7 é considerada ácida, em pH 7,0 está em condições de neutralidade e acima de 7 está alcalina ou básica (ANA, 2014). A alteração dos valores de pH afeta o desenvolvimento de microrganismos, principalmente em condições de elevada acidez ou alcalinidade. Valores elevados de pH podem estar associados à proliferação de algas e sua alteração pode causar efeito

corrosivo em equipamentos e tubulações, influenciar processos químicos e biológicos nos tratamentos de água e causar danos à vida aquática (VON SPERLING, 1998; TUCCI et al., 2012).

Carvalho et al. (2000) relataram que em épocas de pluviosidade elevada na região de Corumbataí (SP), o escoamento superficial de água associado ao aumento da velocidade de fluxo influenciou o pH, observando que, devido à maior dissolução de compostos do solo houve aumento do pH para próximo à neutralidade.

#### **3.5.1.5 Nitrogênio**

O nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático como nitrogênio molecular ( $N_2$ ), nitrogênio orgânico (dissolvido ou em suspensão), amônia, nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ), gerado pela presença de sólidos em suspensão e dissolvidos, de origem natural como proteínas, clorofila e compostos biológicos ou de origem antrópica, como despejos domésticos e industriais, fezes animais e fertilizantes (VON SPERLING, 1998).

Quando em altas concentrações na água pode causar o crescimento excessivo ou descontrolado de algas, causando eutrofização. O excesso de nitrogênio na água também pode aumentar o consumo do oxigênio dissolvido, afetando a vida aquática sendo tóxico para peixes e, em humanos, pode causar uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, doença que pode levar a morte (ANA, 2014). A presença de nitrogênio na água fornece também informações sobre o estágio de poluição de um curso d'água, em função de sua composição (poluição recente é indicada pela presença de  $N_2$ , enquanto a poluição remota é indicada pela presença de amônia e nitrato). No Estado de São Paulo, a CETESB ajustou a curva original da NSF de nitrogênio/nitrato para nitrogênio total, devido a identificação de outras formas mais comuns de nitrogênio presentes, principalmente, em função da contaminação por esgoto doméstico (CETESB, 2009).

Diversos autores relacionam o aumento da concentração do nitrogênio total (NT) à ocupação do solo e lançamento de efluentes nos cursos d'água (LEE et al., 2009; PIASENTIM et al., 2009; BLUME et al., 2010 e FARIA, 2012).

#### **3.5.1.6 Fósforo**

O fósforo é um importante nutriente para os processos biológicos e pode ser encontrado na água como ortofosfato, que é diretamente disponibilizado a



metabolismos biológicos ou, ainda, na forma de polifosfato, que são moléculas mais complexas (VON SPERLING, 1998). O fósforo é disponibilizado pelos sólidos em suspensão e dissolvidos na água, que podem ter origem natural, por meio da dissolução de compostos do solo e decomposição de matéria orgânica ou origem antrópica, como despejos de efluentes domésticos e industriais, detergentes, fezes animais e fertilizantes (ANA, 2014). Blume et al. (2010) verificaram que o parâmetro fósforo total, não atendeu aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2 na bacia hidrográfica do rio dos Sinos (RS) e associaram ao lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais *in natura* nos corpos d'água, principalmente após períodos de chuvas intensas.

De acordo com Faria (2012), o aumento da concentração de fósforo total (PT) na água da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP), na região da Serra da Mantiqueira, ocorreu devido ao aporte de sedimentos oriundos de processos erosivos e à jusante de áreas ocupadas com a rizicultura irrigada, sendo neste caso, originado por fertilizantes.

Em outras regiões montanhosas, como por exemplo no estudo de Li et al. (2012) também foi verificado que a ocupação e o uso do solo influenciaram a qualidade da água da bacia do rio Liao, na China, sendo o fósforo o parâmetro poluidor mais impactante, atingindo concentrações de até 6,98mg L<sup>-1</sup>.

### **3.5.1.7 Oxigênio Dissolvido (OD)**

O oxigênio dissolvido (OD) é utilizado para a determinação dos níveis de poluição e autodepuração dos cursos de água. É importante para organismos aeróbios, pois é consumido em processos biológicos de organismos aquáticos. Baixas concentrações causam a mortalidade de organismos e maus odores nas águas, devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos. Na água, o OD pode ser originado por gases dissolvidos de forma natural, como oxigênio atmosférico e produzidos por fotossintetizantes ou pode ter origem antrópica causada por aeração artificial. O OD é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos de poluição das águas e sua concentração pode variar com a altitude, temperatura e características hidráulicas, sendo proporcional à velocidade e aeração do curso d'água (ANA, 2014). O oxigênio dissolvido (OD) é um dos parâmetros mais significativos para a avaliação da qualidade da água, principalmente porque, normalmente, tem relação direta com a concentração de coliformes fecais e DBO.

O OD é um parâmetro fundamental aos modelos de autodepuração natural dos cursos d'água e para desenvolver as análises de DBO, onde são medidas as diferenças de concentração de OD em amostras integrais ou diluídas num período de 5 dias a 20°C (VON SPERLING, 1998).

### **3.5.1.8 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para a decomposição da fração biodegradável de compostos orgânicos presentes na água, realizada por microrganismos aeróbios durante cinco dias a uma temperatura de 20°C (VON SPERLING, 1998).

O consumo de oxigênio da amostra de água ou de suas diluições é medido durante o período de incubação. Quanto maior for a quantidade de matéria orgânica biodegradável nas amostras de água, maior será o consumo de oxigênio durante os 5 dias de incubação e, portanto, maior será o valor da DBO. Apesar de muito importante, a determinação de DBO é demorada e pode apresentar problemas de imprecisão, especialmente em efluentes industriais que não contêm microrganismos (TUCCI et al., 2012). É um parâmetro fundamental e importante para o controle da poluição das águas por matéria orgânica. A DBO é também uma ferramenta imprescindível nos estudos de autodepuração dos cursos d'água. Valores elevados de DBO podem indicar lançamentos de cargas orgânicas, principalmente de efluentes domésticos (ANA, 2014).

### **3.5.1.9 Coliformes termotolerantes (CT)**

A presença de coliformes termotolerantes na água indica o potencial da existência de microrganismos patogênicos, que podem transmitir doenças de veiculação hídrica. Trata-se de um grupo de bactérias que ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são as principais indicadoras de contaminação por esgoto doméstico. (ANA, 2014). A Resolução CONAMA 357/2005 utiliza o parâmetro "coliformes termotolerantes" como padrão de qualidade da água, mas permite a utilização da bactéria *Eschechiria coli*, como indicador de contaminações fecais. No cálculo realizado pela CETESB para o estado de São Paulo, os valores do NMP de *E. coli* foram ajustados e estabelecidos em 80% em relação às concentrações de coliformes termotolerantes (SATO et al., 2008).

Em diversos estudos foi verificado que as altas concentrações de *E. coli* na água se originaram principalmente das atividades antrópicas e por influência do lançamento de esgotos domésticos *in natura* diretamente nos cursos d'água (BLUME et al., 2010; BREGUNCE et al., 2011; FARIA et al., 2012).

Pinto et al. (2009) verificaram que a presença e o aumento do número mais provável (NMP) de *E. coli*, na bacia do ribeirão Lavrinha (MG), região da Serra da Mantiqueira, foi associado ao uso agropecuário. Nos trechos da bacia ocupados com matas naturais ou em regeneração, este índice foi menor ou praticamente inexistente.

### **3.6 Monitoramento de qualidade da água**

No Brasil, a partir da década de 1970, foram criadas algumas redes de monitoramento qualidade da água estaduais, porém, distribuídas de forma irregular pelo país, concentradas principalmente na região sudeste e sul (ANA, 2012).

No estado de São Paulo a rede de monitoramento de qualidade da água estabelecida pela CETESB é formada por pontos estrategicamente dispostos nas bacias hidrográficas, caracterizando-se como uma ferramenta de caráter informativo. Os resultados do índice de qualidade da água (IQA) orientam o público técnico, órgãos gestores e a sociedade civil, sobre a evolução da qualidade das águas superficiais, identificando pontos em que a qualidade da água encontra-se degradada (CETESB, 2014).

Para a determinação dos pontos de monitoramento é necessário um estudo abrangente de toda a bacia hidrográfica que permita a proposição de trechos de corpos d'água adequados para que o resultado da qualidade da água seja consistente e condizente com as atividades antrópicas locais (CETESB, 2011; QUEIROZ et al., 2013). As constantes mudanças que ocorrem em uma bacia hidrográfica relacionadas, principalmente, ao uso e ocupação do solo, afetam os ecossistemas, e, conseqüentemente, refletem na qualidade da água. Um dos impactos mais representativos nas alterações de qualidade da água, é gerado pelo uso e ocupação do solo sem planejamento, em muitos casos, desconsiderando sua capacidade suporte, o que tem como consequência, o aumento dos processos erosivos e do escoamento superficial em áreas urbanas e agrícolas, com transporte de material particulado para dentro dos cursos d'água (SOUZA, 2009).

De acordo com Do et al. (2012), várias redes de monitoramento de qualidade da água superficial, foram concebidas sem uma estratégia consistente em relação ao uso do solo na bacia. As atividades antrópicas muitas vezes são consideradas de modo abrangente durante o processo de estabelecimento dos pontos de amostragem, havendo a necessidade de se classificar de maneira mais representativa a relevância antrópica de cada ponto. Souza (2009) ressalta que o gerenciamento das informações do meio físico de uma bacia hidrográfica e um planejamento adequado pode evitar a instalação de pontos excedentes espalhados nas sub-bacias e a necessidade de posterior desativação destes, em função da inadequação geográfica e da geração de dados que não refletem a correta situação da bacia.

O critério para a escolha dos pontos de amostragem está ligado a dois fatores principais, a seleção das variáveis e as frequências temporais. O efeito da variabilidade temporal na escolha do ponto, ao longo do curso de água é de extrema importância, pois as alterações ocorridas no fluxo hídrico, alteram a estimativa quantitativa dos parâmetros. De acordo com CETESB (2011) esta variação pode ser reduzida, quanto mais distante o ponto se encontra do local de lançamento de efluentes ou de poluição pontual.

No Brasil, não existe normatização absoluta para determinação de pontos de qualidade de águas superficiais que não sejam para abastecimento público. É muito comum estabelecer o ponto de amostragem de forma subjetiva ou conveniente, sem considerar o uso e ocupação do solo das bacias contribuintes para o curso d'água de interesse (QUEIROZ et al., 2013). Neste contexto, a ANA criou em 2014, a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais (RNQA), estabelecendo diretrizes que permitirão a gestão sistemática dos recursos hídricos, considerando tanto os aspectos qualitativos, quanto os quantitativos. Esta rede também estará interligada com a Rede Hidrometeorológica Nacional e com o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). A meta principal é desenvolver um banco de dados padronizando as informações sobre a qualidade dos recursos hídricos, visando a gestão integrada dos mesmos (ANA, 2014).

### **3.7 Uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas**

De acordo com Tucci (1995) e Santana (2003) o sistema pedológico é um importante condicionador dos comportamentos hídricos, onde o uso do solo é intrínseco à característica da bacia, limitado por características geográficas, biofísicas, minerais e ecossistêmicas, que geram potencialidades e conflitos. As mudanças no uso do solo, em geral, são determinadas por ordem econômica regional e o processo de uso e ocupação deve considerar a capacidade suporte, de tal forma que a bacia seja explorada de acordo com sua aptidão e com as interações das atividades econômicas com o ecossistema.

Diversos estudos têm avaliado a relação da qualidade da água com o uso e ocupação do solo, considerando que atualmente são escassas as bacias hidrográficas que não apresentam influências antrópicas, diretas ou indiretas, tornando imprescindível o monitoramento dos impactos ambientais para garantir o uso sustentável (LEE et al., 2009; PIASENTIN et al., 2009; PINTO et al., 2009; WEATHERHEAD E HOWDEN, 2009; BLUME et al., 2010; BREGUNCE et al., 2011; SEEBOONRUANG, 2012; GOMES, 2013).

Lee et al. (2009) avaliaram 144 reservatórios naturais na Coreia do Sul e observaram que houve forte relação entre o uso do solo e a qualidade da água, dentro do sistema de bacias hidrográficas, considerando o uso e a distribuição espacial da terra por padrões específicos quanto a área ocupada por urbanização, agricultura e áreas florestadas.

Ortega e Carvalho (2013) analisaram dados de seis períodos de amostragem de água no ano de 2002 e seis em 2011 e verificaram que houve aumento da poluição ao longo do tempo na bacia do Córrego do Ipê (SP), em função do uso e ocupação do solo. Os fatores que mais afetaram a qualidade da água foram o desenvolvimento regional, o crescimento populacional, o desmatamento das margens dos corpos d'água e o aumento das atividades agrícolas. Ahearn et al. (2006) verificaram que as variáveis geográficas tiveram influência sobre a qualidade da água da bacia hidrográfica Consumnes, sendo que as atividades agrícolas influenciaram significativamente o carreamento de sólidos dissolvidos totais e nitrato e a urbanização teve influência no aumento das concentrações de sólidos dissolvidos totais.

### ***Influência da cobertura vegetal na qualidade dos recursos hídricos***

A cobertura vegetal contribui para controlar processos erosivos, aumentando a porosidade do solo e a infiltração da água da chuva, conferindo estabilidade estrutural ao solo e mantendo as partículas mais agregadas. A vegetação funciona como redutora da velocidade das águas oriundas do escoamento superficial da chuva, tornando o fluxo de sedimentos mais moderado, se comparado a solos sem cobertura vegetal, devido a rugosidade, funcionando como depósito de nutrientes e sedimentos, colaborando para a diminuição da lixiviação (NEARY et al., 2009). A cobertura do solo se faz importante, principalmente, nas partes mais elevadas dos terrenos, proporcionando maior infiltração do escoamento superficial. Em vegetação de altitude, como nos campos de altitude encontrados na Serra da Mantiqueira e em função dos tipos de solo predominantemente encontrados, a vegetação possui raízes mais profundas e, em muitos casos, encontrando o nível freático. As gramíneas auxiliam na retenção e infiltração da água no solo, dificultando o transporte de sedimentos até os cursos de água, causado pelo escoamento superficial (COPASA, 2010).

Luíz et al (2012) também observaram que as florestas exercem função ecológica em seu aspecto mais amplo, por conter a maior parcela da carga de sedimentos em períodos chuvosos. A vegetação fornece equilíbrio natural aos ecossistemas e sua supressão pode afetar o ciclo hidrológico, as dinâmicas fluviais e causar um escoamento excessivo, juntamente com a perda de solo. Neste aspecto, a manutenção da vegetação também pode reduzir os custos associados ao tratamento de água (ANA, 2013b).

Li et al. (2008) observaram em seus estudos realizados na bacia do Rio Han, na China, durante o período de 2005 a 2006, que trechos de cursos de água com área vegetada, apresentaram concentração menores de nutrientes comparados com áreas próximas, com solo degradado. As parcelas sem cobertura vegetal tiveram uma maior influência na contribuição do aumento da carga de nitrogênio nos cursos de água, implicando como grandes fontes de poluição difusa na bacia.

### ***Influência da agropecuária na qualidade dos recursos hídricos***

A agropecuária é uma das atividades mais negativamente impactantes, interagindo diretamente com o meio ambiente, sendo a maior contribuinte da poluição

difusa, por ocupar grandes áreas e afetar a qualidade da água com o aporte de nutrientes (SANTANA, 2003; ORTEGA E CARVALHO, 2013).

Carvalho et al. (2000) afirmam que o deflúvio agrícola pode causar um incremento de nutrientes e pesticidas nos recursos hídricos, causando a eutrofização e, por consequência, a alteração do ecossistema local, podendo comprometer a utilização da água para abastecimento público ou encarecer os custos de captação e tratamento. As atividades agropecuárias mal conduzidas, com excesso de pisoteio animal, podem remover a cobertura do solo e a vegetação, resultando na compactação e no empobrecimento do solo, aumentando com isso, o impacto do escoamento superficial e do escorregamento de encostas, provocando erosões e maiores cargas de sedimentos, contendo material orgânico e inorgânico, que são carregados para os cursos de água. No Brasil, existem poucos estudos que auxiliam na determinação da poluição difusa e não há determinação legal ou regulamentações ambientais em relação aos processos de lançamento ou monitoramento deste tipo de poluição.

Merten e Minella (2002) ressaltam em seu estudo que, o desenvolvimento de sistemas agrícolas em ambiente ecologicamente frágil (encostas, áreas com declives acentuados, margens de rios, regiões de vertentes), podem contribuir para a deterioração do sistema hídrico. A pressão econômica induz alguns proprietários rurais a explorar os solos, sem o manejo adequado e sem conhecer o potencial agrícola regional.

### **3.8 Uso de sistemas de informação geográfica**

As ferramentas associadas ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), tem sido amplamente utilizadas como forma de estudar e gerir informações relacionadas a dados ambientais de diversas maneiras, principalmente, de qualidade da água. Faria (2012) verificou que o emprego de técnicas do SIG foi uma ferramenta eficiente para a avaliação das interações entre o uso e ocupação do solo e a qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, indicando as atividades que mais impactaram a qualidade da água, o que possibilitou a proposição de medidas mitigadoras. Netto et al. (2011) também elaboraram mapas de uso e ocupação do solo da bacia do Córrego Terra Branca, em Uberlândia (MG), a partir de uma base cartográfica e avaliaram a

influência do uso do solo sobre a qualidade da água, demonstrando especialmente com o uso de SIG o impacto causado pela degradação dos cursos de água.

De acordo com Lee et al. (2009) o estudo da qualidade da água utilizando técnicas de SIG evidenciou a importância de enfatizar a proporção e configuração dos tipos de uso do solo (urbano, agricultura ou florestas) e sua influência sobre a qualidade da água. Ortega e Carvalho (2013) também utilizaram o SIG para a avaliação da qualidade da água sob a influência de diferentes atividades antrópicas no córrego do Ipê no município de Ilha Solteira na região Noroeste do Estado de São Paulo.

Do et al. (2012) também utilizaram o uso e ocupação do solo como parâmetro para a definição de pontos de monitoramento de qualidade da água e cálculos matemáticos associados às ferramentas de SIG, em uma região montanhosa de Taipei, em Taiwan.

### **3.9 Bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1)**

A bacia da Serra da Mantiqueira é a menor UGRHI em área do estado de São Paulo, sendo composta por 3 municípios, Campos do Jordão, Santo Antônio do Pinhal e São Bento do Sapucaí (CBH-SM, 2009). De acordo com os dados fornecidos pelo CBH-SM (2012) e SMA (2014) em 2011, a bacia possuía 65.114 habitantes, apresentando a menor população do estado (0,2%), onde cerca de 86% desta população vivia em área urbana e 14% em área rural. As atividades predominantes são o turismo, o comércio e a exploração imobiliária, com destaque ao setor hoteleiro, pequenas indústrias (bebidas, alimentação, malharias e artesanato), extração de água mineral, agricultura (frutíferas e hortaliças) e em pequena escala a bovinocultura, equinocultura e truticultura. Os municípios têm ainda títulos estaduais de estâncias: Campos do Jordão é estância hidromineral e os dois outros municípios estâncias climáticas CBH-SM (2012).

Segundo dados do SEADE (2014), o município de Campos do Jordão possui uma população de 48.746 habitantes, sendo considerada 99% urbana. As principais atividades econômicas desenvolvidas na região são o turismo, gastronomia e a prestação de serviços. Nos meses de outono e inverno, há um grande número de turistas visitando o município, atraídos pelo clima frio. Outras atividades econômicas ocorrem em menor intensidade como a extração de madeira, água mineral, argila



refratária, quartzito, dolomito e calcário (SMA/CPLA, 2011; SMA, 2013). Santo Antônio do Pinhal possui 6.537 habitantes, sendo 63,8% residente em área urbana (SEADE, 2014), onde, a principal atividade econômica no município é o turismo e a prestação de serviços (IBGE, 2013). O município de São Bento do Sapucaí tem uma população de 10.478 habitantes, com 49,5% vivendo em área urbana (SEADE, 2014) e de acordo com dados do IBGE (2013) entre os três municípios formadores da UGRHI-1, este município é o que possui um maior desenvolvimento agropecuário.

Em relação a utilização dos recursos hídricos o maior uso outorgado desta bacia é o rural, representado pela aquicultura (96%), já o uso urbano é considerado insignificante (SEADE, 2014). Mesmo com importância nacional e mundial, e com destaque ao turismo, é uma bacia com poucos estudos e poucos dados científicos, altamente impactada pelo turismo, principalmente nos meses de temporada (dezembro a fevereiro e junho a julho). O impacto mais intenso na bacia ocorre durante os meses de outono e inverno (maio a julho). No último levantamento realizado em 2005 junto às prefeituras, a população flutuante estimada chegou a uma média mensal de 150 mil pessoas. Até o ano de 2013, com um sistema pouco abrangente de coleta e tratamento de esgoto, exibiu um sério fator de impacto ao comprometimento da qualidade da água (CBH-SM, 2013).

O Comitê de Bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira (CBH-SM) é o colegiado de caráter consultivo e deliberativo responsável pela aplicação da Política Estadual de Recursos Hídricos da UGRHI-1. Em função do condicionamento fisiográfico, da área e de sua ocupação, foi possível dividir esta bacia em duas unidades hidrográficas principais (Figura 2).



Figura 2 – Principais unidades hidrográficas que compõem a bacia da Serra da Mantiqueira (SP).  
Fonte: (CPTI, 2003).

Uma das maiores características da bacia da Serra da Mantiqueira é a sua importância ambiental, pois pertence ao bioma de mata atlântica. Neste contexto e com base na Lei Estadual nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994, esta bacia foi classificada como, predominantemente, de conservação ( Figura 3).

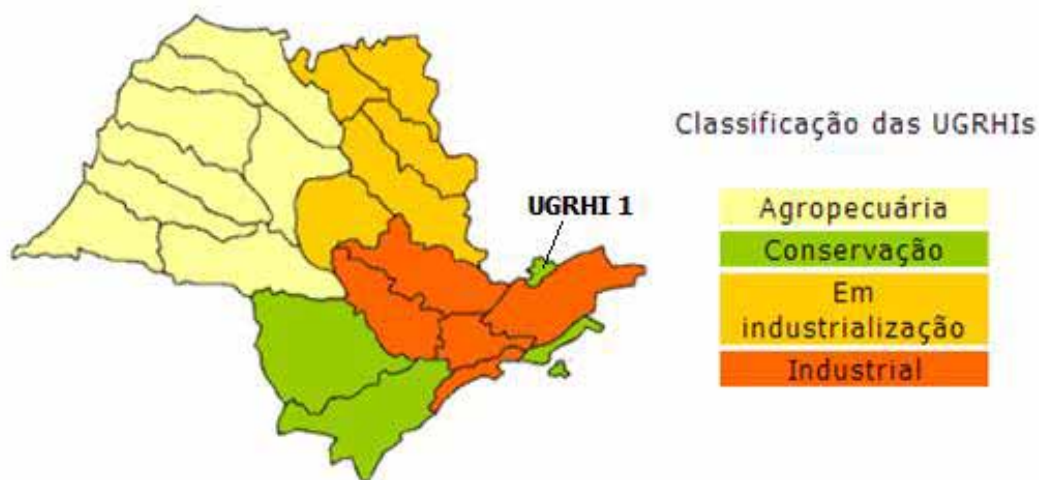


Figura 3 – Classificação das UGRHIs no estado de São Paulo quanto à vocação. Fonte: Adaptado de CETESB (2014).

Devido à importância na manutenção da biodiversidade, este bioma foi decretado Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira de 1988 (art. 225) e considerado insubstituível desde 1993 pela UNESCO (2011). O Brasil também é signatário da Convenção da Biodiversidade, pois, a mata atlântica foi considerada um dos maiores repositórios de biodiversidade do planeta (Varjabedian, 2010), onde a Serra da Mantiqueira ocupou o 8º lugar na lista dos patrimônios insubstituíveis do planeta (Saout et al, 2013). Como recursos de proteção e preservação deste bioma, são legalmente aplicáveis nesta bacia hidrográfica o Novo Código Florestal, Lei 12.651/2012, a Lei da Mata Atlântica, Lei 11.428/2006, em seu art. 225, § 4º, que define esse bioma e outros como patrimônio nacional e prevê que sua utilização far-se-á, na forma da lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais e a Lei Complementar nº 140/2011, que fixa normas, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao

combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora. Contudo, mesmo com várias proteções legais, esta bacia vem sofrendo há décadas com ciclos de impactos antrópicos.

A bacia da Serra da Mantiqueira é constituída por uma rica rede de drenagem, com cursos de água Estaduais e Federais, que transitam entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, tornando-a uma bacia compartilhada com transferência de água. A maior porção situa-se na parte paulista, caracterizando esta bacia como pertencente à Região Hidrográfica da Vertente Paulista do Rio Grande, na Região Hidrográfica Paraná, administrada pelo Comitê de Bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira (CBH-SM) e inserida no contexto internacional da bacia do rio da Prata e nacional da Região Hidrográfica do Paraná – RH-PR, mais especificamente, na bacia hidrográfica do Rio Grande administrada também pelo Comitê de bacias do Rio Grande (CBH – Grande). (Figura 4).

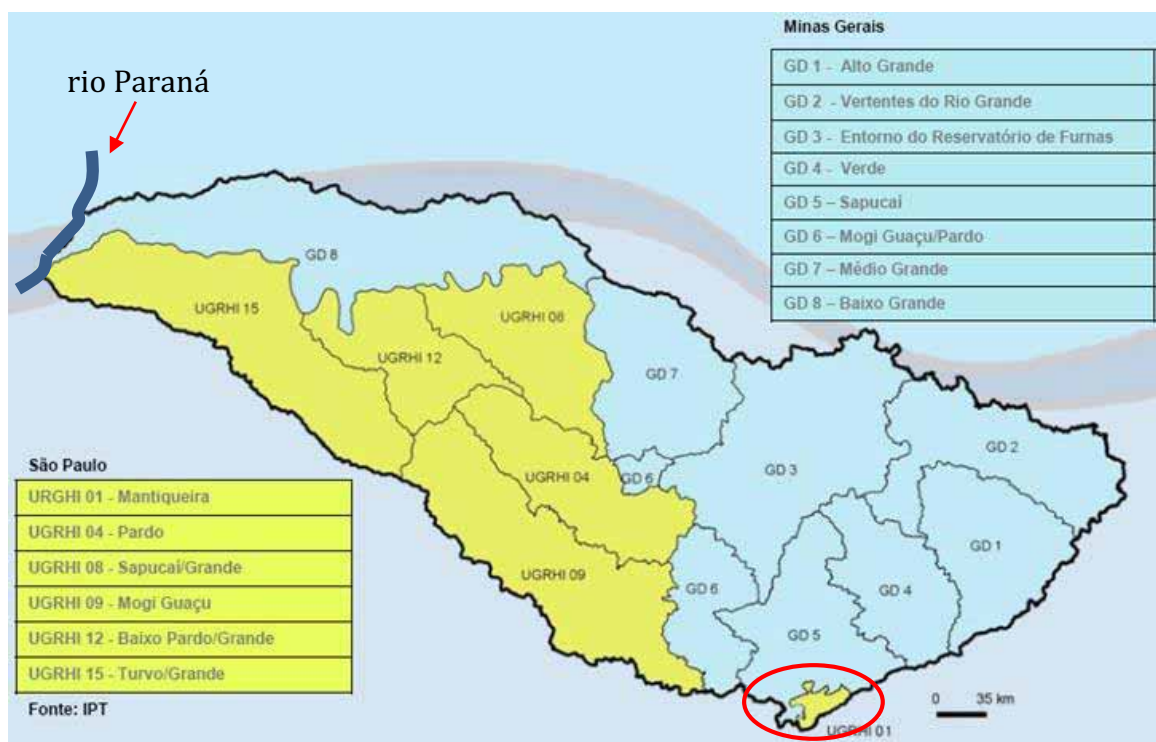


Figura 4 – Unidades de Gestão da bacia hidrográfica do Rio Grande, em destaque em vermelho, a UGRHI-1. Fonte: Adaptado de CBH-GRANDE (<http://www.grande.cbh.gov.br/>).

### 3.10 Hidrografia da bacia da Serra Mantiqueira

A bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira é uma região montanhosa, com densa rede de drenagem (Figura 5), entretanto, segundo o Relatório da Situação dos

Recursos Hídricos no Estado de São Paulo com base no ano de 2009 (CBH-SM, 2009) das 22 UGRHIs, a UGRHI-1 é a que possui a menor vazão média e mínima para as águas superficiais, sendo de  $22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $7,32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. Os maiores valores de vazão média e mínima são os da bacia do Ribeira do Iguape, no litoral Sul, sendo de  $511 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $157 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. Apesar de possuir a menor vazão média do estado, a capacidade hídrica *per capita* em 2010 foi considerada como muito rica, estando na faixa de  $10.000$  a  $12.500 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (SEADE, 2014).

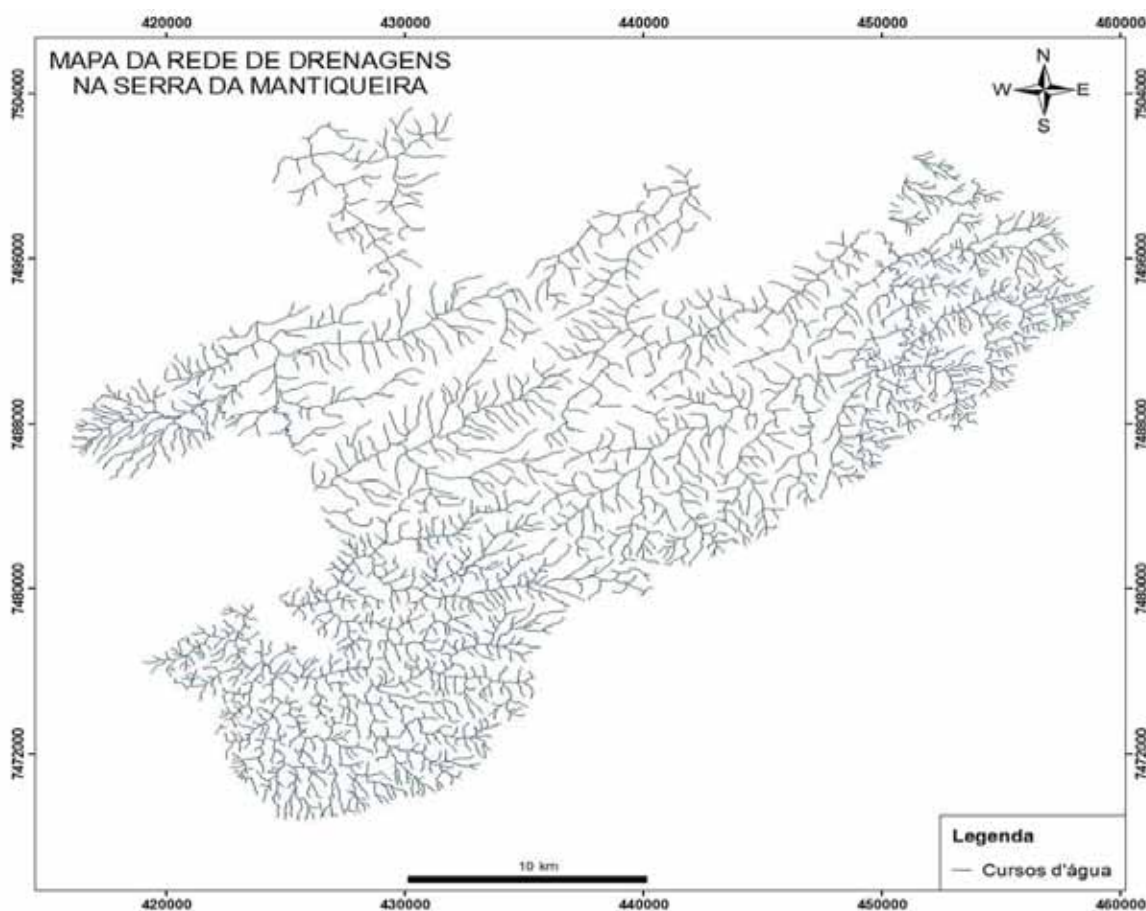


Figura 5 – Rede de drenagem da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1). Fonte: IBGE (2008).

De acordo com o CTPI (2012), os principais cursos de água estão no município de Campos do Jordão, entre eles, os rios Capivari, Abernédia, ribeirões do Imbiri, das Perdizes, do Fojo e os córregos do Mato Grosso e do Homem Morto e Rio Sapucaí-Guaçu, que recebe os ribeirões dos Marmelos, do Paiol, da Ferradura, Canhambora, Campo do Meio, do Coxim, entre outros. O rio Sapucaí-Mirim, recebe os ribeirões dos Barrados, Paiol Velho, dos Melos e do Lajeado. Em Santo Antônio do Pinhal, estão o rio da Prata e seus afluentes principais, córrego do Barreirinho, ribeirões da Cachoeira e

da Boa Vista e os córregos do Pico Agudo e Barreiro. O córrego da Guarda Velha e o ribeirão do Lajeado são afluentes do rio Preto Grande, que se une ao rio Sapucaí-Mirim, que possui como afluentes os ribeirões do Baú, Paiol Grande e Serranos e os córregos do Monjolinho, Pinheiros e do Quilombo. A bacia do ribeirão do Lajeado é a única que contempla área nos três municípios da UGRHI-1. As águas desta bacia correm para norte, no sentido do estado de Minas Gerais, rumo a bacia do Rio Grande, na vertente norte da Serra da Mantiqueira (Figura 6).

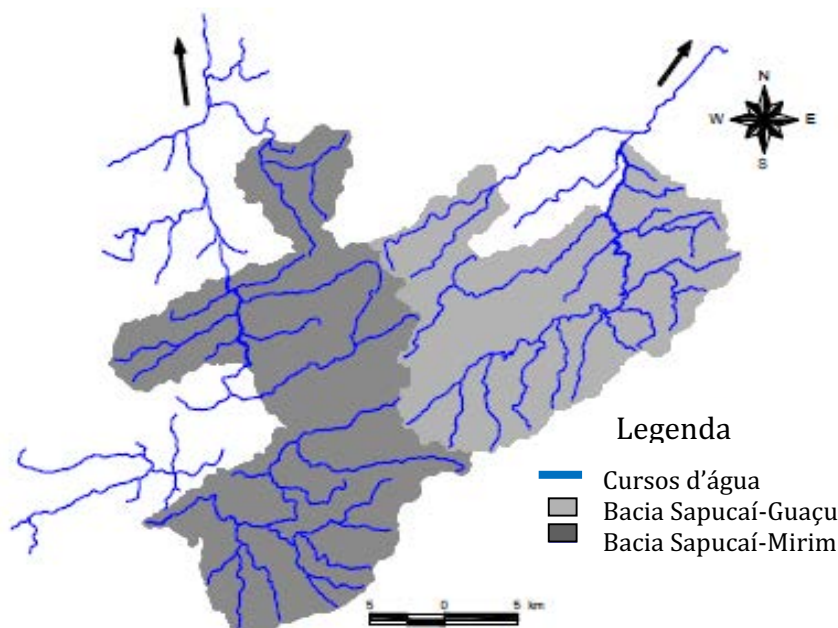


Figura 6 – Rede hidrográfica da UGRHI-1, com suas principais drenagens dentro das duas unidades hidrográficas, Sapucaí-Mirim e Sapucaí-Guaçu. As setas determinam o sentido de fluxo das águas rumo à bacia do rio Grande em Minas Gerais. Fonte: CBH-SM (2012).

Os cursos de água da UGRHI-1 estão todos enquadrados na classe 2, conforme a classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, no Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977, que dispõe sobre o enquadramento, na resolução CNRH nº 91/2008 e na Resolução CONAMA 357/2005 Art. 42 (CBH-SM, 2012).

Segundo o Plano de Bacias pelo CBH-SM (2012), os maiores usos outorgados de água foram identificados como captação superficial para abastecimento público e aquicultura, com destaque para a truticultura (Figura 7).



Indicador de disponibilidade hídrica	Unidade principal		Total - UGRHI-1
	Sapucaí-Guaçu	Sapucaí-Mirim	
Qmédia (m³/s)	9,717	9,982	19,699
Q95% (m³/s)	4,219	4,331	8,550
Q7,10 (m³/s)	3,239	3,331	6,570

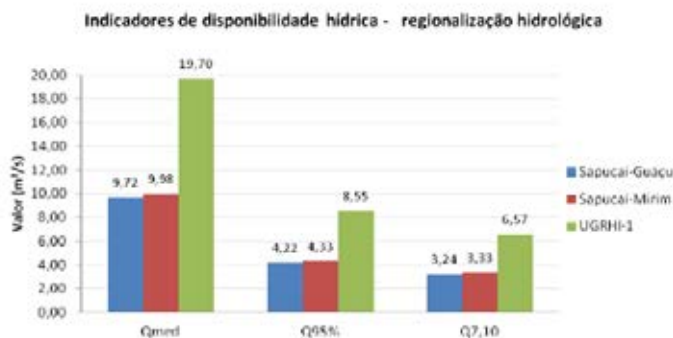


Figura 7 – Indicadores de disponibilidade hídrica na UGRHI-1. Fonte: CTPI (2012).

### 3.11 Saneamento na bacia da Serra da Mantiqueira

A bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1) vem apresentando os piores índices relacionados a qualidade da água no estado. De acordo com a SSRH/CRHI (2011), o Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto do Município (ICTEM) do município de Campos do Jordão, em 2009, foi classificado como péssimo e nos municípios de São Bento do Sapucaí e Santo Antônio do Pinhal foi considerado ruim, demonstrando a deficiência histórica no sistema de saneamento (Figura 8).

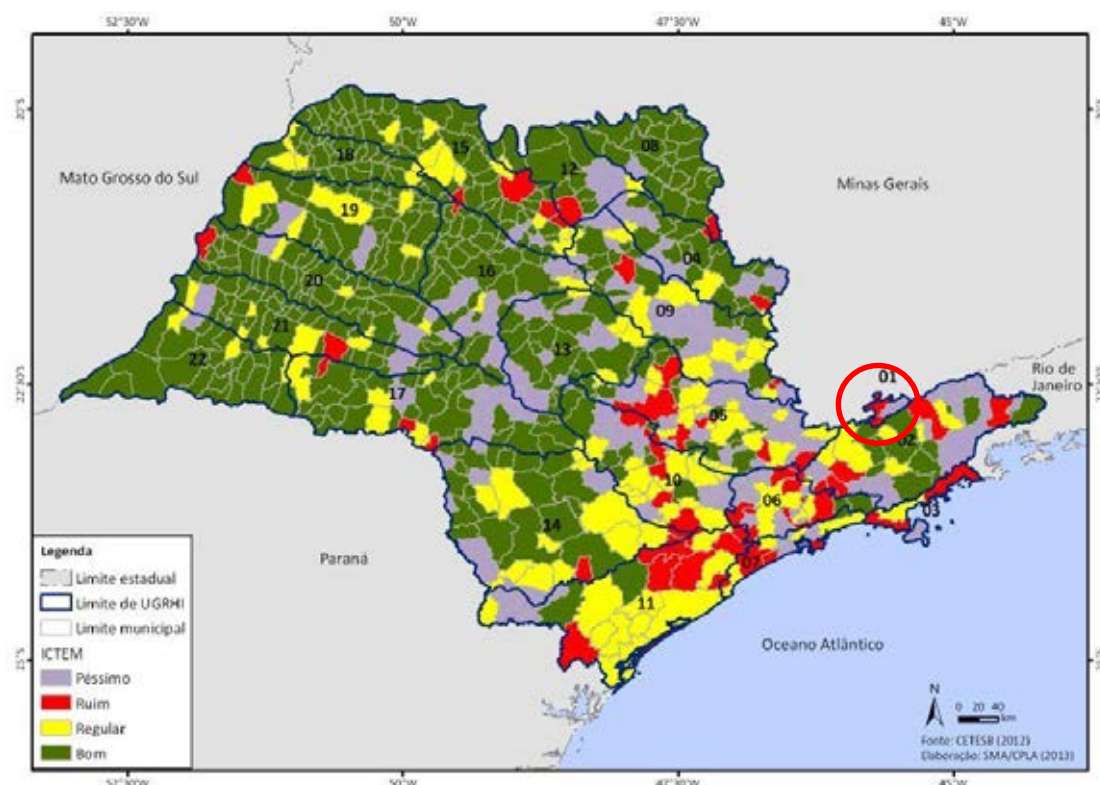


Figura 8 – Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto do Município ICTEM (2011) para os municípios do estado de São Paulo, com destaque para a UGRHI-1 com os municípios de Campos do Jordão, São Bento do Sapucaí e Santo Antônio do Pinhal. Fonte: SMA (2013).

De acordo com a SSRH/CRHI (2011), em 2011 o sistema de coleta de esgoto atendeu 49% da população, com o tratamento efetivo de apenas 10% do volume coletado e a proporção da redução da carga de DBO dos efluentes domésticos foi de 3%, sendo considerada, a pior do estado. O maior município desta bacia, Campos do Jordão, despejava 100% do esgoto sem nenhum tratamento diretamente nos cursos d'água (CESTESB, 2013).

De acordo com informações da SABESP, em 2014, após o atraso nas licenças ambientais e nas obras, foi instalada a nova estação de tratamento de esgoto (ETE) de Campos do Jordão, localizada no Rio Sapucaí-Guaçu, com potencial para tratar  $213 \text{ L s}^{-1}$  de esgoto, por meio de ativação e de membranas filtrantes e lodo ativado. Este projeto propôs elevar a coleta de esgoto de 45% para 65%, com tratamento de 100% do esgoto coletado. Em Santo Antônio do Pinhal, a ETE coleta e trata o esgoto por meio do sistema de lagoa de estabilização facultativa aerada, com eficiência de remoção de DBO de 80%. Em São Bento do Sapucaí a ETE foi inaugurada em julho de 2013, elevando a coleta de esgoto de 85% para 88% e o tratamento de 12% para 100%, com taxa de remoção de DBO de 98% (SABESP, 2012). Conforme dados do SEADE (2014), a rede coletora de esgoto de São Bento do Sapucaí, atende 86,2% do município, em Campos do Jordão, 77,9% e em Santo Antônio do Pinhal 72,7% (Figura 9).

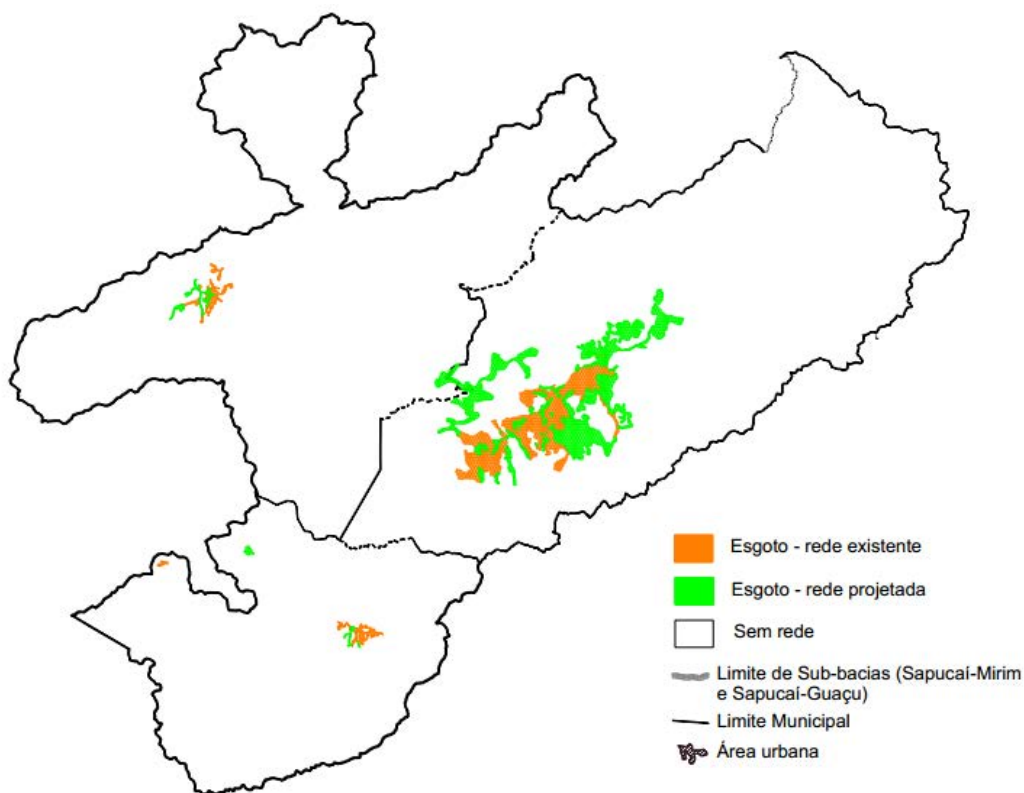


Figura 9 – Rede de esgoto existente e projetada na UGRHI-11. Fonte: SABESP (2012).

O despejo de esgoto sem tratamento nos corpos de água, vem degradando os rios utilizados para consumo dos moradores, principalmente pela população de nível sócio econômico baixo. De acordo com informações do Banco de Dados DATASUS, do Ministério da Saúde, de 2008 a 2010, sete pessoas morreram decorrentes de doenças de veiculação hídrica nos municípios desta bacia. A falta de saneamento e as instalações sanitárias precárias, causaram em 2002 e 2003, um surto de hepatite A, relacionado ao consumo de água contaminada proveniente de minas e fontes no município de Campos do Jordão. Foram constatados em 46 bairros da cidade, 284 casos, sendo, 112 em 2002 e 172 em 2003. O foco principal do estudo da vigilância sanitária foi o rio Capivari e as principais contaminações foram encontradas em creches e escolas (CÉSAR E BASSIT, 2004).

Devido à condição topográfica desta bacia e da dificuldade de se estabelecer uma rede estruturada de saneamento e distribuição de água potável, em muitos casos, a captação deste recurso ocorre além das estações de tratamento de água (ETAs) (Figura 10).

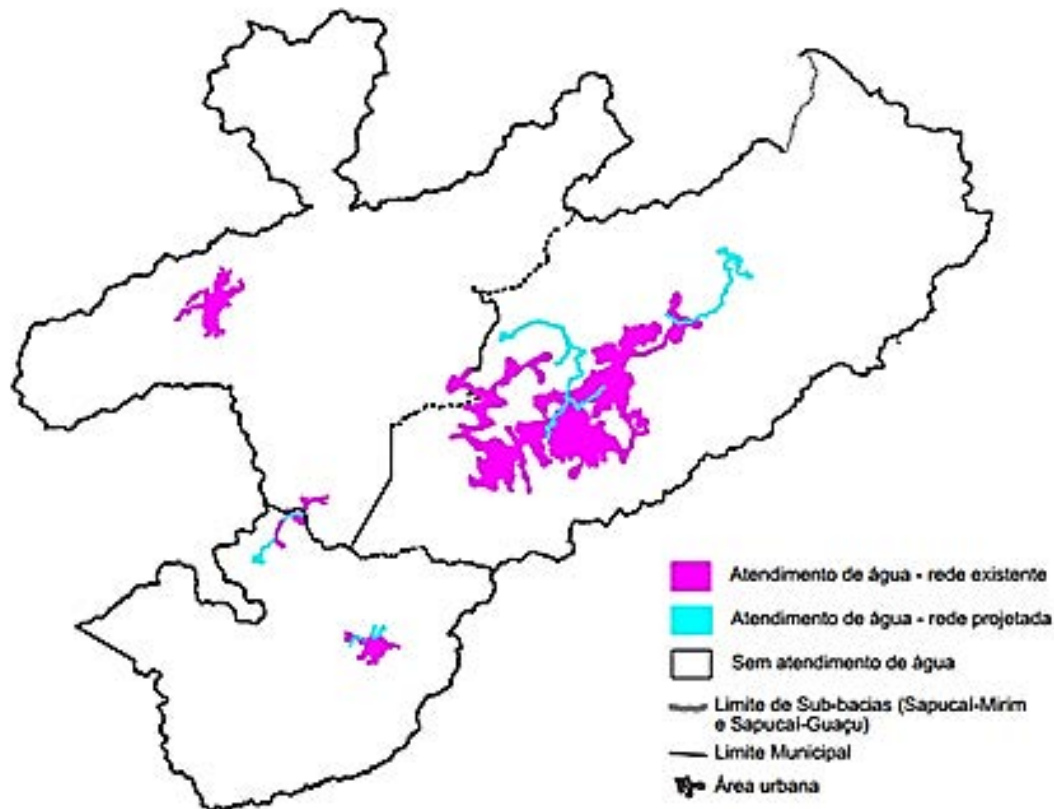


Figura 10 – Redes existentes e projetadas de atendimento de água na UGRHI -1. Fonte: Sabesp (2012).



Até o ano de 2012, a vigilância sanitária monitorava 21 pontos cadastrados de coleta de água para abastecimento público, contudo, estimou mais de 200 pequenos pontos de captação espalhados pela bacia sem monitoramento, envolvendo pequenos empreendimentos, propriedades e usuários (CBH-SM, 2013).

Gomes (2013) avaliou a bacia do Ribeirão Perdizes, sub bacia do Rio Capivari em Campos do Jordão (SP) e identificou mudanças na capacidade de autodepuração, devido à diminuição da vazão deste corpo d'água, causada pelo aumento do volume de captação, além do lançamento de esgotos domésticos sem tratamento no curso d'água, apresentando elevada DBO. A diminuição do volume de água deste ribeirão, causada pelo excesso de captação é preocupante, principalmente, porque a região é turística e apresenta elevada rede hoteleira, além de muitos empreendimentos de médio e alto padrão.

### **3.12 Uso do solo na bacia da Serra da Mantiqueira**

Devido ao histórico de colonização e ocupação do solo na bacia, grande parte da vegetação, principalmente das matas de araucária (*Araucaria angustifolia*), foi removida ou substituída por pastagens, cultivo de *Pinus sp.* e outras culturas e mais recentemente, a sivicultura e urbanização.

Com base nas informações obtidas no Plano de Bacias da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1), esta bacia é composta em toda a sua extensão por unidades de conservação, que incluem a área de proteção ambiental (APA) da Serra da Mantiqueira. a APA Campos do Jordão; a APA Sapucaí-Mirim; Parque Estadual de Campos do Jordão e Parque Estadual de Mananciais de Campos do Jordão, localizados nos Parques Nacional do Itatiaia, dividido entre os Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro e nos Parques Estaduais, Serra do Brigadeiro e Serra do Papagaio, em Minas Gerais, e o de Campos do Jordão, no Estado de São Paulo (CBH-SM, 2012).

Segundo Benites (2003), os solos da Serra da Mantiqueira são caracterizados em sua maioria como distróficos, quimicamente pobres e com alto teor de alumínio trocável. Em virtude das elevadas altitudes e do relevo acidentado e com presença de muitos afloramentos rochosos, apresentam textura arenosa e silto-arenosa, onde os atributos morfológicos observados são peculiares a solos pouco desenvolvidos, tornando-os solos de baixa aptidão agrícola e susceptíveis a erosão.

De acordo com SMA/IF (2008), a cobertura vegetal ocupa cerca de 48,9% dos 675Km<sup>2</sup> da área total da bacia, concentrados, principalmente, nos municípios de Campos do Jordão e Santo Antônio do Pinhal. Por outro lado, as pastagens ocupam uma área de 220km<sup>2</sup>, representando 32,5% do uso do solo, sendo mais representativa no município de São Bento do Sapucaí. A urbanização representa apenas 4,5% da área da bacia.

### **3.13 Monitoramento da qualidade da água na UGRHI-1**

Os pontos de monitoramento implementados nas bacias da Serra da Mantiqueira não possuem séries históricas suficientes para determinar a eficiência na escolha dos locais de implantação. De acordo com o Relatório da CETESB (2013), até 2013, a UGRHI-1 possuía apenas dois pontos de monitoramento de qualidade da água em atividade, o ponto SAGU 02100, implantado em 2001, localizado no rio Sapucaí-Guaçu, no município de Campos do Jordão e o ponto PRAT 02400, implantado em 2008, localizado no rio da Prata, no município de São Antônio do Pinhal.

No início de 2014, o ponto SAGU 20100 foi desativado, em função da implantação da nova estação de tratamento de esgotos (ETE) de Campos do Jordão, pois situava-se a montante do lançamento de efluentes e não seria representativo para a determinação da real qualidade da água da bacia. Dessa forma, foi estabelecido um novo ponto neste mesmo rio, o SAGU 02250. Também em 2014 entrou em funcionamento um ponto no município de São Bento do Sapucaí, o SAMI 02200, localizado no rio Sapucaí-Mirim.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo - a bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1)

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia da Serra da Mantiqueira – UGRHI-1 localiza-se na porção nordeste-leste do Estado de São Paulo e faz divisa com a bacia do Rio Paraíba do Sul e a oeste-norte, com o Estado de Minas Gerais (Figura 11). Esta bacia é formada pelos municípios de Campos do Jordão, Santo Antônio do Pinhal e São Bento do Sapucaí, e possui área de drenagem de 675km<sup>2</sup> (CBH-SM, 2009).

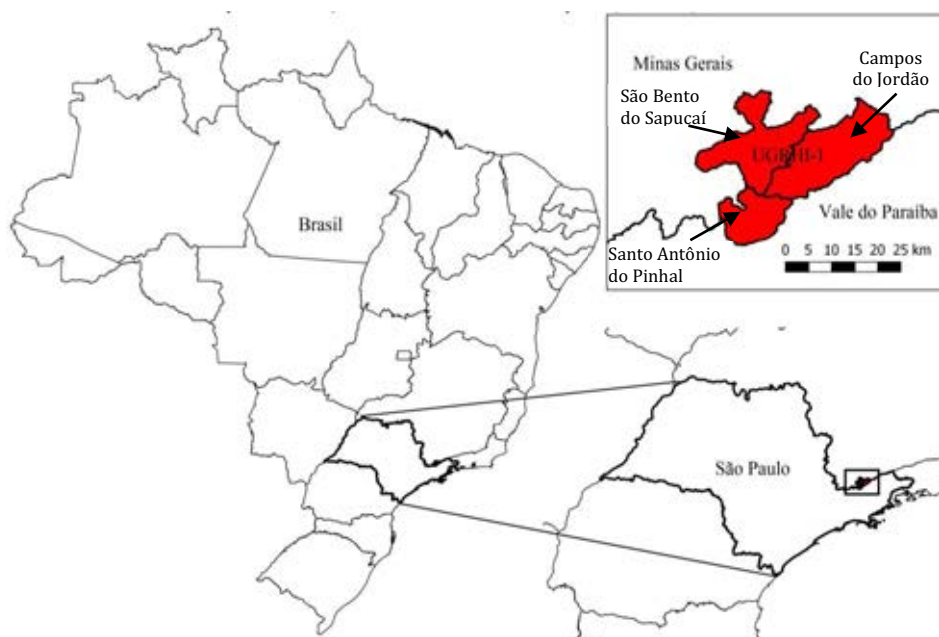


Figura 11 - Mapa de localização da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1).

O município de Campos do Jordão faz divisa ao Norte com os municípios mineiros de Itajubá, Pirangussu e Wenceslau Braz, a Leste com municípios paulistas de Guaratinguetá, a Sul com Pindamonhangaba e a Oeste com São Bento do Sapucaí. O município de São Bento do Sapucaí faz divisa no estado de São Paulo com os municípios de Campos do Jordão, Santo Antônio do Pinhal e no estado de Minas Gerais com os municípios de Sapucaí-Mirim, Gonçalves, Paraisópolis, Brasópolis e Piranguçu. O

município de Santo Antônio do Pinhal faz divisa com os municípios paulistas de São Bento do Sapucaí a Norte, Campos do Jordão a Nordeste, Pindamonhangaba a Leste e Tremembé ao sul e, com os municípios mineiros de Monteiro Lobato a Sudoeste e Sapucaí-Mirim a Noroeste.

### ***Geologia e geomorfologia da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1)***

A bacia é formada por três principais conjuntos litológicos, os gnaisses e granitos, migmatitos e rochas cataclásticas (milonitos), com a presença de terrenos cristalinos ígneo-metamórficos pré-cambrianos, suítes alcalinas mesozóicas e terrenos sedimentares mais recentes, predominantemente aluvionares sedimentares e sedimentos quaternários (CBH-SM, 2012). Na região pode-se encontrar também quartzitos e rochas metacarbonáticas, ao norte de Campos do Jordão e corpos plutônicos alcalinos, em Santo Antônio do Pinhal. A maior parte das rochas que ocorrem na bacia compõe o Sistema Aquífero Cristalino (CBH-SM, 2012).

A região está sob o domínio do planalto Atlântico e possui relevo com níveis altimétricos entre 1.500m e 2.000m na região de Campos do Jordão, com frente retilínea (Figura 12), voltada para o médio Vale do rio Paraíba do Sul, com altos blocos de relevos cristalinos, bordas escarpadas resultantes de dobramentos e metamorfismos regionais, falhamentos e intensas intrusões (CBH-SM, 2009).

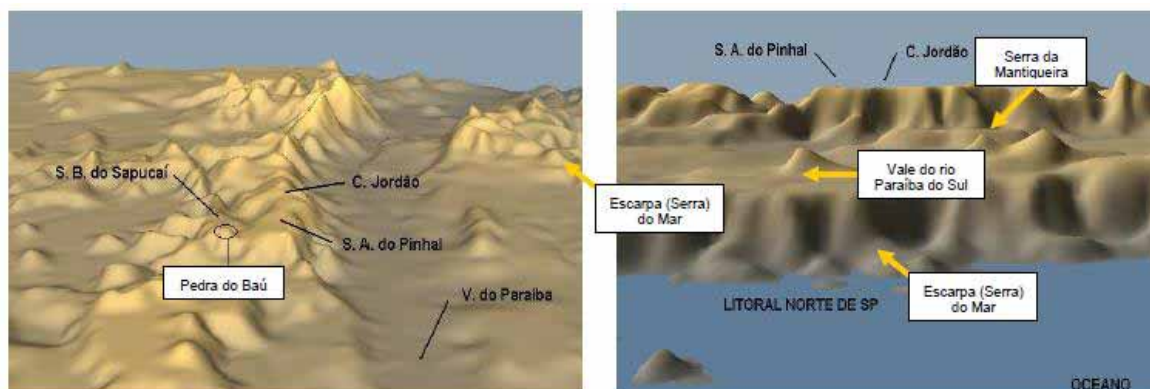


Figura 12 – Relevo da Serra da Mantiqueira. Fonte: CBH-SM (2012).

### ***Cobertura vegetal da bacia da Serra da Mantiqueira***

A vegetação desta bacia é composta principalmente por:

- a. **Floresta Ombrófila Densa Alto – Montana e fragmentos de vegetação secundária de Floresta Ombrófila Densa Alto – Montana:** vegetação que ocorre acima de 1.500m, caracterizando-se por ser perenifólia, com dossel regular de até

20 m e com presença de árvores emergentes de até 40m de altura. Apresenta densa vegetação arbustiva, herbácea, epífitas e musgos, com presença de alta umidade durante todos os períodos do ano, com temperatura de até 25°C (Figura 13).



Figura 13 – Floresta Ombrófila Densa Alta-Montana, no município de São Bento do Sapucaí (SP).

- b. Floresta Ombrófila Mista Alto – Montana:** Formação de mata de pinhais, perenifólia, apresentando dominância de *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii*, ocorrem em altitudes médias superiores a 1.200m, bem características da Serra da Mantiqueira (Figura 14).



Figura 14 – Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana ou mata de pinhais em Campos do Jordão. Ao fundo pressão antrópica causada pelo cultivo de Eucalipto.

- c. Campos de Altitude:** ocorrem acima de 1.800m e são constituídos de vegetação graminóide intercalada pela presença de arbustos de pequeno porte, com poucos exemplares arbóreos (Figura 15).





Figura 15 – Campos de altitude com presença de vegetação graminóide e arbustiva. Ao fundo mata ombrófila densa em Campos do Jordão.

**d. Vegetação Ciliar:** caracterizada por formações florestais estreitas, que acompanham os cursos d'água, independente da vegetação arbórea formar ou não galerias nas margens. Ocorre geralmente sobre terrenos acidentados, podendo haver transição para outras fisionomias florestais, com queda de folhagem na estação seca. A altura das árvores varia entre 10 a 15m, com alguns exemplares alcançando 20m ou mais (Figura 16).



Figura 16 – Vegetação Ciliar, neste caso, mata secundária no Rio Sapucaí em Campos do Jordão.

### ***Hidrologia da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1)***

De acordo com a com a classificação climática de Köppen, na bacia predomina o clima Cfb, clima mesotérmico úmido, com verão ameno, sem estação seca definida, com

temperatura média anual entre 13°C a 17°C e, ocasionalmente, abaixo de 0° C. A precipitação média anual é superior a 1500mm. As chuvas são uniformemente distribuídas, sendo menos intensas no período de estiagem. O alto índice pluviométrico ocorre devido ao efeito orográfico da Serra do Mar (CTPI, 2012). É importante ressaltar que, nesta bacia, não há base de dados com séries históricas hidrológicas ou dados de vazão disponibilizados.

### ***Hidrografia da bacia da Serra da Mantiqueira***

Os corpos hídricos cobrem uma área de 30,77 ha, distribuídos entre os municípios de Campos do Jordão, São Bento do Sapucaí e Santo Antônio do Pinhal (Figura 17), sendo todos enquadrados na classe 2, conforme a classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, no Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977, que dispõe sobre o enquadramento, na resolução CNRH nº 91/2008 e na Resolução CONAMA 357/2005 Art. 42.

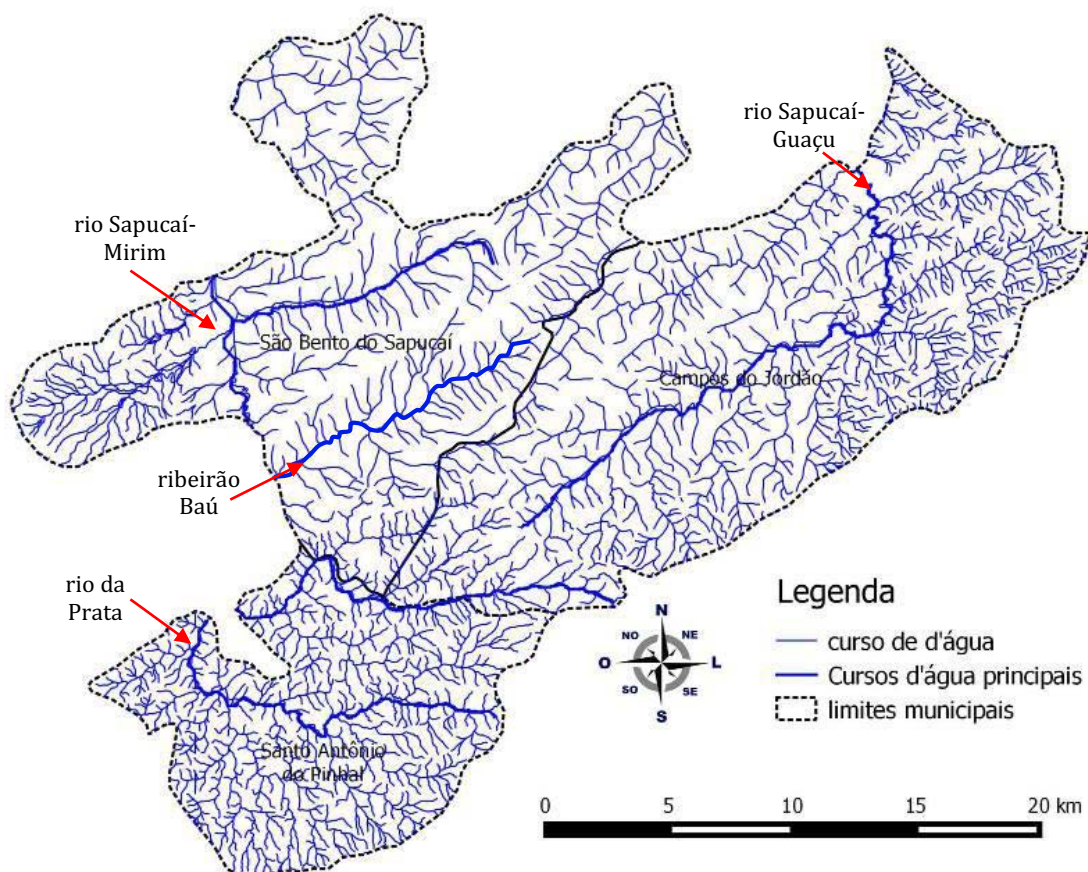


Figura 17 – Rede hidrográfica da bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1), com identificação dos rios principais. Fonte: Adaptado de CPLA (2014).



### ***Pedologia da bacia da Serra da Mantiqueira***

O levantamento pedológico da bacia foi realizado em visitas de campo e com base no mapa pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA, 1999). Os perfis foram fotografados e as classes de solo foram determinadas conforme metodologia da Embrapa (2009) (Figura 18).

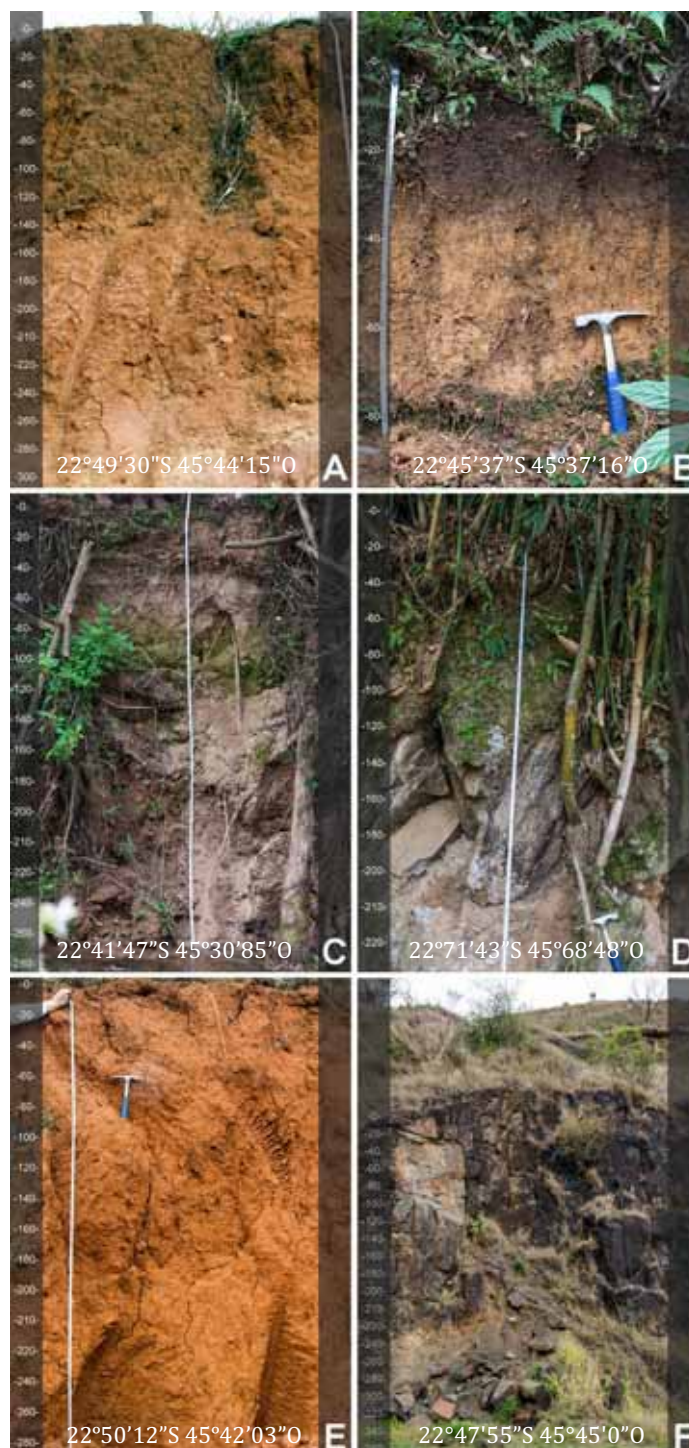


Figura 18 – Principais classes de solo da bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1):  
 A) Cambissolo Háptico (CX); B) Cambissolo Húmico (CH); C) Neossolo Flúvico (RU); D) Neossolo Litólico (RL); E) Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e F) Afloramento rochoso



## **4.2 Metodologia aplicada a proposição de rede de monitoramento de qualidade de água**

Para a determinação dos pontos de monitoramento foram utilizados os bancos de dados geográficos disponíveis para a bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1) obtidos das seguintes fontes:

- Rede de drenagem e sub bacias do Estado de São Paulo, escala 1:50.000: Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA) da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA);
- Base cartográfica e limites municipais, escala 1:50.000: Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE);
- Mapa de uso e ocupação do solo e vias de acesso: Instituto Florestal (IF) (2008);
- Mapa de declividade - Modelo Digital de Elevação (MDE), quadrícula 22S465, articulação escala 1:250.000: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA (VALERIANO e ROSSETTI, 2012);
- Ortofotos do Estado de São Paulo: Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (EmplasaGeo);
- Imagens do terreno: Google Earth®.

Os pontos de monitoramento de qualidade da água foram estabelecidos considerando os rios principais e seus afluentes que contemplavam os usos do solo representativos da bacia. Assim, os pontos foram distribuídos no mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira, disponibilizado pela Secretaria de Meio Ambiente e Instituto Florestal (2008) e ajustados durante os levantamentos de campo. Cada ponto foi alocado contendo os principais usos do solo, agrupados nas sub-bacias dos rios principais. Nesta distribuição, procurou-se eliminar os pontos próximos à zona de mistura ou logo à jusante de sistemas de lançamento de efluentes e foram considerados como referência de qualidade os parâmetros obtidos em amostras de água coletadas nas nascentes destes rios e os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de Classe 2.

A caracterização dos 19 pontos de amostragem de água selecionados, foram realizadas por meio de ortofotos disponibilizadas para o estado de São Paulo pela EmplasaGeo, comparando-se o mapa de uso e ocupação do solo com os levantamentos de campo.

### ***Aplicação do SIG no mapeamento da qualidade da água***

Os *softwares* de geoprocessamento utilizados para gerar os mapas dos pontos de monitoramento foram o Quantum GIS (QGIS®) versão 2.4.0 Chugiak e o MapWindow® Open Source versão 4.8.8, ambos de licença livre, no Laboratório de Análises Geoespaciais (LAGE), do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Guaratinguetá. Os índices de qualidade da Água (IQA) foram utilizados para a aplicação do Sistema de Informações Geográficas (SIG) no mapeamento da qualidade da água das bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1) do meio físico, com a integração dos mapas, geológico, geomorfológico, pedológico, de uso do solo e da rede de drenagem.

Utilizando a ferramenta *Watershed Delineation* do *software* MapWindow® e a partir de imagens de declividade numérica, foram delimitadas as sub-bacias em função da direção de fluxo e área de contribuição de cada ponto selecionado. Os mapas de sub-bacias e de uso e ocupação do solo ajudaram a classificar as bacias a montante de cada ponto, assim como a contribuição de cada sub-bacia subjacente.

### ***Proposição de rede de monitoramento***

Para a proposição dos pontos de monitoramento foram utilizados bancos de dados geográficos e a metodologia baseou-se no Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos (CETESB, 2011), seguindo os seguintes critérios:

- Levantamento das principais fontes poluidoras da bacia e sua influência nos corpos de água utilizando o mapa de uso e ocupação do solo;
- Levantamento de campo, utilizando GPS e registro fotográfico;
- Verificação das vias de acessos e a situação das mesmas e avaliação de possíveis limitações ou interferências;
- Levantamento da importância de cada curso de água amostrado e determinação da presença de lançamento de efluentes de ETEs.

### **4.3 Metodologia de Coleta das amostras de água da Serra da Mantiqueira**

Para a análise dos parâmetros de qualidade da água, aplicados no cálculo do IQA (temperatura, turbidez, pH, coliformes fecais, oxigênio dissolvido, demanda

bioquímica de oxigênio, sólidos dissolvidos totais, fósforo total, nitrogênio total), foram realizadas duas campanhas para a avaliação da qualidade da água, sendo a primeira executada em fevereiro de 2013 (período chuvoso) e a segunda em junho de 2013 (período de estiagem). A água foi coletada a 30 cm de profundidade na parte central da calha dos rios estudados, conforme as metodologias descritas em CETESB (2011) e Parron (2011), excluindo-se os casos, onde a profundidade da água não atingiu esta condição. A temperatura, o oxigênio dissolvido (OD) e o pH foram determinados em campo e os demais parâmetros foram analisados em laboratório. As amostras foram coletadas em frascos estéreis de 1L (Figura 19), contendo reagentes conforme descritos nos manuais, mantidas e transportadas em caixas de isopor contendo gelo, conservando a temperatura entre 2 a 8°C. As análises foram realizadas em até 24 horas após a coleta.



Figura 19 - Coleta de amostras de água nas bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira: A) frasco contendo reagente; B) termômetro 0°C a 50°C; C) equipamento multiparâmetro e D) Oxímetro - equipamento para medir oxigênio dissolvido (OD).

#### 4.4 Parâmetros indicadores de qualidade da água

Os parâmetros de qualidade da água foram analisados nos Laboratório de Análises Químicas e Biológicas de Solo e Água e no Laboratório de Biotecnologia do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Guaratinguetá, juntamente com o Laboratório de Análises

de Qualidade de Água e Efluentes Nicatec, do Instituto ROGE, em Delfim Moreira (MG), aplicando as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water & Wasterwater*, APHA, 21ª Edição (2005). O potencial de influência do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água das bacias da Serra da Mantiqueira foi avaliado por meio da comparação dos valores dos parâmetros indicadores de qualidade, obtidos à jusante de cada uso do solo, com os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios enquadrados na classe 2, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros indicadores de qualidade da água utilizados pela CETESB para o cálculo do IQA e respectivos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 2.

Parâmetros de qualidade da água	Observações	Padrões Resolução CONAMA 357/2005
Oxigênio dissolvido (OD)	Águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, que é consumido em processos biológicos de organismos aquáticos. Quando for totalmente consumido pode causar mortandade de organismos e maus odores nas águas. É o principal parâmetro de caracterização dos efeitos de poluição das águas. A concentração pode variar com a altitude e a temperatura.	≥5
Coliformes termotolerantes ( <i>Escherichia coli</i> )	Ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadores de poluição por esgotos domésticos e pastagens. São responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica. A <i>E. coli</i> poderá ser determinada em substituição ao parâmetro de coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.	NMP <sup>1</sup> até 1000 100 mL <sup>-1</sup>
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	O aumento da DBO, geralmente é causado pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos. A determinação da DBO é imprescindível nos estudos de autodepuração dos cursos d'água, sendo um importante parâmetro na composição dos índices de qualidade das águas. Parâmetro fundamental para o controle da poluição das águas por matéria orgânica.	≤ 5 mg L <sup>-1</sup>
Nitrogênio total (NT)	Pode ter origem natural, como proteínas, clorofila e compostos biológicos ou antrópica, como disposição inadequada de esgotos domésticos e industriais e aplicações de fertilizantes. Quando em altas concentrações em mananciais, pode acarretar o crescimento excessivo ou descontrolado de algas (eutrofização). Seu excesso também pode aumentar o consumo do oxigênio dissolvido.	até 3,7 mg L <sup>-1</sup> (pH ≤ 7,5) 2,0 mg L <sup>-1</sup> (pH 7,5 a 8,0) 1,0 mg L <sup>-1</sup> (pH 8,0 a 8,5) 0,5 mg L <sup>-1</sup> (pH > 8,5)
Fósforo total (PT)	Pode ter origem antrópica, como disposição inadequada de esgotos domésticos e industriais, detergentes, fezes animais e fertilizantes. O excesso em mananciais desencadeia o crescimento de algas (eutrofização).	até 0,1 mg L <sup>-1</sup>

Tabela 2 – continuação

Parâmetros de qualidade da água	Observações	Padrões Resolução CONAMA 357/2005
Turbidez (TU)	Indica o nível de sólidos em suspensão e pode ser causada por despejo de efluentes domésticos, industriais, microrganismos ou, principalmente, por partículas oriundas de erosão do solo, geralmente associadas a compostos tóxicos e organismos patogênicos.	100 UNT <sup>/2</sup>
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	Podem ser indicativos de assoreamento e quando depositados no fundo dos leitos, causam danos à vida aquática.	até 500 mg L <sup>-1</sup>
Temperatura (T)	Influencia vários parâmetros físico-químicos da água e o desenvolvimento de organismos.	---
Potencial hidrogeniônico (pH)	É alterado em função dos sólidos e gases dissolvidos. Apresenta uma faixa de 0 a 14, sendo que a água com pH inferior a 7 é considerada ácida, em pH 7,0 está em condições de neutralidade e acima de 7 está alcalina ou básica. A alteração dos valores de pH afeta o desenvolvimento de microrganismos, principalmente em condições de elevada acidez ou alcalinidade.	6,0 a 9,0

<sup>/1</sup> Número mais provável; <sup>/2</sup> Unidades nefelométrica de turbidez

#### 4.5 Índice de qualidade da água (IQA)

O índice de qualidade da água (IQA) utilizado neste estudo foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF), adotado e adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo (CETESB) em 1975 (ANA, 2013a). O IQA foi calculado pelo produtório ponderado dos parâmetros indicadores de qualidade da água: temperatura, turbidez, pH, coliformes fecais, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos dissolvidos totais, fósforo total, nitrogênio total, apresentado na Equação 1, e foi avaliado de acordo com as faixas de IQA estabelecidas pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2014).

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

Equação 1 – Equação para cálculo do IQA. Fonte: ANA (www.ana.gov.br)

Onde:

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

$q_i$ : qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida (Tabela 3) e

$w_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e (Equação 2), atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que

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

Equação 2 – Número de parâmetros que entram no cálculo do IQA. Fonte: ANA (www.ana.gov.br)

Onde:

$n$ : número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados no cálculo do IQA com seus respectivos pesos. Fonte: Adaptado de ANA (www.ana.gov.br)

Parâmetro	Unidade	Peso - $w_i$
Oxigênio Dissolvido (OD)	%	0,17
Coliformes termotolerantes ( <i>E. coli</i> )	NMP <sup>/1</sup> 100 mL <sup>-1</sup>	0,15
Potencial Hidrogeniônico (pH)	unidade	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg L <sup>-1</sup>	0,10
Nitrogênio total (NT)	mg L <sup>-1</sup>	0,10
Fósforo total (PT)	mg L <sup>-1</sup>	0,10
Temperatura (T)	°C	0,10
Turbidez (TU)	UNT <sup>/2</sup>	0,08
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg L <sup>-1</sup>	0,08

<sup>/1</sup> Número mais provável; <sup>/2</sup> Unidades nefelométrica de turbidez

Os valores de IQA obtidos para os diferentes pontos de coleta de água foram avaliados, considerando-se as faixas de qualidade estabelecidas pela ANA, apresentadas na Figura 20.

Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS	Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	Avaliação da Qualidade da Água
91-100	80-100	Ótima
71-90	52-79	Boa
51-70	37-51	Razoável
26-50	20-36	Ruim
0-25	0-19	Péssima

Figura 20 - Faixas de IQA estabelecidas pela ANA. Fonte: ANA (www.ana.gov.br).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Pontos de amostragem de água selecionados

Na Figura 21 podem ser identificadas as sub-bacias dos principais rios sob influência dos diferentes usos e ocupação do solo da bacia da Serra da Mantiqueira, nas quais foram determinados os pontos de amostragem de água.

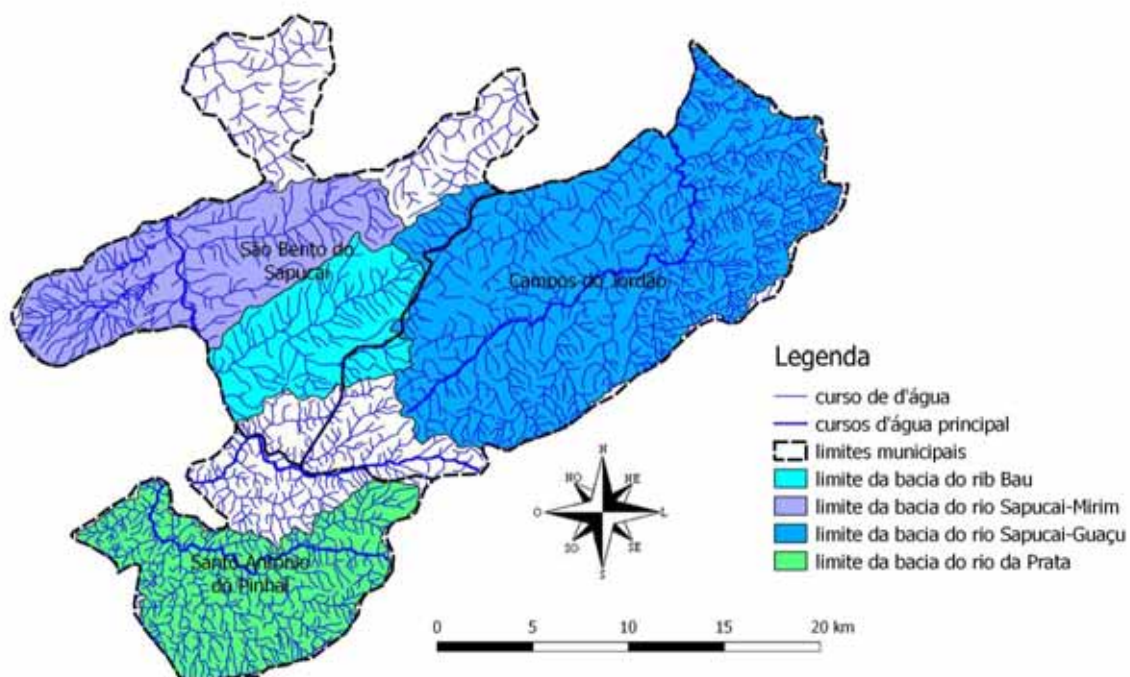


Figura 21 – Mapa das principais sub-bacias hidrográficas da UGRHI-1 e seus respectivos rios.

A Figura 22 apresenta o mapa de alocação dos 19 pontos georreferenciados determinados para monitoramento de qualidade da água da bacia, gerado da análise do mapa de uso e ocupação do solo, com potencial influência sobre a rede hidrográfica e após as adequações realizadas em campo, considerando as vias de acesso.



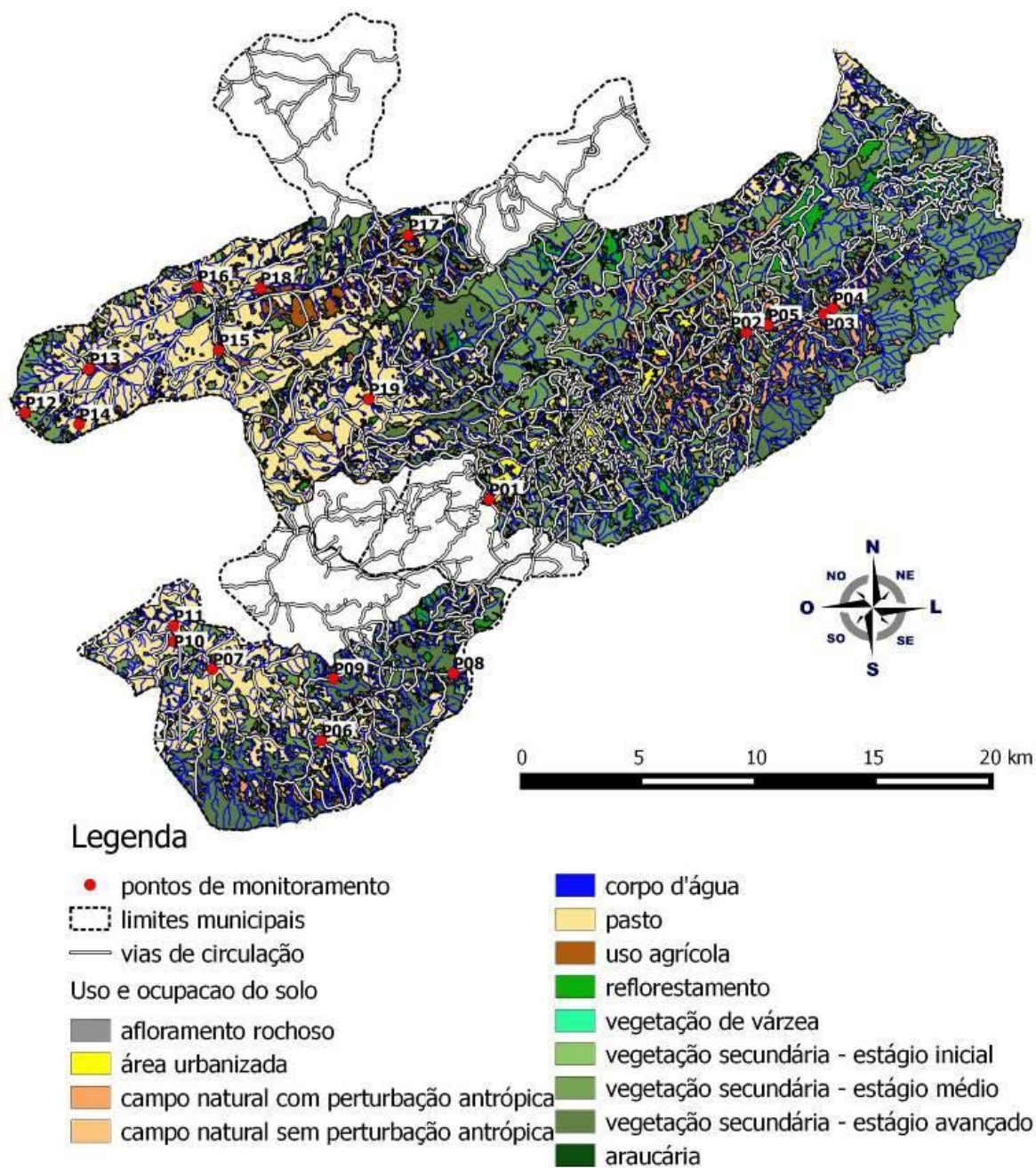


Figura 22 – Mapa de uso e ocupação do solo com a distribuição dos pontos de monitoramento de qualidade da água na UGRHI 1, gerado da análise do uso e ocupação do solo com potencial influência sobre a rede hidrográfica.

No quadro 1 podem ser verificadas a localização dos pontos de monitoramento e as respectivas características do uso e ocupação em sua área de influência.



Quadro 1- Localização e principais usos do solo nos 19 pontos de coleta de água da UGRHI-1.

Ponto	Sub-bacia	Município	Uso do solo	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude(m)
P01	Rio Sapucaí-Guaçu	Campos do Jordão	Urbanização + vegetação secundária estágio médio	22°45'37.93"S	45°37'16.21"O	1650
P02		Campos do Jordão	Urbanização + vegetação secundária estágio médio	22°41'47.03"S	45°30'50.85"O	1536
P03		Campos do Jordão	Urbanização + vegetação secundária estágio médio	22°41'21.96"S	45°28'54.58"O	1523
P04		Campos do Jordão	Vegetação secundária estágio médio + campos sem perturbação	22°41'13.69"S	45°28'40.94"O	1536
P05		Campos do Jordão	Vegetação secundária estágio médio + uso agrícola	22°41'36.71"S	45°30'18.26"O	1528
P06	Rio da Prata	Santo Antônio do Pinhal	Pastagem + vegetação secundária estágio médio	22°51'11.45"S	45°41'28.01"O	1059
P07		Santo Antônio do Pinhal	Pastagem	22°49'32.57"S	45°44'11.06"O	971
P08		Santo Antônio do Pinhal	Urbanização + vegetação secundária estágio médio	22°49'38.29"S	45°38'10.12"O	1139
P09		Santo Antônio do Pinhal	Urbanização + vegetação secundária estágio avançado	22°49'45.67"S	45°41'09.79"O	1059
P10		Santo Antônio do Pinhal	Pastagens + uso agrícola + reflorestamento	22°48'54.31"S	45°45'09.51"O	951
P11		Santo Antônio do Pinhal	Pastagens + vegetação secundária estágio médio	22°48'32.75"S	45°45'09.51"O	920
P12		São Bento do Sapucaí	Pastagens + vegetação secundária estágio médio	22°43'37.95"S	45°48'52.10"O	1556
P13		São Bento do Sapucaí	Pastagens + vegetação secundária estágio médio + uso agrícola	22°42'37.26"S	45°47'15.96"O	942
P14		São Bento do Sapucaí	Pastagem natural	22°43'54.23"S	45°47'30.96"O	1322
P15		São Bento do Sapucaí	Urbanização	22°42'11.62"S	45°44'01.86"O	874
P16		São Bento do Sapucaí	Pastagens + vegetação secundária estágio médio +reflorestamento	22°40'43.08"S	45°44'33.13"O	872
P17	São Bento do Sapucaí	Pastagens + vegetação secundária estágio médio + uso agrícola	22°39'32.49"S	45°39'17.72"O	1298	
P18	São Bento do Sapucaí	Pastagens + uso agrícola	22°40'45.71"S	45°42'59.25"O	880	
P19	Ribeirão Baú	Pastagem + urbanização	22°43'19.36"S	45°40'16.78"O	982	

A determinação dos pontos de monitoramento de qualidade da água resultou da análise da direção, com base em modelo raster, das sub-bacias contribuintes (Figura 23). Esta ferramenta permitiu analisar a influência do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água em cada ponto selecionado, atendendo aos critérios estabelecidos pela CETESB (2011) para a definição de pontos de coleta.

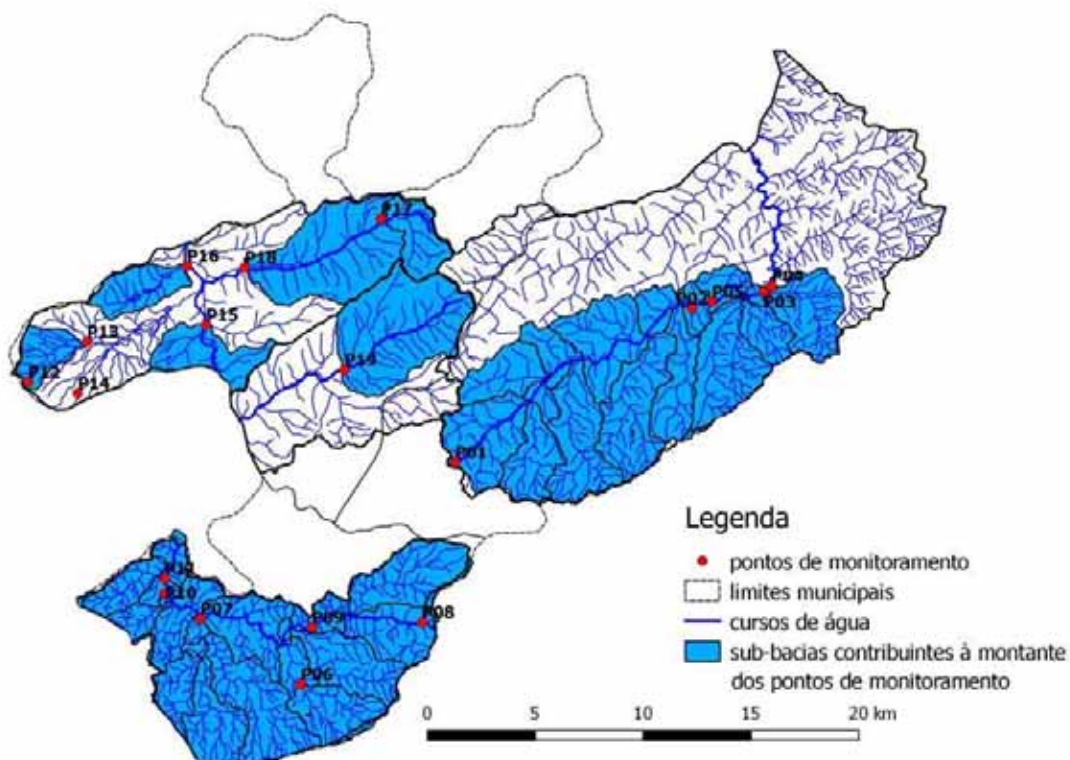






Figura 23 – Mapa das sub-bacias contribuintes de cada ponto de monitoramento de qualidade da água na UGRHI 1.

No quadro 2 é apresentada a descrição dos principais usos e ocupação do solo da área de influência dos 19 pontos de amostragem de água selecionados, destacando-se: urbanização, vegetação em diversos estágios de desenvolvimento, uso agrícola e pastagens.


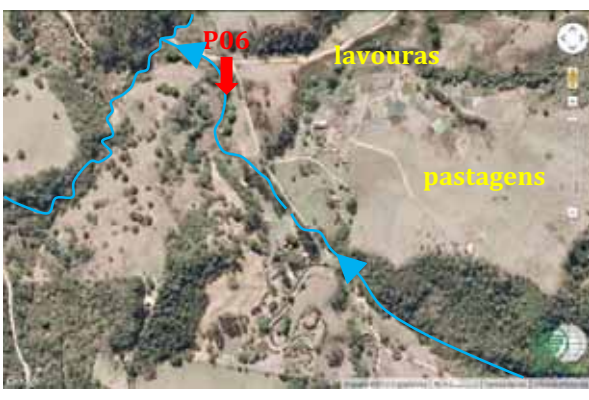


Quadro 2 – Descrição da área de influência dos pontos de coleta de água nas bacias da Serra da Mantiqueira utilizando Ortofotos, com indicação do fluxo de escoamento dos cursos de água.

Fonte: Adaptado de EmplasaGeo, 2011.





Descrição dos pontos de amostragem	Imagem do Ponto de amostragem
<p><b>Ponto 1:</b> localizado próximo a uma nascente do ribeirão Capivari no Parque das Cerejeiras, na cidade de Campos do Jordão. No entorno há predomínio de área urbana com resquícios de mata secundária em estágio médio de desenvolvimento, sob constante pressão antrópica.</p>	
<p><b>Ponto 2:</b> localizado no rio Sapucaí-Guaçu, em frente a nova ETE de Campos do Jordão. Há predomínio de remanescentes de mata secundária, área urbana (condomínios e loteamentos) e reflorestamento de eucalipto.</p>	
<p><b>Ponto 3:</b> localizado no rio Sapucaí-Guaçu, na Sede do Horto Florestal, no Parque Estadual de Campos do Jordão. No local há predomínio de mata secundária em estágio médio de desenvolvimento, com alta influência antrópica.</p>	
<p><b>Ponto 4:</b> localizado em uma nascente no Horto Florestal, Parque Estadual de Campos do Jordão, em área de matas ou florestas naturais, com baixa atividade antrópica, predominando no local, os campos de altitude sem perturbação e as matas de pinhais.</p>	



Quadro 2 – Continuação


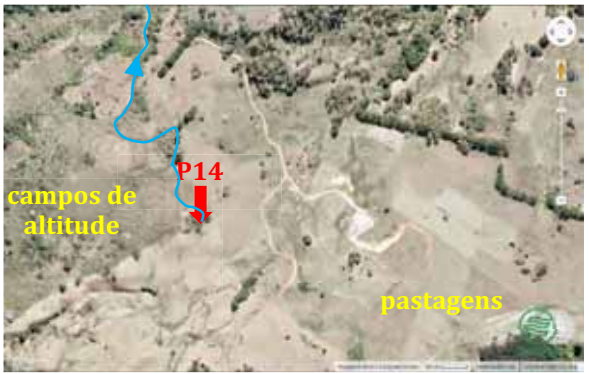


Descrição dos pontos de amostragem	Imagem do Ponto de amostragem
<p><b>Ponto 5:</b> localizado no rio Sapucaí-Guaçu, na ponte próximo ao borboletário “Flores que voam”, em Campos do Jordão, em área de matas com estágio médio de desenvolvimento e uso agrícola.</p>	
<p><b>Ponto 6:</b> localizado em um sítio na zona rural de Santo Antônio do Pinhal. No local predominam grandes áreas de pastagens, lavouras e remanescentes de mata secundária em estágio médio de desenvolvimento.</p>	
<p><b>Ponto 7:</b> localizado às margens da Rodovia Osvaldo Barbosa Guisard (SP-046), em frente à Capela Bom Jesus, Santo Antônio do Pinhal. No local predominam grandes áreas com pastagens e a mata ciliar degradada.</p>	
<p><b>Ponto 8:</b> localizado em frente a um condomínio residencial, no município de Santo Antônio do Pinhal, às margens da Rodovia Osvaldo Barbosa Guisard (SP-046). Na região, há predomínio de mata e pinhais, matas secundárias em estágio médio de desenvolvimento.</p>	

Quadro 2 – Continuação




Descrição dos pontos de amostragem	Imagem do Ponto de amostragem
<p><b>Ponto 9:</b> localizado em área urbanizada do município de Santo Antônio do Pinhal, às margens da Rodovia Osvaldo Barbosa Guisard (SP-046). A região é ocupada por chácaras e sítios, com predomínio de mata secundária em estágio avançado de desenvolvimento.</p>	
<p><b>Ponto 10:</b> localizado às margens da Rodovia Vereador Júlio da Silva (SP-050), no município de Santo Antônio do Pinhal. No local há chácaras e sítios, com predomínio de pastagens, lavouras, resquícios de matas ou florestas e reflorestamento.</p>	
<p><b>Ponto 11:</b> localizado próximo a uma nascente, às margens da Rodovia Vereador Júlio da Silva (SP-050), no município de Santo Antônio do Pinhal. Na região predominam pastagens e lavouras, com poucos remanescentes florestais.</p>	
<p><b>Ponto 12:</b> localizado em uma nascente, em área pastagens e mata secundária com estágio médio de desenvolvimento, no município de São Bento do Sapucaí, divisa com o Estado de Minas Gerais.</p>	



Quadro 2 – Continuação

Descrição dos pontos de amostragem	Imagem do Ponto de amostragem
<p><b>Ponto 13:</b> localizado em área de uso diversificado, no município de São Bento do Sapucaí. Na área predominam propriedades rurais e lavouras, pastagens e remanescentes de matas ciliares secundárias.</p>	 <p>A satellite image showing a river flowing through a landscape. A red arrow points to a sampling point labeled 'P13'. The surrounding area includes green fields labeled 'pastagens', a cluster of buildings labeled 'propriedade rural', and some wooded areas.</p>
<p><b>Ponto 14:</b> localizado em área de nascente, no município de São Bento do Sapucaí. No local predominam pastagens e remanescentes de campos de altitude.</p>	 <p>A satellite image showing a river source in a hilly area. A red arrow points to a sampling point labeled 'P14'. The landscape features brownish hills labeled 'campos de altitude' and green fields labeled 'pastagens'.</p>
<p><b>Ponto 15:</b> localizado em área urbanizada do município de São Bento do Sapucaí. No local predominam pastagens, residências e comércio.</p>	 <p>A satellite image showing a river flowing through an urbanized area. A red arrow points to a sampling point labeled 'P15'. The area includes green fields labeled 'pastagens' and a residential/commercial area labeled 'residências e comércio'.</p>
<p><b>Ponto 16:</b> localizado no do município de São Bento do Sapucaí. No local predominam pastagens, lavouras e a ETE de São Bento do Sapucaí, que não consta na ortofoto apresentada na figura, mas pode ser observada em imagens do <i>Google Earth</i>®.</p>	 <p>A satellite image showing a river flowing through a landscape. A red arrow points to a sampling point labeled 'P16'. The area includes green fields labeled 'pastagens', brown fields labeled 'lavouras', and a yellow box highlighting an area labeled 'ETE'.</p>

Quadro 2 – Continuação

Descrição dos pontos de amostragem	Imagem do Ponto de amostragem
<p><b>Ponto 17:</b> localizado em uma nascente do ribeirão Paiol Grande, na Rod. Pref. Benedito Gomes de Souza, no município de São Bento do Sapucaí. Na região predominam a vegetação secundária em estágio médio de desenvolvimento com presença de pinheirais e diversas propriedades.</p>	
<p><b>Ponto 18:</b> localizado no ribeirão Paiol Grande, em área de uso diversificado, no município de São Bento do Sapucaí. No local predominam pastagens e lavouras de propriedades rurais.</p>	
<p><b>Ponto 19:</b> localizado no ribeirão Baú, em área de propriedade rural, no município de São Bento do Sapucaí. No local há predomínio de pastagens e poucas manchas de remanescentes florestais.</p>	

Analisando o mapa de uso e ocupação do solo da bacia da Serra da Mantiqueira, disponibilizado pelo IF (2008), verificou-se que a cobertura vegetal ocupa cerca de 48,9% dos 675Km<sup>2</sup> da área total da bacia, concentrados, principalmente, nos municípios de Campos do Jordão e Santo Antônio do Pinhal. Por outro lado, as pastagens ocupam uma área de 220km<sup>2</sup>, representando 32,5% do uso do solo, sendo mais representativa no município de São Bento do Sapucaí. A urbanização representa

apenas 4,5% da área da bacia e, por isso, a disposição de pontos de monitoramento sob a influência urbana são mais facilmente determináveis.

Durante o estudo de campo foram observadas áreas de lavouras em terrenos declivosos, sem a adoção de práticas conservacionistas, como terraceamento (Figura 24).



Figura 24 – Lavouras sem a adoção de práticas conservacionistas em terrenos declivosos na bacia da Serra da Mantiqueira.

Também foram identificadas áreas de afloramentos rochosos cultivadas com banana, uso não recomendado para solos rasos e declivosos, sujeitos a processos erosivos intensos (Figura 25).



Figura 25 – Áreas de afloramentos rochosos cultivadas com banana na bacia da Serra da Mantiqueira.



Pinto et al. (2009) observaram as mesmas práticas de cultivo, com impactos na qualidade da água da bacia do ribeirão Lavrinhas, na região Alto Rio Grande (MG), na Serra da Mantiqueira, que apresenta condições semelhantes de solo e relevo às do atual estudo. De acordo Santana (2003), a pedologia é um importante condicionador dos comportamentos hídricos e o uso e ocupação do solo da bacia devem considerar a capacidade de suporte e aptidão agrícola.

Outras condições de uso e ocupação do solo relevantes observadas nesta bacia foram as construções realizadas nas encostas (Figura 26) e a ocupação por pastagens mal conduzidas (Figura 27) e em áreas de declividade.



Figura 26 – Construções em encostas, município de Campos do Jordão, na bacia da Serra da Mantiqueira.



Figura 27 – Áreas ocupadas por criação de gado e pastagens mal conduzidas na bacia da Serra da Mantiqueira.

Durante as visitas de campo, pode ser observado que, em muitos locais a erosão esteve associada com o tipo de solo, normalmente das classes de Cambissolos e Neossolos Litólicos e à declividade acentuada. O uso e ocupação inadequado do solo, associado à remoção da cobertura vegetal, contribuem para o processo de transporte de sedimentos para os leitos dos corpos d'água, principalmente no período chuvoso, como pode ser observado na Figura 28.

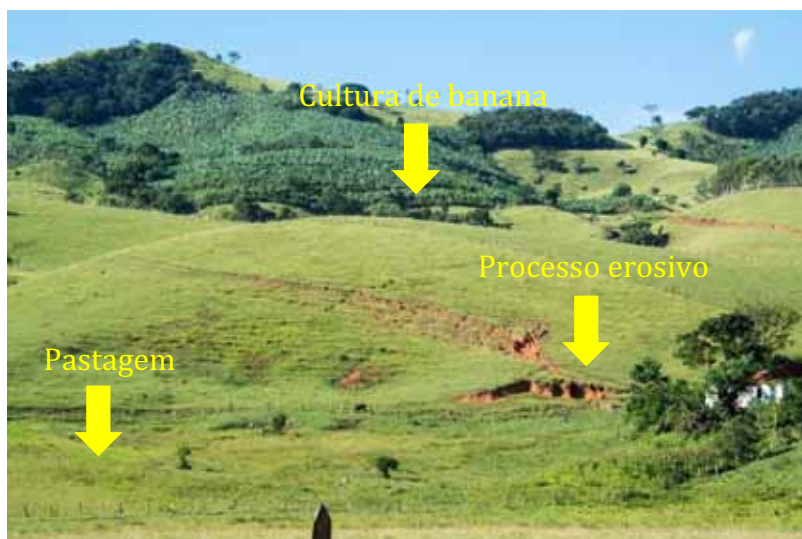


Figura 28 – Remanescentes de mata secundária, cultura de banana e pastagens degradadas em encostas no município de São Bento do Sapucaí (SP).

De acordo com Santana (2003), a profundidade do solo tende a ser menor em relevos muito acentuados e a bacia da Serra da Mantiqueira apresenta muitos pontos com processos erosivos. O uso indiscriminado do solo, faz com que as perdas ultrapassem o acúmulo de sedimentos ou sua permanência, como pode ser verificado na Figura 29.



Figura 29 – Pastagens mal conduzidas em área de encostas com declive acentuado, à esquerda remoção da cobertura vegetal, à direita, processos erosivos, apresentando no município de Santo Antônio do Pinhal (SP).

Lee et al. (2009), também constataram no estudo realizado em 144 reservas florestais da Coréia do Sul, que a agricultura afetou negativamente a qualidade da água e ressaltaram que, os fatores que mais influenciaram o nível da degradação ambiental estavam condicionados ao tipo de prática agrícola e à posição geográfica da propriedade.

A falta da aplicação do zoneamento ambiental nas bacias da Serra da Mantiqueira tem contribuído para o aumento dos processos de degradação relacionados ao uso indevido do solo, conforme demonstra a Figura 30.



Figura 30 - Perfil de ocupação em encosta na Serra da Mantiqueira, no município de São Bento do Sapucaí (SP). Foto: Marcos Henrique da Silva (2014).

Gallo Jr. et al. (2010) constataram que um problema com alta relevância enfrentado no município de Campos do Jordão é a existência de conflitos em relação à gestão ambiental, especialmente relacionados à sobreposição de instrumentos legais e administrativos e a ausência de implantação de Unidades de Conservação.

Em muitas áreas de preservação permanente (APP), observou-se que a dificuldade decorrente da falta de articulação entre os órgãos de gestão, faz com que a legislação não seja respeitada e a fiscalização deixe de ser realizada de maneira efetiva. Esta ausência de controle vem permitindo a ocupação de áreas protegidas de forma irregular e até mesmo regular (licenciadas), por empreendimentos de alto padrão e de interesse público e social.

Dos 19 pontos de amostragem de água propostos neste estudo para as bacias da Serra da Mantiqueira, um coincidiu com o ponto de monitoramento que vem sendo utilizado desde o mês de janeiro de 2014 pela CETESB, no município Campos do Jordão. Outros dois pontos propostos coincidiram com pontos cadastrados pela CETESB, mas que atualmente estão inativos. Dos pontos selecionados neste estudo, oito apresentaram boa representatividade da influência do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água, com potencial de utilização pela CETESB como ponto de

monitoramento de qualidade da água das bacias da Serra da Mantiqueira e seis foram alocados em nascentes e utilizados como referência de qualidade da água. Souza (2009) recomenda que o plano de monitoramento seja revisto periodicamente, para a atualização das informações espaciais e temporais de mapas de uso e ocupação do solo, das atividades cadastradas e outorgadas na bacia monitorada. Devem ser consideradas as potenciais fontes de poluição, que podem sofrer modificações com o passar do tempo, agravando-se ou atenuando-se. Do et al. (2012) também utilizaram o uso e ocupação do solo como parâmetro para a definição de pontos de monitoramento de qualidade da água e cálculos matemáticos associados às ferramentas de SIG, em uma região montanhosa de Taipei, em Taiwan.

Almeida (2013) utilizou ferramentas SIG associadas ao método de entropia, com base em dados de uso e ocupação do solo e de qualidade da água fornecidas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), na bacia do rio das Velhas (MG), para a avaliação de pontos de monitoramento da qualidade da água. A autora observou resultados satisfatórios para alguns pontos selecionados no estudo, entretanto, a falta de dados históricos interferiu na priorização da metodologia estudada.

Queiroz et al. (2013) ressaltaram que a grande diversidade de características observadas em uma bacia hidrográfica, dificulta a parametrização na elaboração de projetos para uma rede de pontos de monitoramento de qualidade da água. Em seus estudos, os autores realizaram uma ampla revisão dos diversos critérios existentes na literatura, levantamentos de uso e ocupação do solo em campo, equipamento de GPS e análises de imagens do Google Earth® para aplicar na seleção dos pontos de amostragem de água e propor uma rede de monitoramento na bacia do ribeirão Anicuns (GO).

## **5.2 Parâmetros químicos, físicos e biológicos**

### ***Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)***

De acordo com a Figura 31, todos os pontos analisados no período chuvoso e de estiagem apresentaram concentrações inferiores aos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, que é de no máximo 500 mg L<sup>-1</sup>.

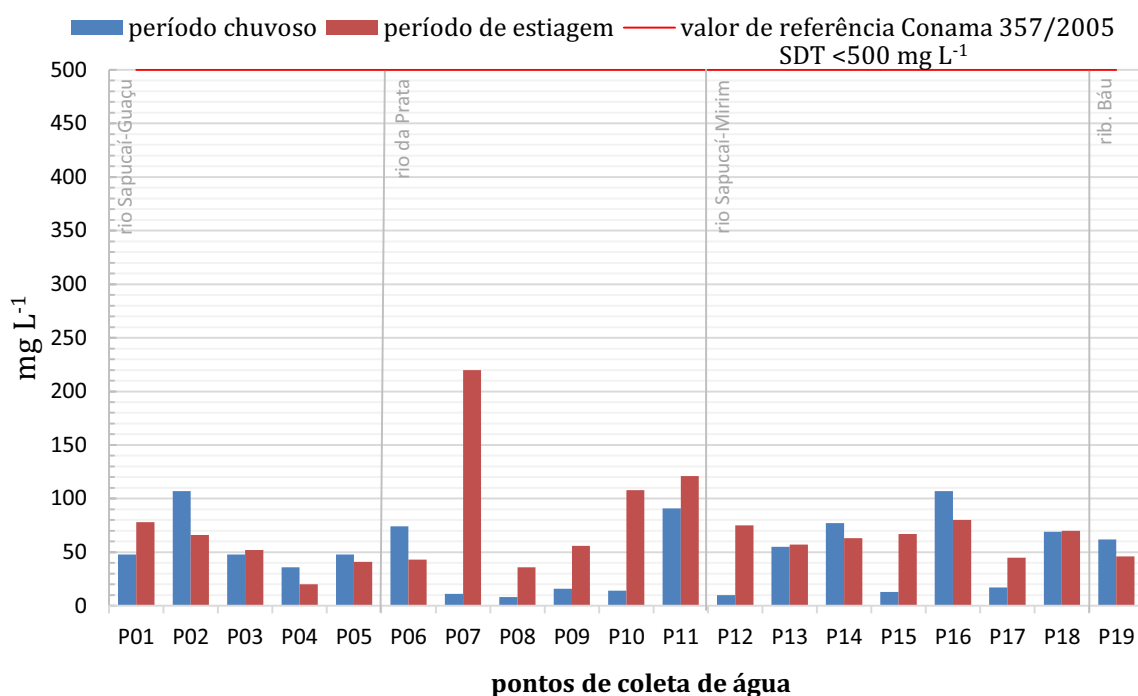


Figura 31 - Sólidos dissolvidos totais e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas.

A sub-bacia que apresentou os maiores valores de SDT foi a do rio da Prata. Os maiores valores obtidos entre os dois períodos avaliados, foram observados nos pontos 07, 10 e 11 com concentrações de 220, 108 e 121 mg L<sup>-1</sup> de SDT no período de estiagem, que no período chuvoso diminuíram para 11, 14 e 91 mg L<sup>-1</sup> de SDT. Nestes pontos predominam áreas cobertas por pastagens degradadas, todos com baixa biomassa vegetal e escassez de mata ciliar, o que pode ter favorecido o carreamento de sedimentos para os cursos d'água no período chuvoso.

O menor valor de SDT foi obtido no ponto 08, onde há predomínio de mata secundária em estágio médio de desenvolvimento, sendo a concentração de 8 mg L<sup>-1</sup> no período chuvoso, aumentando para 36 mg L<sup>-1</sup> no período de estiagem. Este aumento de SDT no período de estiagem pode ser justificado pela diminuição da vazão do curso d'água e aumento da concentração de sólidos dissolvidos.

No ponto 02, à jusante da ETE de Campos do Jordão, sub-bacia do rio Sapucaí-Guaçu e no ponto 16, sub-bacia do rio Sapucaí-Mirim, à jusante da ETE de São Bento do Sapucaí, foram obtidos os valores mais elevados de SDT, ambos com 107 mg L<sup>-1</sup> de SDT no período chuvoso, que diminuiu para 66 mg L<sup>-1</sup> e 80 mg L<sup>-1</sup> de SDT, respectivamente, no período de estiagem, que não corresponderam aos valores mais elevados, quando comparados aos demais pontos de amostragem, neste período. Neste aspecto, vale



ressaltar que, os pontos a jusante das ETEs apresentaram valores de SDT superiores aos demais pontos de amostragem somente no período chuvoso, o que não está diretamente relacionado ao lançamento de efluentes, considerando que o carreamento de sedimentos pode ter sido intensificado no ponto 02, pelo processo de urbanização e, no caso do ponto 16, pelo uso do solo por pastagens e agricultura (Figura 32). Se o aumento dos sólidos dissolvidos fosse causado somente pelos lançamentos das ETEs, esse comportamento seria mantido nos dois períodos.



Figura 32 - Processo erosivo em estágio avançado decorrente da remoção da cobertura vegetal em encosta, no município de Campos do Jordão (SP).

De acordo com estes resultados verificou-se forte relação do uso e ocupação do solo com as concentrações de SDT, que foram maiores nas áreas sob influência de pastagens, agricultura e urbanização.

### ***Turbidez (TU)***

De acordo com os resultados apresentados na Figura 33, verificou-se que no período chuvoso, os pontos 02, 03, 05, 08 e 09 apresentaram valores superiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios classe 2, enquanto no período de estiagem todos os pontos atenderam esta resolução.

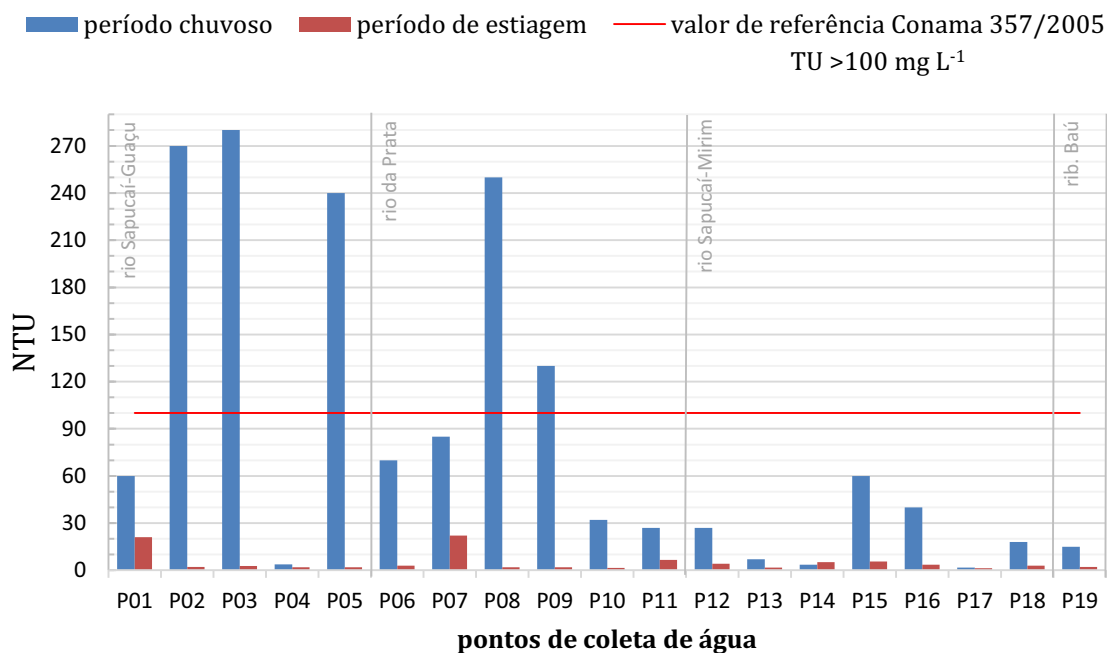


Figura 33 – Turbidez e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. \*UNT: Unidade Nefelométrica de Turbidez

Os maiores valores de turbidez foram apresentados na sub-bacia do rio Sapucaí-Guaçu, onde ocorre a presença de maiores áreas urbanizadas em relação às outras sub-bacias analisadas. Nas bacias da Serra da Mantiqueira, o aumento da concentração deste parâmetro, no período chuvoso, correspondeu principalmente, ao uso do solo pela urbanização, vegetação secundária e agricultura, que aumentaram o carreamento de sedimentos para os cursos d'água (Figura 34).



Figura 34 – Turbidez observada no ponto 02 no dia da amostragem do período chuvoso (A) e no período de estiagem (B) à jusante da ETE de Campos do Jordão (SP).

Estes resultados corroboram com os encontrados por Bonnet et al. (2008), Piasentin et al. (2009), Blume et al. (2010), Netto et al. (2011) e Luíz et al. (2012), que

também verificaram que os picos de turbidez estão associados à estação chuvosa, devido ao transporte de sedimentos e detritos com maior intensidade e volume, fazendo com que a água fique turva por um determinado período de tempo.

Em regiões onde predominam os processos erosivos, a turbidez pode ser resultado de concentrações elevadas de sólidos em suspensão como matéria orgânica, argila e silte (Bregunçe et al., 2011). Pinto et al. (2009) observaram em seus estudos que no período chuvoso, a taxa de carreamento de matéria orgânica e sedimentos orgânicos e inorgânicos para os cursos de água, foi superior à diluição devido ao aumento de vazão, o que indicou a ocorrência de processos erosivos intensos ou aporte de efluentes neste período. Merten e Minella (2002) citam que a erosão hídrica é um dos mais severos impactos à qualidade da água, devido ao elevado aporte de sedimentos aos cursos de água, além da diminuição da qualidade do solo, pela redução de sua capacidade produtiva.

Reis et al. (2010) monitorando uma bacia ocupada por agropecuária, núcleos urbanos e manchas florestais, na sub bacia do rio Corgo, norte de Portugal, constataram que, rios de regiões montanhosas, como os da bacia da Serra da Mantiqueira, apresentam um papel fundamental no transporte e aporte de sedimentos. Estes cursos de água possuem uma rápida resposta aos picos de precipitação, principalmente, em períodos chuvosos, onde os sedimentos mais finos são facilmente carreados para a jusante, resultado de uma menor capacidade de armazenamento fluvial, com fluxos de carga de sedimentos mais intensos em períodos curtos.

### ***Temperatura (T)***

A Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece limites para temperatura. No período chuvoso a maior temperatura foi obtida no ponto 19, com altitude de 982m, sob influência de pastagens e lavouras, com a vegetação arbórea praticamente suprimida no seu entorno. A menor temperatura foi obtida no ponto 04, com altitude de 1.536m, sob influência de matas secundárias em estágio médio de desenvolvimento e campos naturais sem atividades antrópicas intensas. No período de estiagem os pontos 14 e 16 apresentaram a temperatura da água superior aos demais pontos de amostragem, sendo ambos em áreas de vegetação suprimida, e o ponto 04 permaneceu entre os pontos de menor temperatura (Figura 35).



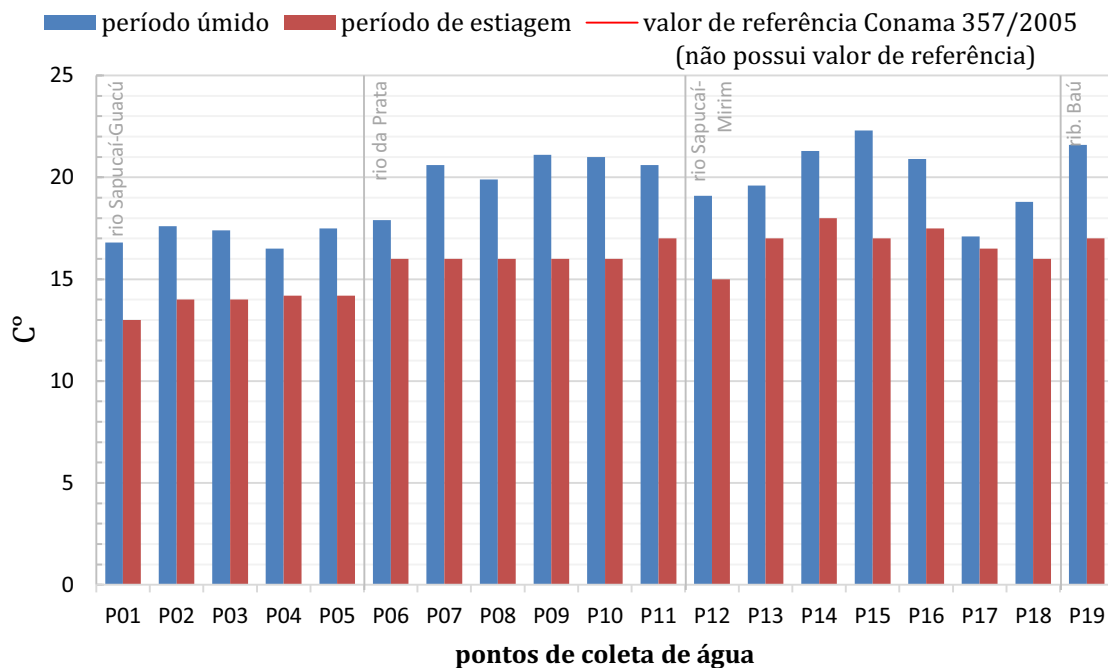


Figura 35 - Temperatura e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas.

Verificou-se que a temperatura da água foi influenciada pelo uso e ocupação do solo e pela altitude destes pontos de amostragem (Figura 36).



Figura 36 – Pontos que apresentaram a menor (A) e as maiores temperaturas (B, C e D).

Os valores mais elevados deste parâmetro foram observados na sub-bacia do rio Sapucaí-Mirim, que possui maiores áreas ocupadas por pastagens, com vegetação degradada, em relação às outras sub-bacias. Carvalho et al. (2000) ressalta que a temperatura pode apresentar diferenças em relação aos trechos com presença de mata ciliar, considerando que a incidência de raios solares tende a ser reduzida em função do sombreamento produzido pela vegetação, além de funcionar como filtro redutor de lixiviação e carreamento de sedimentos para a água.

### **Potencial hidrogeniônico (pH)**

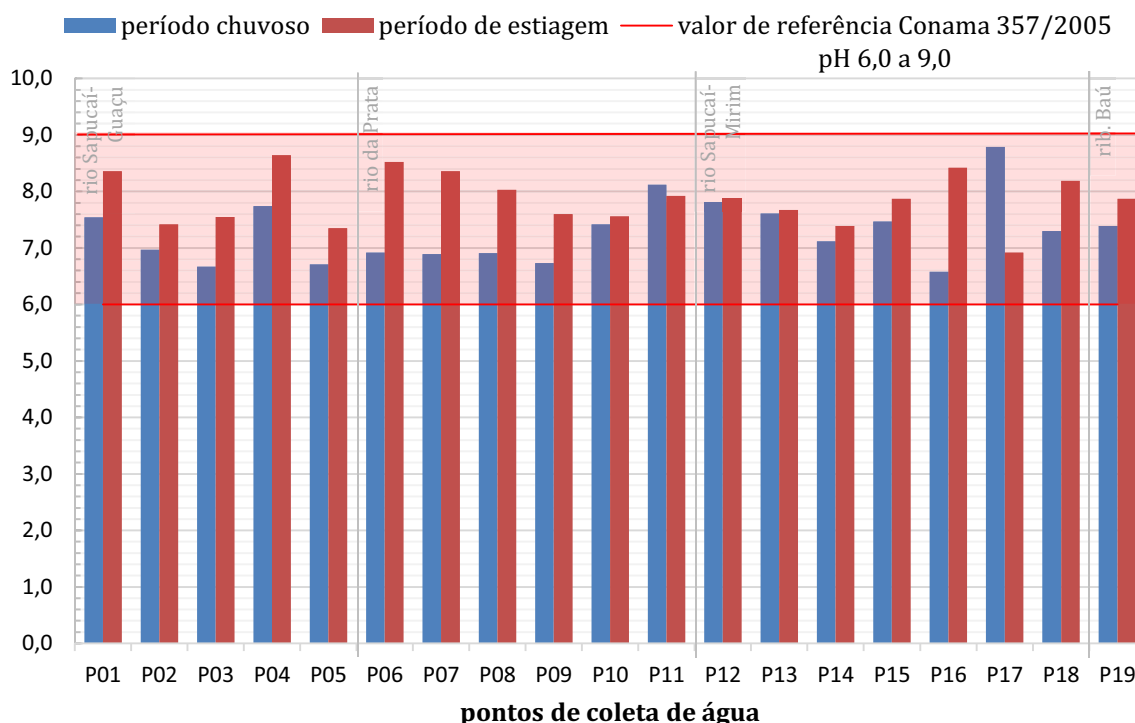


Figura 37 - pH e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas.

A Figura 37 apresenta que todos pontos atenderam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. No entanto, no período chuvoso, na maioria dos pontos de amostragem, a água apresentou uma pequena diminuição dos valores de pH, reduzindo de 7 a 8 no período de estiagem para 6 a 7 no período chuvoso. Por outro lado, Carvalho et al. (2000) relataram que em épocas de pluviosidade elevada na região de Corumbataí (SP), o escoamento superficial de água associado ao aumento da velocidade de fluxo influenciou o pH, observando que, devido à maior dissolução de compostos do solo houve aumento do pH para próximo à neutralidade. No entanto, no

caso dos solos da Serra da Mantiqueira que, em geral, são ácidos, o escoamento superficial pode ter contribuído para a diminuição do pH da água no período chuvoso, sendo esta condição observada nos pontos que apresentaram as maiores taxas de turbidez e os menores valores de pH.

### **Nitrogênio total (NT)**

A Resolução CONAMA 357/2005 relaciona as concentrações de nitrogênio total (NT) com valores de pH, conforme apresentado na Figura 38.

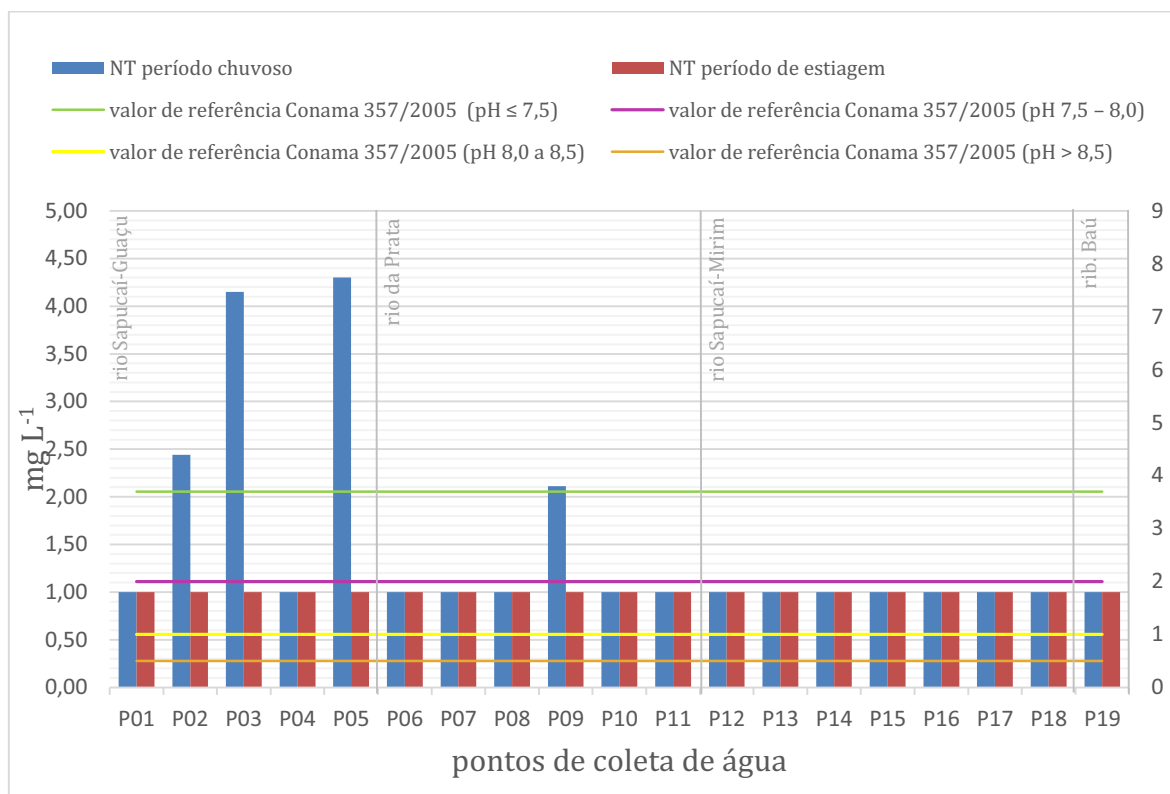


Figura 38 – Nitrogênio total e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas. O N total varia com o pH: N total = até 3,7 (pH ≤ 7,5); N total = até 2,0 (pH 7,5 – 8,0); N total = até 1,0 (pH 8,0 a 8,5) e N total = até 0,5 (pH > 8,5).

Na bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira verificou-se que, no período chuvoso a concentração de NT na sub-bacia do rio Sapucaí-Guaçu apresentou os maiores valores. Os pontos 03 e 05, sob a influência da urbanização e vegetação secundária com uso agrícola, não atenderam ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. No período de estiagem apenas o ponto 06, sob influência de pastagens degradadas e lavouras, ficou acima do padrão estabelecido por esta resolução. É preciso destacar que, os pontos com maiores concentrações de NT

verificados no período chuvoso, além dos usos principais, apresentam forte influência de vegetação secundária em estágio médio de desenvolvimento, o que também pode ter contribuído para o aumento da concentração de nutrientes nos cursos de água. De acordo com a Fundação S.O.S. Mata Atlântica (2012), altas concentrações de nitrogênio podem ser consequência de uma fonte de poluição orgânica e possuir relação com a renovação de pastagens, principalmente em época de pluviosidade intensa.

Os resultado das análises de NT das bacias da Serra da Mantiqueira corroboraram com os estudos de Piasentin et al. (2009), realizado na bacia do Tanque Grande em Guarulhos (SP), que também observaram um aumento da concentração de NT na estação chuvosa. Lee et al. (2009) constataram que o aumento das concentrações de NT nos cursos d'água de 144 reservas florestais da Coréia do Sul, foi proporcional ao aumento de áreas degradadas e da fragmentação de florestas, pela diminuição da atuação destas como filtro de poluentes, sedimentos e nutrientes, sendo estes carregados para os cursos d'água. Faria (2012) obteve concentrações de NT na água acima dos padrões da Resolução CONAMA 357/2005, em trechos da bacia do ribeirão Guaratinguetá, sob influência da rizicultura irrigada e da pecuária, principalmente em pontos de dessedentação de bovinos e equinos, uso também observado em alguns cursos de água da UGRHI-1 (Figura 39), mas que não apresentaram relação direta com as concentrações elevadas de NT.



Figura 39 – Presença de animais próximos às margens de córregos, utilizados para dessedentação de animais. Campos do Jordão (SP).

### ***Fósforo total (PT)***

No período chuvoso, dos 19 pontos avaliados, 13 apresentaram concentrações de fósforo total (PT) acima do padrão da Resolução CONAMA 357/2005 e no período de

estiagem, 7 pontos não atenderam esta resolução. Os valores mais elevados foram observados na sub-bacia do rio Sapucaí-Guaçu, onde até o início de 2014 não havia ETE em funcionamento e os esgotos eram lançados *in natura* diretamente nos corpos de água (Figura 40).

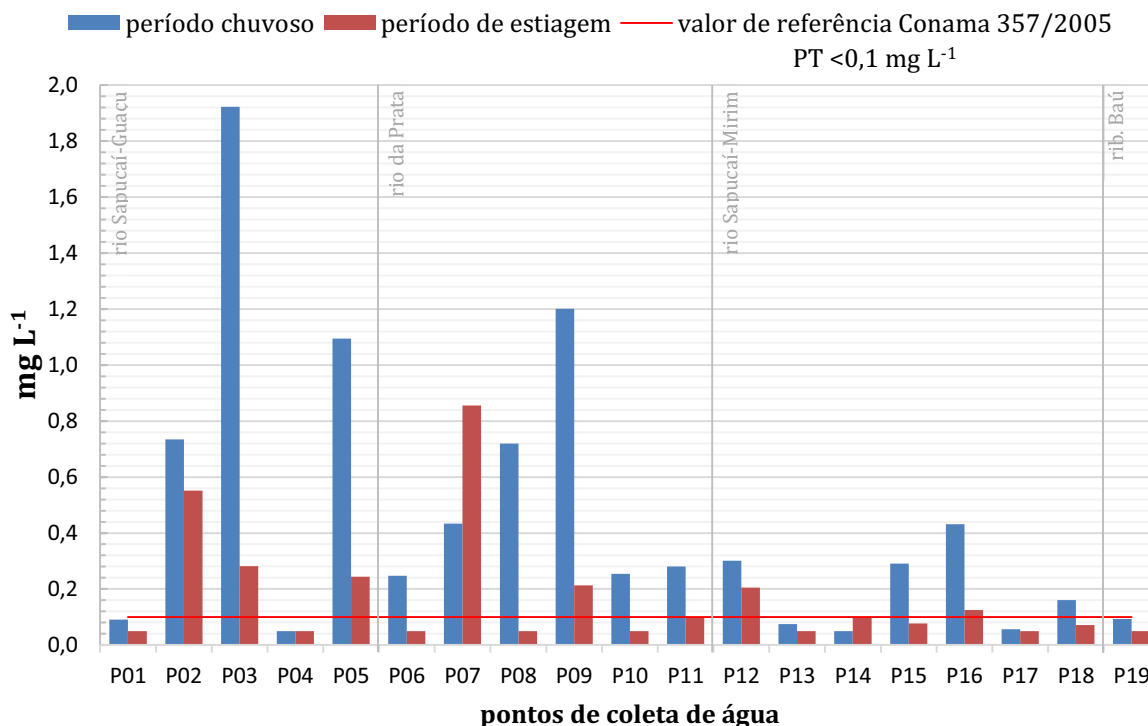


Figura 40 – Fósforo total e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas.

Nos pontos 08 e 09, as coletas foram realizadas à jusante de um condomínio residencial e de sítios respectivamente, onde pode ser evidenciada a presença do lançamento de esgoto diretamente nos corpos d'água, prática muito comum na região, devido à deficiência do sistema de coleta de esgoto. Verificou-se que houve a influência dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo das bacias da Serra da Mantiqueira, no incremento deste elemento na água, principalmente no período chuvoso. O aumento das concentrações de PT pode ter sido causado por despejos domésticos, excrementos animais e fertilizantes. Devido a sua baixa mobilidade no solo, a presença de fósforo em elevadas concentrações na água também pode ter sido causada, em menor intensidade, por processos erosivos e carreamento de sedimentos ricos neste nutriente para os corpos d'água, o que é de ocorrência comum em áreas de elevada declividade, utilizadas para fins agropecuário, como ocorre nas bacias da Serra da Mantiqueira (Figura 41). Por ter origem em fontes difusas de poluição, a determinação destas fontes

é um processo difícil de ser estabelecido e necessita de estudos específicos. Este estudo corroborou com Piasentin et al. (2009) que também observaram níveis elevados de concentração de PT na água, principalmente no período chuvoso e constataram que, o aporte de fósforo estava fortemente associado às origens difusas, por escoamento superficial em função de precipitações, com material oriundo, principalmente, de erosão e lixiviação de pastagens.



Figura 41 – Processos erosivos com carreamento de material particulado e sedimentos para os cursos de água, durante período chuvoso, potencial fonte poluidora de fósforo. Campos do Jordão (SP).

### ***Oxigênio dissolvido (OD)***

No período chuvoso apenas o ponto 16, localizados na sub-bacia do rio Sapucaí-Mirim, sob influência de pastagem e à jusante da ETE de São Bento do Sapucaí, não atendeu a Resolução CONAMA 357/2005, quanto a concentração de oxigênio dissolvido (OD), e no período de estiagem, este ponto apresentou a menor concentração de OD, que foi próxima ao limite inferior do padrão de qualidade, de  $\geq 5,0$  mg L<sup>-1</sup> (Figura 42).

O valor observado acima do limite preconizado pela legislação pode estar relacionado aos despejos de efluentes domésticos pela ETE, que contribuem para o aumento da DBO e, conseqüentemente, para a redução do OD.



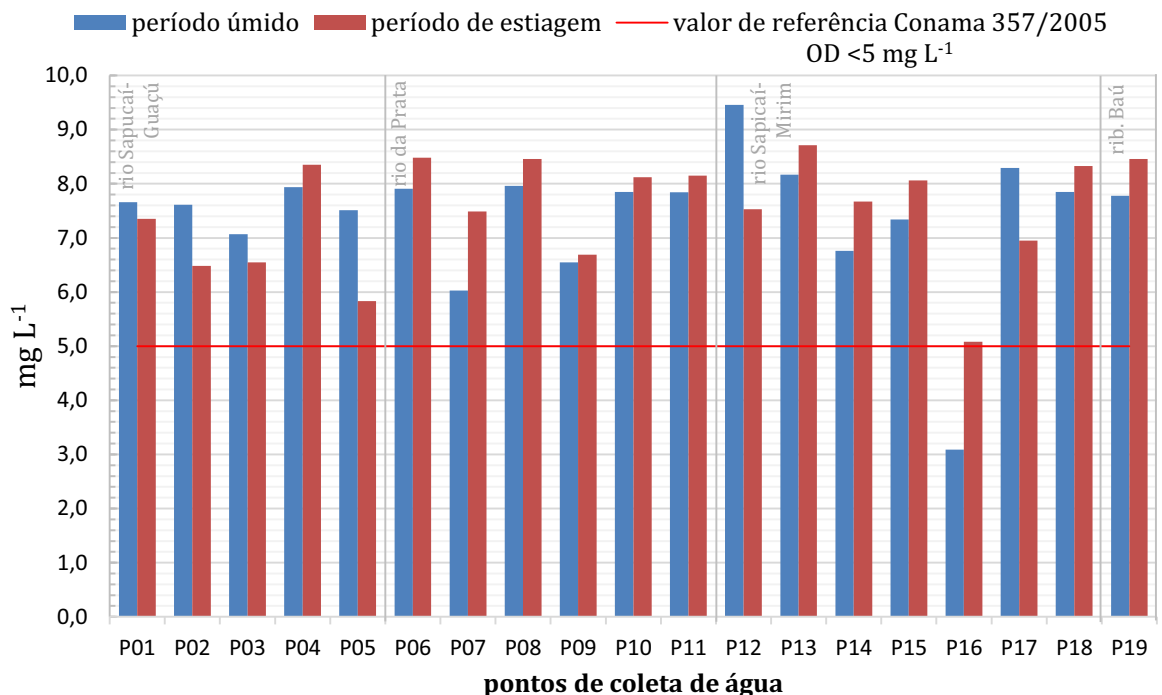


Figura 42 - Oxigênio dissolvido e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas.

Latuf (2004) relata que em regiões que apresentam acentuados desníveis altimétricos, ocorre uma maior oxigenação da água devido à turbulência que, por consequência, aumenta a saturação de oxigênio, por meio da fragmentação da camada superficial de massa líquida.

### ***Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)***

Foi observado nos dois períodos de amostragem, que todos os pontos amostrados atenderam à Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, mantendo-se com concentrações inferiores a  $5\text{ mg L}^{-1}$  (Figura 43).

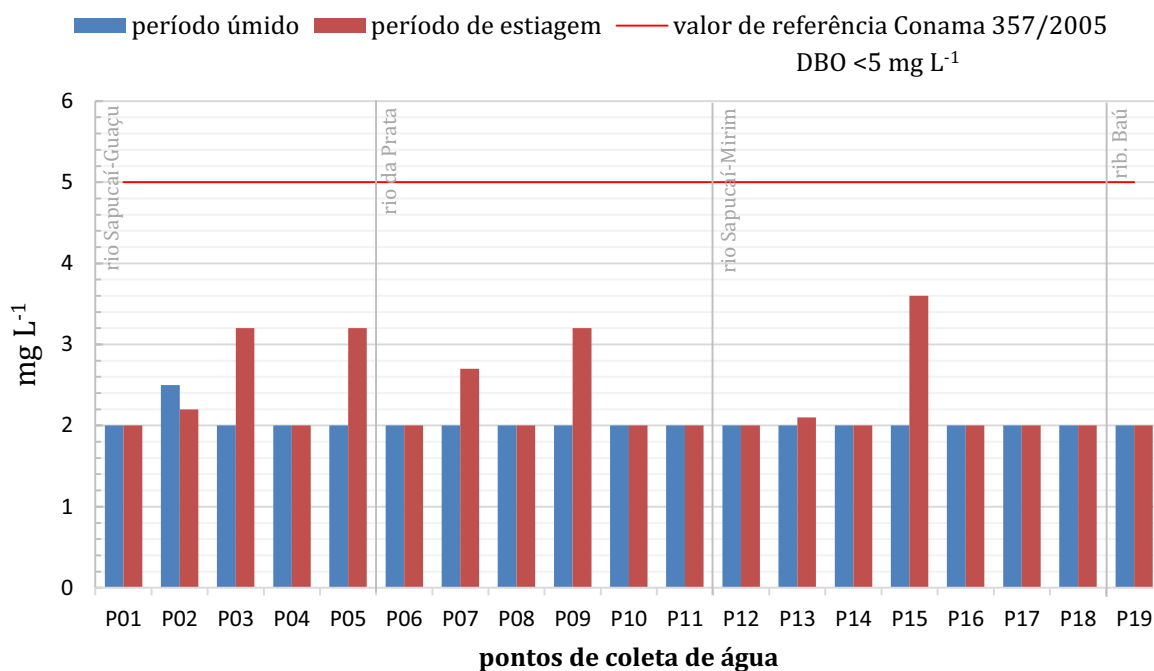


Figura 43 – Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas sub-bacias analisadas.

Apesar desta região apresentar alguns pontos de lançamento de efluentes nos cursos d'água, este não foi um fator que influenciou na concentração de DBO das bacias da Serra da Mantiqueira. Assim como foi observado para as concentrações de OD, também para a DBO, há indícios de que o relevo acidentado proporcionou a capacidade de autodepuração e oxigenação da água, aumentando o OD e, conseqüentemente, diminuindo a DBO, comportamento que pode ser melhor observado no período de estiagem, nos pontos 02, 03, 05 e 09.

### ***Coliformes termotolerantes (Escherichia coli)***

Para o parâmetro *E. coli*, no período chuvoso, somente os pontos 12, 14 e 17 atenderam ao padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, cujo número mais provável (NMP) é de até 1000 100 mL<sup>-1</sup>, enquanto no período de estiagem somente os pontos 04 e 17 atenderam esta resolução (Figura 44).



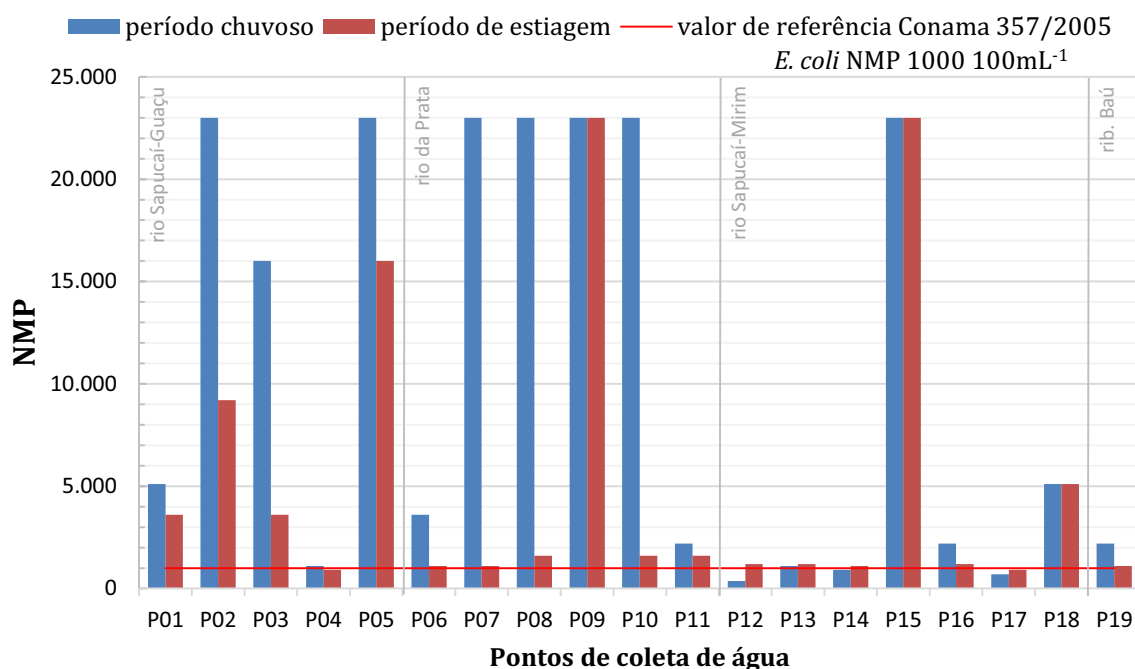


Figura 44 - *Escherichia coli* e respectivo padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, nas quatro sub-bacias analisadas.

Este parâmetro indica que a maioria dos cursos d'água das bacias na Serra da Mantiqueira recebeu despejos de origem orgânica, principalmente na sub-bacia do Sapucaí-Guaçu e Rio da Prata, além do ponto 15, localizado na zona urbana, na sub-bacia do rio Sapucaí-Mirim. Estas descargas orgânicas podem ser originadas por atividades vinculadas à urbanização, como despejos de efluentes domésticos e da atividade agropecuária. As menores concentrações foram observadas nos pontos 12, 14 e 17, correspondentes a trechos próximos de nascentes, com pouca ou nenhuma intervenção antrópica. Nos pontos 09 e 15, foram encontradas as mais altas concentrações de *E.coli* nos dois períodos analisados, ressaltando que ambos os pontos localizam-se em áreas com ocupação antrópica e despejos de esgoto *in natura* nos cursos de água.

No período chuvoso, apenas três pontos correspondentes a trechos de nascentes, com pouca ou nenhuma intervenção antrópica, atenderam ao padrão de qualidade para coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, enquanto no período de estiagem, somente dois pontos atenderam esta resolução. Piasentin et al. (2009), Pinto et al. (2009) e Pontes et al. (2012) verificaram aumento de coliformes termotolerantes nos cursos d'água com a elevação da temperatura e aumento da precipitação pluviométrica. Como estes

microrganismos são provenientes de fezes humanas e de animais de sangue quente, sua presença na água pode indicar a possibilidade da existência de organismos patogênicos responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

A concentração de *E. coli* em vários pontos de amostragem, chegou a 23 vezes superior ao padrão estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005. Para os mesmos períodos, as concentrações de *E. coli* relatados nos pontos de monitoramento da CETESB chegaram a 72 vezes o valor permitido pela legislação (CETESB, 2014).

As altas concentrações obtidas nos cursos d'água, evidenciaram o nível de comprometimento ambiental, principalmente, em relação à captação de água para abastecimento público. Uma das maiores dificuldades, que acaba por inviabilizar a coleta de efluentes em toda a bacia da Serra da Mantiqueira dá-se em função das diversas habitações, condomínios, loteamentos, hotéis e pousadas localizadas em sua maioria, em locais inadequados ou de difícil acesso. A condição topográfica acidentada desta bacia aumenta a dificuldade de se estabelecer uma rede estruturada e integrada de saneamento, contribuindo, com o despejo de esgoto em sistemas alternativos de lançamento de efluentes (fossas sépticas) ou pior, diretamente nos cursos d'água sem nenhum tratamento prévio.

Blume et al. (2010) observaram concentrações elevadas de *E. coli* na bacia do Rio dos Sinos (RS), acima do limite permitido pela resolução CONAMA 357/2005, assim como principalmente da urbanização com infraestrutura precária. Bregunze et al. (2011) verificaram que o enquadramento do ribeirão dos Muller, não retratou a real situação em que o curso d'água se encontrava no estudo. Após as análises dos parâmetros do IQA, o resultado apresentado para *E. coli* não permitiria o enquadramento nem como classe IV (CONAMA 357/05).

Devido à condição topográfica desta bacia e da dificuldade de se estabelecer uma rede estruturada de saneamento e distribuição de água potável, em muitos casos, a captação deste recurso ocorre além das estações de tratamento de água (ETAs). A vigilância sanitária monitorava até 2012, vinte e um pontos de captação cadastrados, contudo, estima-se que há mais de duzentos pequenos pontos de captação espalhados pela bacia, envolvendo pequenos empreendimentos, propriedades e usuários, que são considerados como “uso insignificante” pelo DAEE (CBH-SM, 2012).

### 5.3 IQA das bacias da Serra da Mantiqueira

O IQA dos 19 pontos de amostragem foi calculado conforme determinação da CETESB, utilizando a planilha eletrônica fornecida pelo órgão (Anexo 1) e apresentou os seguintes valores para o período chuvoso e de estiagem (Tabela 4) respectivamente.

Tabela 4 – Índice de Qualidade da Água (IQA) dos 19 pontos amostrados na bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1) no período chuvoso (fevereiro) e no período de estiagem (junho) e sua classificação em relação à qualidade de acordo com a determinação da CETESB.

Pontos	Sub-bacia	IQA	
		Período chuvoso	Período de estiagem
P01	Sapucaí-Guaçu	62	63
P02		41	56
P03		37	60
P04		71	70
P05		38	55
P06	Prata	57	70
P07		47	56
P08		42	70
P09		38	55
P10		54	63
P11		62	68
P12	Sapucaí-Mirim	66	67
P13		71	72
P14		72	70
P15		51	58
P16		48	63
P17		69	71
P18		62	65
P19	Baú	67	72

As sub-bacias do rio Sapucaí-Guaçu e do rio da Prata apresentaram no período chuvoso, maior degradação da qualidade da água, em relação à sub-bacia do rio Sapucaí-Mirim e do ribeirão Baú. Neste sentido, é importante destacar que a sub-bacia do ribeirão Baú apresenta baixa ocupação urbana, tendo o IQA classificado como bom nos dois períodos analisados.

No período chuvoso, a água amostrada nos pontos P02, P03, P05, P07, P08, P09, P15 e P16 foi classificada como de qualidade REGULAR e o restante das amostras foi classificado como BOM. No período de estiagem, o IQA foi BOM para a água amostrada em todos os pontos. Para o mesmo período chuvoso de 2013, os dois pontos de monitoramento de qualidade da água da CETESB (SAGU 02100 e PRAT 02200), apresentaram qualidade REGULAR e no período de estiagem, classificação BOA.

A média anual do IQA da bacia da Serra da Mantiqueira nos pontos de monitoramento da CETESB, foi apresentada como REGULAR no ano de 2012. De acordo

com o relatório de qualidade ambiental (SMA, 2013), a UGRHI-1 não apresentou melhora do IQA em relação aos anos anteriores.

Conforme dados do relatório da ANA (2011), 51% dos pontos de monitoramento no Brasil estão em desconformidade com a resolução CONAMA 357/2005, sobretudo para rios de classe 2. Os principais parâmetros responsáveis pela degradação identificados foram os coliformes termotolerantes, o fósforo total e o OD, de uma maneira geral, oriundos principalmente pelo despejo de efluentes domésticos.

Os resultados obtidos nas bacias da Serra da Mantiqueira, corroboraram com os trabalhos de Carvalho et al. (2000), Bonnet et al. (2008), Pinto et al. (2009), Blume et al. (2010) ANA (2012) e CETESB (2013), nos quais o IQA apresentou um melhor índice no período de estiagem, com queda da qualidade da água no período chuvoso. Esse comportamento pode ser justificado pela alta pluviosidade que, ao invés de diluir a matéria orgânica levada aos cursos de água, pode ter contribuído para o carreamento de mais partículas em seu escoamento, indicando que as cargas difusas podem causar maiores impactos negativos na qualidade em detrimento à diluição, contribuindo expressivamente com as variações dos índices de qualidade de água.

Pontes et al. (2012) verificaram que o IQA da bacia do córrego Banguelo, em Contagem, apresentou melhor qualidade no período chuvoso, sendo que no período seco, os índices oscilaram entre médio e péssimo. Este fato foi associado a ocupação urbana e ao lançamento de efluentes industriais. Em áreas ocupadas por vegetação estes autores observaram uma melhora na qualidade da água.

O cálculo do IQA por meio de planilhas eletrônicas deve ser realizado com cautela, devido à origem e possível alteração do conteúdo das mesmas. De acordo com Posselt e Costa (2010), planilhas eletrônicas que utilizam equações matemáticas podem sofrer alterações involuntárias antes de serem distribuídas e apresentarem discordância com as curvas originais da *National Sanitation Foundation* (NSF).

Para as análises dos impactos à qualidade da água, os diversos cenários pelos quais, passam os cursos de água também devem ser considerados, assim como as bacias adjacentes. Lee et al. (2009) recomendam que o uso e ocupação do solo em relação à qualidade da água devem ser avaliados considerando a variabilidade dos tipos de uso, assim como as condições ambientais, principalmente em função das práticas agrícolas e urbanas presentes nas proximidades.

Conforme o levantamento realizado pelo Atlas Brasil de abastecimento de água (ANA, 2010) e o Plano de Bacias da Serra da Mantiqueira, CBH-SM (2012), apesar da bacia possuir uma rede hídrica abundante, a degradação da água das bacias da Serra da Mantiqueira não se refere à disponibilidade hídrica, mas sim a qualidade de água das bacias utilizadas para abastecimento público, como a sub-bacia do rio Sapucaí-Guaçu, onde este estudo observou as maiores concentrações dos parâmetros *E. coli*, fósforo total e nitrogênio total, evidenciando o alto nível de poluição deste manancial.

Latuf (2004) observou que o monitoramento da qualidade da água da bacia do Córrego São Pedro (MG) por meio do IQA mostrou-se uma ferramenta eficaz no diagnóstico ambiental das bacias hidrográficas, entretanto no estudo atual, realizado nas bacias da Serra da Mantiqueira, este fato não foi constatado. De acordo com Sánchez et al. (2007), o IQA não representa todo o histórico de qualidade da água por conter poucos parâmetros no cálculo. Piasentin et al. (2009) ressaltou que a estabilidade aparente do patamar de qualidade, pode mascarar variações ambientais importantes, quando os parâmetros são analisados isoladamente. Neste estudo foi constatada a presença de *E. coli* e fósforo total em concentrações muito superiores aos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, entretanto, mesmo nestas condições, a maior parte dos cursos d'água foi classificada pelo IQA como sendo de "boa qualidade". Como o IQA é uma ferramenta informativa, pode acarretar em riscos à saúde pública, caso haja captação de água para consumo humano sem o devido tratamento. Essa prática tem sido observada nesta bacia, onde, segundo o relatório do Comitê das Bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira (2013) existem cerca de 200 pontos de captação sem monitoramento da qualidade da água por parte dos órgãos de fiscalização.

Devido à vocação conservacionista desta bacia e a sua importância para a manutenção da biodiversidade brasileira, é de extrema importância a preservação de seus recursos naturais. Os resultados demonstraram que há uma necessidade de recomposição da vegetação das sub-bacias, principalmente das matas ciliares, com base na lei da Mata Atlântica (Lei 11.428/2006) e da lei complementar 140/2011, como complementação ao Novo Código Florestal (lei 12.651/2012), visando garantir a proteção dos recursos hídricos, impactados por décadas de influência antrópica.

## 6 CONCLUSÕES

- O uso e ocupação do solo influenciaram a qualidade da água das bacias da Serra da Mantiqueira. As principais atividades impactantes à qualidade da água das sub-bacias do rio Sapucaí-Guaçu, do rio da Prata, do rio Sapucaí-Mirim e do ribeirão Baú foram a urbanização, seguida pelo uso do solo com pastagem.

- Os parâmetros *E. coli*, fósforo total, nitrogênio total e turbidez não atenderam aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, em diversos pontos de amostragem e foram os que mais contribuíram para a queda da qualidade da água das bacias da Serra da Mantiqueira.

- O uso do IQA não se mostrou eficaz para a avaliação da real condição da qualidade da água das bacias da Serra da Mantiqueira, que no período de estiagem foi classificada como sendo de “boa qualidade” em todos os pontos de amostragem, mas apresentou concentrações de *E. coli* da ordem de 23 vezes superior ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

- Na bacia da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1) predomina relevo acidentado e solos rasos, fatores que somado ao uso e ocupação do solo sem planejamento adequado e à alta pluviosidade da região, condicionam o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, o carreamento de sedimentos juntamente com poluentes para os cursos de água, o que foi comprovado pelo IQA que, em alguns pontos de amostragem, foi classificado como bom no período de estiagem e regular no período chuvoso.

- A aplicação de ferramentas do SIG possibilitou a determinação de pontos de monitoramento de qualidade da água dos principais rios da bacia da Serra da Mantiqueira – UGRHI 1, considerando como base a influência do uso e ocupação do solo e os critérios estabelecidos pela CETESB.

- A utilização dos bancos de dados geográficos disponíveis e de *softwares* livres pode subsidiar os órgãos públicos e privados, na elaboração de mapas, que aumentam a precisão dos levantamentos de campo, na determinação de pontos de monitoramento de qualidade de água, sem demandar em custos com licenças.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Este estudo evidenciou a necessidade da adoção de medidas de intervenção no uso e ocupação do solo e de adequação do manejo das atividades desenvolvidas nas bacias da Serra da Mantiqueira, buscando a melhoria da qualidade da água e o atendimento à Resolução CONAMA 357/2005, principalmente no que diz respeito às concentrações de *E. coli* e teores de fósforo total. Para isso é necessário respeitar a aptidão e as classes de capacidade de uso do solo e a adoção de medidas conservacionistas, visando a mitigação dos impactos ambientais. Neste sentido, outro estudo vem sendo desenvolvido nesta bacia, com o objetivo de classificar as classes de capacidade de uso do solo e, com base nesta classificação, adequar as atividades desenvolvidas, visando à sustentabilidade.

O controle das pequenas erosões que contribuem para o lançamento de sedimentos aos cursos de água é um processo difícil e lento, pois, o retorno desta medida não é visualizado a curto prazo e depende da conscientização dos proprietários rurais e de investimentos públicos. No entanto, é preciso incentivar os produtores rurais na adoção de medidas conservacionistas, ressaltando que qualquer atividade impactante ao ambiente não afeta somente suas propriedades, mas pode gerar impactos negativos em toda a bacia.

É preciso também investir em novas abordagens de conscientização, principalmente com a promulgação do Novo Código Florestal - Lei Federal 12.651/12 (BRASIL, 2012), onde houve por parte dos constituintes, um protecionismo aos pequenos produtores, visando evitar a redução da área útil cultivável de pequenas propriedades. Como esta situação ocorre na maioria das propriedades rurais das bacias da Serra da Mantiqueira, esta determinação pode se tornar um problema no que se refere à proteção e manutenção da qualidade dos cursos de água.

Os conflitos de uso e ocupação do solo são resultantes de anos de exploração inadequada, o que torna difícil conciliar as atividades rurais à preservação ambiental, no que se confere principalmente ao atendimento da legislação vigente. Neste aspecto,



a ocupação urbana tem causado grande pressão aos órgãos públicos, principalmente em função do contexto ambiental conservacionista da região, gerando conflitos entre o parcelamento do solo urbano e as restrições impostas pela legislação ambiental. Uma proteção ambiental efetiva não advém efetivamente da proteção legal, sendo necessária a adequação dos espaços territoriais e a gestão integrada e participativa.

No contexto do saneamento, mesmo com a implantação recente das ETEs de Campos do Jordão e de São Bento do Sapucaí, ainda falta muito para que a bacia tenha todo seu efluente coletado e tratado de forma eficiente. A correta gestão de uma bacia hidrográfica necessita de soluções que se enquadrem nos limites de capacidade de suporte ambiental da região. Outro fator a ser considerado é que alguns estabelecimentos hoteleiros e comerciais captam a água de alguns cursos desta bacia, podendo com isso, causar problemas sérios relacionados à saúde pública caso não haja tratamento adequado. No entanto, com o funcionamento das ETEs, há uma tendência de melhoria da qualidade da água, porém ainda é preciso tomar maiores providências de manejo e controle dos impactos nesta bacia.

A ocorrência de altas concentrações de *E. coli* nos cursos d'água desta bacia, evidencia a carência de saneamento básico, o que tende a ser remediado com o funcionamento de todas as ETEs implantadas nos três municípios da bacia. No entanto, é preciso que o atendimento ao saneamento cumpra as diretrizes do Decreto nº 7.217/2010 e o lançamento destes efluentes atenda aos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 340/2011, que visa a manutenção da qualidade dos cursos d'água, respeitando as classes de enquadramento

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHEARN, D. S., SHEIBLEY, R. W. DAHLGREN, R. A., JOHNSON, J., TATE, KENNETH W. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. **Journal of Hydrology**, 313, 234–247, 2005.

ALMEIDA, K. C. de B. **Avaliação da rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais da bacia do rio das velhas utilizando o método da entropia**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Uberlândia, 98p., 2013.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultado por estado** v.2. Egecorp/Cobrape. Brasília. 2010.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjectura dos recursos hídricos no Brasil 2013**. ANA. Brasília. 2013a.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Brasília: [s.n.], 2011.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas. **Portal de Qualidade de Águas**. 2014. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/default.aspx>>. Acesso em: 08 de agosto de 2014.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012**. ANA. Brasília. 2012. 264 ISBN: 978-85-8210-007-3

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. ANA. Brasília. 2013b.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATIONS. **Standards Methods For The Examination of Water & Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association, 2005. ISBN-13: 978-0875530475

BENITES, V. M. et al. **Caracterização dos solos em duas toposseqüências sobre diferentes litologias em áreas altimontanas na Serra da Mantiqueira**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Documentos, nº 57, 31 p. 2003.

BLUME, K. K. et al. Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 4, p. 1185-1193, dez 2010.

BONNET, B.R.P, FERREIRA, L.G., LOBO, F.C. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.311-322, 2008 doi: 10.1590/S0100-67622008000200014

BRASIL. **Decreto nº 7.217, de 21 de Junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências.** Distrito Federal. 2010.

BRASIL. Lei Complementar Nº 140, de 8 de dezembro De 2011. **Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Brasília. 2011.

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.** (2006)

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Brasília, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL. **Lei nº 9.433: de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** 1997. p. 72.

BREGUNCE, D. T.; JORDAN, E.N, DZIEDZIC, M.; MARANHO, L.T.; CUBAS, S.A. Avaliação da Qualidade da Água do Ribeirão dos Müller, Curitiba-PR. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 39-47, Jul/Set 2011.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Influence of cattle ranching and agricultural activities on physical chemical parameters of water. **Química Nova**, v. 23, n. 5, p. 618-622, Out 2000.

CBH GRANDE. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE. Site Institucional. **Comitê da bacia Hidrográfica do Rio Grande.** Disponível em: <<http://www.grande.cbh.gov.br/>>. Acesso em: 02 fev. 2014.

CBH-SM. COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos. **Comitê das Bacias Hidrográficas - CBH-SM.** São Paulo. 2009.

CBH-SM. COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA. **Plano de Bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1).** Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas e Industriais - CTPI. São Paulo, p. 354. 2012.

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Benefícios Econômicos da Expansão do Saneamento Brasileiro. Qualidade de vida, produtividade, educação e valorização ambiental.** Relatório. Trata Brasil. Março 2014. Disponível em <http://cebds.org.br/wp-content/uploads/2014/03/BeneficiosEconomicosdaexpans%C3%A3odoSaneamentoBrasileiro.pdf>. Acesso em: 10 out. 2014.

CESAR, M.L.V.S; BASSIT N.P. Surto de hepatite A no município de Campos do Jordão, SP, 2002-2003. **Revista Eletrônica de Epidemiologia. Revnet-DTA online**. Vol. 4, nº1, 5 de janeiro de 2004.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Águas superficiais. **Monitoramento de qualidade da água**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/124-programa-de-monitoramento> Acesso em: 15 ago. 2014.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas**. São Paulo: CETESB: Brasília: ANA, 2011.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2012**. CETEB/Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, p. 370. 2013.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Significado Ambiental e Sanitário as Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo. São Paulo. 2009.

CNRH. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 91 de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Revoga a Resolução CNRH nº 12, de 19 de julho de 2000**. MMA, Brasília, 2008.

COELHO, R. C. T. P.; BUFFON, I.; GUERRA, T. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: um método para avaliar a importância da zona ripária. **An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 104-117, 2011. doi:10.4136/ambi-agua.177

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Brasília. 2005.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Brasília. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Brasília, p. 89. 2011.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia hidrográfica do Rio Sapucaí**. Resumo Executivo. Belo Horizonte. 2010.

COSTA, A. B.; POSSELT, E.L; MENEZES C.M; LOBO E. A. Desenvolvimento e aplicação de índices de qualidade da água. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, v. 24, n. 1, p. 67-78, jan/abr 2012.

CPTI. COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS. **Relatório Técnico CPTI n. 571/12 (RT-3)**. São Paulo. 2012.

CPTI. COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS. **Plano de Bacia da UGRHI-1 (Serra da Mantiqueira) – Relatório Técnico CPTI n. 107/2003.** São Paulo. 2003.

CPTI. COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS. **Plano de bacia. UGRHI-1 (Serra da Mantiqueira). Comitê das Bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira - CBH-CM.** São Paulo. 2009.

DATASUS. DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. **Portal da saúde.** Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0201>. Acesso em 03 de out. 2014

DO, H. T., LO, S.L., CHIUEH P., THI, L.A.P. Design of sampling locations for mountainous river monitoring. **Environmental Modelling & Software.** v. 27-28. P. 62-70, 2012. doi:10.1016/j.envsoft.2011.09.007

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. EMBRAPA-SPI. Rio de Janeiro. 2 ed. 412p. 2009.

EMPLASAGEO. **Geoinformação ao cidadão.** Disponível em <http://www.emplasageo.sp.gov.br/>. Acesso em 26 jan. 2014.

EMPLASAGEO. Mapeia São Paulo. **Sistema de visualização de dados - Ortofotos do Estado de São Paulo.** Disponível em: <http://www.mapeiasp.sp.gov.br/>. Acesso em 20 fev. 2014.

FARIA, D. A. **Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP.** Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista - UNESP. Faculdade de Engenharia. Bauru: [s.n.]. 2012. p. 134.

FUNDAÇÃO S.O.S. MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2011-2012.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). [S.l.]. 2012.

GALLO JUNIOR, H.; OLIVATO, D.; CARVALHO, J. L. DE. Sobreposição de territórios e gestão de unidades de conservação de proteção integral: estudo aplicado ao município de Campos do Jordão. XVI Encontro Nacional de Geógrafos. **Anais...**Porto Alegre: jul. 2010.

GOMES, F. C. **Simulação de modelagem quali-quantitativa para avaliação preliminar da qualidade da água na bacia do Ribeirão das Perdizes em Campos do Jordão/SP como subsídio ao enquadramento.** Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista - UNESP. Faculdade de Engenharia. Bauru, p. 171. 2013.

IBF. INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. Bioma Mata Atlântica. **Instituto Brasileiro de Florestas,** 2014. Disponível em: <<http://www.ibflorestas.org.br/bioma-mata-atlantica.html>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. IBGE. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 26 jan. 2014.

IGC. INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. **Produtos,** 2003. Disponível em: <<http://www.igc.sp.gov.br/produtos/ugrhi.html>>. Acesso em: 19 fevereiro 2014.

LATUF, M. D. O. Diagnóstico das águas superficiais do córrego São Pedro, Juiz de Fora/MG. **GEOGRAFIA (Londrina)**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 21-56, out 2010.

LEE, S.-W.; HWANG, S.J.; LEE, S.B; HA-SUN HWANG, H.S.; SUNG, H.C. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. **Landscape and urban Planning**, 92, n. 2, 2009. 80-89.

LI, S.; GU, S.; LIU, W.; HAN, H.; ZHANG, Q. Water quality in relation to land use and land cover in the upper Han River Basin, China. **Catena**, n. 75, p. 216-222. 2008.

LI, Y.L, LIU, K., Li. L., XU, Z.X. Relationship of land use/cover on water quality in the Liao River basin, China. **Procedia Environmental Sciences**. v. 13. 2012. 1484-1493.

LUÍZ, A. M. E; PINTO, M.L.C; SCHEFFER, E.W.O. Parâmetros de cor e turbidez como indicadores de impactos resultantes do uso do solo, na bacia hidrográfica do rio Taquaral, São Mateus do Sul-pr. **Ra'e Ga**, 24, p. 290-310, 2012. doi: 10.5380/raega.v24i0.26264

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 4, p. 33-38, out/dez 2002.

NEARY, D.G, ICE, G. G, JACKSON, C.R. Linkages between forest soils and water quality and quantity. **Forest Ecology and Management**. v. 258. n.10. p.2269-2281. Oct 2009.

NETTO, F. M. D. L.; DANELON, J. R. B.; RODRIGUES, S. C. Avaliação da qualidade da água e do uso da terra da bacia hidrográfica do córrego Terra Branca – Uberlândia – MG. **Rev. Geogr. Acadêmica, Goiânia**, v. 5, n. 2, p. xii, 2011.

OLIVEIRA, J.B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas, Instituto Agrônomo, 1999. **Boletim Científico**, 45, 112p.

ORTEGA, D. J. P.; CARVALHO, S. L. DE C. Avaliação dos efeitos das atividades antropólicas nos recursos hídricos na sub bacia hidrográfica do córrego do Ipê — SP. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 97-108, jul. 2013.

PARRON, L. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Embrapa Florestas. Colombo. 2011. ISSN 1980-3958

PHILIPPI JR, A.; SILVEIRA, V. F. Controle da Qualidade das Águas. In: PHILIPPI JR, A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. 1. ed. Barueri: Manole, 2005. Cap. 11, p. 415-438.

PHILLIPI JR, A. Sistema de saneamento básico. In: PHILLIPI JR., A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**, Cap. 5, 1. ed. Barueri: Manole, 2005.

PIASANTIN, A. M.; SEMENSATTO JUNIOR, D.L.; SAAD, A.R.; MONTEIRO JUNIOR, A.J.; RACZKA, M.F. Índice de qualidade da água (IQA) do Reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP): Análise Sazonal e efeitos do uso e ocupação do solo. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009.

PINTO, D. B. F.; SILVA, A.M.; SILVA; MELLO, C.R.; COELHO, G. Qualidade da água do Ribeirão Lavrinha na região Alto Rio Grande – MG, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 33, n. 4, p. 1145-1152, jul/ago, 2009. doi: 10.1590/S1413-70542009000400028

PONTES, P. P.; MARQUES, A. R.; MARQUES, G. F. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo – Contagem. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, vol. 7, núm. 3, pp. 183-194, Taubaté, 2012.

POSSELT, E. L.; COSTA, A. B. **Software IQAData 2010. Registro no INPI n.10670-2**. Programa de Mestrado em Sistemas e Processos Industriais PPGSPI. UNISC, 2010.

REIS, A.; PARKER, A.; ALENCOÃO, A. Avaliação da qualidade de sedimentos em rios de Montanha: Um caso de estudo no norte de Portugal. **Revista Recursos Hídricos**, v. 31, n. 1, p. 87-97, março 2010.

SABESP. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Sustentabilidade 2012**. SABESP. São Paulo. 2012.

SANASA. **Situação dos recursos hídricos no Estado de São Paulo**. SANASA. Disponível em <http://www.sanasa.com.br/>. Acesso em: 14 dezembro 2013.

SÁNCHEZ, E., COLMENAREJO, M.F.; JUAN VICENTE, J.; ANGEL RUBIO, A.; MARÍA G. GARCÍA, M.G.; TRAVIESO, L.; BORJA, R. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological Indicators**. v. 7. p. 315–328. 2007.

SANTANA, D. P. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. Embrapa : Milho e Sorgo. Sete Lagoas. 2003.

SANTOS, A. M. D. **Bacias Hidrográficas do município de Campos do Jordão: florestamento compensatório visando retenção de água no solo**. Dissertação de Mestrado, UNITAL. Taubaté, 2009. 135p.

SÃO PAULO (ESTADO) (1994) **Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994**. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei nº 7663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos

SÃO PAULO (ESTADO). **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**. São Paulo. 1977.

SÃO PAULO (ESTADO). **Lei Nº 9.034. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos**. São Paulo: [s.n.]. 1994.

SAOUT, S.L.; HOFFMANN, M., SHI, Y., HUGHES, A., BERNARD, C., M. BROOKS, T. M; BERTZKY, B.; BUTCHART, S.H.M, STUART, S. N., BADMAN, T.; ROFRIGUES, A.S.L. Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. **Science**, vol. 342, nº6160, November 2013: 803-805. doi:10.1126/science.1239268

SATO, M. I. et al. **Monitoramento de *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes em pontos da rede de avaliação da qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: Diretoria de Tecnologia, Qualidade e Avaliação Ambiental. Departamento de Análises Ambientais. CETESB, 2008.

SEADE. FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. 2014. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: 27 janeiro 2014.



SEEBOONRUANG, U. A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes. **Journal of Environmental Management**. v. 101, p. 134 a 142. 2012.

SMA. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE / IF. INSTITUTO FLORESTAL DE SÃO PAULO. **Base georreferenciada para o mapeamento do uso e ocupação da terra e das unidades de conservação da bacia hidrográfica da Mantiqueira**, 2008. Disponível em: <<http://200.144.14.214:8080/alovmap/index.html>>. Acesso em 15 ago. 2014.

SMA. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE Secretaria do Meio Ambiente. **Meio ambiente paulista: relatório de qualidade ambiental 2014**/Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 1ª ed. São Paulo : SMA, 2014.

SMA/CPLA. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE / COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Painel da Qualidade Ambiental 2011**. Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Planejamento Ambiental. São Paulo, 2011.

SOUZA, S.N.de. **Aplicação de técnica de análise multivariada para avaliação de redes de monitoramento de qualidade da água**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. 140f. Recife, 2009.

SSRH. SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS/. **Relatório 5B - Plano regional integrado de saneamento básico para as unidades de gerenciamento de recursos hídricos da Serra da Mantiqueira, Paraíba do Sul e Litoral Norte - UGRHIS 1,2 e 3**. Consórcio PLANSAN 123. 2011.

SSRH/CRHI. SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS; COORDENADORIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. SSRH/CRHI. São Paulo, p. 208. 2011.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas: Interfaces no gerenciamento. In: PHILLIPI JR., A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. 1. ed. Barueri: Manole, 2005. Cap. 10.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia. Ciência e aplicação**. 4. ed. Org: TUCCI, C. E. M. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2012.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. MAB. **Biosphere Reserve Information. Brazil. Mata Atlântica**. 2011. Disponível em: <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?mode=all&code=BR A+01>. Acessado em: 15 fev. 2014.

VALERIANO, M.M., ROSSETTI, D.F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography (Sevenoaks)**, v.32 (2): 300-309, (2012). doi:10.1016/j.apgeog.2011.05.004

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: Retrocesso ambiental. **Estud. av.**, São Paulo, v. 24, n.68, 2010. doi:10.1590/S0103-40142010000100013

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e tratamento de esgotos. In: VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. I, 1998.

WEATHERHEAD, E. K.; HOWDEN, N. J. K. The relationship between land use and surface water resources in the UK. **Land Use Policy**, Bedford, UK, 26S, 2009. S243-S250.

## 9 ANEXOS

Anexo 1 – Planilha de cálculo para o cálculo do IQA fornecida pela CETESB (2014).

### CÁLCULO DOS PARÂMETROS PARA COMPOSIÇÃO DO IQA

Preencher campos em azul

	Cálculos	Variáveis	Qualidade da Variável	Resultado
<b>% Saturação Oxigênio Dissolvido</b>				
OD = Valor do Parâmetro (mg/L)			3	1,21
Temperatura (°C)	14,62	ODSAT		
Altitude (m)	0	PORSAT		
	3	PORSAT <=50		
	FALSO	PORSAT >50 OU <=85		
	FALSO	PORSAT >85 OU <=100		
	FALSO	PORSAT >100 OU <=140		
	FALSO	PORSAT >140		
<b>Temperatura (°C)</b>				
TEMP = Valor do Parâmetro	94			1,58
Resultado do Parâmetro =				
<b>E. COLI / Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)</b>				
E. coli (UFC/100mL)				
OU				
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)				
COLI = Valor do Parâmetro	0		100	2,00
	0,0	100 COLI <=0		
	FALSO	COLI10>0		
	FALSO	COLI10 <= 1		
	FALSO	COLI10 > 1 OU <= 5		
	FALSO	COLI10 > 5		
<b>pH</b>				
PH = Valor do Parâmetro	0,0		2	1,09
	2	PH <= 2	2	
	FALSO	PH > 2 OU <= 4		
	FALSO	PH > 4 OU <= 6,2		
	FALSO	PH > 6,2 OU <= 7		
	FALSO	PH > 7 OU <= 8		
	FALSO	PH > 8 OU <= 8,5		

## Anexo 1 - continuação

FALSO PH > 8,5 OU <= 9  
 FALSO PH > 9 OU <= 10  
 FALSO PH > 10 OU <= 12  
 FALSO PH > 12

**DBO (mg/L)**

DBO = Valor do Parâmetro  0,0 100 1,58

99,96 DBO <= 5  
 FALSO DBO > 5 OU <= 15  
 FALSO DBO > 15 OU <= 30  
 FALSO DBO > 30

**Nitrogênio Total (mg/L)**

Nitrogênio kjeldahl - Valor do Parâmetro  100 1,58

NitrogênioNitrato - Valor do Parâmetro

Nitrogênio Nitrito - Valor do Parâmetro

Nitrogênio Total = Valor do Parâmetro 0,00 0,00

100 NITR <= 10  
 FALSO NITR > 10 OU <= 60  
 FALSO NITR > 60 OU <= 100  
 FALSO NITR > 100

**Fósforo Total (mg/L)**

FOSF = Valor do Parâmetro  0,000 FOSFW 100 1,58

99,9 FOSFW <= 1  
 FALSO FOSFW >1 OU <= 5  
 FALSO FOSFW >5 OU <= 10  
 FALSO FOSFW >10

**Turbidez (UNT)**

TURB = Valor do Parâmetro  0 100 1,45

100,17 TURB <= 25  
 FALSO TURB >25 OU <= 100  
 FALSO TURB > 100

**Sólido Total**

ST = Valor do Parâmetro  0 80 1,420

79,75 RESI <= 150  
 FALSO RESI > 150 OU <= 500  
 FALSO RESI > 500

IQA= 

Anexo 2 - Parâmetros físicos, químicos e biológicos indicadores de qualidade da água coletada na estação chuvosa (fevereiro de 2013), nos 19 pontos de amostragem das bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira sob diferentes usos e ocupação do solo e respectivos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2.

Pontos de coleta	Parâmetros								
	<i>E. coli</i> mL <sup>-1</sup>	DBO	P total	N total mg L <sup>-1</sup>	OD	SDT	pH	Temperatura °C	Turbidez UNT <sup>2</sup>
P01	5.100*	<2,0	0,091	<1,0	7,66	48	7,54	16,8	60
P02	23.000*	2,5	0,734*	2,44	7,61	107	6,97	17,6	270*
P03	16.000*	<2,0	1,922*	4,15*	7,07	48	6,67	17,4	280*
P04	1.100*	<2,0	<0,05	<1,0	7,94	36	7,74	16,5	3,8
P05	23.000*	<2,0	1,094*	4,30*	7,51	48	6,71	17,5	240*
P06	3.600*	<2,0	0,247*	<1,0	7,91	74	6,92	17,9	70
P07	23.000*	<2,0	0,434*	<1,0	6,03	11	6,89	20,6	85
P08	23.000*	<2,0	0,720*	<1,0	7,96	8	6,91	19,9	250*
P09	23.000*	<2,0	1,201*	2,11	6,55	16	6,73	21,1	130*
P10	23.000*	<2,0	0,254*	<1,0	7,85	14	7,42	21,0	32
P11	2.200*	<2,0	0,281*	<1,0	7,84	91	8,12	20,6	27
P12	360	<2,0	0,301*	<1,0	9,46	10	7,8	19,1	27
P13	1.100*	<2,0	0,075	<1,0	8,17	55	7,61	19,6	7
P14	920	<2,0	<0,05	<1,0	6,76	77	7,12	21,3	3,5
P15	23.000*	<2,0	0,291*	<1,0	7,34	13	7,47	22,3	60
P16	2.200*	<2,0	0,431*	<1,0	3,09*	107	6,58	20,9	40
P17	690	<2,0	0,057	<1,0*	8,29	17	8,79	17,1	1,6
P18	5.100*	<2,0	0,160*	<1,0	7,85	69	7,3	18,8	18
P19	2.200*	<2,0	0,093	<1,0	7,78	62	7,39	21,6	15
CONAMA 357/2005	1000 100 mL-1	≤ 5	0,1	variável com pH <sup>3</sup>	≥ 5	500	6,0 - 9,0	-----	100

<sup>1</sup>NMP (número mais provável); <sup>2</sup> UNT: Unidade nefelométrica de turbidez; <sup>3</sup> N total varia com o pH: N total = até 3,7 (pH ≤ 7,5); N total = até 2,0 (pH 7,5 - 8,0); N total = até 1,0 (pH 8,0 a 8,5) e N total = até 0,5 (pH > 8,5); \*valores em não conformidade com o limite permitido pela Resolução CONAMA 357/2005.

Anexo 3 - Parâmetros físicos, químicos e biológicos indicadores de qualidade da água coletada na estação de estiagem (junho de 2013), nos 19 pontos das bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira sob diferentes usos e ocupação do solo e respectivos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2.

Pontos de coleta	Parâmetros								
	<i>E. coli</i> mL <sup>-1</sup>	DBO	P total	N total mg L <sup>-1</sup>	OD	SDT	pH	Temperatura °C	Turbidez UNT <sup>2</sup>
P01	3600*	<2,0	0,050	<1,0	7,35	78	8,36	13	21
P02	9200*	2,2	0,551*	<1,0	6,48	66	7,42	14	2,1
P03	3600*	<3,2	0,282*	<1,0	6,55	52	7,55	14	2,8
P04	920	<2,0	<0,05	<1,0	8,35	20	8,64	14,2	1,9
P05	16000*	<3,20	0,244*	<1,0	5,83	41	7,35	14,2	2
P06	1100*	<2,0	0,050	<1,0*	8,48	43	8,52	16	3
P07	1100*	<2,7	0,856*	<1,0	7,49	220	8,36	16	22
P08	1600*	<2,0	0,050	<1,0	8,46	36	8,03	16	1,9
P09	23000*	<3,20	0,213*	<1,0	6,69	56	7,6	16,0	1,9
P10	1600*	<2,0	0,050	<1,0	8,12	108	7,56	16	1,5
P11	1600*	<2,0	0,099	<1,0	8,15	121	7,92	17	6,6
P12	1200*	<2,0	0,205*	<1,0	7,53	75	7,87	15	4,2
P13	1200*	2,10	0,050	<1,0	8,71	57	7,67	17	1,6
P14	1100*	<2,0	0,100	<1,0	7,67	63	7,39	18	5,1
P15	23000*	3,60	0,077	<1,0	8,06	67	7,87	17	5,5
P16	1200*	<2,0	0,125*	<1,0	5,08	80	8,42	17,50	3,5
P17	920	<2,0	0,050	<1,0	6,95	45	6,92	16,5	1,2
P18	5100*	<2,0	0,071	<1,0	8,33	70	8,19	16	2,9
P19	1100*	<2,0	0,050	<1,0	8,46	46	7,87	17	2,2
CONAMA 357/2005	1000 100 mL <sup>-1</sup>	≤ 5	0,1	variável com pH <sup>3</sup>	≥ 5	500	6,0 – 9,0	-----	100

<sup>1</sup>NMP (número mais provável); <sup>2</sup> UNT: Unidade nefelométrica de turbidez; <sup>3</sup> N total varia com o pH: N total = até 3,7 (pH ≤ 7,5); N total = até 2,0 (pH 7,5 – 8,0); N total = até 1,0 (pH 8,0 a 8,5) e N total = até 0,5 (pH > 8,5); \*valores em não conformidade com o limite permitido pela Resolução CONAMA 357/2005.