

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SIMULAÇÃO DE FLUXO SUPERFICIAL NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS – SP**

**Mariana Bárbara Lopes Simedo**

Tecnóloga em Agronegócio

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SIMULAÇÃO DE FLUXO SUPERFICIAL NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS – SP**

**Mariana Bárbara Lopes Simeso**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresa Cristina Tarlé Pissarra**

**Coorientador: Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria**

**Coorientador: Dr. Antonio Lucio Mello Martins**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Ciência do Solo.

**2017**

S589s Simedo, Mariana Bárbara Lopes  
Simulação de fluxo superficial na bacia hidrográfica do rio São Domingos - SP / Mariana Bárbara Lopes Simedo. – Jaboticabal, 2017  
iii, 76 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Coorientador: Rogério Teixeira de Faria; Antonio Lucio Mello Martins

Banca examinadora: Valdemir Antonio Rodrigues, Salvador Carpi Junior

Bibliografia

1. Sistema de informação geográfica. 2. Morfometria. 3. Qualidade da água. 4. Modelagem hidrológica. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:556.5



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: SIMULAÇÃO DE FLUXO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS – SP

AUTORA: MARIANA BARBARA LOPES SIMEDO  
ORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA  
COORDENADOR: ANTONIO LUCIO MELLO MARTINS  
COORDENADOR: ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. SALVADOR CARPI JÚNIOR  
UNICAMP / Campinas, SP

Prof. Dr. VALDEMIR ANTONIO RODRIGUES  
Departamento de Ciência Florestal / FCA/UNESP - Botucatu, SP

Jaboticabal, 15 de fevereiro de 2017

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**MARIANA BÁRBARA LOPES SIMEDO** - Filha de Luiz Aparecido Bonatti e Maria Conceição Lopes. Nasceu em Campinas - SP, em 05 de maio de 1991. Graduiu-se em Tecnologia em Agronegócio pela Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Câmpus São José do Rio Preto em 2012. Realizou o curso de aperfeiçoamento em Gestão de Recursos Hídricos no Instituto Internacional de Ecologia - IIE, no município de São Carlos - SP, em 2015. Desenvolve seu trabalho de pesquisa no Polo Regional Centro Norte - APTA - SAA, município de Pindorama-SP, onde foi bolsista Treinamento Técnico do Projeto FAPESP "Monitoramento do Uso e Ocupação do Solo e da Água da Microbacia do Córrego da Olaria", no período de 2013 e 2014, foi monitora ambiental do projeto de Educação Ambiental FEHIDRO "Bacia Hidrográfica: Um Instrumento na Educação", no período de 2012 a 2013, e é participante da equipe técnica do projeto de pesquisa FEHIDRO "Recuperação de Nascentes do Polo Regional Centro Norte". Atua nos seguintes temas de pesquisa: monitoramento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica e política de uso do solo.

*“All I need is you  
All I need is you Lord  
Is you Lord*

*You hold the universe  
You hold everyone on earth  
You hold the universe  
You hold  
You hold”*

*(Hillsong United)*

Ao meu marido Arnaldo, pela dedicação, compreensão, colaboração, amor e apoio,  
sou imensamente grata a Deus por ter colocado você em minha vida.

**DEDICO**

A minha mãe Maria Conceição, por ser a inspiração de todos os dias, por sempre  
me apoiar, incentivar e ser meu exemplo de vida.

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir realizar este sonho, por me proteger, guiar, conceder sabedoria e confiança nos momentos que precisei e por cada pessoa que colocou em minha vida durante esta trajetória.

À minha família, pelo amor dedicado, incentivo, e apoio quando necessário. Amo vocês!

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP - Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado em Agronomia (Programa Ciência do Solo).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de estudos durante um período da realização do curso.

À Profa. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, pela orientação, ensinamentos, disponibilidade, confiança, carinho e amizade.

Ao Prof. Rogério Teixeira de Faria pela coorientação, sugestões e contribuições neste projeto de pesquisa.

Ao Dr. Antonio Lucio Mello Martins, Diretor Técnico de Divisão do Polo Regional Centro Norte, agradecimento especial pela coorientação, oportunidade e colaboração sempre que necessário.

Ao Polo Regional Centro Norte, órgão da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - APTA, pela colaboração para a execução desse trabalho.

Agradecimentos especiais aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Izilda e Ronaldo, pela dedicação, ensinamentos e grande contribuição na coleta de dados. Vocês foram essenciais para a realização deste trabalho, obrigada pelo carinho e amizade.

Agradecimento especial à doutoranda Renata Cristina Araújo Costa, pelo conhecimento compartilhado, dedicação, contribuição, amizade e paciência. Saiba que você é muito importante para mim e serei eternamente grata.

Ao Prof. Paulo Augusto Romera e Silva do CTH - Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos - USP, pela colaboração e auxílio para aquisição dos dados fluviométricos no sistema on-line do DAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo.

À funcionária Maria Laura do CTH - Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos - USP, pelas informações referentes aos dados fluviométricos monitorados pelo DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo.

Ao Engenheiro Luis Henrique Gomes do DAEE-Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo, pela contribuição e informações disponibilizadas referentes aos dados hidrológicos da Bacia Hidrográfica do rio São Domingos.

Ao funcionário Bruno Segura da Cruz da Usina Colombo S/A, pelas informações cedidas referentes ao rio São Domingos.

À funcionária Tânia Maria do IAC - Instituto Agrônomo de Campinas, pela imensa colaboração para aquisição do recorte do mapa pedológico do Estado de São Paulo - escala 1:500.000, referente a área da Bacia em estudo.

Agradecimentos especiais aos funcionários das empresas públicas e privadas, por disponibilizar informações que contribuíram para o desenvolvimento deste projeto.

Ao Prof. Valdemir Antonio Rodrigues da FCA-Unesp de Botucatu, pela amizade, ensinamentos, ideias compartilhadas e materiais disponibilizados.

Ao Prof. Salvador Carpi Júnior do Instituto de Geociências da Unicamp, pela amizade e contribuição na interpretação dos mapas de solos das bacias.

Aos pós-graduandos, do Departamento de Engenharia Rural, Andréa, Gabriela, Renata, Rafael e Hygor, pela amizade, carinho e bons momentos compartilhados.

A todos os professores pelo aprendizado e pela troca de conhecimentos ao longo desta etapa.

À Banca Examinadora pela participação e contribuições fundamentais para a conclusão deste trabalho.

A todos que de forma direta ou indireta influenciaram ou colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	7
2.1 Bacias Hidrográficas .....	7
2.2 SWAT - <i>Soil and Water Assessment Tool</i> .....	10
2.3 Vazão .....	12
2.4 Qualidade da Água .....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	21
3.2 Base Cartográfica e Programas Informatizados .....	26
3.3 Caracterização Morfométrica .....	26
3.4. Regionalização Hidrológica das Bacias - DAEE .....	27
3.5. Sistema de Informação Geográfica .....	29
3.6 Levantamento dos dados de Vazão .....	31
3.7 Modelo SWAT - <i>Soil and Water Assessment Tool</i> .....	33
3.8 Qualidade da água e morfometria na microbacia do Córrego da Olaria .....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
4.1 Características Morfométricas .....	37
4.2 Vazão .....	46
4.3 Morfometria e Qualidade da água da Microbacia Córrego da Olaria.....	55
5 CONCLUSÃO .....	64
6 REFERÊNCIAS.....	65

## SIMULAÇÃO DE FLUXO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS – SP.

**RESUMO** - É de grande importância à análise do ecossistema nas bacias hidrográficas, no que se refere à topografia, ao solo, ao uso do solo e às características físicas, no intuito de aprimorar o conhecimento da complexidade do sistema, no que tange aos processos hidrológicos que ocorrem. Este trabalho teve como objetivos analisar as características morfométricas dimensionais, simular o fluxo superficial da água (vazão) pelo cálculo de regionalização de variáveis hidrológicas - DAEE; e analisar a vazão e a qualidade da água nas microbacias do rio São Domingos. A bacia hidrográfica do rio São Domingos tem uma área de aproximadamente 854 km<sup>2</sup> e foi selecionada para esse estudo por abastecer vários municípios do estado de São Paulo. Para tanto, foram utilizadas as técnicas de sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica, análise estatística e levantamento de dados de vazão em modelos hidrológicos. As características morfométricas, do uso e ocupação e das unidades de solo predominante na bacia hidrográfica do rio São Domingos foram analisadas. A metodologia de regionalização de variáveis hidrológicas - DAEE é uma ferramenta eficiente para simulação de vazões plurianuais e  $Q_{7,10}$  em bacias hidrográficas. Os dados de vazões observados dos postos fluviométricos do DAEE no rio São Domingos apresentaram valores diferenciados de acordo com a pluviometria registrada em cada município. A microbacia do Córrego Olaria apresentou maior vazão em áreas de mata nativa em relação à área agrícola com reflorestamento não consolidado. A qualidade da água difere em cada nascente e está relacionada aos usos do solo ou do estado de conservação das bacias hidrográficas.

**Palavras-Chave:** sistema de informação geográfica; morfometria; qualidade da água; modelagem hidrológica.

## **SURFACE FLOW SIMULATION IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF SÃO DOMINGOS RIVER - SP.**

**ABSTRACT** - It is of great importance to analyze the ecosystem in the hydrographic basins, in terms of topography, soil, land use and physical characteristics, in order to improve the knowledge of the complexity of the system, in relation to the hydrological processes that occur. The objective of this work was to analyze the dimensional morphometric characteristics, simulating the surface flow of the water by the calculation of regionalization of hydrological variables - DAEE; and to analyze the water flow and water quality in the hidrografic basin of São Domingos river. The water catchment area of the São Domingos river has an area of approximately 854 km<sup>2</sup> and was selected for this study because it supplies several municipalities in the state of São Paulo. For that, the techniques of remote sensing, geographic information system, statistical analysis and flow data collection in hydrological models were used. The morphometric characteristics of the use and occupation and the predominant soil units in the hidrografic basin of São Domingos were analyzed. The methodology of regionalization of hydrological variables - DAEE is an efficient tool for simulating multiannual flows and  $Q_{7,10}$  in hydrographic basins. The flow data observed from the DAEE fluviometric stations in the São Domingos river presented different values according to the rainfall recorded in each municipality. The watershed of Córrego Olaria showed higher flow in areas of native forest in relation to the agricultural area with unconfirmed reforestation. Water quality differs at each spring and is related to land uses or the conservation status of river basins.

**Keywords:** geographic information system; morphometry; water quality; hydrological modeling.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural renovável fundamental à vida no planeta Terra. O seu ciclo tem existido por séculos, mantendo a biodiversidade e estando presente no funcionamento dos ecossistemas, comunidades e populações, além disso, vale ressaltar sua importância ao abastecimento do consumo humano e ao desenvolvimento de atividades agrícolas e industriais em escala local, regional e mundial (OKI, 2002; TUNDISI, et al. 2014; REBOUÇAS 2015).

É notória a frequente escassez de água em muitas regiões, que pode ser atribuída ao desequilíbrio entre a disponibilidade e a demanda nos sistemas de águas superficiais e de aquíferos subterrâneos, em razão da excessiva exploração e impactos de várias magnitudes e origens. Esse fato demonstra a necessidade de medidas de planejamento e gerenciamento desse precioso recurso (TUNDISI, 2008; TUNDISI, 2010; TUNDISI, et al., 2014; GOMES, 2015; MARTIRANI; PERES, 2016; SORIANO et al., 2016).

Para estudar o movimento da água no ciclo hidrológico se faz necessário delimitar uma unidade territorial de trabalho, na qual se usa o termo - bacia hidrográfica. Neste trabalho de pesquisa, conceitua-se a bacia hidrográfica como uma unidade territorial de planejamento, onde o volume de terra é delimitado por divisores topográficos e por divisores freáticos, e armazena a água para as nascentes e contribui para o escoamento natural da água nas redes de drenagem. A bacia deve ser reconhecida como importante unidade territorial de estudos hidrológicos e geológicos. No sistema aberto, distribui a água doce na superfície terrestre. Assim, é fundamental determinar o manejo, as formas de manutenção e a conservação dessa unidade para a garantia do armazenamento e da disponibilidade hídrica com qualidade.

A análise do ecossistema nas bacias hidrográficas, no que se refere à topografia, ao solo, ao uso do solo e às características físicas, de uma determinada região deve ser gerenciada no intuito de aprimorar o conhecimento da complexidade do sistema, no que tange aos processos que ocorrem. O monitoramento da qualidade e da vazão de um curso de água superficial é importante e indispensável para compreender o comportamento hidrológico em uma determinada bacia.

A importância do monitoramento contínuo em uma bacia hidrográfica reside no fato de que, a partir das informações coletadas, pode-se inferir sobre a condição ambiental dessa unidade. Das fases básicas do ciclo hidrológico, talvez a mais relevante para o engenheiro seja a do escoamento superficial, que é a fase que trata da ocorrência e do transporte da água na superfície terrestre, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento. As mudanças na dinâmica interna e externa das bacias e no uso e ocupação do solo podem afetar a distribuição das águas superficiais nas bacias hidrográficas. Portanto, realizar estudos referentes à disponibilidade e qualidade hídrica é indispensável para o planejamento e para a gestão dos recursos hídricos e do uso do solo.

Dentre as ferramentas utilizadas para inferir sobre os processos hidrológicos e dimensionais nas bacias hidrográficas, as técnicas de sistemas de informações geográficas e de sensoriamento remoto são de extrema importância, devido a capacidade de organizar as informações disponíveis sobre estes sistemas e de fazer previsões das condições adversas. Desta forma, a análise de sistemas naturais vem sendo abordada de diferentes maneiras, sendo que, nas últimas décadas, o conhecimento teórico teve grandes progressos em disciplinas específicas, o que permite entender e prever a complexidade dos processos do ciclo hidrológico.

A bacia hidrográfica do rio São Domingos foi selecionada para este estudo, tendo em vista ser de grande importância para o abastecimento público dos municípios de Santa Adélia, Pindorama, Catanduva, Catiguá, Tabapuã, e Uchoa - SP, por contribuir para múltiplos usos agropecuários e industriais, e por possuir áreas agricultáveis com significativa atividade socioeconômica na região noroeste do Estado de São Paulo. É pertencente à bacia hidrográfica dos rios Turvo/Grande, a qual é considerada a 4ª maior Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos em área de drenagem do Estado.

Apresenta em sua margem direita, no município de Pindorama, a microbacia hidrográfica do Córrego da Olaria, que está situada em área do Polo Regional Centro Norte - APTA, com áreas agricultáveis e de pastagens. Essa microbacia é considerada como referência de desenvolvimento de práticas conservacionistas, além de possuir 120 ha de matas nativas, que foram transformadas em reserva biológicas no ano de 1985. É importante ressaltar que nessa microbacia são

desenvolvidos, desde 2010, projetos e atividades na área ambiental referente a estudos de monitoramento do uso e manejo do solo e da água, provando a importância da continuidade dessas pesquisas na bacia hidrográfica em questão.

Os resultados obtidos nesse trabalho serão disponibilizados ao Poder Público e ao CBH-TG (Comitê da bacia hidrográfica dos rios Turvo e Grande) responsável pela Bacia, para melhor compreensão desse valioso recurso e colaboração ao Plano de Gestão da Bacia, além de contribuir em propostas de ações e novas formas de gestão referente à conservação do solo e da água em bacias hidrográficas.

Os objetivos deste estudo foram: a) analisar as características morfométricas dimensionais da bacia hidrográfica do rio São Domingos b) simular o fluxo superficial da água (vazão) pelo cálculo de Regionalização de Variáveis Hidrológicas - DAEE nas microbacias dos tributários do rio São Domingos c) analisar os dados de vazão dos postos fluviométricos monitorados pelo DAEE d) analisar a vazão e a qualidade da água na microbacia Córrego da Olaria, afluente do rio São Domingos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Bacias Hidrográficas

A área de uma bacia é definida por seu divisor de topográfico, e o seu volume de terra armazena a água no sistema que forma um conjunto de nascentes e tributários, com vazão afluyente, que converge para um curso principal da rede de drenagem, seção fluvial única, denominada exutório.

A Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos determina que a bacia hidrográfica é uma unidade territorial de estudo e gestão (BRASIL, 1997).

Para Tucci e Mendes (2006), a bacia é a área que contribui no escoamento da água por gravidade para os rios. Em cada seção existente de um rio haverá uma bacia hidrográfica, sendo que a área é estabelecida pela topografia da superfície, e suas principais características são a área de drenagem, o comprimento do rio principal, a declividade do rio e a declividade da bacia. São formadas de unidades naturais para a análise de ecossistemas, apresentando características próprias, que são utilizadas para testificar os efeitos do uso da terra nos ecossistemas (CASTRO, 1980).

As bacias podem ser classificadas com base em vários parâmetros de características geométricas, área de drenagem, forma, densidade de drenagem, declive médio (ROCHA, 1991). Segundo Christofolletti (1974), as bacias de drenagem são classificadas como perenes: onde há um fluxo de água durante todo o ano, ou pelo menos em 90% do ano, em um canal bem definido; podem ser intermitentes: havendo fluxo durante a estação chuvosa, ou ainda, 50% do período ou menos; e podem ser considerada efêmero: só havendo fluxo de água durante as chuvas ou períodos chuvosos, sendo que os canais não são precisamente definidos.

Quanto ao ordenamento das bacias, o método de Sthraler (1957), propõe a classificação de acordo com seus tamanhos baseados nas redes de canais hidrográficos, em que os canais primários (nascentes) são denominados de 1ª ordem, quando ocorre a junção de dois canais primários forma-se um de 2ª ordem, e

assim sucessivamente. Ainda de acordo com o autor, com a junção de duas microbacias primárias constitui-se uma microbacia maior, de segunda ordem, e assim ininterruptamente, até a formação da bacia hidrográfica de um rio.

As dimensões de bacias apresentadas na literatura são variadas de acordo com cada autor. Para Rocha (2001), a dimensão da bacia hidrográfica é determinada na região do País e no tipo de cartas topográficas existentes, com extensões entre 20.000 ha a 300.000 ha, sendo que as áreas maiores devem ser divididas em microbacias. Segundo Lima (2008), para as microbacias não há limite de tamanho em sua caracterização. Estas podem apresentar proporções de 1 ha até 40 ha ou mais, ou em algumas condições, atingir até 100 ha ou mais.

As microbacias hidrográficas são determinadas como unidades com dimensões inferiores, e sua importância se estende a um contexto hidrológico, ecológico e social, pois estas são consideradas perfeitas para a produção de água, conservação e manejo (OKI, 2002; RODRIGUES et al., 2012). São conceituadas como uma subunidade de bacias, e podem ser utilizadas como unidade básica para a gestão dos recursos hídricos, para designar os segmentos fluviais primários, para gerenciar áreas de proteção enfocadas a partir de nascentes de rios, bem como, na análise do uso e a ocupação do solo, em busca de otimização do sistema hídrico (dos SANTOS OLERIANO; DIAS, 2007; ZANATA, 2013).

As características geomorfológicas da formação de uma microbacia, tais como área, forma, densidade de drenagem, e declividade, estão diretamente relacionadas ao seu funcionamento hidrológico, assim como os processos hidrológicos de precipitação, escoamento superficial direto, infiltração da água no solo, fluxo de base, vazão, deflúvio, e interações com o meio (RODRIGUES et al., 2013; LIMA, 1994; LIMA; ZAKIA, 1998).

A adoção de um programa permanente de monitoramento de quantidade de água em microbacia experimental é indispensável para alcançar um manejo sustentável. Deste modo, a microbacia experimental pode servir como laboratório natural para estudos de médio e longo prazo, visando à comparação de diferentes práticas de manejo e uso e ocupação do solo, na busca da minimização de impactos ambientais (LIMA; ZAKIA, 1996).

De acordo com Cazula e Mirandola (2010), Tucci e Mendes (2006), a bacia hidrográfica é compreendida como uma unidade natural e um receptor das interferências naturais e antrópicas que ocorrem em sua área, tais como: topografia, precipitação, vegetação, clima, uso e ocupação do solo. Deste modo, o recurso hídrico é o reflexo da contribuição das áreas em seu entorno, que é a sua bacia hidrográfica. As atividades realizadas no interior de uma bacia têm influência direta sobre a quantidade e a qualidade da água, por isso deve-se adotar a bacia hidrográfica como um espaço de trabalho, quando se almeja a preservação dos recursos hídricos (RODRIGUES; PISSARRA; CAMPOS, 2008).

A bacia hidrográfica também pode ser definida como uma unidade de planejamento estratégico que transpõe barreiras políticas administrativas, pois uma mesma bacia pode abranger diversos municípios. Sendo assim, ações propostas para a resolução de problemas relacionados à bacia necessitam de um planejamento a nível regional. No entanto, as bacias menores podem ser utilizadas em experimentos que tragam soluções para problemas ambientais e agrícolas de maior porte (dos SANTOS OLERIANO; DIAS, 2007).

Para entender a bacia hidrográfica como unidade territorial, não se pode adotar o conceito clássico que a define apenas como a rede de drenagem e suas conexões. É necessário entendê-la como uma porção de espaço formada por um conjunto de elementos físicos, biológicos, sociais e políticos que interagem entre si, modificando o sistema natural de drenagem (SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO, 2015). Deve ser vista como área de gerenciamento, planejamento e ação, envolvendo aspectos ecológicos, econômicos e sociais, a partir de políticas públicas e privadas, tecnologias e educação, usuários e cidadãos, e, assim, promover a preservação e a recuperação dos recursos hídricos (TUNDISI, 2003; SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002; PISSARRA, 2002; AZEVEDO DO CARMO; D'OUVIDIO SILVA, 2010; RODRIGUES et al., 2011).

É evidente a importância do planejamento e a realização de trabalhos neste âmbito mencionado, e por isso, as bacias hidrográficas estão sendo muito estudadas, permitindo simular parte do ciclo hidrológico e identificar as alterações ocorridas em seu meio, no qual, em grande parte, ocorrem por interações antrópicas (ALVES da SILVA; RODRIGUES; VIEIRA, 2013; STEFFEN et al., 2014).

Estudos estratégicos em bacias hidrográficas são a base para o estabelecimento de futuras políticas de desenvolvimento e para o planejamento regional e territorial do país (TUNDISI et al., 2014). Ainda para o autor, essas pesquisas devem ser de responsabilidade de acadêmicos, pesquisadores, tomadores de decisão e gerentes, que em conjunto, poderão desenvolver novas e criativas soluções para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

As microbacias hidrográficas são unidades territoriais de menor dimensão, que possuem suma relevância por seus diversos serviços ambientais gerados, e podem ser utilizadas para o desenvolvimento de trabalhos científicos. São inúmeras as pesquisas em microbacias e grandes bacias hidrográficas, e os resultados demonstram que o uso e a ocupação do solo e as atividades no meio podem afetar a dinâmica de seu funcionamento, comprometendo a qualidade da água, além do regime temporal e espacial da vazão (RODRIGUES et al., 2015; RODRIGUES, 2012; LOPES, 2011; OKI 2002; LIMA; ZAKIA, 1996).

## **2.2 SWAT - *Soil and Water Assessment Tool***

É imprescindível o estudo do ambiente nas bacias hidrográficas no que se refere aos recursos naturais, e os modelos matemáticos de simulação são considerados importantes ferramentas para avaliar os efeitos das atividades agrícolas sobre os recursos hídricos (RODRIGUES, 2013). Os modelos matemáticos possuem várias aplicabilidades, podendo ser utilizado para dimensionar bacias hidrográficas, prever a disponibilidade hídrica, simular futuros impactos superficiais e subterrâneos nos recursos hídricos, auxiliar na avaliação das respostas dos ecossistemas às intervenções, na projeção de custos e escolhas adequadas na gestão da bacia hidrográfica (TUNDISI et al., 2014).

A aplicação da modelagem juntamente com a utilização dos sistemas de informação geográfica (SIG) colabora para a automatização de tarefas em estudos de bacias hidrográficas, pois antigamente o estudo da paisagem e todas as características fisiográficas que compõem uma bacia eram realizados manualmente (PISSARRA, et al., 2014).

O modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) foi desenvolvido na década de 90, pelo *Agricultural Research Service/United States*

*Department of Agriculture* (ARS/USDA), nos Estados Unidos (ANDRADE et al., 2013). Este modelo permite delimitar a bacia hidrográfica em estudo e dividir essa área em partes, as quais podem ser estruturadas e estudadas a partir da sobreposição de solo, uso do solo e declividade, predizendo o efeito das ações de uso e manejo do solo sobre os recursos hídricos, a produção de sedimentos, a produção de nutrientes e pesticidas, entre outros, e requer como dados de entrada informações de pluviometria, temperatura, umidade, solos, relevo e mapas de uso do solo (ARNOLD; ALLEN, 1996; NEITSCH et al., 2005; SILVA et al., 2011; MARQUES DA SILVA; DE CARVALHO MEDEIROS, 2014;).

O SWAT é um modelo computacional hidrológico que possui integração com o SIG, por meio da interface ArcSWAT do *software* ArcGis. Necessita de diversos parâmetros físicos para seu funcionamento, tais como: tipo e uso do solo, cobertura vegetal e relevo da região em estudo, o que possibilita simular diversos cenários na bacia em estudo, seja por processos naturais ou ações pela interferência antrópica, além de ser uma alternativa para estimar vazões em locais de difícil acesso e monitoramento (VIEIRA DE SOUZA, 2016; RODRIGUES et al., 2015; LOUZADA, 2015).

O modelo SWAT requer arquivos na forma de mapas para reproduzir as condições reais da bacia, tais como: modelo digital de elevação, mapas de solos e de uso do solo. Quando são geradas as microbacias, estas são divididas em Unidades de Resposta Hidrológica (URHs), que representam a heterogeneidade dos fatores que influenciam o comportamento hidrológico, (RODRIGUES et al., 2015; GASSMAN et al., 2007). As HRUs agregam elementos de uso do solo, cobertura vegetal, classes de solo e declividade, possibilitando ao modelo demonstrar diferenças localizadas na vazão, escoamento superficial, percolação, fluxo lateral, fluxo subsuperficial, fluxo de retorno do aquífero raso e evapotranspiração, dentre outras condições hidrológicas para diferentes usos e tipos de solos (RODRIGUES et al., 2015).

Rodrigues et. al, (2015) utilizaram o modelo SWAT para analisar a dinâmica da vazão na produção de água da bacia do rio Pará, no Alto São Francisco - MG, a qual foi afetada por florestamentos em larga escala, devido alterações no uso e cobertura vegetal, e resultados demonstraram que o modelo foi eficiente considerando a calibração, validação e a análise de sensibilidade, representando o

comportamento da bacia e a distribuição espacial e temporal, além de colaborar para identificar que alterações no uso e ocupação do solo na bacia podem acarretar impactos em função das variáveis físicas e climáticas do regime hídrico.

Louzada (2015) e Bellon e Pimentel da Silva (2013) utilizaram o SWAT para simular cenários de uso do solo e verificar o comportamento da vazão quanto às mudanças de uso do solo na bacia hidrográfica. Andrade, de Mello e Beskow (2013) aplicaram o modelo SWAT para a simulação superficial da bacia hidrográfica do ribeirão Jaguará, do Alto Rio Grande - MG, dispondo de uma série histórica de vazões e dados climáticos diários. Os autores atestaram a aplicabilidade do modelo como ferramenta de gestão e planejamento dos recursos hídricos nesta região.

Dantas et al. (2015) empregaram o SWAT para compreender a estrutura física das microbacias e confirmam que o modelo apresentou bom desempenho nos valores apresentados de vazão média ao longo de um período de estudo.

Bressiani et al. (2015) constataram que o uso do modelo SWAT teve aumento relevante na última década em escala de estudos hidrográficos e de avaliação de solo e água, sendo estas pesquisas principalmente de distribuições temporais e espaciais, com ênfase em resultados de cenários de uso do solo e declividade.

### **2.3 Vazão**

A vazão é o volume de água escoado no canal de um rio por uma unidade de tempo, em geral representada em ( $m^3/s$ ) ou ( $l/s$ ). As medições das vazões podem ser feitas em um vertedor ou diretamente na seção determinada do rio, pelo método convencional ou automático, por meio de réguas limimétricas ou linígrafo as formas mais comuns (ANA, 2011).

A vazão pode ser conceituada como o resultado dos processos hidrológicos de interação entre as precipitações regionais, infiltração, deflúvio e as condições fisiográfica da microbacia, sendo que o homem possui influência direta no manejo adequado de conservação da biodiversidade e produção de água das nascentes, (RODRIGUES, 2016). Sendo assim, a capacidade de produção de água nas microbacias será de acordo com suas características físicas específicas (LIMA, 2008), do solo, da declividade e do uso do solo.

A vazão máxima de um curso d'água é compreendida como o valor a um risco de ser igualado ou ultrapassado, que pode produzir enchentes nas margens dos rios, ocorrendo quando as vazões estão elevadas. Todavia, esta vazão pode ser controlada por obras hidráulicas, o que permite a drenagem do escoamento (TUCCI, 1993; ANA, 2011). O estudo das vazões máximas é importante, pois as enchentes produzem grandes perdas econômicas, comprometem o desenvolvimento de regiões e favorece a perda de vidas humanas (FERREIRA; TOSTA DOS REIS; MANDONÇA, 2015).

As vazões mínimas de um curso d'água podem ser definidas como os menores valores de séries históricas, ou ainda como vazões de estiagem, possibilitando encontrar estimativas de riscos de ocorrer vazões menores que um valor elencado, e é aplicada para avaliação da demanda mínima que um rio pode oferecer na regularização da vazão para o abastecimento de água e irrigação, no planejamento e gestão de bacias hidrográficas (TUCCI, 1993; ANA, 2011; DESTEFANI, 2005).

É válido demonstrar alguns conceitos da hidrologia florestal, com processos hidrológicos na escala de microbacias hidrográficas que fazem parte da formação da vazão (Q), sendo estes: precipitação (P), deflúvio (q), escoamento superficial direto (Q<sub>ds</sub>), infiltração da água no solo (IF), fluxo de base (Q<sub>bf</sub>).

A precipitação = P (mm), é o principal processo hidrológico que retroalimenta a dinâmica dos ecossistemas e assegura a sobrevivência dos seres vivos na Terra (RODRIGUES, 2014). É definida como a água líquida ou sólida que cai da atmosfera para a superfície da Terra, demonstrando a relação entre as fases atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico (LIMA, 2008). Ainda para o autor, a precipitação atmosférica que atinge a superfície da cobertura florestal de uma bacia hidrográfica é a entrada "input" do sistema hidrológico. Geralmente, apenas cerca de um quarto da precipitação anual se torna disponível para o escoamento dos rios. Sendo assim, grande parte desta água precipitada retorna à atmosfera pelo processo de evaporação, outra fração será escoada rapidamente, e parte continua armazenada na bacia, podendo infiltrar e percolar em direção ao aquífero.

Deste modo, a produção de água de uma bacia ou o seu rendimento hídrico é a precipitação que não é perdida por evapotranspiração, sendo representada pela

equação hidrológica fundamental simplificada (HEWLLET; NUTTER, 1969), nas fórmulas:

$$ET = P - Q$$

$$ET + Q = P$$

Logo,

$$Q = P - ET$$

Sendo, **ET** a evapotranspiração real (mm), **P** é a precipitação (mm) e **Q** o deflúvio (mm).

O deflúvio ( $q$ ), é conceituado como o volume total de água que percorre em um determinado período, pela secção transversal de um curso d'água, sendo expresso em mm de altura de água sobre a bacia correspondente, ou ainda, pode ser definido como o processo hidrológico de integração dos fatores hidrológicos em uma microbacia, envolvendo as características topográficas, clima, solo, geologia, uso do solo e precipitação (DNAEE, 1970; LIMA, 2007; RODRIGUES, 2012; CICCIO, 2013). Sendo que a vazão é o resultado deste processo hidrológico de interação, podendo ser observado pela fórmula:

$$q = \frac{Q}{A}$$

Ou seja,

$$q \cdot A = Q$$

Onde, **q** é o deflúvio, **A** é a área, e **Q** a vazão.

O deflúvio pode ser classificado em escoamento direto ( $Q_d$ ) e escoamento base ( $Q_b$ ) (LIMA, 2007), O escoamento direto ( $Q_d$ ) ou fluxo rápido consiste no volume de água excessivo que eleva a vazão superficialmente nas microbacias, é a parte do deflúvio que é liberada pela bacia durante e imediatamente após a ocorrência de chuvas, estando associando em maior parte pelo uso e ocupação do solo, o que causa problemas de transportes de sedimentos, erosões, sedimentação dos rios, enchentes (ARCOVA, 2006; LIMA, 2007; RODRIGUES, 2011).

O escoamento de base ( $Q_b$ ) ou fluxo de base corresponde à parte do deflúvio que provém da água subterrânea, do reservatório de água no sistema, ou seja, do valor acumulado de água na bacia. É originado primeiramente pela água da chuva, que após parte desta tenha sido escoada diretamente, será infiltrada nos solos, percolada em profundidade para as camadas mais profundas para a zona não saturada do solo com a elevação dos níveis freáticos ou água subterrânea, havendo o abastecendo os lençóis freáticos e aquíferos. Além disso, nos períodos secos, a água armazenada no sistema estará sendo conduzida para as nascentes das bacias e o nível da água subterrânea será reduzido (LIMA, 2007; RODRIGUES, 2011; CICCIO, 2013). Estes escoamentos (direto e de base) são calculados da seguinte forma:

$$H = \frac{V}{A} \cdot 10\text{mm}$$

Sendo que,  $H$  pode ser representado como escoamento direto ( $Q_d$ ) ou escoamento base ( $Q_b$ ),  $V$  é o volume ( $\text{cm}^3$  ou litros) e  $A$  é a área ( $\text{cm}^2$ ).

Deste modo, pode-se dizer que a vazão é o resultado do escoamento direto ( $Q_d$ ) e do escoamento base ( $Q_b$ ), sendo:

$$Q = Q_d + Q_b$$

Onde,  $Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$  ou  $\text{l/s}$ );  $Q_d$  = o escoamento direto;  $Q_b$  o escoamento base.

Portanto, a quantidade de água produzida é dependente dos fatores de clima, solos, geologia, características físicas da bacia e do uso e ocupação do solo, conforme na representação abaixo (Figura 1):

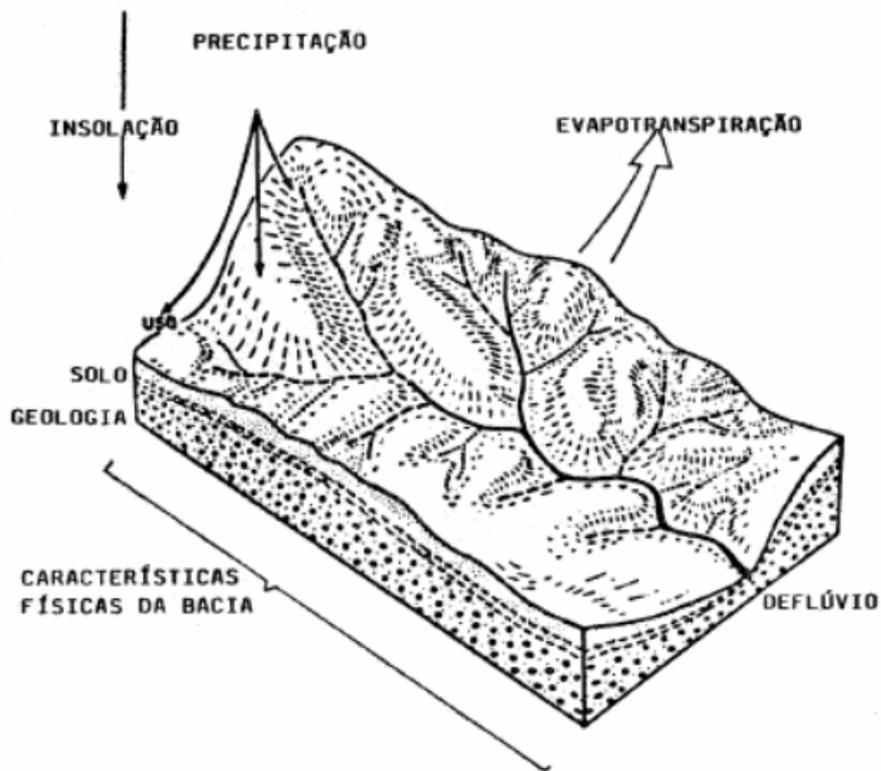


Figura 1. Representação de uma microbacia demonstrando os processos que influenciam na produção de água (Adaptado de GREGORY; WALLING, 1973; LIMA, 2008).

Para a medição da vazão, deve-se levar em conta não apenas a cota, mas também a velocidade do fluxo e a área da secção transversal do canal escolhido, deste modo, a área da secção transversal e a velocidade média que a água passa nesta secção, a descarga pode ser calculada pela equação da continuidade (LIMA, 2007), conforme fórmula abaixo:

$$Q = A \cdot V$$

Sendo: **Q** = vazão (m<sup>3</sup>/s ou l/s); **A** = área da secção do canal (cm<sup>2</sup> ou m<sup>2</sup>); **V** = velocidade da água (cm/s ou m/s).

Diante do exposto, fica evidente que o monitoramento da vazão é fundamental para o planejamento e gerenciamento do uso dos recursos hídricos, e no conhecimento da disponibilidade e demandas ao longo do tempo em uma bacia hidrográfica, sendo essencial para diversas finalidades: planejamento do

fornecimento público de água, estudos de lançamentos de efluentes e esgotos, outorga d'água, dimensionamento de obras hidráulicas, irrigação na agricultura, na previsão de enchentes, estudos experimentais e de balanço hídrico em bacias, (RODRIGUES, 2016; ANA, 2011).

Os estudos referentes às estimativas, simulações e monitoramento de vazões são relatados por diversos autores. Santos (2010) estimou vazões máximas, utilizando modelos em diversas bacias e analisou métodos determinísticos e probabilísticos, considerando os métodos: Racional, Racional Modificado, *Soil Conservation Service* e de ajustes das distribuições probabilísticas Gumbel, Pearson III, Log Pearson III, Log Normal II e Log Normal III. O autor afirmou que estimativas de vazões máximas são essenciais para o planejamento e adoção de medidas para minimização de impactos decorrentes da ocorrência de cheias.

Oliveira e Fioreze (2011) realizaram estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, em Goiás (GO), com base na precipitação total acumulada nos cinco meses que antecedem o período de estiagem. Para os autores o emprego da metodologia analisada ressaltou a vantagem de possibilitar a simulação do hidrograma na fase de recessão do escoamento subterrâneo, o que propiciou ao órgão gestor dos recursos hídricos do estado de Goiás, prever possíveis conflitos dos usuários de água na bacia hidrográfica para diferentes cenários da distribuição de chuvas.

Ferreira, Tosta dos Reis e Mandonça (2015), avaliaram as vazões máximas de longo prazo de cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, Espírito Santo. Para isso, utilizaram a distribuição probabilística de Gumbel e os métodos de Foster e de Füller, e com auxílio de um teste de hipótese, as diferentes abordagens empregadas para apropriação das vazões máximas foram comparadas entre si. Para os autores, o entendimento do regime de vazões dos cursos d'água é de fundamental importância para a manutenção das sociedades modernas, e os resultados indicaram que o Método de Füller sistematicamente estimou as menores vazões máximas, entretanto, os valores decorrentes da aplicação do teste de Wilcoxon, para um nível de significância de 5%, mostraram que os métodos de Foster, Füller e Gumbel foram equivalentes.

Rodrigues et al. (2012) avaliaram o potencial de produção do fluxo de água dos canais nas ruas de Freiburg na Alemanha, com a finalidade de realizar a

medição de vazão dos canais de escoamento da água circulante pelas ruas e sua relação com o microclima da cidade local. Foi realizado o monitoramento da vazão em três pontos: P1, P2, P3, em três canais: C1, C2, C3, em três ruas, e, estimada através do método área-velocidade com medição de velocidade em vários pontos e profundidades do rio, utilizando um molinete fluviométrico da marca *Global Water Flow Probe*, e assim, foram observadas as velocidade da água em (m/s). Os autores observaram que o rio avaliado apresentou potencial de produção de água com vazão média de 0,3 (m<sup>3</sup>/s), que reabastece os canais de água circulante e fazem parte da ornamentação histórica nas ruas do município. Além disso, constataram que a água circulante nos canais das ruas promove um melhor equilíbrio térmico com melhor regularidade da umidade relativa do ar, resultando num maior conforto térmico para a população.

Siqueira (2015) avaliou o desempenho de uma metodologia de previsão de cheias por conjunto em curto a médio prazo na bacia do Taquari-Antas (RS). Para isto, utilizou-se o modelo hidrológico MGB-IPH acoplado a diferentes sistemas de previsão, sendo eles: (i) EPS Regional ETA, de curto prazo (até 72 horas) com 5 membros de diferentes parametrizações; (ii) EPS Global ECMWF de médio prazo (até 10 dias) com 50 membros de condições iniciais perturbadas, incluindo perturbação estocástica nos parâmetros de ajuste do modelo e; (iii) Previsão Determinística do Modelo Regional ETA (até 7 dias). Para o autor previsões hidrológicas são importantes na identificação antecipada de eventos de cheia potencialmente causadores de inundação, o que é de grande valia para a atuação de entidades como a Defesa Civil. Ainda para o autor, resultados demonstraram que apesar de incerteza na magnitude das previsões hidrológicas no conjunto de curto prazo, a vazão máxima foi bem presumida, enquanto que a previsão do *timing* dos eventos foi classificada de boa confiabilidade. Além disso, no modo geral, as previsões por conjunto possuem potencial para contribuir em sistemas de alerta contra cheias, favorecendo uma melhor preparação dos agentes envolvidos durante a ocorrência destes eventos.

Beskow et al. (2014) avaliaram a aplicabilidade do potencial de três métodos de sazonalidade aplicados à avaliação do regime temporal e espacial de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul, com o intuito de contribuir no processo de gestão dos recursos hídricos no Estado, e de colaborar no subsídio técnico para a

regionalização em regiões hidrologicamente homogêneas. Para isso, utilizaram os métodos *Seasonality Ratio* (SR), *Seasonality Index* (SI) e *Seasonality Histogram* (SH) com base nas séries históricas de 108 estações fluviométricas. Para os autores, dados sobre vazões de estiagem são essenciais no contexto da gestão de recursos hídricos, entretanto, a rede de monitoramento fluviométrico existentes não suprem as necessidades dos técnicos, e por isso há importância neste estudo realizado. Os autores constataram que existe uma forte sazonalidade de vazões de estiagem no estado, sendo assim, estas metodologias podem ser consideráveis para delinear regiões hidrologicamente homogêneas para a regionalização hidrológica de vazões de estiagem.

Debastiani, Silva e Rafaeli Neto (2016) avaliaram a estimativa da vazão diária na estação fluviométrica Rio Bonito, na bacia do Alto Canoas (SC), por meio de redes neurais artificiais *Multi Layer Perceptron* (MLP), e analisaram a contribuição das variáveis de entrada para a modelagem, visto que para a elaboração do plano de bacia se faz necessária à realização de estimativas das respostas hidrológicas. Para isso, testaram doze tratamentos com combinações de variáveis de precipitação, evapotranspiração e vazão, além de transformações e deslocamentos temporais dessas, com o intuito de determinar as variáveis que promovessem o melhor desempenho da modelagem da vazão. Segundo os autores, o vetor que mais contribuiu para a eficácia da MLP foi à precipitação observada na estação de Urubici. O vetor da vazão estimada teve pouca contribuição relativa, mas manteve-se indispensável na MLP com configuração em *closed-loop*.

## **2.4 Qualidade da Água**

O monitoramento qualitativo e quantitativo dos corpos hídricos é essencial para indicar a influência do manejo em uma bacia hidrográfica e realizar o controle da poluição das águas (BARRETO et al., 2014).

A qualidade da água pode ser avaliada por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos, tais como pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica e outros parâmetros (Lopes, 2011; Bateni, et al., 2013; Valle Junior et al., 2014), e os valores obtidos formam a base para um projeto de planejamento do uso do solo e implementação de práticas de conservação.

De acordo com Souza e Gastaldini (2014), Giri e Qiu (2016), as variações dos parâmetros analisados identificam a interferência do uso do solo na qualidade da água, expande o conhecimento ecológico do ecossistema e detectam alterações das atividades de manejo.

O monitoramento das águas superficiais e subterrâneas pode ser definido como um fator primário para a gestão adequada dos agroecossistemas, uma vez que permite a caracterização e análise das variações qualitativas das bacias hidrográficas (GIRI e QIU, 2016).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), na Resolução 357/2005 estabeleceu uma classificação para os corpos hídricos e forneceu diretrizes ambientais para o seu enquadramento (ANA, 2005). Sendo assim, é de suma importância obter valores da qualidade hídrica para estabelecer indicadores que podem colaborar em propostas de ações e de novas formas de gestão, visando à conservação do solo e da água em bacias hidrográficas (SUN et al., 2016; DING et al., 2016).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é delimitada pela bacia hidrográfica do rio São Domingos que pertence a Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande, que é definida como Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-15) pela Lei no 9.034/94 de 27/12/1994, que dispôs sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos para o biênio 1994/95 (IPT, 2008).

A bacia do Turvo/Grande possui área territorial de 15.975 km<sup>2</sup>, sendo a 4ª maior UGRHI em área de drenagem do Estado, abrangendo área inferior apenas às das UGRHI 14 (Alto Paranapanema, com 22.700 km<sup>2</sup>), 11 (Ribeira, com 16.771 km<sup>2</sup>) e 17 (Médio Paranapanema, com 16.763 km<sup>2</sup>). De acordo com Carpi Júnior et al. (2014), a UGRHI é definida pela bacia do rio Turvo e seus tributários, além de porções de áreas drenadas diretamente para o rio Grande, situadas entre a Usina de Marimbondo, a montante, e o divisor de águas de sua margem esquerda, situado logo abaixo do local onde as suas águas se encontram com as águas do rio Paranaíba (que vem de norte, pela margem direita do rio Grande, e faz limite entre os Estados de Minas Gerais, a leste, e Mato Grosso do Sul, a oeste), a jusante.

Abrange um total de 64 municípios, sendo que entre todas as UGRHIs do Estado de São Paulo é a que possui o maior número de municípios, seguida pelas UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari, Jundiaí (57 municípios), 17 e 19 - Médio Paranapanema e Baixo Tietê, respectivamente, (42 municípios cada). Dos municípios pertencentes à Bacia do Turvo/Grande, 21 possuem parte de suas áreas em outras UGRHIs adjacentes, enquanto que, 11 municípios de outras bacias possuem parte de suas áreas na UGRHI-15 (IPT, 2008).

A Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande limita-se ao norte, com o Estado de Minas Gerais, por meio do rio Grande, a leste faz limite com a UGRHI 12 (Baixo Pardo/Grande), a sudeste com a UGRHI 9 (Mogi-Guaçu) e, pelo flanco sul com as UGRHI 16 (Tietê/Batalha) e 18 (São José dos Dourados). A Bacia apresenta águas subterrâneas condicionadas pela presença de três unidades aquíferas: Bauru, Serra Geral e Guarani. A área aflorante do Aquífero Bauru corresponde a 90% de toda a

área da UGRHI, e os outros 10% referem-se à área de afloramento do aquífero Serra Geral, e o aquífero Guarani ocorre apenas em subsuperfície (IPT, 2008).

A Diretoria da Bacia Hidrográfica Turvo/Grande está localizada na região Noroeste do Estado de São Paulo, no município de São José do Rio Preto. O CBH-TG (Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Turvo e Grande) foi fundado em 15 de dezembro de 1995, e possui como área de atuação toda a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 15.

A UGRHI 15 subdivide-se em 12 microbacias, que são mencionadas com os nomes dos cursos d'água que a perfazem (IPT, 2008). A bacia hidrográfica do rio São Domingos, objeto deste estudo é nomeada como a microbacia 10 da UGRHI 15, conforme demonstrado na Figura 2.

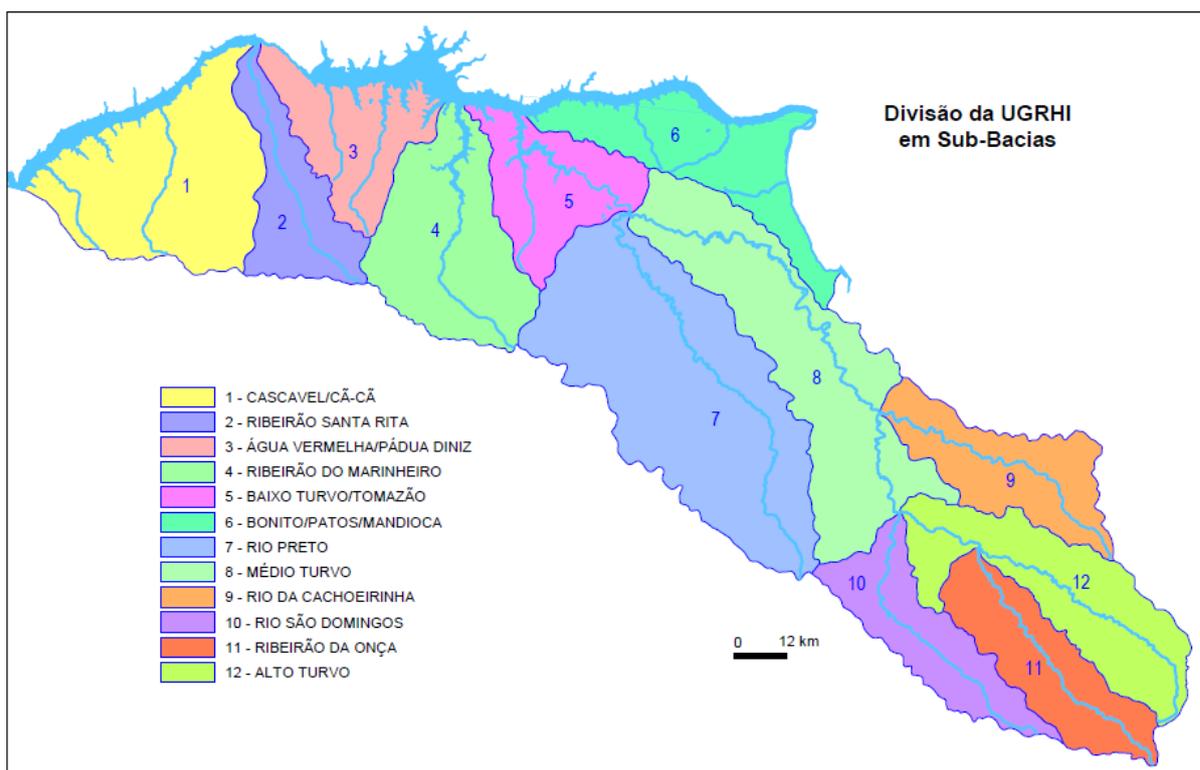


Figura 2. Subdivisão da UGRHI 15 em 12 microbacias.  
Fonte: Relatório Técnico CPTI n. 397/08 (IPT, 2008).

A bacia hidrográfica do rio São Domingos (UGRHI 10, Figura 2) foi delimitada e está localizada na região noroeste do Estado de São Paulo (Figura 3).

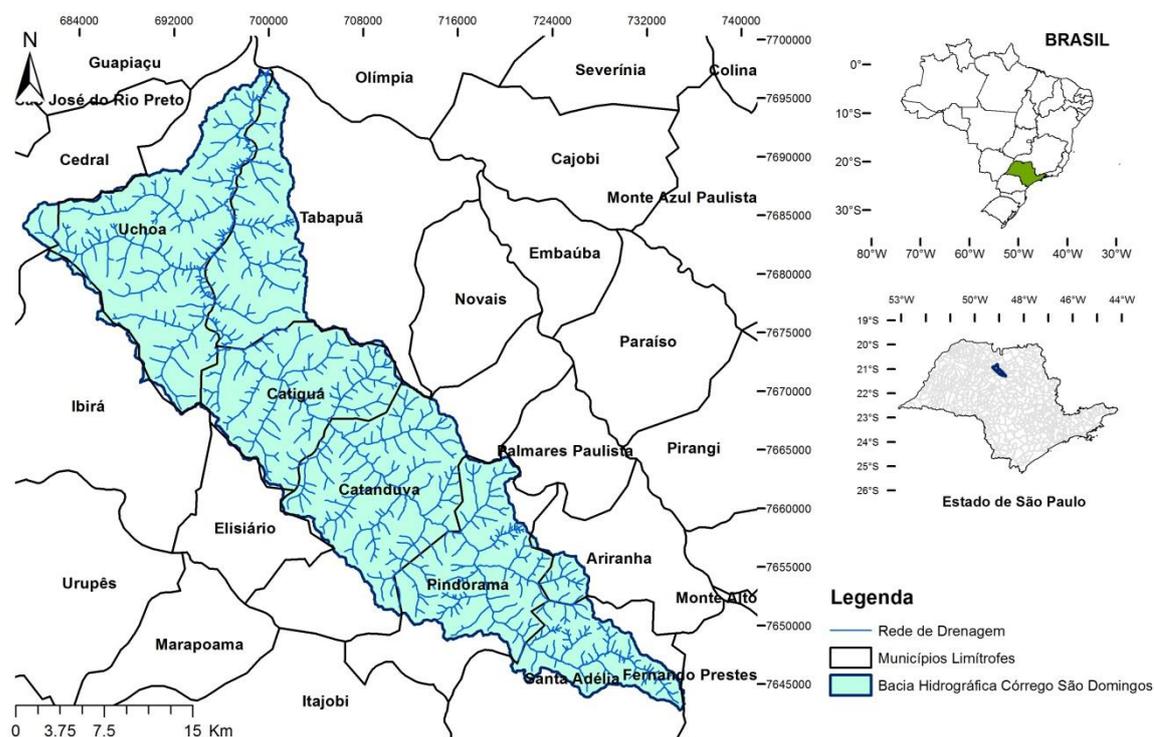


Figura 3: Localização da bacia hidrográfica do rio São Domingos, SP.

A nascente principal é situada no território da fazenda Santa Sofia, no município de Santa Adélia, e a área está contida nos municípios de Pindorama, Catanduva, Catiguá, Tabapuã e Uchoa. A rede de drenagem principal e os tributários seguem para desaguar no rio Turvo, que prossegue para o rio Grande. Apresenta área total de 866 km<sup>2</sup>, com altitudes de 638 e 463 metros, balizada entre as coordenadas geográficas: latitude 21°18'23.88"S e 20°48'40.05"S e longitude 48°44'4.34"O, 49°4'41.41"O, zona 22K, considerando a bacia delimitada no *Google Earth Pro*.

O clima da região enquadra-se, segundo a classificação climática de Köppen (1948), como o Aw, definido como clima tropical úmido com estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida seca no inverno, de maio a outubro. A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C, com precipitação excedente a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm, (CEPAGRI, 2016).

Os solos são classificados como Argissolos Vermelho-Amarelos, Podzolóxicos Vermelho-Amarelos (OLIVEIRA et al., 1999), sendo PVA1 e PVA2 nos

municípios de Santa Adélia, Pindorama e Catanduva, PVA2 e PVA10 no município de Tabapuã, e em Catiguá e Uchoa PVA2, PVA10 e uma minúscula parte de PVA1, sendo determinados a saber:

PVA1: Eutróficos Abrúpticos A moderado, textura arenosa/média, relevo suave ondulado e ondulado.

PVA 2: Eutróficos Abrúpticos ou não, A moderado, textura arenosa/média e média, relevo suave ondulado e ondulado.

PVA10: Eutróficos + Argissolos Vermelhos distróficos e eutróficos, ambos textura arenosa/média e média, relevo suave ondulado, e ainda, Latossolos Vermelhos distróficos, textura média, relevo plano todos A moderado.

A vegetação natural predominante nessa região, de acordo com os vestígios, é classificada como floresta latifoliada tropical estacional semidecidual. Quanto ao uso e ocupação do solo da região, se distribuem principalmente com zonas urbanas, indústrias, agroindústrias e agricultura, sendo predominante a cultura de cana-de-açúcar, e com porcentagem menor para outras produções como citrus, seringueira, pecuária, pastagem, e eucalipto.

### **3.1.1. Caracterização da microbacia do Córrego da Olaria**

A microbacia hidrográfica do Córrego da Olaria está situada na bacia hidrográfica do rio São Domingos, em área do Polo Regional Centro Norte, pertencente à Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), órgão vinculado a Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SAA), localizado no município de Pindorama, SP (Figura 4).

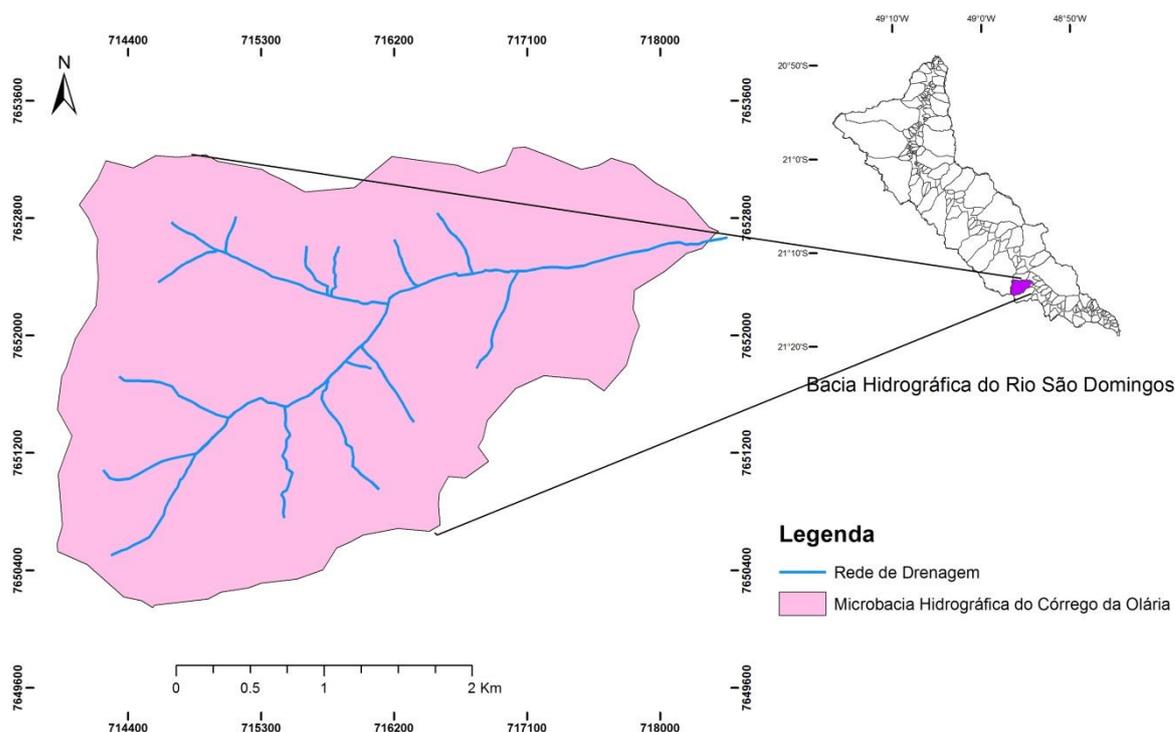


Figura 4: Localização da microbacia hidrográfica do Córrego da Olária, Pindorama-SP, na bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Apresenta extensão de 9,45 km<sup>2</sup>, com altitudes que variam de 616 a 507 metros. É balizada entre as coordenadas geográficas: latitudes 21°14'3.50"S e 21°12'51.94"S; e longitudes 48°56'17.66"O e 48°53'43.48"O, zona 22K, considerando a bacia delimitada no *Google Earth Pro*.

O Polo Regional Centro Norte possui área territorial de 532,8 ha, aproximadamente 120 ha são de mata nativa dividida em quatro fragmentos, e esses remanescentes do bioma Mata Atlântica foram transformados em reserva biológica com a criação da Lei Estadual nº 4.960 de 06 de janeiro de 1986. O restante da área é destinado à experimentação agrícola com culturas anuais e perenes, como: amendoim, cana de açúcar, mandioca, milho, sorgo, seringueira, pupunha, urucum, manga, goiaba e abacate.

O balanço hídrico anual segundo a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) caracteriza climaticamente o local como precipitação de 1389 mm, evapotranspiração potencial de 1.118 mm, evapotranspiração real de 910 mm, deficiência hídrica de 208 mm e excedente hídrico de 480 mm.

Desde 2011 é realizado o monitoramento do volume dos recursos hídricos na microbacia, como atividade do projeto de pesquisa intitulado “Recuperação de Nascentes do Polo Regional Centro Norte (Estação Experimental de Pindorama)” - FEHIDRO TG 364/2010, e em 2013 pelo projeto “Monitoramento dos Recursos Hídricos para Avaliação das Alterações Associadas ao Uso e Manejo do Solo da Microbacia Hidrográfica do Córrego da Olaria” - FAPESP 2013/11932-1.

### **3.2 Base Cartográfica e Programas Informatizados**

A base cartográfica utilizada foi a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Departamento de Cartografia, Carta do Brasil - Escala 1:50.000, sendo as cartas de: Catanduva Folha SF-22-X-D-II-1, 1ª Edição 1971, Ibirá Folha SF-22-X-D-I-2, Roberto Folha SF-22-X-D-II-3, São José do Rio Preto Folha SF-22-X-B-IV-3, Severinía Folha SF-22-X-B-V-3, Taquaritinga Folha SF-22-X-D-II-4, e Uchoa Folha SF-22-X-B-IV-4, ambas 1ª Edição 1972, e Novo Horizonte Folha SF-22-X-D-I-4, 1ª Edição 1973.

As cartas vetorizadas foram extraídas do site do IBGE, e seus respectivos vetores na extensão dng, que se encontram disponível em: [http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm). As curvas de nível, rede de drenagem, pontos de localização e estrada foram inseridos no AutoCAD, georreferenciados e exportados por meio da ferramenta *ExpGE* para o *Google Earth Pro*. Em seguida, delimitou-se a área a ser trabalhada, que é o divisor de águas da bacia, e seus tributários, com seus respectivos divisores de água e redes de drenagens, gerando a bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Os programas informatizados utilizados foram: *Google Earth Pro*, AutoCAD® 2012, ArcGIS 10.1 (ESRI, 2010).

### **3.3 Caracterização Morfométrica**

Para determinar os dados morfométricos dimensionais e do relevo das microbacias da bacia do rio São Domingos, foi utilizado o programa SWAT na interface do Arcgis. No menu *watershed delineation* foi exportado o modelo de

elevação digital do terreno (MED) e foi definido os vetores que indicaram o fluxo superficial das águas no terreno, nos comandos: *flow direction* e *flow accumulation*.

As regiões hidrológicas foram definidas em microbacias que resultaram nas seguintes características dimensionais: área, perímetro, elevação média, altitude mínima, altitude máxima, amplitude altimétrica e declividade média. Essas características dimensionais e do relevo foram determinadas para compreender a geomorfologia das microbacias do rio São Domingos (PISSARRA et al., 2004).

### 3.4. Regionalização Hidrológica das Bacias - DAEE

O cálculo da regionalização hidrológica foi realizado nas microbacias afluentes do rio São Domingos. Essas microbacias foram vetorizadas no programa informatizado *Google Earth Pro* e foram exportadas para o programa AutoCAD na extensão ExpGE. Cada área foi delimitada em seus divisores topográficos e foi vetorizada a rede de drenagem principal.

Para o cálculo hidrológico das vazões médias plurianuais e da vazão de referência -  $Q_{7,10}$  das subbacias, utilizou-se a metodologia de Regionalização de Variáveis Hidrológicas, proposto por Liazi et al. (1988), do DAEE, Estado de São Paulo. Em cada microbacia vetorizada foi cadastrado o ponto de foz em suas coordenadas latitude e longitude.

O DAEE desenvolveu esta metodologia para estimar a disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas do território paulista que não dispunha de dados hidrológicos observados. Esse processo tornou possível estimar as variáveis hidrológicas de vazões médias e mínimas, volumes de regularização intra-anual e curvas de permanência. Esse método foi baseado nos dados anuais precipitados em 444 postos pluviométricos, o que permite a elaboração da carta de isoietas médias anuais, as séries de descargas mensais observadas em 219 estações fluviométricas e as séries de vazões diárias de 88 postos fluviométricos. Isso possibilitou identificar 21 regiões hidrologicamente semelhantes no Estado de São Paulo (LIAZI, 1988).

O cálculo das vazões foi realizado *on-line* no site: <http://143.107.108.83/cgi-bin/regnet.exe/optutmclick>. Os valores da área (km<sup>2</sup>) das microbacias e as coordenadas geográficas do ponto de foz foram inseridos no programa

Regionalização de Variáveis Hidrológicas para o cálculo das vazões médias plurianuais e  $Q_{7,10}$  das microbacias.

A vazão média plurianual ( $m^3/s$ ) em uma dada seção de um curso de água foi obtida, com aproximação, por intermédio da relação linear dessa vazão ( $Q$ ) com o total anual médio precipitado na bacia hidrográfica ( $P$ ),

$$Q = a + b . P$$

Na qual, **a** e **b** são parâmetros da reta de regressão, sendo que se determinou 4 retas de regressão, ou seja, 4 regiões, abrangendo as 21 regiões hidrologicamente homogêneas do Estado. A precipitação média anual ( $P$ ), em cada uma das microbacias, foi calculada pela média ponderada da precipitação em relação à área de drenagem, interpolada entre duas isoietas consecutivas ( $P_i$ ), e a área de drenagem ( $A_i$ ) entre essas mesmas isoietas.

$$\bar{P} = \frac{\sum (A_i . P_i^*)}{\sum A_i}$$

Em que, **A<sub>i</sub>** é a área entre as isoietas  $P_i$  e  $P_{i+1}$ ,  $km^2$ ; **P<sub>i</sub>** é a chuva média na área  $A_i$ , obtida por interpolação entre  $P_i$  e  $P_{i+1}$ ,  $mm$ .

Para a determinação da Vazão Média Plurianual, basta multiplicar o valor da vazão específica média plurianual pela sua respectiva área da bacia de contribuição.

$$Q = Q_{esp} . A$$

Em que, **Q** é a vazão média plurianual ( $l/s$ ); **Q<sub>esp</sub>** é a vazão específica média plurianual,  $l.s^{-1} . km^2$ , e; **A** é a área da bacia de contribuição,  $km^2$ . Com isto, pode-se obter a estimativa da vazão média plurianual de qualquer seção do curso de água a partir da precipitação anual média, calculada no mapa de isoietas, (LIAZI et al., 1988).

As vazões mínimas anuais de 7 dias consecutivos com "t" anos de período de retorno  $Q_{7,t}$  ( $m^3/s$ ), são utilizadas com frequência como indicador de disponibilidade

hidrica natural em uma rede de drenagem. Os benefícios apresentam menor influência de interferências humanas no curso d'água e de erros operacionais do que a vazão mínima diária, além de ser mais detalhada que vazões mínimas mensais, (LIAZI et al.,1988). O período de retorno escolhido para ser simulado pode ser de 10, 15, 20, 25, 50, ou 100 anos, sendo que os resultados representam danos provocados por eventos hidrológicos ou que o manancial não atenderá a esta vazão, em média, uma vez em t anos (sem regularização).

Para o cálculo das vazões mínimas anuais de 7 dias consecutivos utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Q_{7,10} = C \cdot X_T \cdot (A+B) \cdot Q$$

Na qual, o valor de **C** foi obtido do cálculo das regiões hidrológicas a partir do parâmetro C (havendo três regiões delimitadas); os valores de **X<sub>T</sub>**, **A** e **B** foram calculados a partir dos valores de A e B, e do período de retorto  $X_{10}$ ; e **Q** foi calculado em função da precipitação anual média a partir dos valores a e b (média plurianual), (LIAZI et al.,1988; WOLFF, 2013).

### 3.5. Sistema de Informação Geográfica

Os mapas temáticos de vazão real e simulada pela regionalização hidrológica foram gerados com o auxílio do sistema de informação geográfica - SIG, programa ArcGIS 10.1 (ESRI, 2010). A rede de drenagem e os divisores topográficos das microbacias dos afluentes da Bacia do São Domingos foram vetorizados manualmente no *Google Earth Pro*, utilizando as imagens dos anos de 2015 e 2016, e os dados de altitude.

Os limites das microbacias e da rede de drenagem em KML foram exportados para o ArcGIS utilizando o comando *KML to Layer* da ferramenta *conversion tools, from kml*. Os *layers* georreferenciados em Latitude e Longitude em WGS 84, foram reprojctados para UTM Fuso 22 S, datum WGS 84 no comando *Project* da ferramenta *data management tools - projections and transformations*.

O limite geral da bacia hidrográfica do rio São Domingos foi gerado a partir do modelo digital de elevação (*Digital Elevation Model – DEM*), originado da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), elaborado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) no ano de 2000. Foi utilizado o banco de dados projetados para 30 metros pelo projeto TOPODATA do INPE, disponível no site: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Para o limite da bacia, foram utilizadas as folhas 20S495 e 21S495.

As imagens do modelo digital de elevação (MDE) baixadas em formato GEOTIFF sem projeção, foram mosaicadas utilizando o *image analysis* e o *processing - mosaic*. A definição da imagem georreferenciada utilizada foi o WGS 84, usando o comando *define project*. A imagem também foi submetida à conversão radiométrica, pela ferramenta *copy raster* para Conversão de *float* 32 Bit para *unsigned* 16 Bit (Inteiro de 16 Bits Não sinalizado). O range de 16 Bits é o mais indicado para trabalhar com modelos de elevação, tendo em vista que ocorre altitudes superiores a 256 metros, o que por si só invalidaria o uso de dados em 8 bits. A mesma imagem foi projetada para WGS 84 UTM zona 22S (UTM – WGS 84 – *Southern Hemisphere*).

Os mapas temáticos de vazões reais ( $m^3/s$ ) observadas, com dados medidos *in loco* em 4 pontos da microbacia Córrego da Olaria, de Pindorama-SP, e o mapa de dados obtidos de 3 pontos de postos fluviométricos do DAEE, localizados em Catanduva, Catiguá, e Uchoa-SP, foram elaborados a partir da coordenada geográfica do ponto de foz de cada microbacia, utilizando o modelo digital de elevação (MDE) e a ferramenta *watershed*. Estes mapas apresentam as classificações médias dos fluxos do período analisado, com o intuito de demonstrar quais bacias a montante de cada ponto de leitura produz maior e menor vazão.

Os mapas temáticos das vazões estimadas  $Q_{7,10}$  e vazões médias plurianuais da bacia hidrográfica do rio São Domingos, foram elaborados utilizando os dados simulados pela Regionalização Hidrológica do DAEE. Os mapas foram gerados pelos comandos *Layer Properties - Symbolology - Quantities*, utilizando a classificação em 5 classes equidistantes, também com o objetivo de apresentar quais são as classes que integram as bacias com maior e menor fluxo.

### 3.6 Levantamento dos dados de Vazão

O levantamento dos dados de vazão foi realizado in loco nas microbacias selecionadas da bacia hidrográfica do rio São Domingos. No município de Pindorama-SP, foi selecionada a microbacia do Córrego da Olaria. Nessa área, foram cadastrados quatro pontos de coleta de dados, que determinam o ponto de deságue das águas nos tributários, conforme a Figura 5.

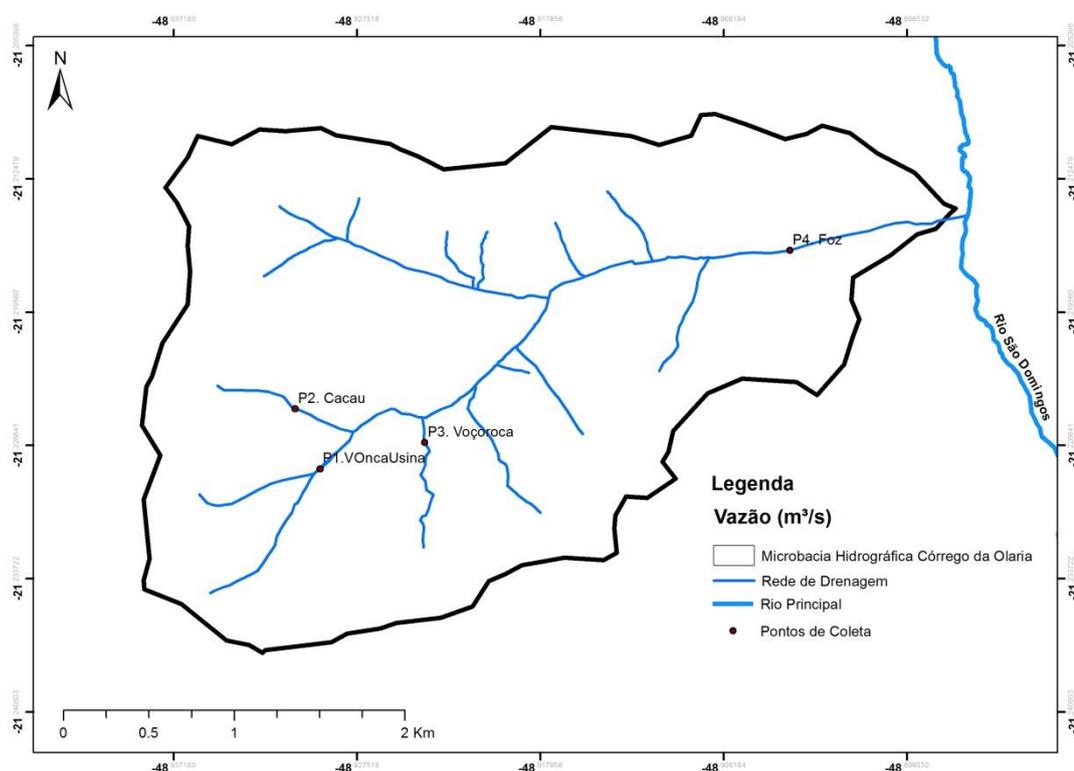


Figura 5. Pontos cadastrados da coleta de vazão na microbacia Córrego da Olaria: P1. Onça/Usina; P2. Cacau; P3. Voçoroca; P4. Foz.

A quantidade de água da Microbacia do Córrego da Olaria em Pindorama-SP, tem sido monitorada continuamente desde o ano de 2011. Além disso, foram utilizados dados fluviométricos das estações de monitoramento do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) nos municípios de Catanduva, Catiguá e Tabapuã-SP (Figura 6).

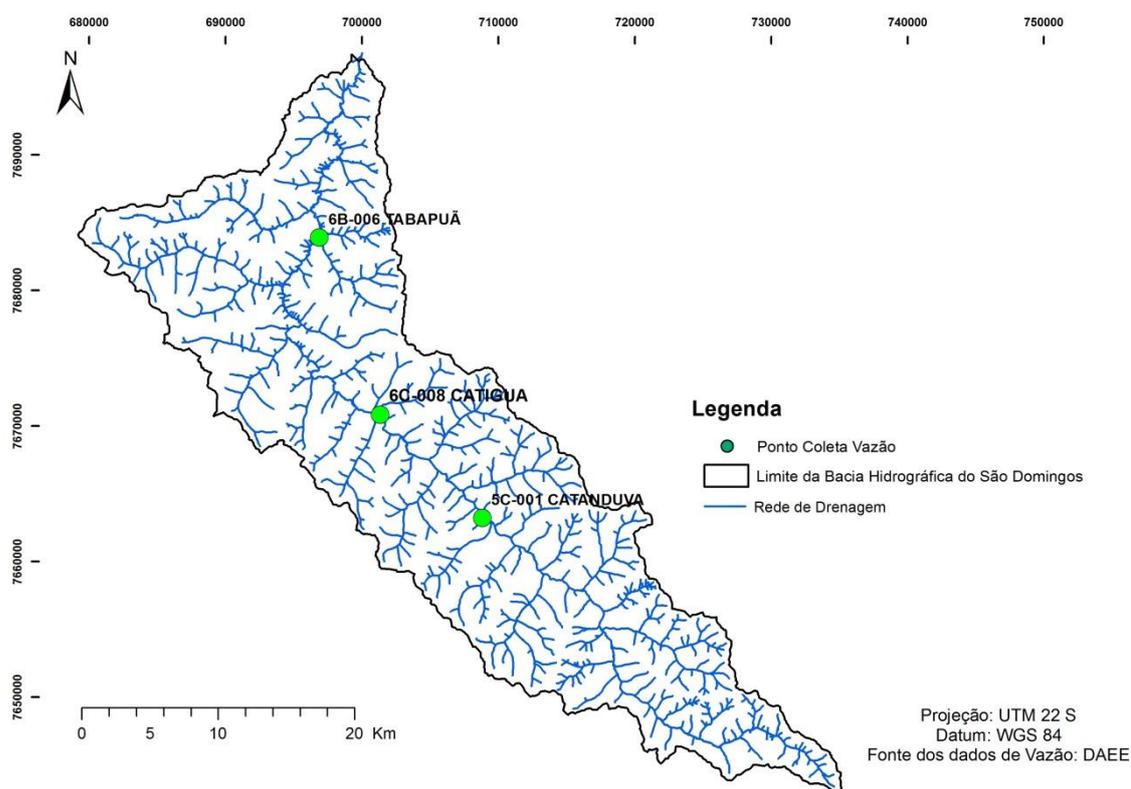


Figura 6. Pontos cadastrados dos postos fluviométricos do DAEE na bacia hidrográfica do rio São Domingos.

O monitoramento da vazão das microbacias do Córrego da Olaria foi realizado no período de maio 2011 a maio de 2016, totalizando 5 anos de dados hidrológicos. A leitura foi realizada mensalmente, sendo em um dia escolhido da última semana de cada mês, entre as 7:00 e 11:00 horas da manhã. Para isso, utilizou-se o aparelho linígrafo (Teledyne Isco - 2150), o qual permite a medição dos parâmetros, a saber: vazão (l/s), vazão total (m<sup>3</sup>), velocidade (m/s) e nível (m) da água. Este utiliza a tecnologia de comprimento de onda contínua Doppler para medir a velocidade média do fluxo, sendo que o sensor emite onda ultrassônica contínua, a fim de medir a frequência enviada através do retorno (eco) refletido pelas bolhas de ar e partículas encaminhadas pelo fluxo.

A vazão foi calculada com fórmula específica no *software Flowlink 5.1*, independentes de nível e área. A seção foi determinada no programa digitando a medida da largura podendo ser consideradas como seção canais - redondos, em formato de U, retangulares, trapezoidais, elípticos. A medição da vazão ocorreu em período de seis minutos em cada microbacia, sendo que o *software* coleta os dados

a cada 30 segundos e os armazena automaticamente. Após a leitura da vazão os dados foram exportados e salvos no *notebook* utilizado.

Também foram selecionados na bacia, postos fluviométricos monitorados pelo DAEE, órgão gestor dos recursos hídricos do Estado de São Paulo, o qual disponibiliza *on line* um banco de dados fluviométricos, sendo acessados pelo site: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br>. Os dados fluviométricos utilizados foram os dos municípios de Catanduva no período de 1936 a 1971, de Catiguá no período de 1969 a 2001 e de Tabapuã no período de 1962 a 1966.

As medições de nível da água foram realizadas diariamente em cada local. O aparelho utilizado foi o medidor com molinete hidrométrico de hélice da marca A-OTT, que registram o número de rotações da hélice em diversas verticais de uma mesma seção transversal, em 2 pontos: a 0,20H e 0,80H (sendo H a profundidade). A coleta dos dados foi realizada por funcionários nomeados como observadores, que anotavam o nível da água às 7:00 e 18:00 horas em uma caderneta própria e despachava os dados preenchidos mensalmente pelo correio. No escritório realizou-se o cálculo da vazão utilizando planilha no Excel, sendo feito do seguinte modo: cada hélice tem uma equação, que fornece a velocidade em função do número de rotações e, multiplicando-se as diversas velocidades pelas respectivas áreas, obtinham-se as vazões parciais. A somatória dessas vazões determinou a vazão total na seção.

Os dados da vazão foram digitados, armazenados no banco de dados na PRODESP (Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo), e após processados foram disponibilizados no site do DAEE, os quais são atualizados de 3 a 4 vezes ao ano.

### **3.7 Modelo SWAT - *Soil and Water Assessment Tool***

Neste trabalho, a aplicação do modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), foi determinada somente para a compreensão das unidades hidrológicas de acordo com o uso do solo, solo e declividade, no intuito de determinar a predominância da cobertura vegetal, do solo e da declividade nas microbacias hidrográficas formadas pelos tributários do rio São Domingos. Este modelo foi desenvolvido pelo *Blackland Research Center da Texas Agricultural Station* e USDA

*Agricultural Research Service*, em trabalhos realizados no *Agricultural Research Service* e na *Texas A&M University*, sendo utilizada como ferramenta computacional para a divisão da bacia hidrográfica em compartimentos hidrológicos.

A fundamentação científica para a confecção dos mapas básicos para uso no modelo e a aferição das variáveis levou em consideração técnicas de sensoriamento remoto, análise quantitativa das características ambientais e morfométricas da bacia hidrográfica, trabalho de campo e a aplicabilidade no sistema de informação geográfica.

O mapa de solo foi extraído do mapa pedológico do Estado de São Paulo de Oliveira et al., (1999). O mapa de uso e ocupação do solo utilizado foi determinado a partir do mapa de ocupação do IBGE. O mapa de declividade foi elaborado no sistema de informação geográfica na interface do modelo SWAT, em que foram classificadas as declividades de 0-3%; 3,1-8%; 8,1-15%; 15,2-100% e < 100,1%. Os mapas foram confeccionados para avaliar o diagnóstico ambiental das microbacias hidrográficas, face à identificação das comunidades vegetais naturais e agrícolas, aspectos da cobertura pedológica, relevo e rede hidrográfica.

A entrada de dados da bacia envolveu o banco de dados de solo, sendo obtido o número de camadas do solo (argissolo), grupo hidrológico, maior profundidade da raiz no perfil do solo, porosidade, textura, densidade, condutividade hidráulica saturada, conteúdo de carbono orgânico, conteúdo de argila, silte, areia, e fator erodibilidade do solo (PISSARRA, 2002; ARRAES, 2009).

O delineamento da bacia foi realizado conforme os trabalhos desenvolvidos por Pissarra (2002) na bacia hidrográfica do córrego Rico, centro-oeste do estado de São Paulo. As microbacias foram cadastradas e delineadas e suas características morfométricas foram determinadas e utilizadas no modelo. O modelo numérico do terreno foi obtido por procedimento automático e foi utilizada uma máscara (plano de informação com o contorno das microbacias previamente demarcado).

Após a etapa de delineamento da bacia hidrográfica e das microbacias do rio São Domingos, foi realizado o cruzamento com o plano de informação (PI) de uso e ocupação do solo e foram criadas as unidades de respostas hidrológicas (URH's). Em cada área o uso que apresentava maior extensão foi considerado como superfície de uso predominante da unidade. Após a seleção do uso, essa camada foi

cruzada com o tipo de solo e declividade. Os dados levantados demonstram o uso predominante na bacia.

### 3.8 Qualidade da água e morfometria na microbacia do Córrego da Olaria

A qualidade da água superficial foi avaliada em quatro regiões geográficas de microbacia (Cacau-C; Onça-O; Usina-U; Voçoroca-V) (Figura 7). As microbacias são de primeira ordem, conforme Strahler (1957), com as nascentes da rede de drenagem, tributária da bacia hidrográfica do rio São Domingos, Estado de São Paulo.

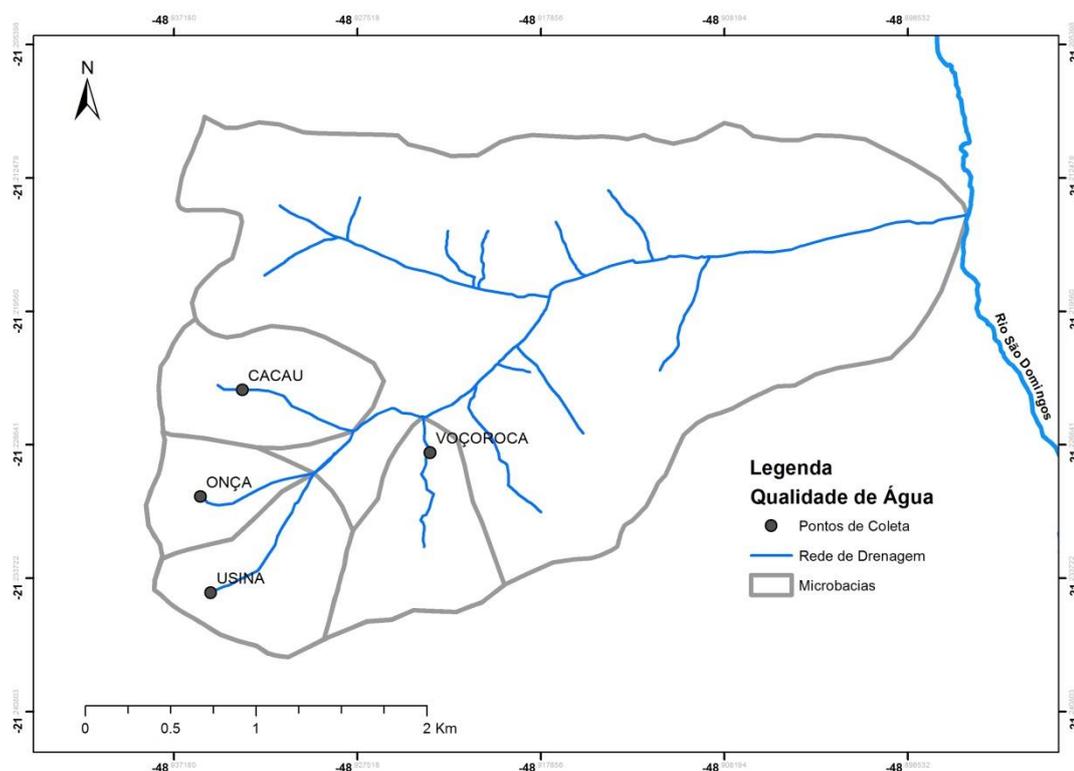


Figura 7. Pontos cadastrados da coleta qualitativa na microbacia Córrego da Olaria: Cacau-C; Onça-O; Usina-U; Voçoroca-V.

O uso do solo foi vetorizado em uma imagem de satélite de alta resolução utilizando técnicas de sensoriamento remoto. A qualidade da água foi monitorada durante doze meses na nascente de cada afluente, no período de outubro de 2013 a setembro de 2014. A mensuração da qualidade de água seguiu o *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (APHA, 1999). A temperatura da água foi

medida no local utilizando um instrumento de medição multiparâmetro (Horiba). Os teores de nitrogênio total (mg/L), fósforo total (mg/L), dureza (mg CaCO<sub>3</sub>/L), nitrato (NO<sub>3</sub>-mgN/L), amônio (NH<sub>4</sub>-mgN/L) e coliformes fecais (NMP/100mL) foram analisados no Laboratório do Instituto Internacional de Ecologia, município de São Carlos.

O monitoramento foi realizado na área de 9,45 km<sup>2</sup> em quatro microbacias principais (Figura 7), que contribuem para a formação de reservatórios localizados na unidade APTA - Pindorama, da bacia hidrográfica São Domingos. Os usos do solo de cada microbacia se distribuem diferentemente, sendo que as áreas predominantes são da cultura de cana-de-açúcar e floresta nativa. Na microbacia Cacau-C, o uso inclui floresta nativa, cana-de-açúcar, cultura anual, pastagem, citros e reflorestamento; na Onça-O, floresta nativa e cana-de-açúcar; na Usina-U, floresta nativa, cana-de-açúcar e pastagem, e na Voçoroca-V, cana-de-açúcar, cultura anual, reflorestamento e pastagem.

As diferenças entre as médias para os parâmetros de água foram avaliadas utilizando-se *box plots* (Massart et al., 2005), com representações gráficas de dados demonstrando uma visão geral e um resumo numérico da qualidade da água (FERREIRA et al., 2016).

Os parâmetros morfométricos de cada microbacia foram diretamente calculados a partir dos dados vetoriais extraídos do mapa topográfico da bacia hidrográfica São Domingos para o programa AutoCAD. Os dados incluem a área (km<sup>2</sup>), perímetro (km), maior comprimento (km), maior largura (km), comprimento do rio (km) e declividade. A declividade foi obtida no modelo de elevação digital com o *software* ArcGis.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características Morfométricas

A área da bacia hidrográfica do rio São Domingos (866 km<sup>2</sup>) foi dividida em 31 microbacias para a análise da morfometria, conforme apresentado na Figura 8. Os valores de localização em coordenadas UTM, área e perímetro, são apresentados na Tabela 1.

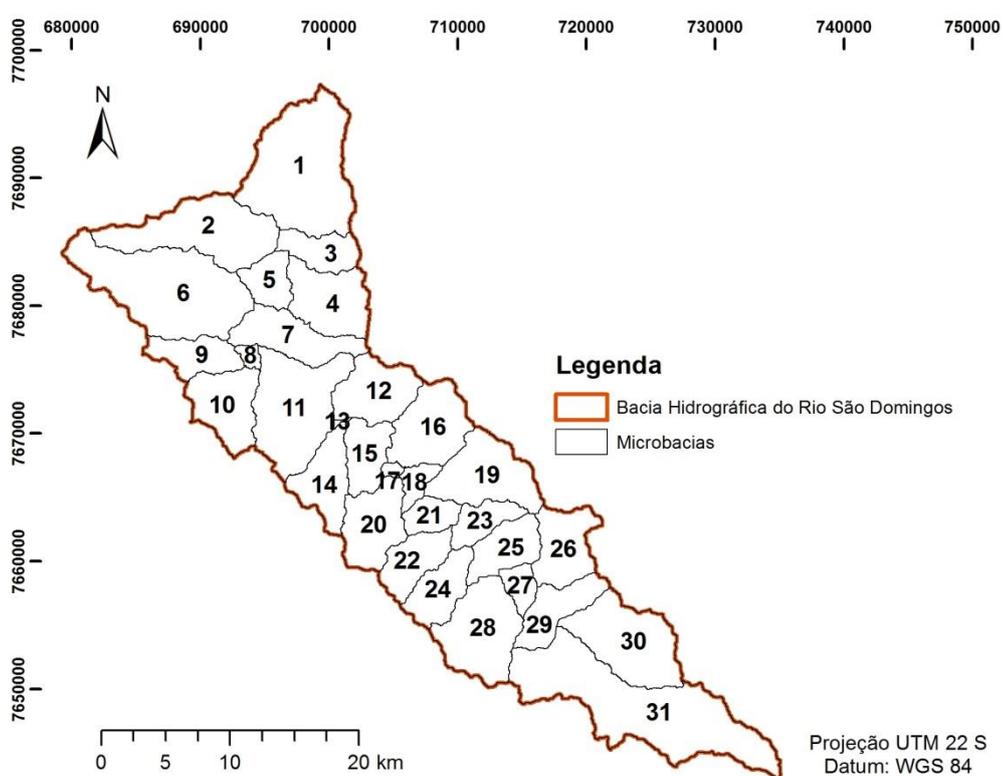


Figura 8. Microbacias da bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Tabela 1. Localização geográfica e características morfométricas das 31 microbacias da bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Microbacia	Latitude	Longitude	Área (ha)	Perímetro (km)
1	-20,87387893	-49,09719153	7183,53	17,06
2	-20,91896368	-49,17259546	4853,88	18,17
3	-20,93077311	-49,08256021	1560,06	8,88
4	-20,96581287	-49,07600205	2991,42	10,73
5	-20,95258783	-49,12118614	1316,52	6,78
6	-20,95876753	-49,19864184	7277,31	19,77
7	-20,99228578	-49,10376984	2654,19	13,02
8	-21,00592841	-49,13512437	273,42	2,65
9	-21,00606364	-49,17580977	1770,39	9,68
10	-21,04130254	-49,15214271	2690,73	10,12
11	-21,04253106	-49,10076884	5156,37	15,85
12	-21,03009488	-49,04088753	2673,99	9,05
13	-21,05208168	-49,06695559	34,56	1,52
14	-21,09377051	-49,07742069	2280,42	11,23
15	-21,07450792	-49,04706250	1748,34	8,81
16	-21,05487282	-48,99928376	3152,88	9,78
17	-21,08535257	-49,02749731	167,22	2,32
18	-21,09422842	-49,00903052	659,97	4,52
19	-21,08835612	-48,95728510	3532,23	11,61
20	-21,12467364	-49,04096459	2705,94	10,11
21	-21,11742248	-48,99814475	1013,67	4,87
22	-21,15003811	-49,01048289	1870,83	8,98
23	-21,12089501	-48,95959439	1262,07	8,21
24	-21,16965106	-48,99054644	1935,72	9,23
25	-21,13974448	-48,94173642	1906,74	8,64
26	-21,13797753	-48,89806552	2499,30	8,64
27	-21,16644296	-48,93065725	751,59	5,37
28	-21,19916477	-48,95932292	3905,01	11,37
29	-21,18262905	-48,90294750	2019,51	8,35
30	-21,20469083	-48,84935886	4274,10	13,03
31	-21,25019331	-48,84100415	9309,78	26,69

As características morfométricas dimensionais das microbacias do rio São Domingos obtidas pelo modelo SWAT determinam a conformação geomorfológica da paisagem. Essas unidades territoriais apresentam importante funcionalidade no sistema de drenagem das águas superficiais e é utilizada para gerenciar as atividades de uso e conservação dos recursos naturais. Dentre os processos de fundamental importância destacam-se o escoamento superficial/subsuperficial e a

relação infiltração/deflúvio das águas das chuvas, conforme trabalhos desenvolvidos por Horton, 1945; Rocha, 1991; Alves e Castro, 2003; Politano; Pissarra, 2003.

A morfometria é diferenciada entre as microbacias, principalmente nos valores de área e perímetro (Figura 8 e Tabela 1), o que indica um comportamento hidrológico diferenciado e evidencia a necessidade de manejo específico de cada uma dessas microbacias, corroborando os trabalhos desenvolvidos por Tonello et al. (2006), Pissarra et al. (2004, 2010) e Jiang et al. (2014).

O modelado evolui no resultado das atividades antrópicas e do processo natural de formação da paisagem, que, segundo Samaras e Koutitas (2014) cobre uma ampla gama de escalas espaciais e temporais de efeito. Áreas nas proximidades das nascentes, com fluxo de água natural são de especial interesse, pois apresentam uma conexão direta com a bacia hidrográfica nas regiões a montante.

O padrão de drenagem da bacia, ou seja, o caráter e extensão da área e dos canais de drenagem (Figura 8 e Tabela 1) exerce influência sobre a velocidade de escoamento superficial das águas e na disponibilidade de sedimentos, conforme a taxa de formação do deflúvio.

As características morfométricas das microbacias hidrográficas do rio São Domingos são observadas nas Figuras 9 e 10 e Tabelas 2 e 3.

A topografia do terreno em suas elevações e depressões (Figura 9 e Tabelas 2 e 3) interfere na taxa de deflúvio, isto é, sobre o processo de escoamento da água precipitada, relacionado com a área e características fisiográficas da bacia, e conseqüentemente sobre a taxa de vazão, semelhantemente aos resultados encontrados por Dessalegn et al. (2014) e Gómez et al. (2014).

A topografia é uma das principais características que condiciona a mudança da paisagem e controla as características do solo e de cobertura vegetal na bacia, bem como, a drenagem e a suscetibilidade à erosão. O relevo caracteriza-se como suave ondulado a ondulado.

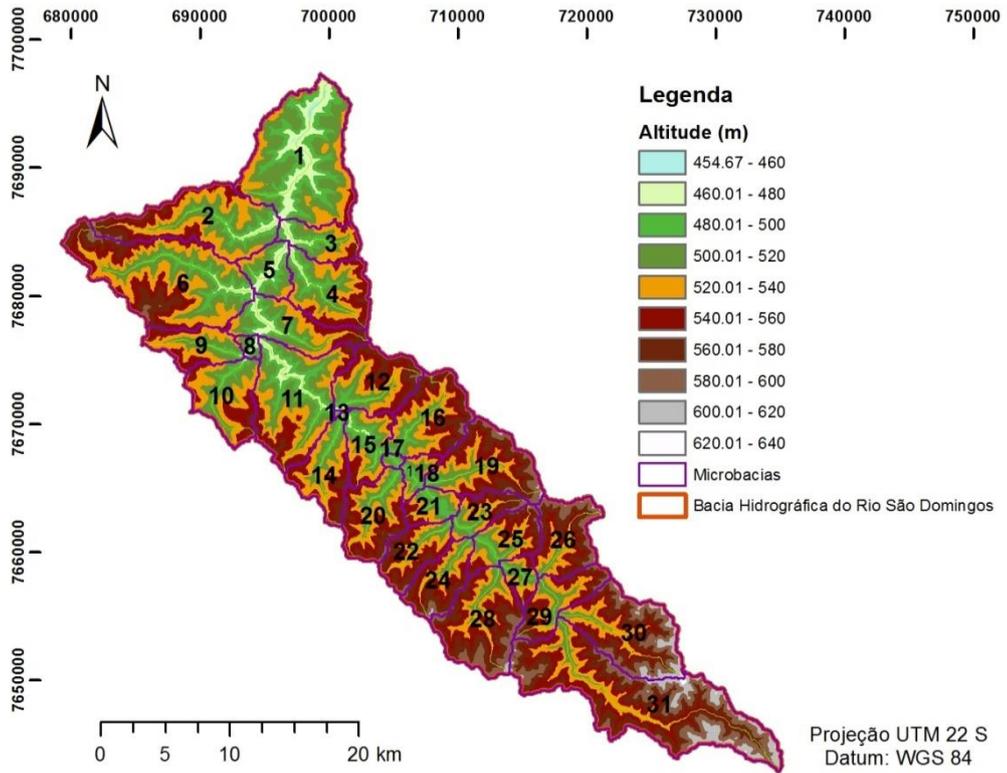


Figura 9. Classes de altitude da bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Tabela 2. Características morfométricas das 31 microbacias da bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Microbacia	Elevação Média (m)	Altitude Mínima (m)	Altitude Máxima (m)	H (m)	Declividade Média (%)
1	501,9	454	566	112	5,09
2	527,1	461	594	133	5,12
3	513,1	461	576	115	5,59
4	523,9	464	583	119	5,35
5	499,7	463	543	80	5,07
6	531,6	465	595	130	5,32
7	516,7	465	583	118	5,14
8	497,9	469	533	64	6,14
9	528,2	474	579	105	4,81
10	526,2	474	577	103	4,61
11	518,1	468	584	116	5,40
12	537,7	473	598	125	5,26
13	488,3	474	510	36	5,18
14	531,9	476	577	101	5,11
15	517,3	475	570	95	5,60
16	540,4	479	598	119	5,86
17	498,2	479	537	58	5,53
18	515,6	480	564	84	6,40
19	550,3	483	613	130	5,81
20	538,7	481	586	105	5,80
21	519,5	482	569	87	5,63
22	544,5	489	591	102	5,70
23	537,7	486	599	113	5,86
24	548,8	493	608	115	5,89
25	537,3	489	601	112	6,08
26	560,3	496	613	117	6,05
27	526,2	492	577	85	5,49
28	556,2	492	617	125	5,69
29	544,6	496	604	108	6,45
30	567,5	503	632	129	6,46
31	569,6	500	632	132	6,00

\* H: amplitude altimétrica

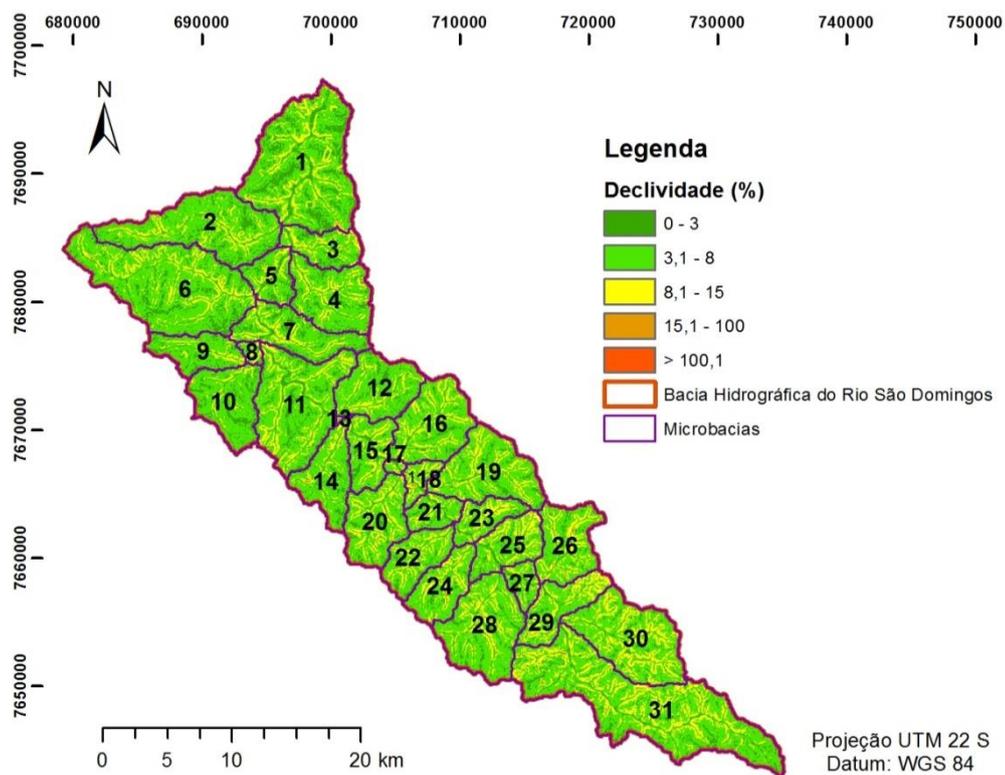


Figura 10. Classes de declive da bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Tabela 3. Classes de declive, área e porcentagem predominante na bacia hidrográfica do rio São Domingos delimitadas pelo SWAT.

Declividade (%)	Área (ha)	%
0 - 3	14367,96	16,7
3, 1 - 8	55851,57	65,4
8,1 - 15	14968,98	17,5
15,1 - 100	219,87	0,3
> 100,1	23,31	0,1
Total	85431,69	100,0

No processo de uso e de ocupação do solo, a cultura predominante é cana-de-açúcar, que se desenvolve nas áreas de lavouras temporárias, posteriormente a classe de lavouras que é classificado como cultura de grãos, agricultura categorizada como plantações genéricas com cultivo de leguminosas, seguido de áreas urbanas, florestas e pastagem (Figura 11, Tabela 4).

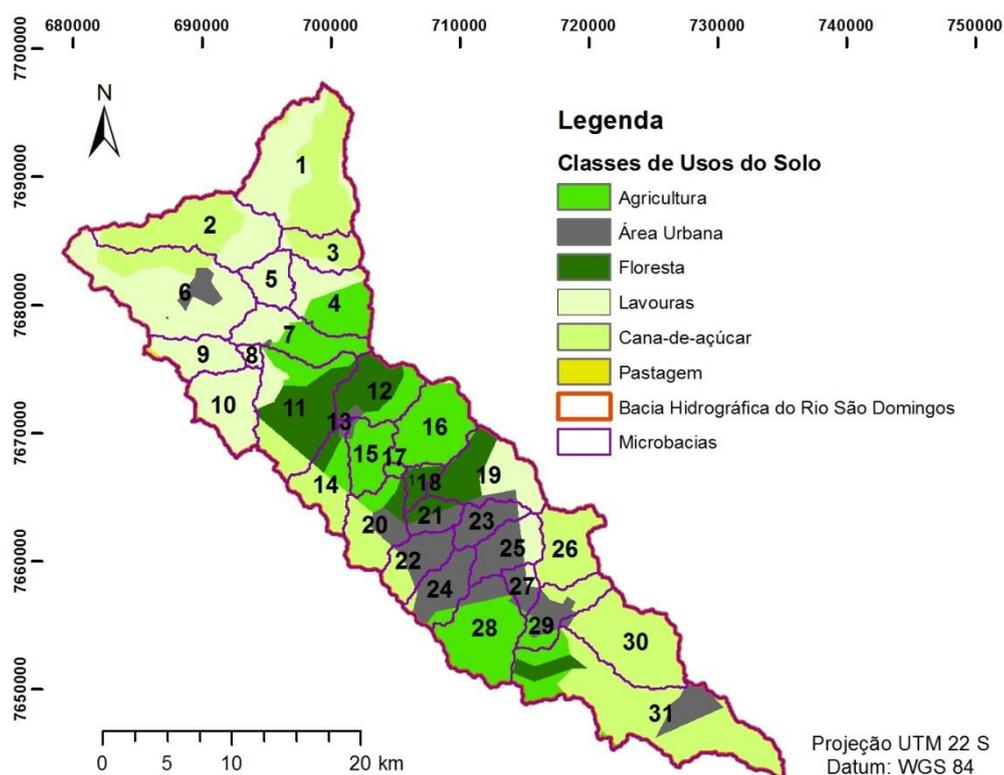


Figura 11. Classes de usos do solo da bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Tabela 4. Distribuição do uso do solo na bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Uso do Solo	Área (ha)	%
Agricultura	16236,81	19,0
Área Urbana	10533,06	12,3
Floresta	8301,15	9,7
Lavouras	22039,20	25,8
Cana-de-açúcar	28164,96	33,0
Pastagens	156,51	0,2
<b>Total</b>	<b>85431,69</b>	<b>100,0</b>

Extraído do Mapa IBGE 2017.

Essas classes formam os principais usos do solo da bacia, onde se observa que ocorre um percentual de 77,8% de área ocupada por manejo agrícola (Figura 11, Tabela 4).

No Mapa de unidades de solos, denota-se que na área da bacia hidrográfica do rio São Domingos predomina os argissolos PV1, seguido de PV10 e PV2 (Figura 10).

A “descrição” dessas associações de solos apresentada, segue a legenda expandida do mapa citado e é designada segundo a classificação de Oliveira et al. (1999), conforme descrito no item - Material e Métodos.

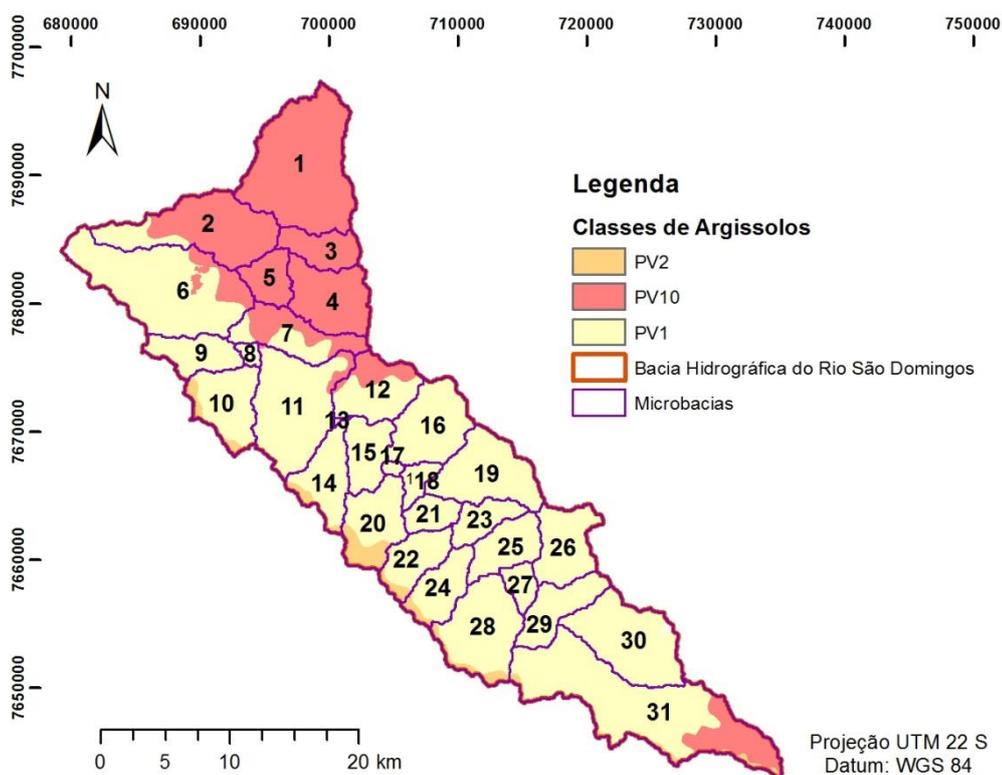


Figura 12. Unidades de solos das microbacias do rio São Domingos.

O uso do modelo SWAT possibilitou a delimitação das unidades de respostas hidrológicas (31 microbacias) por meio da sobreposição dos mapas classes de uso do solo, solo e declividade. A base para a sobreposição dos mapas elaborados foi o modelo digital do terreno (MDT), o qual se mostrou satisfatório para obter a

caracterização fisiográfica, bem como, para a elaboração do mapa temático, corroborando o trabalho de Ferreira (2008).

O uso do solo nas microbacias (Tabela 4) formou o conjunto das atividades dos processos individuais de produção das propriedades rurais e das áreas urbanas. As atividades foram variadas, e as mais determinantes foram especificadas em classes, com a finalidade de verificar as atividades agropecuárias mais intensas em cada microbacia.

Na bacia hidrográfica do rio São Domingos torna-se necessário programar esse zoneamento para a gestão do uso do solo tendo em vista que o nível de detalhamento das categorias que a lei distingue depende da intensidade das práticas agropecuárias nas bacias hidrográficas. O valor do uso altera-se com a transformação do espaço rural.

No planejamento e gestão do uso das terras é essencial delimitar as zonas de amortecimento ao longo dos córregos que drenam a bacia, as quais trarão maior proteção aos recursos hídricos. Correl (2005) relata que ocorre a melhoria da qualidade do recurso hídrico em redes de drenagem que apresentam proteção, como as áreas de preservação permanente. Esta superfície é uma região tampão que minimiza os fluxos superficiais das águas das chuvas (O'DRISCOLL et al., 2014; MARSTON, 2010).

Assim, como o modelo SWAT gera a conformação do uso do solo nas HRUs, pode-se utilizar esta ferramenta para auxiliar os gestores de recursos hídricos a prever e avaliar o impacto das alterações do uso e manejo do solo na bacia. Conforme Lepsch (1985), o inventário de solos com base no planejamento de uso da terra é essencial para a sustentabilidade do agroecossistema.

## 4.2 Vazão

A vazão do rio São Domingos foi expressa por  $m^3/s$  e pode ser observada nas Tabelas 5, 6 e 7. Este volume de água que passa em uma determinada seção da rede de drenagem por unidade de tempo, é variável pela profundidade, largura e velocidade do fluxo (CARVALHO, 2008).

Os resultados explanados na Tabela 5 de vazão plurianual  $m^3/s$ , indicam que, em termos de recursos hídricos, a descarga líquida mínima e máxima foi da ordem de 0,001 a 0,581 $m^3/s$ , com uma vazão média de 0.038  $m^3/s$ . As vazões plurianuais estimadas pelo método DAEE, proposto por Liazi et al. (1988) são fundamentais para compreensão do regime hidrológico de uma bacia estudada, visto que grande parte do território paulista não dispõe de dados hidrológicos observados (LIAZI et al., 1988; SANTOS e HERNANDEZ, 2013; WOLFF, 2013; ABREU, 2015; MELATI; MARCUZZO, 2016).

Tabela 5. Distribuição dos resultados de vazão plurianual e  $Q_{7,10}$  pelo método da regionalização hidrológica - DAEE, da bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Estatística	Vazão Plurianual ( $m^3/s$ )	Vazão $Q_{7,10}$ ( $m^3/s$ )
Máximo	0.581	0.122
Mínimo	0.001	0.000
Média	0.038	0.008
Mediana	0.008	0.002
DP	0.083	0.017
CV	2.171	2.160
Amplitude	0.580	0.122

A vazões mínimas anuais de 7 dias consecutivos com "10" anos de período de retorno  $Q_{7,10}$  ( $m^3/s$ ), apresentaram valores máximos e mínimos de 0.122 e 0.0001  $m^3/s$  e média de 0.008  $m^3/s$  (Tabela 5). Os resultados demonstram que em um período de 10 anos as vazões mínimas anuais de 7 dias consecutivos de toda a bacia, poderão ocorrer com valor máximo de 0.122  $m^3/s$  e mínimo de 0.0001  $m^3/s$ , enunciando que estas casualidades poderão ser sucedidas na bacia neste período

considerado. Estas vazões são utilizadas como indicadores de disponibilidade hídrica na rede de drenagem, podendo exibir danos gerados por eventos hidrológicos, ou ainda, detectar que o manancial não irá atender esta vazão, em média, uma vez a cada 10 anos, podendo haver valores menores ou iguais no espaço de tempo estimado (LIAZI et al.,1988; TUCCI, 2002; OLIVEIRA, 2013; BARROS da SILVA; DAVID da SILVA; MOREIRA, 2015).

A Tabela 6 explana os valores de vazões dos postos fluviométricos monitorados pelo DAEE, sendo dos municípios de Catanduva no período de 1936 a 1971, de Tabapuã no período de 1962 a 1966, e de Catiguá no período de 1969 a 2001. As vazões máximas e mínimas apresentadas foram respectivamente, Catiguá com 3.476 m<sup>3</sup>/s - 0.104 m<sup>3</sup>/s, Tabapuã 2.394 m<sup>3</sup>/s - 0.279 m<sup>3</sup>/s e Catanduva 1.734 m<sup>3</sup>/s - 0.456 m<sup>3</sup>/s. As médias das vazões permaneceram na mesma ordenação, sendo Catiguá com 1.756 m<sup>3</sup>/s, Tabapuã 1.380 m<sup>3</sup>/s, e Catanduva 0.948 m<sup>3</sup>/s.

Tabela 6. Distribuição dos resultados de vazão dos postos fluviométricos do DAEE na bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Estatística	Catanduva 5C-001	Tabapuã 6B-006	Catiguá 6-C008
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
Máximo	1.734	2.394	3.476
Mínimo	0.456	0.279	0.104
Média	0.948	1.380	1.756
Mediana	0.939	1.281	1.823
DP	0.214	0.615	0.646
CV	0.226	0.446	0.368
Amplitude	1.279	2.115	3.372

A descarga líquida apresentada no município de Tabapuã foi menor que o município de Catiguá que está localizado a jusante. Houve diferença de período monitorado em cada posto fluviométrico, sendo que o ponto Tabapuã obteve o menor intervalo de tempo monitorado, de apenas quatro anos com muitas falhas dos dados durante o período, enquanto os outros foram mais de trinta anos. Além disso, foram observados os dados pluviométricos no mesmo período de quatro anos (1962 a 1966) dos municípios para avaliar as diferenças nos resultados das vazões apresentadas.

Os resultados de valores máximos e médios dos municípios de Catiguá e Tabapuã demonstraram que as vazões não foram distribuídas conforme a quantidade de microbacias e tributários existentes a montante da bacia, ou seja, os postos fluviométricos localizados nos municípios com maior contribuição de afluentes e maiores delimitações geográfica não obtiveram maior fluxo de água (Tabela 6, Figuras 15 e 16).

Acredita-se que esse resultado está relacionado com a pluviometria registrada no mesmo período da leitura da vazão, a saber: Tabapuã apresentou média pluviométrica de 99,29mm, Catiguá 114,47mm e Catanduva 109,42mm, conforme o banco de dados pluviométricos do DAEE. Sendo assim, constatou-se que o município de Tabapuã que apresentou a menor média de vazão obteve também a menor pluviometria, e a maior média de precipitação foi em Catiguá, em que mostrou o maior fluxo. A pluviometria influencia diretamente na dinâmica fluvial da área de drenagem da bacia, e no comportamento da vazão (MACÊDO et al., 2013).

Tabela 7. Distribuição dos resultados de vazão da microbacia Córrego da Olaria, Pindorama-SP.

Estatística	Onça/Usina m <sup>3</sup> /s	Cacau m <sup>3</sup> /s	Voçoroca m <sup>3</sup> /s	Foz m <sup>3</sup> /s
Máximo	0.025	0.007	0.005	0.092
Mínimo	0.00142	0.00043	0.00001	0.00136
Média	0.005	0.003	0.001	0.021
Mediana	0.004	0.002	0.0003	0.015
DP	0.004	0.002	0.001	0.020
CV	0.766	0.574	1.411	0.951
Amplitude	0.023	0.007	0.005	0.091

As vazões máximas e mínimas apresentadas foram respectivamente, Foz com 0.092 m<sup>3</sup>/s - 0.00136 m<sup>3</sup>/s, Onça/Usina 0.025 m<sup>3</sup>/s - 0.00142 m<sup>3</sup>/s, Cacau 0.007 m<sup>3</sup>/s - 0.00043 m<sup>3</sup>/s, e Voçoroca 0.005 m<sup>3</sup>/s - 0.00001 m<sup>3</sup>/s. As médias do fluxo permaneceram na mesma ordenação, sendo Foz com 0.021 m<sup>3</sup>/s, Onça/Usina 0.005 m<sup>3</sup>/s, Cacau 0.003 m<sup>3</sup>/s e Voçoroca 0.001 m<sup>3</sup>/s.

Os resultados demonstraram que a maior vazão está na microbacia Foz, isso é justificado por este local receber toda a descarga líquida das microbacias, conseqüentemente este ponto dispõe da maior vazão. Seguidamente, as maiores vazões estão presentes nas microbacias Onça/Usina e Cacau, ambas localizadas em área de mata nativa, enunciando que a floresta colabora para uma maior produção de água e fluxo de base (Q<sub>bf</sub>), visto que o piso florestal propicia uma maior infiltração de água no solo (IF), intercepta (I<sub>c</sub>) a água precipitada (P) por meio das copas, troncos e raízes, que infiltram no solo poroso, percolando para as camadas mais profundas do solo, abastecendo os níveis de lençol freáticos, aquíferos e de modo conseqüente as nascentes e leitos dos rios, favorecendo a regularização do regime hidrológico. Constatações como estas foram realizadas por diversos autores, entre eles Zakia (1998); Lima (2007); Oliveira et al. (2011); Cicco (2013); Tucci e Mendes (2006); Lima (2007); Rodrigues et al. (2016).

Na área com cobertura florestal há menor escoamento superficial direto (Q<sub>ds</sub>), evitando transporte de sedimentos, erosões, sedimentação dos rios, enchentes e diminuição de perdas de nutrientes do solo (ARCOVA, 2006; LIMA, 2007; BARBOZA, 2010; RODRIGUES, 2011). É importante ressaltar que estas nascentes são perenes e mesmo durante a época de estiagem suas vazões permanecem estáveis, e em época de chuvas não ocorrem picos de cheia ou episódios de vazões máximas, o que evidencia a grande importância da mata nativa na regularização do fluxo e disponibilidade hídrica para as nascentes.

A menor vazão foi apontada na microbacia Voçoroca, que está situada na região central da Microbacia Córrego da Olaria, apresentando reflorestamento não consolidado, áreas agrícolas e pastagens em todo o seu entorno. Esta é uma área de antiga voçoroca, recuperada por prática de conservação de solo, com a implantação de mata ciliar com uso de Sistema Agroflorestal (SAF) no ano de 2011, através do projeto de Recuperação de Nascentes subsidiado pelo FEHIDRO TG 364./2010. Estudos comprovam que em nascentes com ausência de mata ciliar podem ocorrer enchentes, picos de vazões elevadas, assoreamento dos cursos d'água, e a oscilação da vazão. Além disso, as áreas impermeáveis impedem drasticamente a infiltração de água no solo, por conseguinte o abastecimento do lençol e da nascente, prejudicando o funcionamento adequado do regime hidrológico

(TUCCI, 1993; SANTOS et al., 2009; VANZELA et al., 2010; FERREIRA; TOSTA DOS REIS; MANDONÇA, 2015) .

A vazão da bacia hidrográfica do rio São Domingos consta nos mapas espacializados nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17. As médias de vazão plurianual ( $m^3/s$ ) estão demonstradas na Figura 13, apontando uma amplitude de 0,001 - 0,581  $m^3/s$ . As concentrações de maior e menor vazão estão distribuídas em 5 classes, sendo as de cores mais claras as microbacias com menor percentual de fluxo e as mais escuras para as de maior acumulação, respectivamente.

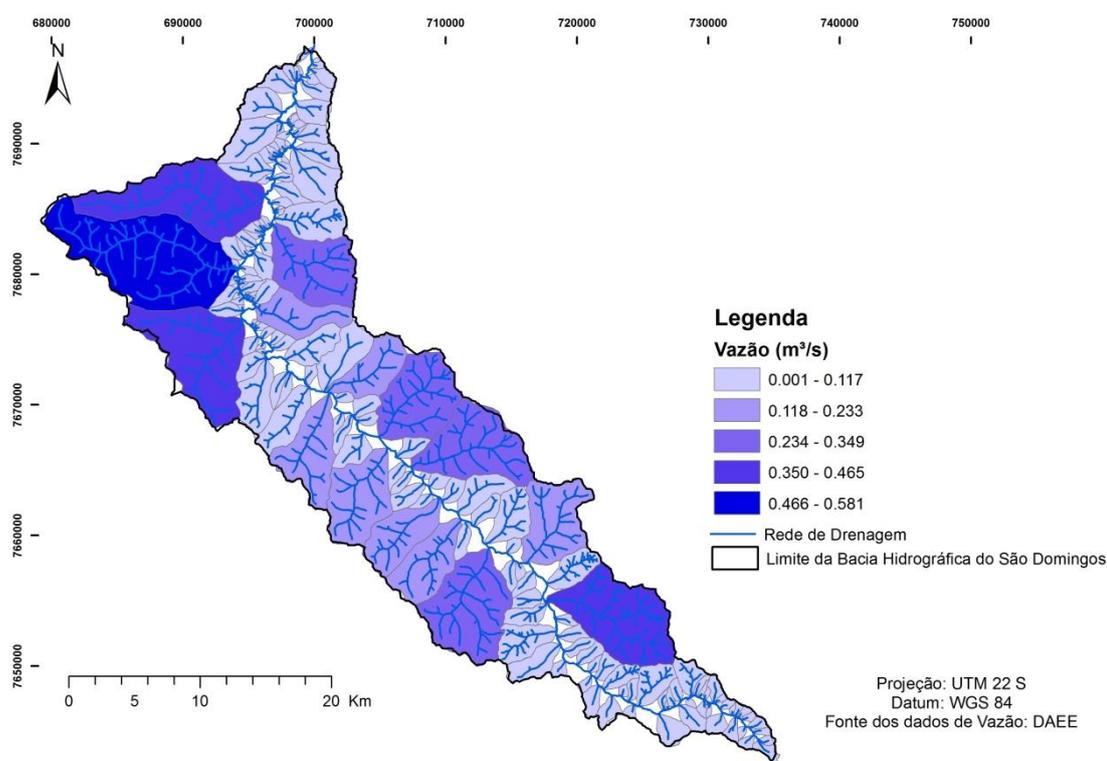


Figura 13. Vazão plurianual ( $m^3/s$ ) da bacia hidrográfica do rio São Domingos.

As áreas de maior concentração do fluxo de água estão localizadas a jusante da Bacia, enunciando que as microbacias maiores com maior extensão e número de tributários apresentam maior vazão.

A microbacia Córrego da Olaria está classificada no percentual médio (0.234 - 0.349) de contribuição de vazão para a bacia hidrográfica do rio São Domingos.

A vazão de um rio varia com o tempo e espaço, o que pode ser influenciada por diversos fatores, pelo uso e ocupação do solo, precipitações, características

fisiográficas da bacia, sendo um conjunto de particularidades específicas (LIMA, 2008; RODRIGUES, 2016).

As médias de vazões mínimas anuais de 7 dias consecutivos com "10" anos de período de retorno  $Q_{7,10}$  ( $m^3/s$ ) estão explanadas na Figura 14, sendo distribuídas também como de maiores e menores concentrações de vazão, conforme cinco classes, as quais são representadas por cores mais claras e escuras.

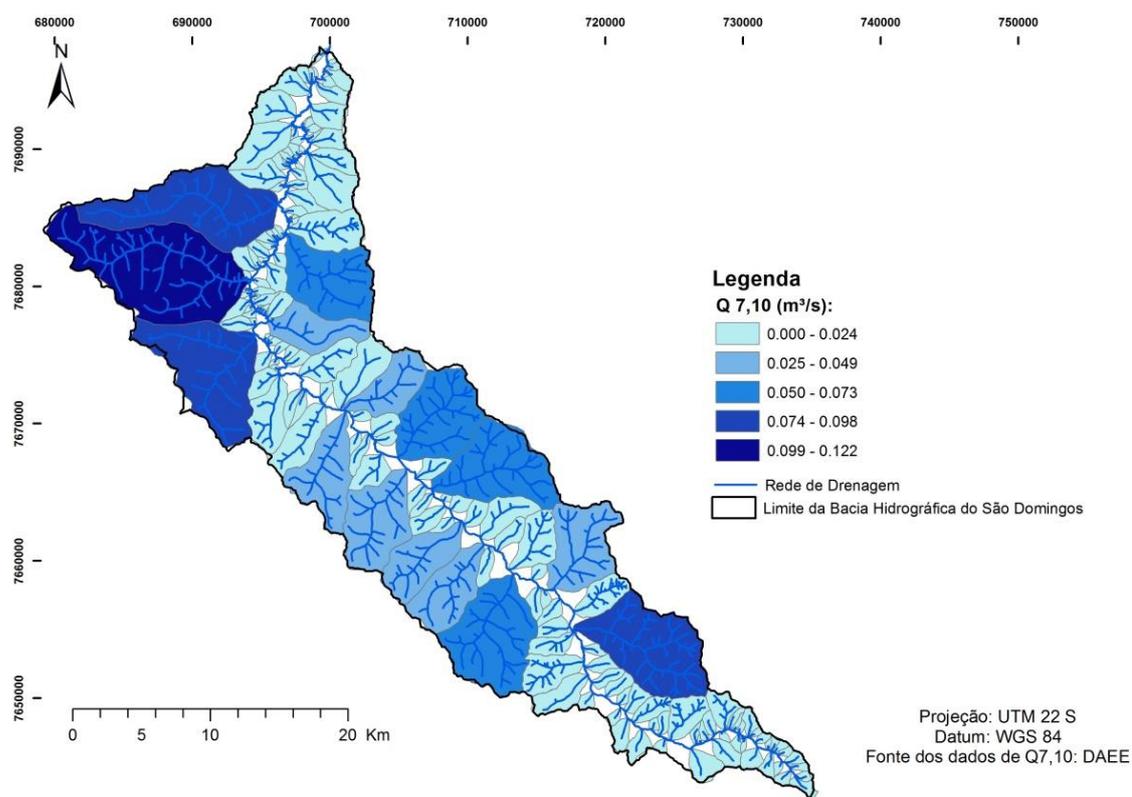


Figura 14. Vazão  $Q_{7,10}$  ( $m^3/s$ ) da bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Os resultados indicaram uma amplitude média de 0,0001 - 0.122  $m^3/s$ , expressando o percentual médio de possíveis eventualidades serem sucedidas em cada bacia no retorno de 10 anos, havendo bacias que poderão ter possíveis irregularidades na disponibilidade hídrica, ou algum outro dano gerados por eventos hidrológicos, conforme constatações dos seguintes autores (LIAZI et al., 1988; TUCCI, 2002; OLIVEIRA, 2013; BARROS da SILVA; DAVID da SILVA; MOREIRA, 2015).

As médias de concentrações de descarga líquida dos postos monitorados pelo DAEE estão demonstradas na Figura 15 e 16, com duas classes de vazões de menor e maior percentagem, de acordo com as cores claras e escuras de azul.

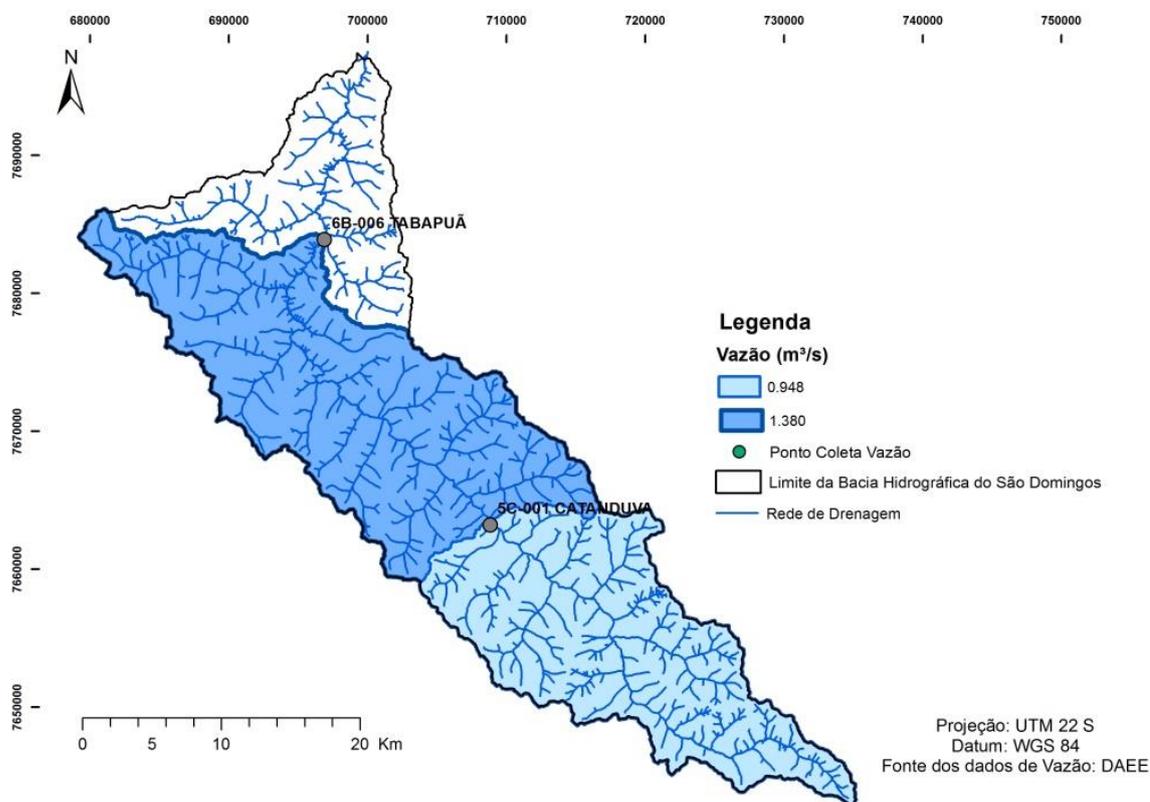


Figura 15. Vazão (m<sup>3</sup>/s) dos postos fluviométricos do DAEE na bacia hidrográfica do rio São Domingos.

Os resultados apresentaram valores de maior concentração média de fluxo em Catiguá 1.756 m<sup>3</sup>/s (Figura 16), seguido de Tabapuã 1.380 m<sup>3</sup>/s e Catanduva 0.948 m<sup>3</sup>/s (Figura 15).

É importante ressaltar que, de acordo com informações obtidas da Engenheira do CTH (Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos) de São Paulo, responsável pelos lançamentos dos dados no site do DAEE, os postos fluviométricos do território paulista foram instalados em datas diferentes e que muitos destes postos foram inativados por diversos problemas ocorridos, como roubos e difícil acesso do técnico ao local. Os postos fluviométricos em questão dos municípios de Catanduva, Tabapuã e Uchoa encontram-se desativados atualmente,

não havendo mais o monitoramento do fluxo na bacia em estudo pelo DAEE desde 2001.

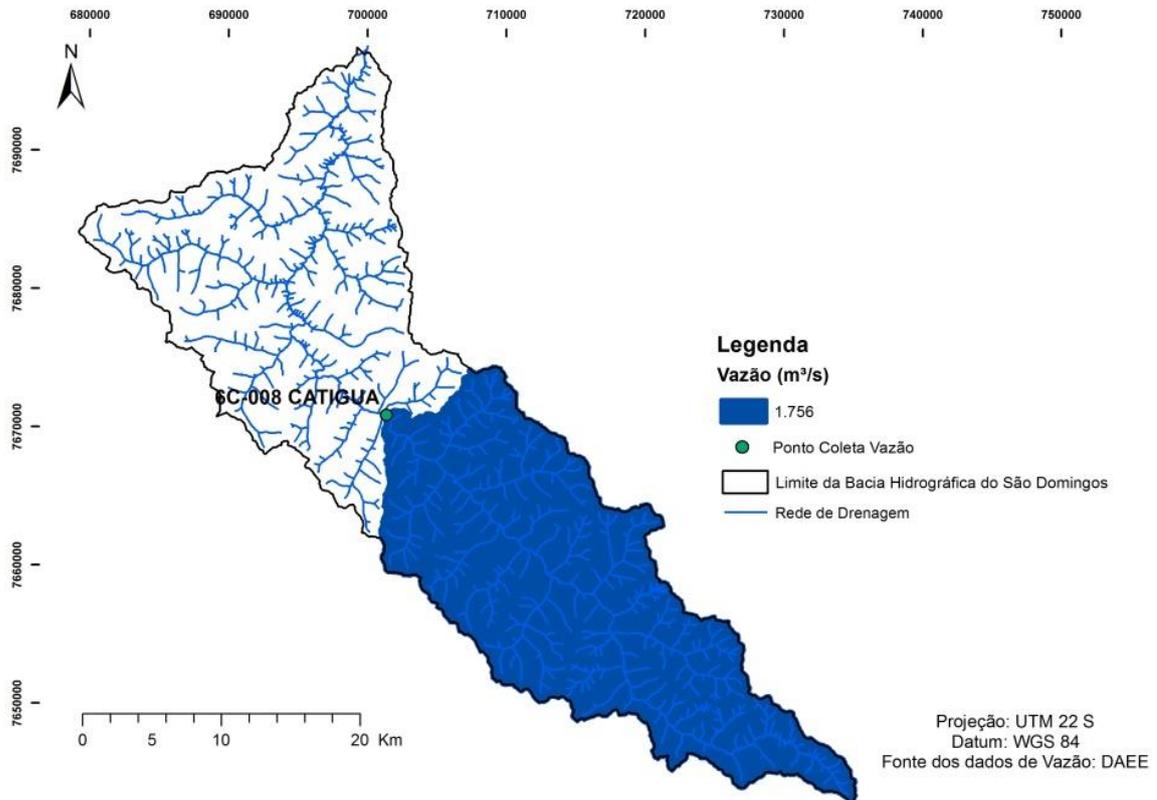


Figura 16. Vazão (m<sup>3</sup>/s) do posto fluviométrico do DAEE na bacia hidrográfica do rio São Domingos.

A distribuição de vazão nas microbacias monitoradas da microbacia Córrego da Olaria está apresentada na Figura 17, com os índices de concentrações médios de menor e maior fluxo conforme classificação das cores mais claras e escuras, respectivamente.

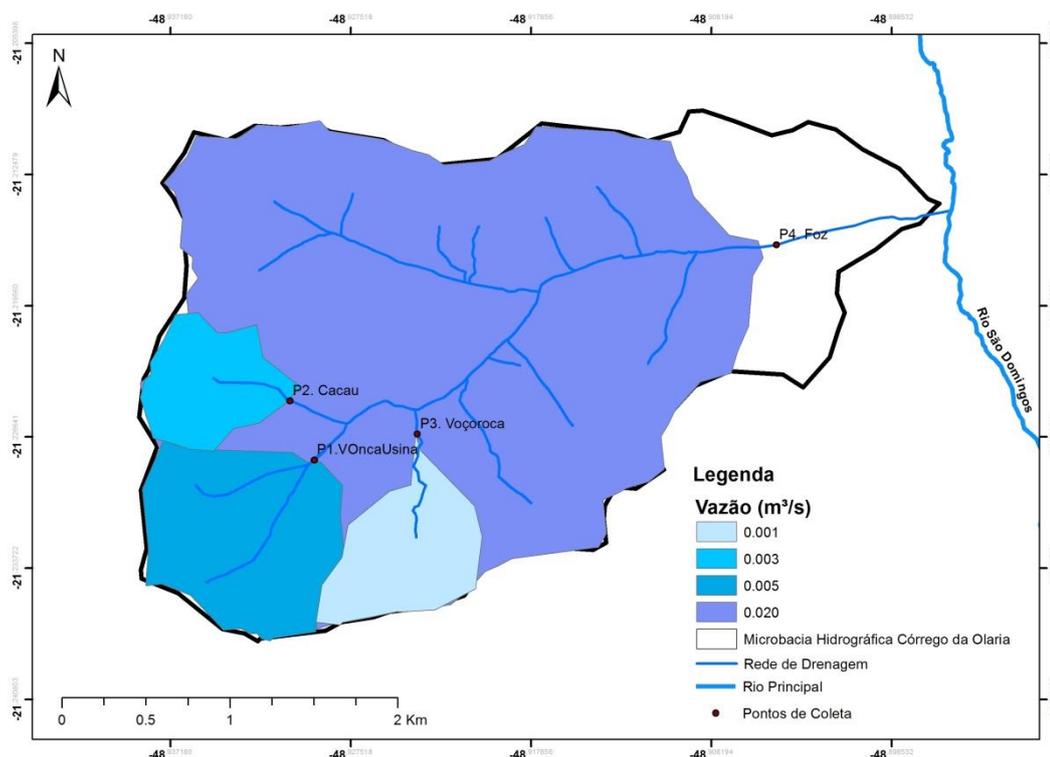


Figura 17. Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) da microbacia Córrego da Olaria.

Os resultados demonstraram uma amplitude de valores de  $0,001 - 0,020 \text{ m}^3/\text{s}$ . A maior média de vazão apontada está na microbacia Foz  $0,020 \text{ m}^3/\text{s}$ , devido este ser o ponto exutório da microbacia. As nascentes que indicaram maiores médias de vazões foram os pontos Onça/Usina  $0,055 \text{ m}^3/\text{s}$  e Cacau  $0,003 \text{ m}^3/\text{s}$ , ambas situadas em floresta, justificando a maior produção de água e regularização do regime hidrológico Zakia (1998); Lima (2007); Oliveira et al. (2011); Cicco (2013); Tucci e Mendes (2006); Lima (2007); Rodrigues et al. (2016).

A menor média de vazão foi demonstrada na microbacia Voçoroca  $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ , em que há ausência de mata consolidada e área agrícola em seu entorno. As nascentes não florestadas apresentam diversos problemas, como eventos de cheias, assoreamento dos cursos d'água pelo solo descoberto, além da baixa infiltração de água no sistema hidrológico, (TUCCI, 1993; SANTOS et al., 2009; VANZELA et al., 2010; FERREIRA; TOSTA DOS REIS; MANDONÇA, 2015). Estudos demonstram que uma bacia não manejada corretamente pode condicionar oscilações no regime de vazões (ROSA; TONELLO; LOURENÇO, 2016; VARCANCEL, 2015; RODRIGUES, 2014).

### 4.3 Morfometria e Qualidade da água da Microbacia Córrego da Olaria

A análise dos parâmetros morfométricos de cada microbacia dos aspectos lineares e de declividade estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Características morfométricas das microbacias do Córrego da Olaria.

Microbacias	Área (ha)	Perímetro (km)	C (km)	L (km)	Cr (km)	AM (m)	Am (m)	D (%)
Cacau (C)	70.88	3.33	1.11	0.76	0.82	601	555	6.36
Onça (O)	39.56	2.65	0.94	0.70	0.69	612	570	7.81
Usina (U)	68.08	3.31	1.08	0.93	0.95	615	570	6.99
Voçoroca (V)	71.78	3.63	1.21	0.89	0.84	604	545	5.65

\* C: maior comprimento; L: maior largura; Cr: comprimento do rio; AM: maior altitude; Am: menor altitude; D: declividade.

Os dados obtidos das características morfométricas dimensionais de cada microbacia (Tabela 8) mostram que a microbacia (V) têm a maior área, seguido pela (C), (U) e (O). Os valores mais elevados de perímetro foram encontrados na microbacia (V), seguido pela (C), (U) e (O), com a mesma sequência para os valores de maior comprimento. A maior largura identificada foi na microbacia (U), seguida pelas microbacias (V), (C) e (O). O maior valor para o comprimento do rio foi para a microbacia (U), seguida pela (V), (C) e (O).

A altitude mais elevada foi observada na microbacia Usina (U), seguido por Onça (O), Voçoroca (V) e Cacau (C), e a amplitude altimétrica foi de 46 metros para a Cacau; 42 metros para a Onça, 45 metros na Usina e 59 metros para a Voçoroca.

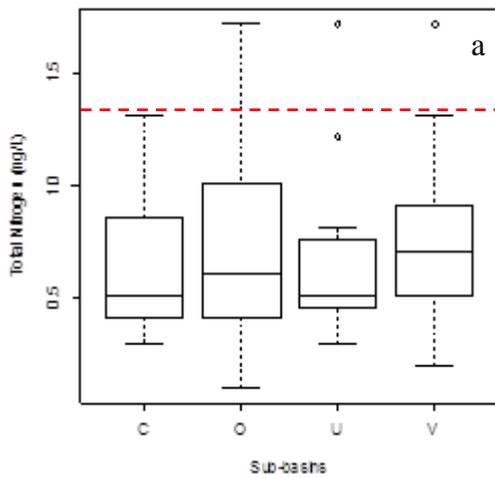
A microbacia com declividade mais acentuada foi a (O), seguida da (U), (C) e (V). De acordo com o sistema brasileiro de classificação do relevo da Embrapa (1999), as microbacias apresentam relevo suave ondulado em sua classe de declividade.

Na Tabela 9, pode ser observada a porcentagem do uso do solo para cada microbacia. As métricas de usos do solo variaram das áreas de cana-de-açúcar à floresta nativa, que são as áreas predominantes.

Tabela 9. Percentual de uso do solo nas microbacias.

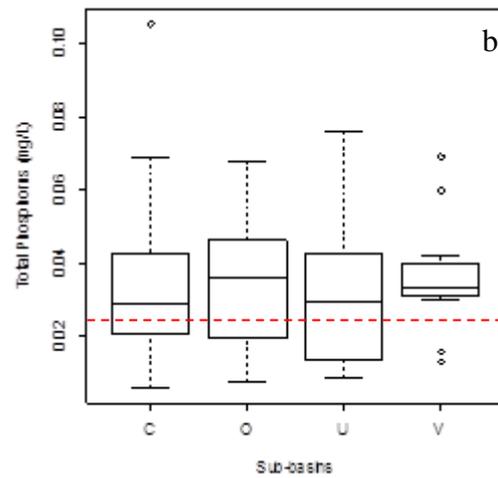
Microbacia	Uso e Ocupação	Área em %
<b>Cacau (C)</b>		
	Floresta Nativa	60%
	Cana-de-açúcar	20%
	Cultura Anual	10%
	Pastagem	5%
	Citros	3%
	Reflorestamento	3%
<b>Voçoroca (V)</b>		
	Cana-de-açúcar	40%
	Reflorestamento	30%
	Pastagem	20%
	Cultura Anual	10%
<b>Onça (O)</b>		
	Floresta Nativa	45%
	Cana-de-açúcar	55%
<b>Usina (U)</b>		
	Cana-de-açúcar	70%
	Floresta Nativa	20%
	Pastagem	10%

A distribuição da qualidade da água superficial entre as microbacias apresentou diferenças significativas. Nas Figuras 18 e 19, podem ser observadas as características de qualidade da água em termos de parâmetros selecionados em cada microbacia. Estes parâmetros incluem nitrogênio total (mg/L), fósforo total (mg/L), dureza (mg-CaCO<sub>3</sub>/L), nitrato (NO<sub>3</sub>-mgN/L), amônio (NH<sub>4</sub>-mgN/L), coliformes fecais (NMP/100 mL) e temperatura (T°C).



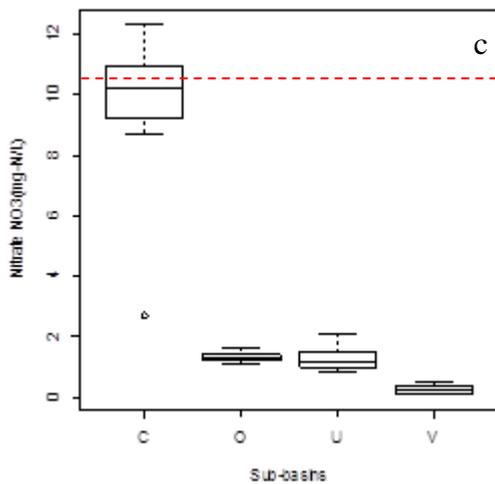
Limite permitido CONAMA 357/2015:

**1,27**



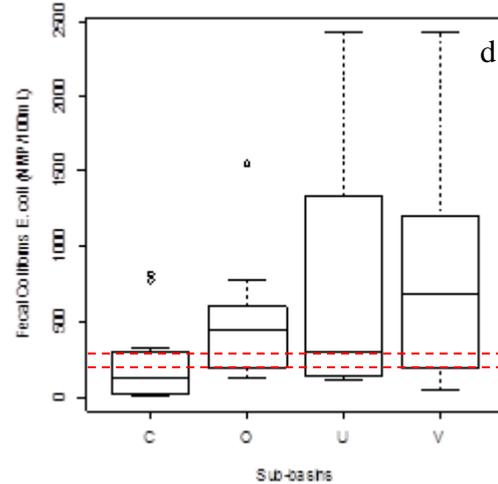
Limite permitido CONAMA 357/2005:

**0,020**



Limite permitido CONAMA 357/2005 e

CETESB 8.468/1976: **10,00**



Limite permitido CONAMA 357/2005:

**200** e CETESB 8.468/1976: **100**

Figura 18. Valores dos teores de nitrogênio total (mg/L), fósforo total (mg/L), nitrato ( $\text{NO}_3$ -mgN/L) e coliformes fecais (NMP/100 mL) nas microbacias Cacau (C); Onça (O); Usina (U) e Voçoroca (V), de acordo com os valores limite permitido pelo CONAMA 357/2005 e CETESB 8.468/1976.

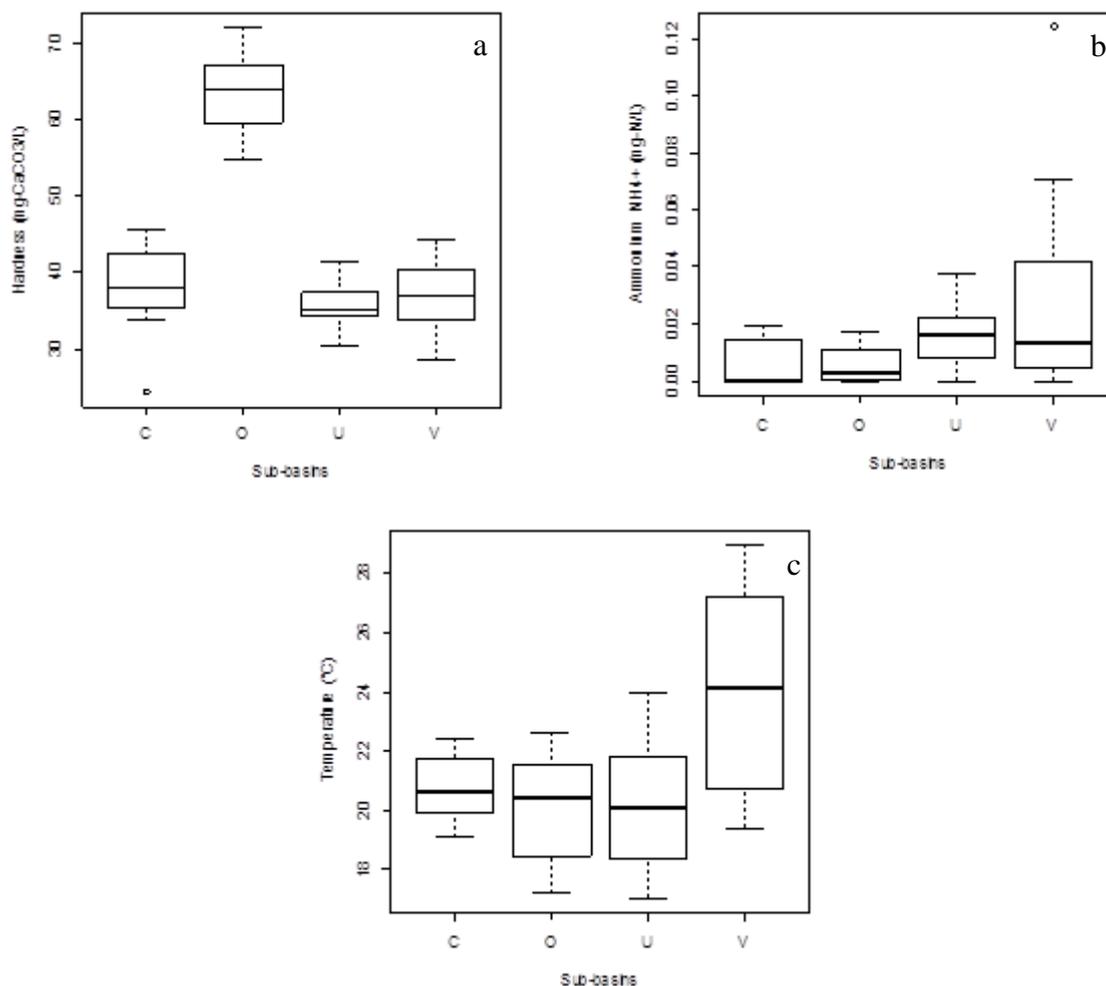


Figura 19. Valores dos teores dureza (mg-CaCO<sub>3</sub>/L), amônio (NH<sub>4</sub>-mgN/L) e temperatura (T°C) nas microbacias Cacau (C); Onça (O); Usina (U) e Voçoroca (V).

Para compreender melhor a condição natural da água que flui nas nascentes das microbacias, o nitrogênio total (mg L<sup>-1</sup>) variou de: (Cacau, C) 0,30 a 1,30 mg/L; (Onça, O) 0,10 a 1,72 mg/L; (Usina, U) 0,30 a 1,72 mg/L; (Voçoroca, V) 0,20 a 1,72 mg/L. (Figura 18a). A concentração média foi de 0,63-0,69 mg/L. Durante o período avaliado, a concentração de fósforo total aumentou ligeiramente de 0,01 a 0,04 mg/L em todas as microbacias (Figura 18b).

O parâmetro dureza (mg-CaCO<sub>3</sub>/l) foi mais elevada na microbacia Onça, variando de 54,92 a 72,03 mg-CaCO<sub>3</sub>/l (Figura 19a). O nitrato (NO<sub>3</sub>-mgN/L) apresentou o maior valor na microbacia Cacau, variando de 2,70 a 12,29 NO<sub>3</sub>-mgN / L (Figura 18c). O amônio (NH<sub>4</sub>-mgN/L) apresentou maior valor e maior variabilidade na microbacia Voçoroca, aumentando de 0 a 0,124 NH<sub>4</sub>-mgN/L e maior valor mediano na microbacia Usina, aumentando de 0 a 0,037 NH<sub>4</sub>-mgN/L (Figura 19b).

Os coliformes fecais (NMP / 100ml) foi monitorado e as microbacias Usina e Voçoroca apresentaram os maiores valores (Figura 18d). A temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ) foi maior na microbacia Voçoroca e mostrou um valor de  $28,66^{\circ}\text{C}$ , diferindo das outras microbacias que mostraram um número médio de  $22,8^{\circ}\text{C}$ . a  $18,4^{\circ}\text{C}$  (Figura 19c).

A bacia hidrográfica é um sistema aberto e oferece contínua troca de matéria e energia pela pedosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, que proporciona a percolação da água e os processos biológicos. A proliferação de microorganismos existentes neste sistema é responsável pela decomposição de biomassas transformada em matéria orgânica, essencial para a fertilidade do solo. O ecossistema aquático, caracterizado por corpos de água tais como lagos, rios, oceanos e outros, recebem a influência da geoquímica do solo e das rochas, que os drenam, bem como há interferência do clima e da precipitação em sua composição química (SUN et al., 2016).

As estruturas dos ecossistemas estão interligadas entre materiais bióticos e abióticos presentes no ambiente. A análise integrada do solo e o monitoramento da água no tempo e espaço permitem avaliar uma possível degradação da qualidade da água inter-relacionando ao uso e manejo do solo (TUNDISI, 2008; DING et al., 2016). Os parâmetros de qualidade de água foram avaliados para verificar a aptidão da água para um uso em particular baseado nas características físicas, químicas e biológicas. As características da água medidas e analisadas, tal como nitrogênio total (mg/L), fósforo total (mg/L), dureza (mg- $\text{CaCO}_3$ /L), nitrato ( $\text{NO}_3$ -mgN/L), amônio ( $\text{NH}_4$ -mgN/L), coliformes fecais (NMP/100 mL) e temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ) (Figuras 18 e 19) foram comparados com os padrões e diretrizes numéricas determinadas na Resolução CONAMA (Tabela 10), considerando um ecossistema para decidir se a água é adequada para uma utilização específica (consumo humano, animal ou industrial, uso na irrigação, uso em atividades de recreação).

Tabela 10. Resumo dos padrões de qualidade da água superficial por critérios nutricionais recomendados pela norma Federal (CONAMA 357/2005) e do Estado de São Paulo (CETESB 8.468/1976).

Parâmetros	Água superficial	
	Federal	Estado de São Paulo
Nitrogênio Total (mg/L como N)	1,27	*
Fósforo Total (mg/L como P)	0,020	*
Dureza mg CaCo3/L	*	*
Nitrato (mg/L)	10,0	10,0
Amônio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg-N/L	*	*
Coliformes Fecais/Totais NMP/100ml	200	100
Temperatura °C	*	*

Fonte: CONAMA 357/2005 e CETESB 8.468/1976.

\*Não existe limite de detecção para esses parâmetros.

Analisando os padrões de qualidade da água para a água superficial, os resultados mostraram que o nitrogênio, fósforo, nitrato e coliformes fecais apresentam valores maiores do que os recomendados pelos critérios nutricionais utilizados como padrões mínimos (Figura 18 a-b-c-d, Tabela 10). Essas medidas quantitativas são necessárias periodicamente para monitorar a qualidade da água das nascentes, que são as fontes de abastecimento de água para os municípios. A análise da água identifica o problema e permite tomar decisões com conhecimento sobre o tratamento de água.

Os diferentes parâmetros de qualidade de água variaram em sua resposta em cada microbacia. O nitrogênio, sob a forma de nitrato, nitrito, ou de amônio, é um nutriente necessário para o crescimento das plantas (FAO, 1993) e é utilizado em práticas agrícolas. O nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático, e está presente com valores elevados em todas as microbacias (Figura 18a), isto é devido à acumulação de nutrientes derivados das atividades da agricultura. A microbacia Usina mostrou a menor variabilidade dos dados para este parâmetro.

As microbacias que apresentam erosões e plantações intensivas de cana-de-açúcar a 200 metros ao redor, também apresentaram valores elevados de nitrogênio, nitrato e fósforo (Figura 18 a- b-c) devido à aplicação de defensivos nos cultivos. Se o excesso de nitrogênio é encontrado nos campos de cultivo, a água

drenada introduz o elemento nos cursos d'água (Ding et al., 2016), que irão drenar para outros rios e atingir a bacia do São Domingos. Nutrientes como nitrogênio e fósforo são essenciais para o crescimento vegetal e animal, mas o excesso de certos nutrientes na água pode causar uma série de efeitos adversos ecológicos e na saúde (Maucieri et al., 2014). O excesso de fósforo causa a eutrofização dos rios e reservatórios (TUNDISI, 2008).

Normas e diretrizes (leis Federais e Estaduais de regulamentação da água) são estabelecidos para proteger a água em usos designados, como: consumo humano, recreação, irrigação agrícola, ou a proteção e manutenção da vida aquática (ANA, 2005; CONAMA 357/2005 e CETESB 8.468/1976). A qualidade de água variou em cada microbacia (Figuras 18 e 19). Segundo Ding et al. (2016), Giri e Qiu (2016), esta variação pode ter ocorrido devido ao tipo e cobertura do solo, havendo interferência no ecossistema hídrico.

O elemento fósforo na natureza vem da dissolução do solo e da decomposição da matéria orgânica. O parâmetro está presente em todas as microbacias apresentadas (Figura 18b), com maior valor na microbacia Cacau 0,0105 mg/L e Usina 0,076 mg/L, porém a maior concentração de fósforo na água e menor variabilidade estão na nascente Voçoroca, em comparação as outras microbacias. Considerando que a bacia hidrográfica é essencialmente rural e possui muitas áreas agrícolas (Tabela 9), este fato confirma que as atividades de uso e manejo do solo têm aumentado a concentração de fósforo, o que resultou em teores mais elevados nos locais amostrados.

O parâmetro nitrato apresentou maior valor na microbacia Cacau 12,29 NO<sub>3</sub>-mgN/L (Figura 18c). Na nascente Cacau, há um ambiente que ocorre práticas agrícolas em cana-de-açúcar, amendoim e milho, que geram resíduos que atingem os corpos de água. A concentração de nitrato foi alta em áreas agrícolas, e este fato pode ser justificado pelo uso intensivo de fertilizantes e pesticidas. O mesmo processo é relatado em trabalhos desenvolvidos por Ding et al. (2016) e Moruzzi et al. (2012).

A contaminação fecal pelo parâmetro coliformes fecais foi identificado em todos os pontos de amostragem (Figura 18d), com maiores valores nas microbacias Usina e Voçoroca, ambas com 2419,6 NMP/100ml. Isto se origina a partir de fezes de animais de sangue-quente da fauna local, tais como expressiva população de

capivaras *Hydrochoerus hydrochaeris*, que entram em contato com a água. A presença da bactéria *Escherichia coli* em alimentos e água é um indicador de contaminação fecal, ou seja, dos dejetos humanos ou de animais de sangue quente (PONATH et al., 2016).

O parâmetro dureza não apresenta valores de limite de detecção estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 e CETESB 8.468/1976, contudo é importante para a avaliação da concentração dos íons de metais alcalino terrosos, especialmente cálcio e magnésio. A microbacia Onça apresentou o maior valor de dureza 72,03 mg-CaCO<sub>3</sub>/l (Figura 19a), isto pode ser explicado devido à geologia do local, nutrientes da própria floresta, e da dissolução das rochas e minerais. Oliveira et al. (2014), encontraram valores elevados de dureza em águas de locais onde haviam uma maior concentração de rochas contendo cálcio e magnésio.

O Amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ou íon amônio é a forma ionizada de Amônia (NH<sub>3</sub>) em meio aquoso. O teor de amônio pode estar presente em águas superficiais ou subterrâneas, provendo habitualmente da decomposição de materiais residuais, de origem vegetal ou animal. O parâmetro foi encontrado nos pontos de amostragem, com valores mais elevados nas microbacias Voçoroca 0,124 mg-N/L e Usina 0,0373 mg-N/L (Figura 19b). Estas bacias possuem marcante presença de fauna diversificada de mamíferos e cultivos agrícolas. Os teores de amônio na água podem estar relacionados ao uso de Sulfato de Amônio (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nas práticas agrícolas nos campos de cultivo na bacia, além da presença da urina e fezes de animais que se aproximam dos corpos hídricos. Contaminações similares foram identificadas por Delatore da Silva et al. (2014) e Cabral (2007).

A temperatura da água também não consta na Resolução CONAMA 357/2005 e CETESB 8.468/1976, porém é considerado muito importante, pois reflete as variações sazonais dos parâmetros físico-químicas da água. O valor mais elevado de temperatura foi observado na microbacia Voçoroca com 28,66°C (Figura 19c), a qual apresenta área agrícola em seu entorno e uma floresta não consolidada, diferindo das outras microbacias que estão localizadas em áreas de floresta nativa. As microbacias florestadas apresentam níveis de temperatura da água inferiores aos das microbacias onde o uso agrícola predomina (ARCOVA e CICCIO, 1999). Para Marmontel e Rodrigues (2015), nascentes localizadas em áreas de sombreamento da mata ciliar apresentam menor média de temperatura e menor amplitude.

Os parâmetros utilizados no monitoramento da bacia (nitrogênio total, fósforo total, dureza, nitrato, amônio, coliformes fecais e temperatura) indicaram que os valores obtidos se diferem significativamente em cada ponto amostrado, refletindo os efeitos dos usos do solo na qualidade da água.

## 5 CONCLUSÃO

A metodologia de regionalização de variáveis hidrológicas - DAEE é uma ferramenta que auxilia na simulação de vazões plurianuais e  $Q_{7,10}$  em bacias hidrográficas.

Os dados de vazões observados dos postos fluviométricos do DAEE na bacia hidrográfica do rio São Domingos apresentaram valores diferenciados de acordo com a pluviometria registrada em cada município.

A microbacia do Córrego Olaria apresentou maior vazão em áreas de mata nativa em relação à área agrícola com reflorestamento não consolidado.

A qualidade da água difere em cada nascente e está relacionada aos usos do solo ou ao estado de conservação das bacias hidrográficas.

Os parâmetros avaliados de nitrogênio total, fósforo total, dureza, nitrato, amônio, coliformes fecais e temperatura indicaram que o uso do solo a montante está alterando a qualidade da água da microbacia do Córrego Olaria.

A análise morfométrica permite inferir na conformação geomorfológica das microbacias e respectivas redes de drenagens tributárias do rio São Domingos.

## 6 REFERÊNCIAS

ABREU, M.C. **Avaliação hidrológica e relação entre disponibilidade e demanda hídrica na bacia hidrográfica do rio Sorocaba – SP.** 2015. 51 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

ANA - Agência Nacional de Água. **Apostila de hidrologia básica.** 2001. Disponível em: <<https://www.aguaegestao.com.br/br/>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

ANA - Agência Nacional das Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil.** Cadernos de Recursos Hídricos, ANA/MMA: Brasília - DF, v. 1, p. 176. 2005. Disponível em: <[www.portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA\\_DA\\_QUALIDADE\\_DAS\\_AGUAS.pdf](http://www.portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2016.

ALVES DA SILVA, A.C.; RODRIGUES, A.C.; VIEIRA, P.H. Análise multitemporal do uso e ocupação da terra do córrego sem nome em Ilha Solteira/SP. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v.9, n.2, p.250-9, 2013.

ANDRADE, M.A; DE MELLO, C.R.; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p.69–76. 2013.

ARCOVA, F. C. S. Influências da Zona Ripária sobre os processos hidrológicos de microbacias. Manejo de microbacias hidrográficas: experiências nacionais e internacionais. **FEPAF**, Botucatu, v.1, n.1, p.37-50, 2006.

ARNOLD, J.G.; ALLEN, P.M. Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds. **Journal of Hydrology**, Amserdam, v.176, p.57-77, 1996.

ARRAES, C.L. **Estimativa da perda de solo e expectativa de erosão na microbacia do Córrego do Tijuco, S.P.** 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

AZEVEDO DO CARMO, J.P.; D'OUVIDIO SILVA, P.D. A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 16., 2010, Porto Alegre. **Anais...** p.1-9.

BARBOZA, G.C. **Monitoramento da qualidade e disponibilidade da água do córrego do Coqueiro no noroeste paulista para fins de irrigação.** 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

BATENI, F.; FAKHERAN, S.; SOFFIANIAN, A. Assessment of land cover changes & water quality changes in the Zayadhroud river basin between 1997-2008. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 185, p. 10511-10519, 2013.

BELLON, E.; PIMENTEL DA SILVA, L. Avaliação preliminar de resposta chuva-vazão com o modelo Swat em microbacia experimental-representativa na região noroeste do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** 2013. p.1-8.

BARRETO, L. V.; FRAGA, M. de S.; BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. da S.; CARVALHO, S. R. de; BONOMO, P.; SILVA, D. P. da. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, p. 118-129. 2014.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; FARIA, L.C.; SIMÕES, M.C.; CALDEIRA, T.L.; NUNES, G.S. Índices de sazonalidade para regionalização hidrológica de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.7, p.748-754, 2014.

BRASIL. Comissão de solos do CNPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, 1960. 634p.

BRASIL. Lei das Águas – Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 12 de Março de 1990, que modificou a Lei nº7.990 de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 janeiro 1997.

BRESSIANI, D. de A.; et al. Review of soil and water assessment tool (swat) applications in Brazil: challenges and prospects. **International Journal Agricultural and Biological Engineering**, Roseville, v.8, n.3, p.9-35. 2015.

CABRAL, N. M. T. Teores de nitrato (no<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (nh<sub>4</sub><sup>+</sup>) nas águas do aquífero Barreiras nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p.1804-1808. 2007.

CALIL, P.M.; OLIVEIRA, L.F.C. de; KLIEMANN, H.J.; OLIVEIRA, V.A. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.4, p.433-442, 2012.

CAZULA, L.P.; MIRANDOLA, P.H. Bacia hidrográfica – conceitos e importância como unidade de planejamento: um exemplo aplicado na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado/SP – Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, n.12, v.7, 2010.

CARPI JUNIOR, S; LOPES, M.C.; BARBOSA, F.D.; MARTINS, A.L. Mapeamento ambiental participativo: experiência de educação ambiental na Ugrhi Turvo e Grande. In: DIAS, L.S.; BENINI, S.M. (Org.). **Estudos ambientais aplicados em bacias hidrográficas**. Tupã: ANAP, 2014. v.1, p.29-57. Disponível em: <[www.amigosdanatureza.org.br/livros/livro/cod/86](http://www.amigosdanatureza.org.br/livros/livro/cod/86)>. Acesso em: 09 mar. 2016.

CASTRO, P.S. **Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa, MG**. 1980. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1980.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios Paulistas**. Disponível em: <<http://www.cepagri.unicamp.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2016.

CHRISTOFOLETTI, A., **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, p. 149, 1974.

CICCO, L. S. **Evolução da regeneração natural de floresta ombrófila densa alto-montana e a produção de água em microbacia experimental, Cunha - SP**. 2013. 25 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Lei Estadual nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente**. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1976\\_Lei\\_Est\\_997.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1976_Lei_Est_997.pdf)>. Acesso em: 4 ago. 2016.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2016.

DANTAS, J.C., et al. Simulação vazão–erosão usando o modelo Swat para uma grande bacia da região semiárida da Paraíba. **Geociências**, São Paulo, v.34, n.4, p.816-827, 2015.

DEBASTIANI, A.B.; SILVA, R. DAL'AGNOL DA; RAFAELI NETO, S. L. Eficácia da arquitetura MLP em modo closed-loop para simulação de um Sistema Hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.21, n.4, p.821-831, 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2318-03312016005005101&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2318-03312016005005101&script=sci_abstract&lng=pt)>.

DELATORE DA SILVA, D.; MIGLIORINI, R. B.; CASTRO E SILVA; MARQUES DE LIMA, Z.; BARBOSA DE MOURA, I. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 43-52, 2014.

DNAEE - Departamento Nacional de Água e Energia. **Normas e recomendações hidrológicas: fluviométrica**. Brasília, 94 p., 1970.

DESSALEGN, D.; BEYENE, S.; RAM, N.; WALLEY, F.; GALA, T.S. Effects of topography and land use on soil characteristics along the toposequence of Ele watershed in Southern Ethiopia. **Catena**, Cremlingen, n.115, p.47-54, 2014.

DESTEFANI, E. V. **Regime hidrológico do rio Ivaí**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

DING, J.; JIANG, Y.; LIU, Q.; HOU, Z.; LIAO, J.; FU, L.; PENG, Q.. Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiand River basin, China: a multi-scale analysis. **Science of the Total Environment**, v. 551, p. 205-116, 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Novo Mapa de Solos do Brasil. In: SANTOS, H.G. dos; CARVALHO JUNIOR, W.de; DART, R.de O.; AGLIO, M.L.D.; SOUSA, J.S.de; PARES, J.G.; FONTANA, A.; MARTINS, A.L.da S.; OLIVEIRA, A.P.de. **Novo mapa de solos do Brasil, escala 1:5.000.000, atualizado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006)**. Brasília: IBGE/EMBRAPA, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Water Policies and Agriculture, Special Chapter of The State of Food and Agriculture**. Roma, n. 26, p. 328, 1993. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/003/t0800e/t0800e.pdf>>. Acesso em 10 jun. 2016.

FERREIRA, M.M.; TOSTA DOS REIS, J.A.; MANDONÇA, A.S.F. Estimativas de vazões máximas para cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Itapemirim. **Revista CIATEC**, Passo Fundo, v.7, n.1, p.67-78, 2015.

HEWLETT, J.D.; NUTTER, W.L. **An outline of forest hydrology**. Georgia: University of Georgia Press, p.137, 1969.

GASSMAN, P.W.; REYES, M.R.; GREEN, C.H.; ARNOLD, J.G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and futures research directions. **Transactions of the ASABE**, St Joseph, v.50, n.4, p.1211-1250, 2007.

GIRI, S.; QIU, Z. Understanding the relationship of land uses and water quality in twenty first century: a review. **Journal of Environmental Management**, v.173, p.41-48, 2016

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 3.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

GOMES, R. **Sem reflorestamento, ações de combate à seca não têm efeito**. São Paulo: Rede Brasil Atual, 2015, Disponível em: <<http://www.redebrasilatual.com.br/ambiente/2015/02/reflorestamento-e-essencial-para-que-aco-es-de-combate-a-seca-em-sao-paulo-tenham-efeito-5256.html>>. Acesso em: 15 maio 2015.

GREGORY, K.J. WALLING, D.F. **Drainage basin form and process a geomorphological approach**. New York: John-Wiley& Sons, 1973. 456p.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, Colorado, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa cartografia**. São Paulo, 1972.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de uso da terra**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/TEMATICOS/USO-DA-TERRA.HTML>>.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Plano de bacia da unidade de gerenciamento de recursos hídricos da bacia do Turvo/Grande (UGRHI 15). Comitê da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande**. São José do Rio Preto: Fundo Estadual de Recursos Hídricos, 2008. p.27-29. (Relatório Técnico CPTI, 397/08)

KAC, M.; LOGAN J. **Fluctuation phenomena**. Amsterdam: Montroll, 1976.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: conunestudio de los climas de latierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 479p.

LEPSCH, I.F. O inventário de solos como base ao planejamento racional do uso da terra. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Aspectos de manejo do solo**. Campinas, 1985. p.1-42.

LIAZI, A.; CONEJO, J. L.; PALOS, J. C. F.; CINTRA, P. S. Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo. **Revista Águas e Energia Elétrica – DAEE**, São Paulo, v.5, n.14, p.4-10, 1988. Disponível em: <[http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=745:regionalizacao-hidrologica&catid=43:hidrometeorologia](http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=745:regionalizacao-hidrologica&catid=43:hidrometeorologia)>. Acesso em: 10 jan. 2016.

LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, 1994. (Apostila LCF)

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.10, n.29, p.11-21, 1996.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Indicadores hidrológicos em áreas florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.12, n.31, p.53-64, 1998.

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2.ed. Piracicaba: ESALQ, 2008. p.1-245.

LOPES, M.C. **Ações de Educação Ambiental e Monitoramento da Água no Córrego da Olaria, Apta-Pindorama, SP**. 2011. 64 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011. 64 p.

LOUZADA, V. M. **Modelagem hidrológica com o modelo Swat na bacia hidrográfica do rio Xingú**. 2015. 13 f. Monografia (Trabalho final de curso em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015.

MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015.

MARQUES SILVA, R.; DE CARVALHO MEDEIROS, I. Análise hidrossedimentológica em ambiente Sig usando o modelo Swat. **GeoFocus**, Fribourg, n.14, p.211-231, 2014.

MARTIRANI, L.A.; PERES, I.K. Crise hídrica em São Paulo: cobertura jornalística, percepção pública e o direito à informação. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v.19, n.1, p.1-20, 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2016000100002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2016000100002&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 29 nov. 2016.

MASSART, D.L.; SMEYERS-VERBEKE, J.; CAPRON, X.; SCHLESIER, K. Visual presentation of data by means of box plots. **LC-GC Europe**, Duluth, v.18, p.215-218, 2005.

MAUCIERI, C.; SALVATO, M.; TAMIAZZO, J.; BORIN, M. Biomass production and soil organic carbon accumulation in a free water surface constructed wetland treating agricultural wastewater in North Eastern Italy. **Ecological Engineering**, v. 70, p. 422-428, 2014.

MELATI, M.D.; MARCUZZO, F.F.N. Regressões simples e robusta na regionalização da vazão Q95 na Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.38, n.2, p.722-739, 2016.

MIGLIACCIO, K.W., I. CHAUBEY. Spatial distributions and stochastic parameter influences on SWAT flow and sediment predictions. **Journal of Hydrologic Engineering**, New York, n.13, v.4, p. 258-269, 2008.

MORUZZI, R. B.; TOMAZINE-CONCEIÇÃO, F.; SARDINHA, D, S.; HONDA, F. P.; NAVARRO, G. R. B. Avaliação de cargas difusas e simulação de autodepuração no córrego da água branca, Itirapina (SP). **Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 447-458, 2012.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. R.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. J. **Soil and water assessment tool**: theoretical documentation. Texas, 2005. 476 p.

OKI, V.K. **Impactos da colheita de Pinus taeda sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias**. 2002. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Escala 1:500.000. Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPA - Solos, 64p. 1999.

OLIVEIRA, L. F. C. de; FIOREZE, A.P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15. n.1, p.9-15, 2011.

OLIVEIRA, L. C. DE; PEREIRA, R.; VIEIRA, J.R.G. Análise da degradação ambiental da mata ciliar em um trecho do rio Maxaranguape, RN: Uma contribuição à gestão dos recursos hídricos do Rio Grande do Norte - Brasil. **Holos Environment**, Rio Claro, v.5, p.49-66, 2011.

OLIVEIRA, V.A. **Regionalização de vazões nas regiões das unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos gd1 e gd2, Minas Gerais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

OLIVEIRA, K. B. M.; DE MORAIS, F.; BACELLAR, F. A. P. Distribuição de parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas na região da Lagoa da Confusão - TO - Brasil. **Ambiência Guarapuava (PR)**, v.10, n. 1, p. 281 - 302, 2014.

PISSARRA, T.C.T. **Análise da bacia hidrográfica do Córrego Rico na subregião de Jaboticabal, SP**: comparação entre imagens TM-Landsat5 e fotografias aéreas verticais. 2002. 136 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

PISSARRA, T.C.T. **Aplicabilidade do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na bacia hidrográfica do Córrego Rico – SP**. 2014. Tese (Livre-docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

POLITANO, W.; PISSARRA, T.C.T. Relações entre características morfométricas quantitativas e estimativas da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v.23, p.179-186, 2003.

PONATH, F. S.; VALIATTI, T. B.; SOBRAL, F.; DE OLIVEIRA S.; ROMÃO, N. F.; ALVES, G. M. C.; PASSONI, G. P. Avaliação da higienização das mãos de manipuladores de alimentos do Município de Ji-Paraná, Estado de Rondônia, Brasil. **Pan-Amazônica de Saúde**. v. 7, n. 1, p. 63-69, 2016.

QUEIROZ, M.M.F. et al. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pelotas, v.5, n.4, p.200-210, 2010.

ROCHA, J.S.M. da. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4.ed. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM, p. 302, 2001.

ROCHA, J.S.M. da. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 2.ed. Santa Maria: UFSM, p. 181, 1991.

RODRIGUES, F.M.; PISSARRA, T.C.T.; CAMPO, S. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego da fazenda Glória, município de Taquaritinga, SP. **Irriga**, Araraquara, v.3, p.310-322, 2008.

RODRIGUES, V. A. Análise dos processos hidrológicos em modelo didático de microbacias. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v.17, n.1, p.1-15. 2011.

RODRIGUES, V. A.; SANSÍGOLO, C. A.; CICCIO, L. S. de; VIANA, S. R. F.; CONEGLIAN, A.; HAAS, J. Avaliação do fluxo de água dos canais nas ruas de Freiburg - Alemanha. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v.19, n.1, 2012.

RODRIGUES, V. A.; CARDOSO, L. G.; POLLO, R. A.; RE, D. S.; PISSARRA, T. C. T.; VALLE JUNIOR, R. F. Análise morfométrica da microbacia do Ribeirão das Araras-SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 21, n. 1, p. 25-37, 2013.

RODRIGUES, E.L.; ELMIRO, M. A. T.; JACOBI, C. M.; LAMOUNIER, W. L. Aplicação do modelo swat na avaliação do consumo de água em áreas de florestas plantadas na bacia do rio Pará, alto São Francisco, em Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 485-500, set-dez, 2015.

RODRIGUES, V. A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; TARJUELO, J. M.; SARTORI, M. M. P.; CANALES, A. R. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, Botucatu, p. 1-13, 2015.

RODRIGUES, V. A. **Processos hidrológicos e sustentabilidade da água em microbacias com Pinus halepensis Mill**. 2016. 112 f. Relatório (Pós-Doutorado) – Universidad de Castilla La Mancha, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Albacete, 2016.

SANTOS OLERIANO, E.; DIAS, H. C. T. **A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto**. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1., 2007, Taubaté. **Anais...** p. 215-222.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. **Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p.60-68, 2013.

SANTOS, G. O.; LIMA, F. B.; MAGALHÃES, F. P.; BRITO, C. M. C. M.; VEIGA, A. R. Levantamento das condições ambiental dos mananciais inseridos no perímetro urbano do município de Fernandópolis-SP. **Universitas**, Brasília, v.5, p.67-84, 2009

SANTOS, L. C. C. **Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos**. 2010. 34f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas, teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002. 293p.

SCHUSSEL, Z.; NASCIMENTO NETO, P. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v.18, n.3, p.137-152, 2015

SILVA, B. M. B.; MOREIRA, D. D.; CASTRO, M. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Ambiente & Água**, Taubaté, v.10, n.3, p.623-634, 2015.

SILVA, V.C.L., SILVA, L.P., SILVA, R.M. E SANTOS, C .A. G. **Delimitação automatizada e aplicação do modelo AVSWAT para a Bacia do Rio Mamuaba**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2011. p.1-17.

SIQUEIRA, V. A. **Previsão de cheias por conjunto em curto a médio prazo: bacia do Taquari-Antas/Rs**. 2015. 13 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SORIANO, É. et al. Crise hídrica em são paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo. V.19, n.1, p.21-42, 2016.

STEFFEN, J.L.; de ALMEIDA, I.K.; COSTA NETO, J.F.; ALVES SOBRINHO, T. Simulação do escoamento superficial em bacia hidrográfica. **Geociências**, São Paulo, v.33, n.1, p.147-156, 2014.

STHRALER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, v.38,, p.913-920, 1957.

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

SUN, W.; XIA, C.; XU, M.; GUO, J.; SUN, G. Application of modified water quality indices as indicator to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 306-312, 2016.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: New Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. (Publications in climatology, 8)

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS ABRH, 1998. 652 p.

TUCCI, C.E.M. **Controle de enchentes**. In: TUCCI, C. (Org). **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, cap. 16, p.621-658, 1993.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH, 1998. 652 p.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256 p.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 302 p.

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

TUNDISI, J.G. **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014.

TUNDISI, J.G. A situação de recursos hídricos no Brasil envolve problemas de qualidade e quantidade. **Revista Nova Escola**, São Paulo, Maio, 2010. Especial Meio Ambiente.

TUNDISI, J.G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p.7-16, 2008.

VALLE JUNIOR, R. F.; VARANDAS, S. G. P.; SANCHES FERNANDES, L. F.; PACHECO, F.A.L. Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts. **Science of the Total Environment**, v. 493, p. 812-827, 2014.

VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.55-64, 2010.

VIERA DE SOUZA, W. **Aplicações do modelo Swat no brasil: revisão e estudo de caso – Amazônia**. 2016. Trabalho (Final de Curso Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

WOLFF, W. **Avaliação e nova proposta de regionalização hidrológica para o Estado de São Paulo**. 2013. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

ZAKIA, M. J. B. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas**. 1998. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade Paulista, São Carlos, 1998.

ZANATA, M. **Morfometria de compartimentos hidrológicos e qualidade hídrica do município de Batatais-SP**. 2013. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.