

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MONIQUE CRISTINE SILVA LIMA**

**OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DESEMPENHADOS POR CURSOS D'ÁGUA EM  
SÃO CARLOS (SP): UMA ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA EM SUB-  
BACIAS COM DIFERENTES USOS DO SOLO**

**São Carlos**

**2017**



**MONIQUE CRISTINE SILVA LIMA**

**OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DESEMPENHADOS POR CURSOS D'ÁGUA EM  
SÃO CARLOS (SP): UMA ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA EM SUB-  
BACIAS COM DIFERENTES USOS DO SOLO**

**Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Ambiental da  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo.**

**Orientador: Prof. Dr. Davi Gasparini  
Fernandes Cunha**

**São Carlos**

**2017**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

L732o Lima, Monique Cristine Silva  
Os Serviços ecossistêmicos desempenhados por cursos  
d'água em São Carlos (SP) : uma análise quantitativa e  
qualitativa em sub-bacias com diferentes usos do solo /  
Monique Cristine Silva Lima; orientador Davi Gasparini  
Fernandes Cunha. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, 2017.

1. Serviços ecossistêmicos. 2. Qualidade da água.  
3. Indicadores . 4. Santa Maria do Leme. 5. Tijuco  
Preto. I. Título.



# FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Monique Cristine Silva Lima**

Data da Defesa: 30/10/2017

Comissão Julgadora:

Resultado:

**Davi Gasparini Fernandes Cunha (Orientador(a))**

APROVADA

**Flávia Bottino**

aprovada

**Simone Pereira Casali**

Aprovada



**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**

Coordenador da Disciplina 1800091 - Trabalho de Graduação

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por terem me proporcionado os estudos que tive ao longo dos anos para chegar até aqui. Amo vocês!

À Universidade de São Paulo, pela bolsa oferecida pelo Programa Unificado de Bolsas (PUB);

Ao meu orientador Davi Gasparini, pela paciência, orientação e amizade que me fazem admirá-lo como pessoa e profissional;

Ao programa “Adote um Rio”, do qual tive a honra de fazer parte de 2013 a 2016 e que inspirou esse trabalho;

À Adriana Miwa pelas análises de fósforo total e NTK; Fellipe Moutinho, pelas análises de fitoplâncton; Juliana Custódio, pelas análises de coliformes; Murilo e Wesley pela ajuda para preparação das coletas; Lucas, pela ajuda com as imagens de satélite; Bruno, pela ajuda com os dados climatológicos;

Ao Erik pela ajuda com os mapas de uso e ocupação. Ao José Mateus, que além dos mapas, me ajudou a me deslocar para fazer as entrevistas. Obrigada pela paciência e disponibilidade!;

À Helena e Nivaldo da Associação de Moradores e Amigos dos Jardins (AMOR), à Leda da ONG Associação Veredas e a todos as pessoas que se dispuseram a serem entrevistados para este trabalho;

À Silvia do Centro de Divulgação Científica e Cultural da USP (CDCC/USP) pelos mapas das bacias;

A todos os meus amigos da ambiental, SEA, São Carlos e Austrália. Há uma parte de cada um de vocês em mim e eu sou grata por isso. Não sei o que seria de mim sem vocês.



## RESUMO

LIMA, M.C.S. **Os serviços ecossistêmicos desempenhados por cursos d'água em São Carlos (SP)**: uma análise quantitativa e qualitativa em sub-bacias com diferentes usos do solo. 2017. 122 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Os serviços ambientais são definidos pelo Relatório Ecossistemas do Milênio como os benefícios que os seres humanos obtêm dos ecossistemas e podem ser de suporte, regulação, provisão ou culturais. Os recursos hídricos estão envolvidos em muitas atividades cotidianas do ser humano, como abastecimento público e industrial, agricultura, navegação, atividades de lazer e culturais. A urbanização afeta vários parâmetros hídricos e, portanto, correlacioná-los com o conceito de serviços ambientais permite uma nova perspectiva de avaliação e gestão de rios urbanos. A presente pesquisa foi conduzida em dois córregos localizados em São Carlos (SP): Santa Maria do Leme, localizado em bacia predominantemente rural, e Tijuco Preto, em bacia predominantemente urbana. Foram realizadas atividades de campo no inverno (Agosto e Setembro/2016) e verão (Fevereiro/2017) na nascente, médio curso e foz de cada córrego, onde foram medidos dados de temperatura, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, condutividade por sonda multiparamétrica e coletadas amostras de água para análises de fitoplâncton, coliformes, fósforo total e nitrogênio total Kjedahl. Também foram consideradas análises visuais e aplicação de questionário com indivíduos nas redondezas dos pontos a fim de obter compreensão da percepção destes acerca dos serviços desempenhados pelos córregos. Mapas de uso e ocupação do solo foram elaborados para quantificação de ocupação urbana e vegetação nas bacias. Os resultados foram comparados com a Resolução CONAMA nº 357/2005 quando possível. Temperatura da água variou de 18,1 a 23,5 °C; pH de 5,2 a 7,92; condutividade de 11 a 377 µS/cm; turbidez de 1 a 39 UTN; oxigênio dissolvido de 3,4 a 6,8 mg/L; nitrogênio total Kjedahl de 0,16 a 2,25 mg/L; fósforo total de 11,3 a 293,6 µg/L; coliformes totais de 400 a 7300 UFC/100mL; *E. Coli* de 0 a 3500 UFC/100mL; fitoplâncton chegou a apresentar 98% de dominância do grupo Cryptophyceae na foz do Tijuco Preto, e as densidades de cianobactérias estavam todas em conformidade com a legislação. As áreas urbanas calculadas foram de 92% e 32%, nas bacias do Tijuco Preto e Santa Maria do Leme, respectivamente. Em geral, a qualidade da água está mais comprometida no córrego Tijuco Preto em relação às variáveis analisadas. Foram conduzidas 39 entrevistas com transeuntes a respeito de ambos os córregos, e também com membros da Associação de Moradores e Amigos dos Jardins e da ONG Associação Veredas, ambos inseridos na sub-bacia do Santa Maria do Leme. Quando questionados sobre enxergarem os córregos como aspecto positivo ou negativo, 52% responderam positivo, e 41% negativo, e 80% das respostas daqueles que viam como negativo foram ao longo do Tijuco Preto. Sugere-se que os quatro tipos de serviços ecossistêmicos (suporte, regulação, provisão e culturais) encontraram-se, comprometidos em alguns aspectos. A magnitude variou com o uso e ocupação distintos das bacias, sendo que os serviços na bacia do Tijuco Preto encontraram-se aparentemente mais prejudicados que na bacia do Santa Maria do Leme.

**Palavras-chave:** Serviços ecossistêmicos. Qualidade da água. Indicadores. Santa Maria do Leme. Tijuco Preto.



## ABSTRACT

LIMA, M.C.S. **The ecosystem services performed from streams in São Carlos (SP):** a quantitative and qualitative analysis in watersheds with different land use. 2017. 122 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Ecosystem services are defined by the Millennium Ecosystem Assessment as the benefits humans obtain from ecosystems and they can be support, regulation, provision or cultural services. Water resources are involved in many daily human activities, like public and industrial water supply, agriculture, navigation, leisure and cultural activities. Urbanization affects many hydric parameters and, therefore, correlate them with the ecosystem services concept allows a new perspective for assessment and management of urban streams. This research was conducted in two streams in São Carlos (SP): Santa Maria do Leme, located in a predominantly rural watershed, and Tijuco Preto, in a predominantly urban watershed. Fieldwork was conducted in the winter (August and September/2017) and in the summer (February/2017) at each streams' headspring, midcourse and outfall, where were measured temperature, turbidity, pH, dissolved oxygen, electric conductivity using a multiparameter probe and water samples were collected for phytoplankton, coliforms, total phosphorus and total nitrogen Kjeldahl. It was also considered visual analysis and a questionnaire was applied with individuals at the points' surroundings aiming to comprehend their perception about ecosystem services performed by the streams. Land use maps were created for quantification of urban and vegetation occupations on the watersheds. The results were compared to Resolução CONAMA nº 357/2005 whenever possible. Water temperature ranged from 18.1 to 23.5 °C; pH from 5.2 to 7.92; electric conductivity from 11 to 377 µS/cm; turbidity from 1 to 39 NTU; dissolved oxygen from 3.36 to 6.8 mg/L; Kjeldahl total nitrogen from 0.16 to 2.25 mg/L; total phosphorus from 11.26 to 293.6 µg/L; total coliforms from 400 to 7300 CFU/100mL; *E. Coli* from 0 to 3500 UFC/100mL; phytoplankton represented 98% dominance of the Cryptophyceae group at the Tijuco Preto's outfall and the cyanobacteria densities were all in accordance to the legislation. The calculated urban areas were 92% and 32% on the Tijuco Preto and Santa Maria watersheds, respectively. Overall, the water quality were more impaired on Tijuco Preto in relation to the variable analyzed. Thirty nine interviews were conducted with passersby about both streams and also with members of Associação de Moradores e Amigos dos Jardins and ONG Associação Veredas, both included in the Santa Maria do Leme watershed. When questioned if they saw the streams as either a positive or a negative aspect, 52% answered positive, and 41% negative, and 80% of the answers that saw as negative were along the Tijuco Preto stream. It's suggested that all the four types of ecosystem services (support, regulation, provision and cultural) are compromised in some aspects. The magnitude varied with the difference in the watershed's land use, as the services on the Tijuco Preto watershed were apparently more impaired than on Santa Maria do Leme watershed.

**Keywords:** Ecosystem services. Water quality. Indicators. Santa Maria do Leme. Tijuco Preto.



*"Look deep into nature, and then  
you will understand everything better".*

- Albert Einstein



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamento esquemático das metáforas de produção econômica (esquerda) e ciclo fechado (direita) a respeito dos serviços ambientais	35
Figura 2. Distribuição dos estresses nos valores relativos dos serviços das águas doces globais. BSI (índice de estresse de biodiversidade), CSI (índice de estresse de commodities), DRI (índice regulação de alterações), GRI (índice de liberação de gases estufa), WQI (índice de estresse de qualidade de água), WSI (índice de estresse de disponibilidade hídrica) e HFI (índice de impacto humano nas águas doces) . A escala está de 0 (baixo estresse) a 1 (alto estresse)	41
Figura 3. Relações entre mudanças na qualidade de água, diversos bens e serviços ambientais e mudanças associadas a valores. O esquema ressalta os serviços mais importantes e que são mais frequentemente mensurados.	43
Figura 4. Seção do mapa hidrográfico das águas interiores do Estado de São Paulo da UGRHI 13 conforme o decreto 10.755/77. A hidrografia, em azul, representa os corpos d'água enquadrados como Classe 2, em amarelo Classe 3 e em vermelho Classe 4.	46
Figura 5. Localização da UGRHI 13, na qual a bacia hidrográfica do rio Monjolinho está inserida	48
Figura 6. Bacia do Monjolinho, onde as sub bacias do Santa Maria do Leme e Tijuco estão inseridas	49
Figura 7. Mapa topográfico da sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme	50
Figura 8. Mapa topográfico da sub-bacia do córrego Tijuco Preto	51
Figura 9. Localização da nascente do córrego Santa Maria do Leme (SMN) (21°58'07.3"S 47°55'11.3"E)	55
Figura 10. Localização do médio curso do córrego Santa Maria do Leme (SMMC) (21°59'40.9"S 47°54'11.0"E)	55
Figura 11. Localização da foz do córrego Santa Maria do Leme (SMF) (21°59'59.3"S 47°54'01.1"E)	56
Figura 12. Localização da nascente do córrego Tijuco Preto (TJN) (22°00'36.3"S 47°52'32.8"E)	56
Figura 13. Localização do médio curso do córrego Tijuco Preto (TJMC) (22°00'19.9"S 47°52'56.1"E)	57
Figura 14. Localização da foz do córrego Tijuco Preto (TJF) (22°00'07.5"S 47°53'58.6"E)	57
Figura 15. Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Santa Maria do Leme (escala 1:16.000)	67
Figura 16. Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Tijuco Preto (escala 1:10.000)	68
Figura 17. Nascente do córrego Santa Maria do Leme (Fevereiro/2017)	69
Figura 18. Nascente do córrego Tijuco Preto (Agosto/2016)	70
Figura 19. Nascente do córrego Tijuco Preto (Fevereiro/2017)	70
Figura 20. Processo erosivo avançado na nascente do córrego Tijuco Preto (Agosto/2016)	71
Figura 21. Cama desmontada abandonada às margens da nascente do córrego Tijuco Preto (Fevereiro/2017)	71
Figura 22. Médio curso do córrego Santa Maria do Leme (Setembro/2016)	72

Figura 23. Médio curso do córrego Santa Maria do Leme (Fevereiro/2017)	72
Figura 24. Ponte para pedestres e ciclistas no médio curso do córrego Santa Maria do Leme (Setembro/2016)	73
Figura 25. Médio curso do córrego Tijuco Preto (Agosto/2016)	73
Figura 26. Médio curso do córrego Tijuco Preto (Fevereiro/2017)	74
Figura 27. Canalização de esgotamento doméstico e drenagem urbano/viária no médio curso do Tijuco Preto (Agosto/2016)	74
Figura 28. Resíduos sólidos às margens da rua no médio curso do Tijuco Preto (Agosto/2016)	75
Figura 29. Processos erosivos avançados à montante da ponte no médio curso do Tijuco Preto (Agosto/2016)	75
Figura 30. Foz do córrego Santa Maria do Leme (Fevereiro/2017)	76
Figura 31. Resíduos sólidos encontrados às margens da foz do córrego Santa Maria do Leme (Fevereiro/2017)	76
Figura 32. Foz do córrego Tijuco Preto (Agosto/2016)	77
Figura 33. Foz do córrego Tijuco Preto (Fevereiro/2017)	77
Figura 34. Densidades relativas dos grupos fitoplanctônicos encontrados nos córregos do Santa Maria do Leme (A - nascente, B – médio curso e C - foz) e Tijuco Preto (D - nascente, E – médio curso e F - foz) no inverno	93
Figura 35. Densidades relativas dos grupos fitoplanctônicos encontrados nos córregos do Santa Maria do Leme (A - nascente, B – médio curso e C - foz) e Tijuco Preto (D - nascente, E – médio curso e F - foz) no verão	94
Figura 36. Cultivo hidropônico com uso da água advinda do ponto da nascente do Santa Maria do Leme (julho/2017)	98



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Registro de precipitação total (mm) e temperatura média do ar (ºC) mensais do período da pesquisa (Agosto/2016 a Julho/2017) em comparação com a série histórica de temperatura média compensa e precipitação acumulada mensal 1961 a 1990.....	79
Gráfico 2. Valores de temperatura da água (ºC) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão .....	81
Gráfico 3. Valores de pH na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão, juntamente com os limites mínimo e máximo estabelecidos pela Resolução CONAMA nº357/2005 para águas doces de Classe 2 (linhas vermelhas).....	82
Gráfico 4. Valores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão.....	83
Gráfico 5. Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão, juntamente com o limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 para águas doces de Classe 2 (linha vermelha).....	84
Gráfico 6. Valores de turbidez (UNT) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão, juntamente com o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 para águas doces de Classe 2 (linha vermelha).....	85
Gráfico 7. Valores médios de fósforo total ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno, juntamente com os limites máximos estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 para sistemas lóticos e lênticos de Classe 2 (linhas vermelhas).....	87
Gráfico 8. Valores médios de nitrogênio total Kjeldahl (mg/L) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão.....	88
Gráfico 9. Valores de coliformes totais (UFC/100 mL) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão.....	89
Gráfico 10. Densidades de <i>E. coli</i> (UFC/100 mL) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão, juntamente com o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 para águas doces de Classe 2 (linha vermelha).....	90



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Horário das coletas realizadas nas nascentes, médio cursos e foz dos córregos Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão.....	58
Tabela 2. Resumo das áreas absolutas (ha) e relativas das classes urbano, vegetação e aberta nas sub-bacias dos córregos Santa Maria do Leme e Tijuco Preto.....	66
Tabela 3. Valores de vazão ( $m^3/s$ ) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão .....	80
Tabela 4. Número de entrevistas com questionário conduzidas por córrego e respectivos pontos .....	95



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Visão geral dos sete pontos de críticas sobre o conceito de serviços ambientais, contra-argumentos e perspectivas .....	36
Quadro 2. Serviços ambientais fornecidos ou derivados de águas continentais.....	39
Quadro 3. Serviços fornecidos pelas águas doces e ciclo hidrológico.....	40
Quadro 4. Indicadores de serviços ecossistêmicos, suas respectivas descrições de execução, serviços medidos e justificativa de aplicação. ....	53
Quadro 5. Estrutura do questionário aplicado com os respectivos serviços avaliados em cada pergunta.....	63
Quadro 6. Classificação e justificativas usadas para avaliar o desempenho de alguns dos serviços identificados.....	64
Quadro 7. Resumo do desempenho de alguns dos serviços identificados na nascente, médio curso e foz dos córregos Santa Maria do Leme e Tijuco Preto. Desempenho positivo está indicado em verde, mediano em laranja e negativo em vermelho. ....	109



# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	27
<b>2. OBJETIVOS</b>	31
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	33
<b>3.1 Serviços Ambientais</b>	33
<b>3.2 Recursos hídricos continentais: serviços e desafios</b>	38
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b>	46
<b>4.1 Área de estudo</b>	46
<b>4.2 Mapeamento das formas de uso e ocupação do solo nas sub-bacias</b>	52
<b>4.3 Indicadores climatológicos, hidrológicos e de qualidade de água</b>	53
<b>4.3.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS</b>	54
<b>4.3.2 COLETAS</b>	54
<b>4.3.3 FÓSFORO TOTAL</b>	58
<b>4.3.4 NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (NTK)</b>	59
<b>4.3.5 COLIFORMES</b>	60
<b>4.3.6 FITOPLÂNCTON</b>	61
<b>4.4 Questionário para avaliação da percepção das pessoas sobre os serviços ambientais</b>	62
<b>4.5 Avaliação do desempenho dos serviços ecossistêmicos</b>	63
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	66
<b>5.1 USO E OCUPAÇÃO</b>	66
<b>5.2 ANÁLISE VISUAL E PARÂMETROS GERAIS</b>	68
<b>5.3 DADOS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS</b>	78
<b>5.3.1 PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DO AR</b>	78
<b>5.3.2 VAZÃO</b>	79
<b>5.4 DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA</b>	80
<b>5.4.1 TEMPERATURA</b>	80
<b>5.4.2 pH</b>	81
<b>5.4.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA</b>	83
<b>5.4.4 OXIGÊNIO DISSOLVIDO</b>	84
<b>5.4.5 TURBIDEZ</b>	85

5.4.6	FÓSFORO TOTAL	86
5.4.7	NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (NTK)	87
5.4.8	COLIFORMES TOTAIS E <i>E.COLI</i>	88
5.4.9	FITOPLÂNCTON	91
<b>5.5</b>	<b>ENTREVISTAS</b>	<b>95</b>
<b>5.6</b>	<b>DESEMPENHO DOS SERVIÇOS AMBIENTAIS</b>	<b>101</b>
5.6.1	DESEMPENHO QUALITATIVO	102
5.6.2	DESEMPENHO QUANTITATIVO	104
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>114</b>



## 1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas são intrinsecamente dependentes da disponibilidade e utilidade dos recursos naturais. Os benefícios retirados destes são advindos de funções ambientais conhecidas como serviços ecossistêmicos (ou serviços ambientais), termo cunhado pelo relatório da Avaliação Ecossistêmica do Milênio em 2005, e são definidos como “benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas” (HASSAN; SCHOLES; ASH, 2005). De acordo com o relatório, os serviços ecossistêmicos podem ser alocados em quatro grandes grupos:

- i. **Suporte:** responsáveis pela funcionalidade dos outros serviços. Seus benefícios só podem ser obtidos de forma indireta e em maior prazo por meio dos outros serviços. Exemplos: fotossíntese, produção primária, ciclagem de nutrientes, ciclo hidrológico;
- ii. **Regulação:** relacionados à regulação dos processos naturais como qualidade do ar, do clima e o controle de doenças;
- iii. **Provisão:** vinculados ao aproveitamento direto de produtos, como fibras, alimentos e combustíveis; e
- iv. **Cultural:** benefícios não materiais associados à recreação, enriquecimento espiritual, reflexão, aspectos estéticos e desenvolvimento cognitivo.

O conceito de serviços ambientais não é recente, mas a sua importância e notoriedade sim. Ele surgiu entre as décadas de 70 e 80, devido à Conferência de Estocolmo e à publicação do Relatório Brundtland. No entanto, a degradação ambiental é um fenômeno crônico e teve a Revolução Industrial do século XVIII como um marco moderno na intensificação da demanda por recursos naturais, introdução de materiais e substâncias não naturais, resíduos não tratados e a urbanização (SILVA; CRISPIM, 2011). A consequência é a degradação da qualidade de ecossistemas terrestres e aquáticos.

Os recursos hídricos estão envolvidos em muitas atividades cotidianas do ser humano, como abastecimento público e industrial, agricultura, navegação, atividades

de lazer e culturais (i.e. pesca e harmonização paisagística). No entanto, tais recursos também são responsáveis por outras funções que indiretamente beneficiam o Homem, de modo a interferir no desempenho e usabilidade daquilo que se quer aproveitar economicamente. Algumas dessas funções são: ciclagem de nutrientes, controle de temperatura, depuração de poluição, controle de doenças de veiculação hídrica, entre outros (AYLWARD et al., 2005; FINLAYSON; D'CRUZ, 2005).

As mudanças causadas pelas atividades humanas no último século afetaram - e continuam afetando - a hidrografia e processos físicos, biológicos e químicos de águas continentais. De acordo com Mooney et al. (2005), as águas continentais são os sistemas que estão mais degradados em relação a outros em questão de biodiversidade; 50% da área global dessas águas foi reduzida e as barragens fragmentaram 60% dos grandes rios globais. Portanto, a quantidade e qualidade das águas disponíveis para uso são comprometidas, uma vez que os crescimentos populacional e econômico levaram a um aumento na demanda pelos serviços hídricos, especialmente os de provisão (AYLWARD et al., 2005). No entanto, não somente estes serviços têm sido afetados pelas atividades humanas: por exemplo, a retirada de mata nativa para agricultura prejudica os serviços de regulação, levando à poluição que, eventualmente, afeta a estética do ambiente de forma a comprometer serviços culturais.

Uma modificação da paisagem muito relevante que vem alterando os serviços ambientais é a urbanização. Trata-se de um fenômeno humano que modifica o espaço natural para dar lugar a assentamentos de infraestrutura artificial e com alta atividade socioeconômica (PAUL; MEYER, 2001). Estima-se que 54% da população mundial, em 2014, viviam em cidades e que esse número crescerá para dois terços até a metade do século (UNITED NATIONS, 2014).

O processo de urbanização de desenvolvimento rápido e ininterrupto gera uma ameaça para os sistemas lóticos (PAUL; MEYER, 2001), ocasionando problemas como poluição por descarga de esgoto não tratado, extração de água superficial e subterrânea e impermeabilização do solo (responsável por impedir a recarga de água subterrânea e aumentando riscos de enchentes); e consumo de água virtual através de

alimentos, energia e bens de consumo diversos (UN-WATER, 2015). Meyer, Paul e Taulbee (2005) descrevem alguns impactos gerados pela urbanização nos corpos hídricos e os definem como a Síndrome do Córrego Urbano (*Urban Stream Syndrome*), que podem ser citados como: diminuição da quantidade de córregos de menor ordem; biodiversidade reduzida, com presença/dominância de espécies tolerantes; mudanças na hidrografia (rios com menor tempo de residência) e na estabilidade e morfologia dos canais (PAUL; MEYER, 2001; WALSH et al., 2005).

A urbanização afeta várias variáveis limnológicas (i.e. temperatura, concentração de nutrientes e metais, microrganismos, fitoplâncton, entre outros) (PAUL; MEYER, 2001) e, portanto, correlacioná-los com o conceito de serviços ambientais permite uma nova perspectiva de avaliação e gestão de rios urbanos. Alam et al. (2017) usaram essa abordagem no Pantanal Shitalakka, em Bangladesh e usaram algumas variáveis indicadoras, como oxigênio dissolvido, pH, demanda bioquímica de oxigênio, condutividade, temperatura, turbidez, fosfatos e entre outras. Ao correlacionar como esses indicadores informavam o desempenho dos serviços do pantanal, os autores concluíram que a pesca, banho, potabilidade, aspectos estéticos e até mesmo atividades religiosas foram os principais serviços afetados. Além disso, a urbanização não planejada foi uma das ameaças identificadas no comprometimento de seus desempenhos.

No entanto, nem todos os serviços são facilmente mensuráveis. Egoh et al. (2012) afirmam que os serviços de provisão são os mais comuns de serem quantificados, em comparação aos serviços culturais, de suporte e regulação. Nahuelhual et al. (2014), por exemplo, afirmam que os serviços culturais são mais dependentes do fator humano e do valor individual que este preza, tornando suas avaliações de caráter menos quantitativo que os outros serviços, cujas quantificações são independentes desses atributos. Outras dificuldades encontradas quando se trata desses serviços são a falta de clareza conceitual e o mapeamento das provisões e não dos benefícios (MILCU et al., 2013; LA ROSA; SPYRA; INOSTROZA, 2016). Portanto, correlacionar indicadores com serviços específicos é um desafio prático. Apesar disso, Costanza et al. (2014) defendem que a reformulação da relação homem-natureza é

possivelmente a maior contribuição do conceito de serviços ambientais e compreendê-lo realça a conexão entre recursos naturais como componentes críticos para sustentabilidade, bem estar humano e distribuição de riqueza.

Esse trabalho busca usufruir do conceito de serviços ecossistêmicos para poder facilitar a comunicação de resultados sobre qualidade de água dos córregos urbanos de São Carlos (SP) para fora da academia. Dessa forma, busca-se aproximar ciência e sociedade de uma forma que seja compreendido o que está sendo estudado, sem que necessariamente uma linguagem científica seja aplicada que possa afastar as partes interessadas, e poder facilitar o engajamento na participação para a conservação da qualidade ambiental.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo principal dessa pesquisa foi avaliar de maneira qualitativa e quantitativa alguns serviços ecossistêmicos desempenhados por cursos d'água no município de São Carlos (SP), considerando a relevância de tais ambientes para o equilíbrio ecológico e os múltiplos usos pela população, como subsídio para a gestão de recursos hídricos. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i) Avaliar os serviços ecossistêmicos desempenhados pelos córregos Tijuco Preto e Santa Maria do Leme por levantamento de dados primário de campo, além de compilar dados secundários (e.g. entrevistas, fitoplâncton) que também auxiliem nessa análise;
- ii) Investigar se existem diferenças nos serviços analisados em duas sub-bacias hidrográficas com diferentes padrões de uso e ocupação do solo, sendo uma delas predominantemente urbana (Tijuco Preto) e a outra, majoritariamente agrícola (Santa Maria do Leme);
- iii) Analisar a percepção de transeuntes nos pontos de amostras das sub-bacias a respeito dos serviços ecossistêmicos pelos sistemas aquáticos por entrevistas.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Serviços Ambientais

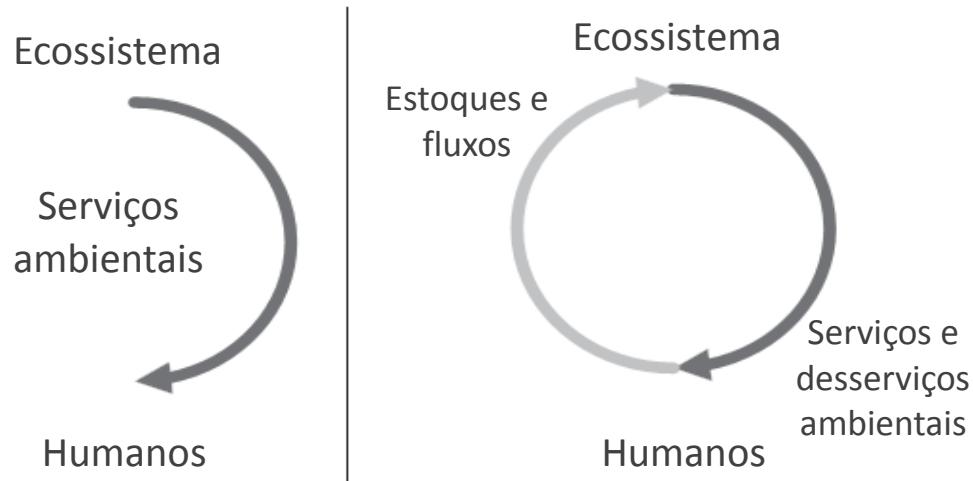
Odum (1971), em sua definição clássica, apresenta ecossistema como o sistema de área claramente definida que interage com o meio físico, possui estruturas de fluxo de energia e matéria, é biodiverso e composto por comunidades de organismos. A definição ainda assegura que existe uma inerente conexão entre os fatores bióticos e abióticos. Concomitantemente, de acordo com o relatório da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (HASSAN; SCHOLES; ASH, 2005), ecossistema pode ser também definido como “*um complexo dinâmico de comunidades de microrganismos, plantas e animais em um ambiente ‘não vivo’, interagindo como uma unidade funcional*”. Complementando essa definição, o relatório salienta que os seres humanos são parte integrante dos ecossistemas, sendo componente fundamental dos ecossistemas.

Devido a todas essas interações entre agentes bióticos e abióticos, os ecossistemas acabam por fornecerem o que é definido por serviços ecossistêmicos (ou serviços ambientais), responsáveis por beneficiarem os seres humanos (HASSAN; SCHOLES; ASH, 2005). Estes serviços são de **suporte** (responsáveis pela funcionalidade dos outros serviços); **regulação** (e.g. qualidade do ar e clima); **provisão** (e.g. fibras, alimentos e combustíveis) e **culturais** (e.g. recreação, enriquecimento espiritual, reflexão, aspectos estéticos e desenvolvimento cognitivo).

Costanza et al. (1997) estimaram o valor global desses serviços e chegaram a um valor médio de US\$ 33 trilhões por ano na época - bastante próximo aos resultados dos trabalhos de Alexander et al. (1999), Costanza e Hannon (1989) e Costanza e Neil (1981) que usaram metodologias distintas. Os autores ainda afirmam que esse valor podia estar subestimado devido a algumas imperfeições e dificuldades na metodologia, como não conseguir abranger alguns serviços e não ter sido possível valorar alguns ecossistemas (e.g. desertos); os valores se basearem na ‘disposição a pagar’ dos indivíduos e estes poderem ter suas preferências não fundamentadas em aspectos ecologicamente sustentáveis e socialmente justos; aspectos intrinsecamente econômicos da valoração, entre outros (COSTANZA et al., 1997).

O conceito de serviços ambientais, no entanto, não é recente. Barnaud e Antona (2014) e Norgaard (2010) relembram como esse conceito na verdade começou como uma metáfora no final da década de 70 a fim de se ganhar consciência da degradação ambiental, e que aos poucos ganhou peso científico de economistas ambientais e ecológicos e biólogos conservacionistas. Raymond et al. (2013) analisam como o conceito de serviços ecossistêmicos tem origem de uma metáfora de produção econômica. Nessa metáfora, existe apenas o fluxo dos ecossistemas beneficiando os seres humanos, sem que estes tenham um efeito sobre os ecossistemas. No entanto, de acordo com os autores, ela foi expandida para um conceito de “produção de ciclo fechado” de forma a melhor representar uma abrangência de atividades humanas e valores que podem melhorar ou degradar os ecossistemas dos quais elas dependem. Por fim, sugerem implicitamente que os ecossistemas são entidades que podem ser degradadas, mantidas, restauradas ou melhoradas por humanos e que o aprendizado, a adaptação e transformação em relações humanas com o meio ambiente são aspectos que demandam tempo (Figura 1).

**Figura 1.** Funcionamento esquemático das metáforas de produção econômica (esquerda) e ciclo fechado (direita) a respeito dos serviços ambientais



Fonte: Adaptado de Raymond et al. (2013)

Contudo, o conceito carrega algumas falhas e críticas. Schröter et al. (2014) abordam sobre o assunto com uma síntese das sete principais críticas ao conceito (filtradas a partir de toda a literatura sobre o assunto e de discussões com pesquisadores de diversas áreas), descrevendo-as, refletindo sobre elas e também trazendo os contra argumentos. As principais críticas estão relacionadas aos seguintes fatores: ética ambiental; relação homem – natureza; conflitos com o conceito de biodiversidade; valoração de serviços ecossistêmicos; comodificação e pagamento por serviços ambientais; vaguidade e suposições otimistas e intuições normativas (Quadro 1).

**Quadro 1.** Visão geral dos sete pontos de críticas sobre o conceito de serviços ambientais, contra-argumentos e perspectivas

Crítica	Argumentos	Contra-argumentos	Perspectivas
Ética ambiental	O conceito de serviços ambientais (SA) exclui o valor intrínseco da natureza A conservação da natureza deve ser baseada em valores intrínsecos ao invés de antropogênicos	O conceito de SA agrupa argumentos antropogênicos válidos Os serviços culturais incluem valores intrínsecos, como o valor de existência	A concepção antropogênica pode ser usada para uma argumentação abrangente a favor da conservação e uso sustentável dos ecossistemas Um forte reconhecimento de aspectos de existência dentro dos serviços culturais pode reunir diferentes visões do mundo inteiro
Relação homem-natureza	O foco pode promover uma relação exploradora entre homem-natureza Pode entrar em conflito com perspectivas holísticas de povos indígenas	O conceito pode reconectar a sociedade com a natureza Valores não-materiais podem ser abrangidos pelos serviços culturais para incluir valores e necessidades das pessoas	O conceito oferece uma “plataforma” para reunir pessoas e suas diferentes visões e interesses Atenção é requerida para ir além da visão ocidental do conceito
Conflitos com o conceito de biodiversidade	O conceito pode substituir a proteção da biodiversidade como objetivo de conservação Não existem evidências conclusivas de uma relação “win-win” entre biodiversidade e SA SA podem não salvaguardar biodiversidade, mas sim tirar atenção e recursos	Existem sobreposições conceituais entre biodiversidade e SA Existem crescentes evidências fortes de que biodiversidade sustenta as funções ambientais que viabilizam os SA Iniciativas atuais baseadas em SA levaram a perspectivas maiores em gestão territorial e conservação	Inclusões indiretas de biodiversidade em diversas categorias de serviços podem construir o caminho para potenciais cenários “win-win” Futuras pesquisas e monitoramentos são necessários para esclarecer as relações entre biodiversidade e AS
Valorização dos serviços ambientais	O conceito compreende uma concepção econômica Avaliações de serviços ambientais frequentemente envolvem valorização econômica	A valoração monetária proporciona informação adicional nos processos de tomada de decisão Avaliações de SA não necessariamente envolvem valoração – que não necessariamente envolve monetização	Desenvolver indicadores de valores biofísicos e socioculturais dos SA para explicar relações homem-natureza
Comodificação e pagamento por serviços ambientais	A abordagem dos serviços é baseada na suposição que os pagamentos por SA assegurarão suas provisões	Avaliar SA em termos monetários não é necessariamente igual a usar instrumentos de mercado	Focar em abordagens de SA que incluam instrumentos que não sejam de mercado
Vaguidade	O conceito tornou-se um termo muito abrangente devido a diversas definições vagas.	Imprecisão no conceito de SA pode estimular criatividade e refinamento de definições O uso do conceito pode facilitar múltiplos atores sociais a interagirem sem consenso na precisão do significado e pode alimentar pesquisas interdisciplinares	SA oferecem uma base comum para debate e progresso metodológico em diferentes áreas científicas O uso do conceito pode construir conexões entre ciência e prática, permitindo abordagens integradas e transdisciplinares para resolver problemas complexos
Suposições otimistas e intuições	O conceito é muito otimista Os produtos dos ecossistemas podem nem	Terminologias demonstram as otimistas dos positivas intenções interesses	Cientistas precisam ser explícitos e transparentes sobre se as intenções das pesquisas e as informações fornecidas são

normativos	sempre serem benéficos para os seres humanos	científicos SA é um dos vários conceitos normativos usados na ciência ambiental O valor total de liberdade é impossível para ciência embutida em contextos socioculturais	normativas Cientistas da área de SA são desafiados a encontrar maneiras para considerarem sistematicamente suposições e percepções implícitas de partes interessadas e profissionais sobre SA e valores que estejam conectados
------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Adaptado de Schröter et al. (2014)

As mudanças ambientais enfrentadas atualmente são consequências da metáfora de ciclo fechado dos serviços ambientais. Esta metáfora assume, implicitamente, que humanos e ecossistemas são entidades distintas que engajam em relações de benefícios e prejuízos (RAYMOND et al., 2013) causados por mudanças no ecossistema por algum agente de mudança - humano ou natural - que altera o ecossistema, direta ou indiretamente. Os agentes diretos influenciam os processos ambientais de forma explícita (fatores físicos, químicos e biológicos de forma geral) e os indiretos alteram um ou mais agentes diretos, mas de forma mais difusa (demografia, economia, sociopolítica, cultura e religião e ciência e tecnologia) (NELSON, 2005). Logo, é necessário que essas mudanças sejam quantificadas por indicadores, a fim de que as necessidades para ações de monitoramento e gestão dessas mudanças sejam corretamente informadas.

No entanto, a mensuração dos serviços ambientais é um desafio prático, em que existe uma demanda pelo desenvolvimento de uma série de indicadores comprehensivos capazes de refletir a complexidade dos serviços analisados, ao mesmo tempo em que podem ser facilmente aplicados (MÜLLER; BURKHARD, 2012). Egoh et al. (2012) afirmam que os serviços de provisão são os mais comuns de serem quantificados, enquanto que serviços culturais, de suporte e regulação não. Os serviços culturais são os que encontram maiores dificuldades de quantificação devido à forte relação com o fator humano e respectivo valor individual, além da falta de clareza conceitual e o mapeamento de provisões dos serviços ao invés dos seus benefícios – portanto, tem um caráter analítico mais qualitativo (MILCU et al., 2013; NAHUELHUAL et al., 2014; LA ROSA; SPYRA; INOSTROZA, 2016). Por fim, a Common International Classification of Environmental Services (CICES, 2017), em sua categorização dos serviços para fins da padronização, apenas considera os serviços de regulação,

provisão e culturais. Sua justificativa para não considerar os serviços de suporte é de que estes são considerados como permeadores das funções, estruturas e processos ambientais e, portanto, usados de forma indireta pelos outros serviços. Dessa forma, ao quantificá-los, os de suporte estão sendo também medidos, mas de forma subentendida.

Apesar das críticas e limitações, o conceito de serviços ecossistêmicos é visto como uma nova ferramenta que pode auxiliar na mitigação da degradação ambiental. Os agentes de mudança vêm causando prejuízos não somente ambientais, mas também econômicos: Costanza et al. (2014) estimou que, com as mudanças do uso e ocupação de solo de forma global, causaram uma desvalorização dos serviços ecossistêmicos dentre US\$4.3 e \$20.2 trilhões/ano, entre 1997 e 2011. Lamarque; Quétier; Lavorel (2011) e Reid et al. (2006) argumentam que a aplicação do conceito tem se mostrado positivo na comunicação, para diferentes partes interessadas, dos benefícios para conservação. Consequentemente, aplicações têm sido vistas em contextos de gestão de recursos tais quais: pagamentos por serviços ecossistêmicos, guias estratégicos para políticas públicas; definição de prioridades em avaliações multicritérios e métodos de contabilidade sustentável (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008; NELSON et al., 2009; WORLD BANK, 2009). Contudo, os dois maiores desafios na sua aplicação em políticas públicas, de acordo com tomadores de decisão, ainda são a questão da valoração em diferentes escalas, como enfrentado por Costanza et al. (1997, 2014) e *trade-offs* entre serviços (HAUCK et al., 2013).

### **3.2 Recursos hídricos continentais: serviços e desafios**

A água doce pode ser considerada um serviço de provisão, que advém de uma categoria denominada pelo relatório de Avaliação Ecossistêmica do Milênio como águas continentais (que incluem lagos, lagoas, rios, pequenos córregos, pântanos, charcos, planícies de inundação e águas de cavernas) (Quadro 2), e é responsável por permitir o uso doméstico, irrigação, hidroeletricidade e transporte hidroviário. No entanto, concomitantemente, água doce e o ciclo hidrológico são responsáveis por

sustentarem ecossistemas aquáticos como pântanos, rios e lagos, e costeiros como mangues, áreas intermarés e estuários – portanto acabam por funcionarem como “ecossistemas” que também fornecem seus próprios serviços para manutenção do equilíbrio terrestre e benefício humano (Quadro 3). O mesmo relatório explica que o ciclo hidrológico tem uma participação tão crucial para o sistema terrestre (química, biológica e climática), que é difícil classificá-lo em um dos serviços (AYLWARD et al., 2005; VOROSMARTY et al., 2005). No entanto, assim como acontece com a maioria dos outros ecossistemas, os seus serviços de provisão são os mais conhecidos e documentados devido a sua maior visibilidade nas atividades humanas.

**Quadro 2.** Serviços ambientais fornecidos ou derivados de águas continentais

Serviços	Comentários e Exemplos
<b>Provisão</b>	
Comida	Produção de peixes, caça, frutas, grãos, etc.
Água doce	Estoque e retenção de água para usos doméstico, industrial e agricultura
Fibras e combustíveis	Produção de madeira, lenha, turfa, forragem
Bioquímico	Extração de materiais da biota
Materiais genéticos	Remédios, genes para resistência de pestes vegetais, espécies ornamentais, etc.
Biodiversidade	Variedade de espécies e genes
<b>Regulação</b>	
Regulação climática	Gases estufa, temperatura, precipitação e outros processos climáticos; composição química da atmosfera
Fluxos hidrológicos	Recarga e descarga de águas subterrâneas, estoque de água para agricultura ou indústria
Controle da poluição e desintoxicação	Retenção, recuperação e remoção de nutrientes e poluentes em excesso
Erosão	Retenção de solos
Perigos naturais	Controle de enchentes, proteção de tempestades
<b>Culturais</b>	
Espiritual e inspiração	Sentimentos pessoais e bem estar
Recreacional	Oportunidades para atividades recreativas
Estético	Apreciação da natureza
Educacional	Oportunidades de educação formal e informal e treinamentos
<b>Supor te</b>	
Formação de solos	Retenção de sedimentos e acumulação de matéria orgânica
Ciclagem de nutrientes	Estoque, reciclagem, processamento e aquisição de nutrientes
Polinização	Supporte para polinizadores

Fonte: Adaptado de Finlayson e D'Cruz (2005)

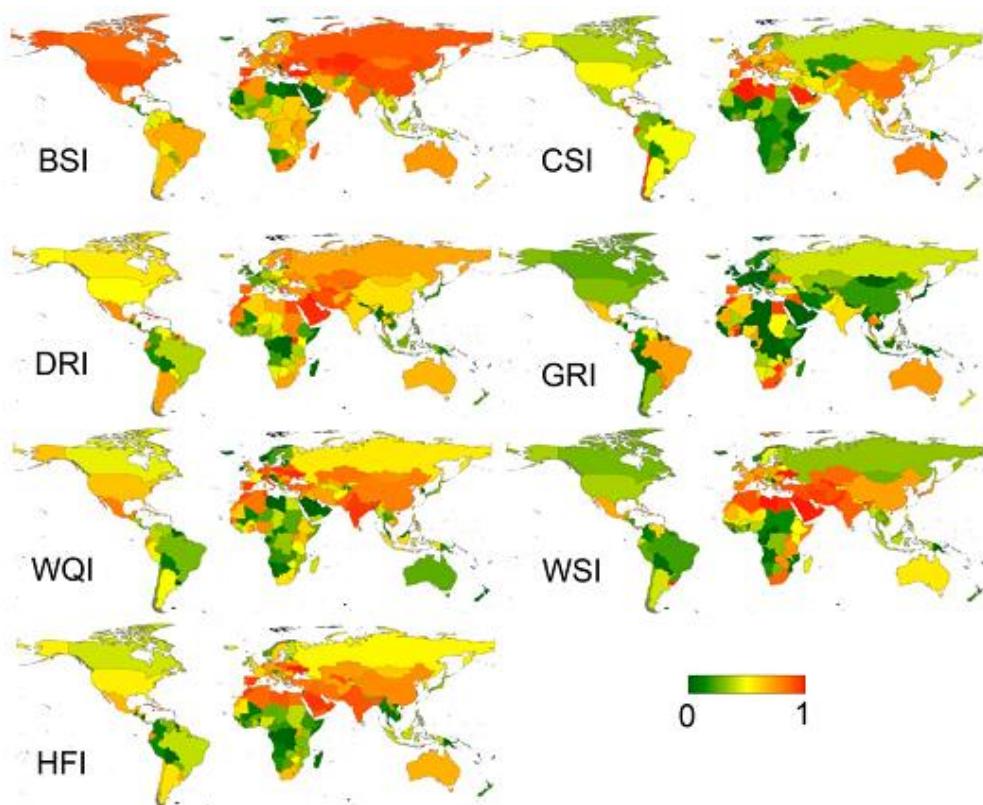
**Quadro 3.** Serviços fornecidos pelas águas doces e ciclo hidrológico

<b>Provisão</b>	<b>Regulação</b>	<b>Culturais</b>
• Água (quantidade e qualidade) para uso consuntivo (beber e usos doméstico, industrial e agricultura)	• Manutenção da qualidade da água (filtração natural e tratamento da água)	• Recreação (rafting, caiaque, caminhadas e pesca esportiva)
• Água para uso não consuntivo (geração de energia e transporte/navegação)	• Amortecimento de fluxos de enchente, controle de erosão através de interações água/terra e infraestrutura para controle de enchentes	• Turismo (apreciação visual)
• Organismos aquáticos para consumo e remédios		• Valores existenciais (satisfação pessoal por rios naturais)
<b>Suporte</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papel na ciclagem de nutrientes (papel na manutenção da fertilidade das várzeas), produção primária</li> <li>• Relações presa/predador e resiliência ecossistêmica</li> </ul>		

Fonte: Adaptado de Aylward et al. (2005)

O uso da água para múltiplas finalidades já é uma prática antiga, uma vez que sempre foi usada para limpeza, disposição de dejetos e transporte – o que acabou por determinar de forma permanente “as propriedades físicas, biológicas e químicas do escoamento global” (VOROSMARTY et al., 2005). Sendo assim, a qualidade da água acaba por ser relativa à sua finalidade. Por exemplo, para usos recreativos ou para abastecimento humano, os parâmetros de qualidade – e emissão de efluentes – seguem exigências mais restritivas, enquanto que para geração de hidroeletricidade ou transporte, suas exigências são mais brandas (VOROSMARTY et al., 2005). Dodds, Perkin e Gerken (2013) avaliaram o impacto humano global em potenciais serviços ambientais de águas doces (Figura 2), utilizando índices de análise para avaliarem o uso humano sobre os serviços que fossem capazes de indicar o grau de uso das águas doces, e diferentes métodos estatísticos para correlacioná-los com diferentes agentes de impacto.

**Figura 2.** Distribuição dos estresses nos valores relativos dos serviços das águas doces globais. BSI (índice de estresse de biodiversidade), CSI (índice de estresse de commodities), DRI (índice regulação de alterações), GRI (índice de liberação de gases estufa), WQI (índice de estresse de qualidade de água), WSI (índice de estresse de disponibilidade hídrica) e HFI (índice de impacto humano nas águas doces) . A escala está de 0 (baixo estresse) a 1 (alto estresse)



Fonte: Dodds, Perkin e Gerken (2013)

Percebe-se pela Figura 2 que dependendo do índice, o nível de estresse mudou nos países. Por exemplo, o Brasil apresentou baixos estresses de regulação de alterações (DRI), qualidade da água (WQI) e disponibilidade hídrica (WSI), no entanto, apresentou um estresse de médio a alto quanto à biodiversidade (BSI), commodities (CSI) e liberação de gases estufa (GRI). Dessa forma, seu desempenho quanto ao índice de impacto humano nas águas doces (HFI) foi aparentemente de médio a baixo estresse, enquanto que os países que apresentaram maior estresse no índice foram no norte da África, Oriente Médio, Sudoeste Asiático e alguns países europeus. Em média, o HFI foi de 16%, sendo que os países sul americanos, subsaarianos e alguns do sudeste asiático e Oceania foram os que apresentaram valores próximo a zero, portanto, de baixo estresse.

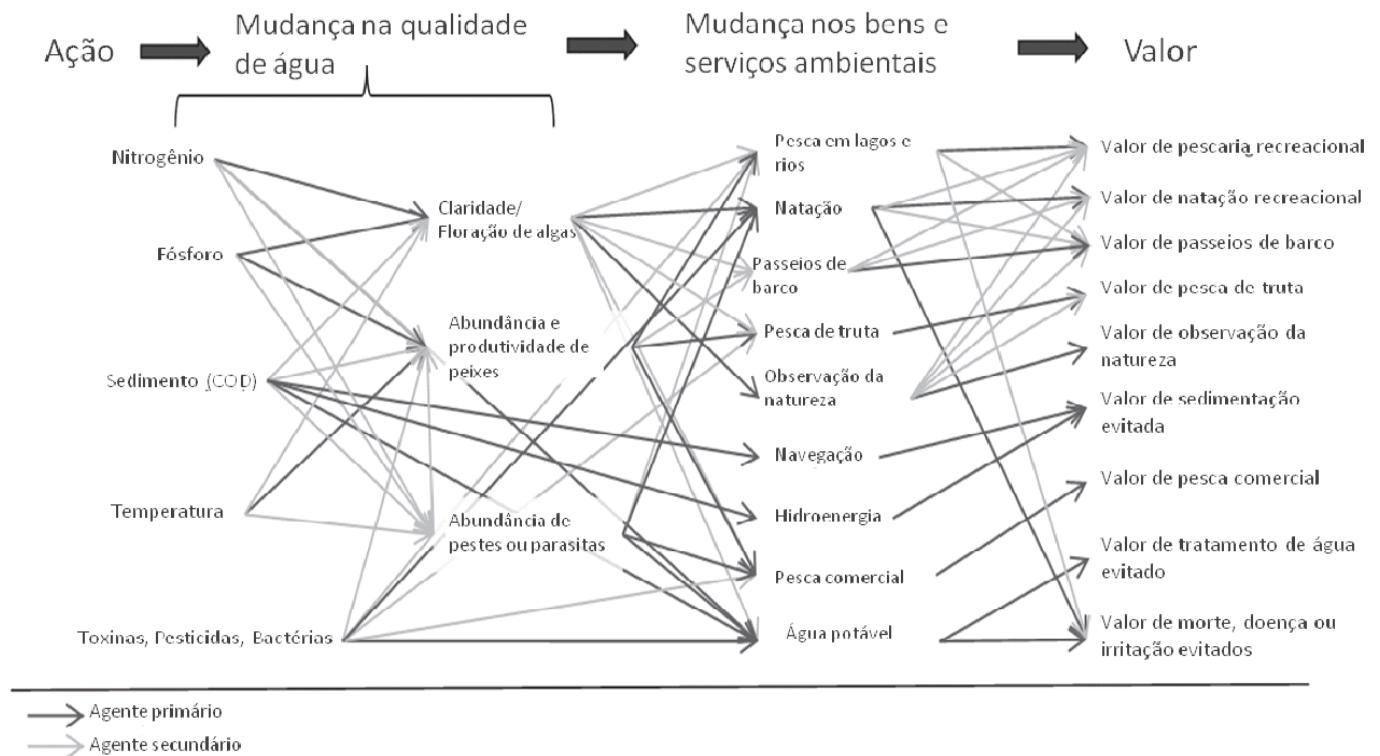
A qualidade de água é um indicador do resultado de serviços intermediários (i.e. controle de erosão e purificação da água) ou um fator determinante para outros serviços. É uma informação valorizada pelo público e também cada vez mais demandada pelos tomadores de decisão (KEELER et al., 2012) e para integrar serviços ambientais nos processos de decisão, é necessário conectar processos ecossistêmicos com mudanças no bem estar humano (BATEMAN et al., 2011). Isso é em especial importante para serviços aquáticos, pois esses são muito dependentes do local onde estão sendo gerados e consumidos – e beneficiários dos serviços à montante podem impactar a provisão de serviços aos beneficiários à jusante (BRAUMAN et al., 2007; LAUTENBACH et al., 2012).

Estudos que abordam serviços ambientais costumam ter viés mais econômico, enquanto que estudos de qualidade de água costumam se restringir a análise de parâmetros e limites estabelecidos e consequência para gerenciamento de recursos hídricos. No entanto, trabalhos que buscam relacionar de forma direta indicadores de qualidade de água a serviços desempenhados por corpos hídricos ainda são escassos. Ringold et al. (2009) realizaram um workshop que buscou determinar indicadores de serviços ambientais voltados para córregos. Alguns levantados estão relacionados aos indicadores consolidados de qualidade de água como temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez, e patógenos. Keeler et al. (2012) relacionaram indicadores de qualidade de água com serviços de corpos hídricos (Figura 3), com o objetivo de estabelecer uma abordagem de avaliação e valoração de serviços ambientais relacionados à qualidade de água.

O único estudo direcionado encontrado que fez relação de indicadores de qualidade de água com serviços ambientais hídricos foi de Alam et al. (2017), no Pantanal Shitalakka, em Bangladesh. O estudo utilizou parâmetros de qualidade de água relevantes para esse tipo de ecossistema, como pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez, nitratos, nitritos, fosfatos, metais, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais dissolvidos e carbono orgânico dissolvido. Os autores observaram que a maioria dos parâmetros teve uma correlação significativa entre si, e estavam acima de padrões de qualidade estabelecidos pelo governo de Bangladesh,

Organização Mundial da Saúde e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Alguns dos serviços prejudicados pela qualidade comprometida das águas do pantanal foram a pesca, banho, potabilidade, aspectos estéticos (que consequentemente afetam turismo e recreação) e até mesmo atividades religiosas que estivessem conectadas com as águas do ecossistema (ALAM et al., 2017).

**Figura 3.** Relações entre mudanças na qualidade de água, diversos bens e serviços ambientais e mudanças associadas a valores. O esquema ressalta os serviços mais importantes e que são mais frequentemente mensurados.



Fonte: Adaptado de Keeler et al. (2012)

A observação crítica da realidade de uso e ocupação de solo onde os recursos hídricos estão inseridos surge como um complemento à avaliação de serviços ambientais hídricos e qualidade de água. O uso e ocupação do solo é um parâmetro secundário comumente utilizado em estudos de serviços ambientais de forma geral - uma vez que estes são difíceis de serem diretamente mensurados (BENNETT; PETERSON; GORDON, 2009). Pode ser aplicado na avaliação de serviços como prevenção de erosão, regulação da qualidade do ar, regulação climática, provisão de

alimentos, recursos genéticos, inspiração para arte, cultura e design, manutenção de diversidade genética e fertilidade do solo e recursos medicinais (EGOH et al., 2012).

Existem vantagens e desvantagens no uso desse tipo de indicador secundário. Bennett, Peterson e Gordon (2009) afirmam que ao examinar como a provisão dos serviços ambientais mudam com a categoria de uso e ocupação, é possível filtrar informações sobre a relativa influência de agentes sociais e ecológicos. Decisões sobre ações de manejo relacionadas a uso e ocupação de solo possuem o potencial de afetar a fonte e transporte de diferentes tipos de contaminantes ou constituintes de qualidade de água (BENNETT; PETERSON; GORDON, 2009). No entanto, Ellis e Ramankutty (2008) afirmam que sistemas atuais de classificação de uso e ocupação do solo simplificam de forma substancial a influência antrópica na paisagem. Complementarmente, Naidoo et al. (2008) afirmam que relações entre uso e ocupação do solo com a provisão dos serviços são amplamente “não testadas” para a maioria dos serviços em grande parte do mundo.

Contudo, as mudanças no uso e ocupação do solo tem sido causada pelas demandas das atividades humanas e, atualmente, a urbanização do meio natural é um fenômeno global difuso que tem crescido de forma significativamente rápida (PAUL; MEYER, 2001; ZHANG, 2016). Enquanto que no começo do século IX, apenas 2% da população mundial vivia em áreas urbanas, em 2014 mais da metade da população mundial (54%) já vivia em cidades e até 2050, espera-se que essa proporção cresça para 72% (ZHANG, 2016). Nesse contexto de rápida mudança da paisagem, o número de rios que drenam bacias urbanizadas tem aumentado e deverá continuar a crescer (MEYER; PAUL; TAULBEE, 2005) – e isso é um fato importante, pois são particularmente vulneráveis aos impactos associados às mudanças de uso e ocupação do solo (WALSH et al., 2005).

Um aspecto dominante da urbanização é a diminuição da permeabilidade da bacia à precipitação, culminando no aumento do escoamento superficial (DUNNE; LEOPOLD, 1978). Adicionalmente, corpos hídricos em áreas urbanas podem sofrer de um fenômeno chamado Síndrome do Córrego Urbano (*Urban Stream Syndrome*), caracterizado por alterações na morfologia e estabilidade dos canais, menor

quantidade de córregos de menor ordem, mudanças na hidrografia (rios com menor tempo de residência), concentrações elevadas de contaminantes e nutrientes, e queda na biodiversidade com maior presença e dominância de espécies tolerantes (PAUL; MEYER, 2001; WALSH et al., 2005).

O comprometimento da qualidade da água em áreas urbanas é comumente causado por fontes pontuais e difusas de poluição (CHEN et al., 2016). No contexto brasileiro, cerca da metade do esgoto é coletado e apenas 42,67% deste é tratado (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017), o que torna as fontes pontuais ainda extremamente relevantes para a poluição hídrica no país. Já na poluição difusa, intensificada pela impermeabilização do solo, poluentes são carreados e aumentam as concentrações de partículas, nutrientes e metais nos córregos urbanos (ARNOLD; GIBBONS, 1996; LI et al., 2012; SONODA; YEAKLEY; WALKER, 2001; WANG et al., 2008)

Alguns estudos fizeram relações entre qualidade de água e o uso e ocupação do solo circundantes. Apesar de dados limitados globais sobre uso e ocupação do solo, Castilla et al. (2015) notaram que corpos hídricos com altas porcentagens de agricultura e superfícies artificiais ao seu redor favoreceram uma maior densidade de fitoplâncton. Chen et al. (2016), em estudo espaço-temporal em quatro bacias hidrográficas com diferentes níveis de urbanização de Pequim (China) mostraram, por exemplo, que florestas exibiram correlação positiva com a qualidade de água com uma zona tampão de 200 m, enquanto que pastagens e áreas impermeáveis afetaram de forma significativa a qualidade da água com uma zona-tampão de 800 m. Porém nenhum dos dois estudos abordou com a perspectiva dos serviços ambientais. Alam et al. (2017) analisaram mudanças espaço-temporais na qualidade da água na região do Pantanal Shitalakka de 1993 a 2014 e perceberam que as mudanças no uso e ocupação do solo afetaram a provisão de serviços do ecossistema. A urbanização não planejada foi uma das ameaças identificadas – o que não foi observado 20 anos antes.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

Essa pesquisa foi desenvolvida nas sub-bacias dos córregos Santa Maria do Leme (conhecido também como Santa Maria Madalena) e Tijuco Preto, integrantes da bacia hidrográfica do rio Monjolinho, no município de São Carlos (SP). Ambos os córregos são enquadrados na classe 2, de acordo com a Resolução CONAMA Nº 357/2005 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), 2005) (Figura 4).

**Figura 4.** Seção do mapa hidrográfico das águas interiores do Estado de São Paulo da UGRHI 13 conforme o decreto 10.755/77. A hidrografia, em azul, representa os corpos d'água enquadrados como Classe 2, em amarelo Classe 3 e em vermelho Classe 4.



Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2017)

O município possui uma área de, aproximadamente, 1.137 km<sup>2</sup> e população de 221.950 habitantes, segundo dados do último censo de 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). A área urbanizada da cidade representava 96% da total em 2014 e com um crescimento populacional anual (em taxa geométrica) de 0,98% a.a. entre 2010 e 2016. Em questão de infraestrutura urbana (coleta de resíduos sólidos, abastecimento de água e coleta de esgoto), quase 100% da população do município é atendida (99,9%; 99,66%; 99,43%, respectivamente, considerando dados de 2010). (FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS, 2017; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). O

município localiza-se parcialmente nas bacias hidrográficas do Tietê-Jacaré (UGRHI 13) (Figura 5) e do Mogi Guaçu (UGRHI 9).

A bacia do rio Monjolinho está, em sua maioria, inserida no município de São Carlos, localizada a cerca de 240 km de São Paulo, e dentro da UGRHI 13 (Figura 6). Possui 14 sub-bacias, sendo as de interesse dessa pesquisa as dos córregos Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, que possuem ocupações de solo distintas: a primeira sendo majoritariamente rural e a segunda totalmente urbanizada.

A sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme possui uma área de 10,89 km<sup>2</sup>, com cerca de 6,53 km<sup>2</sup> desta de ocupação rural, e o córrego principal possui 4,6 km de extensão (FELÍCIO, 2014) (Figura 7). A bacia está localizada na Zona 4a prevista pelo Plano Diretor do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 2005), em que se orienta uma urbanização controlada ligada à malha urbana já existente. Parte da sua foz já se encontra urbanizada, a área de montante é cortada pela Rodovia Washington Luiz, e ao longo do córrego principal por estradas e alguns loteamentos (FELÍCIO, 2014). De forma geral, a bacia já se encontra em nível avançado de degradação (JUNQUEIRA; SILVA, 2006).

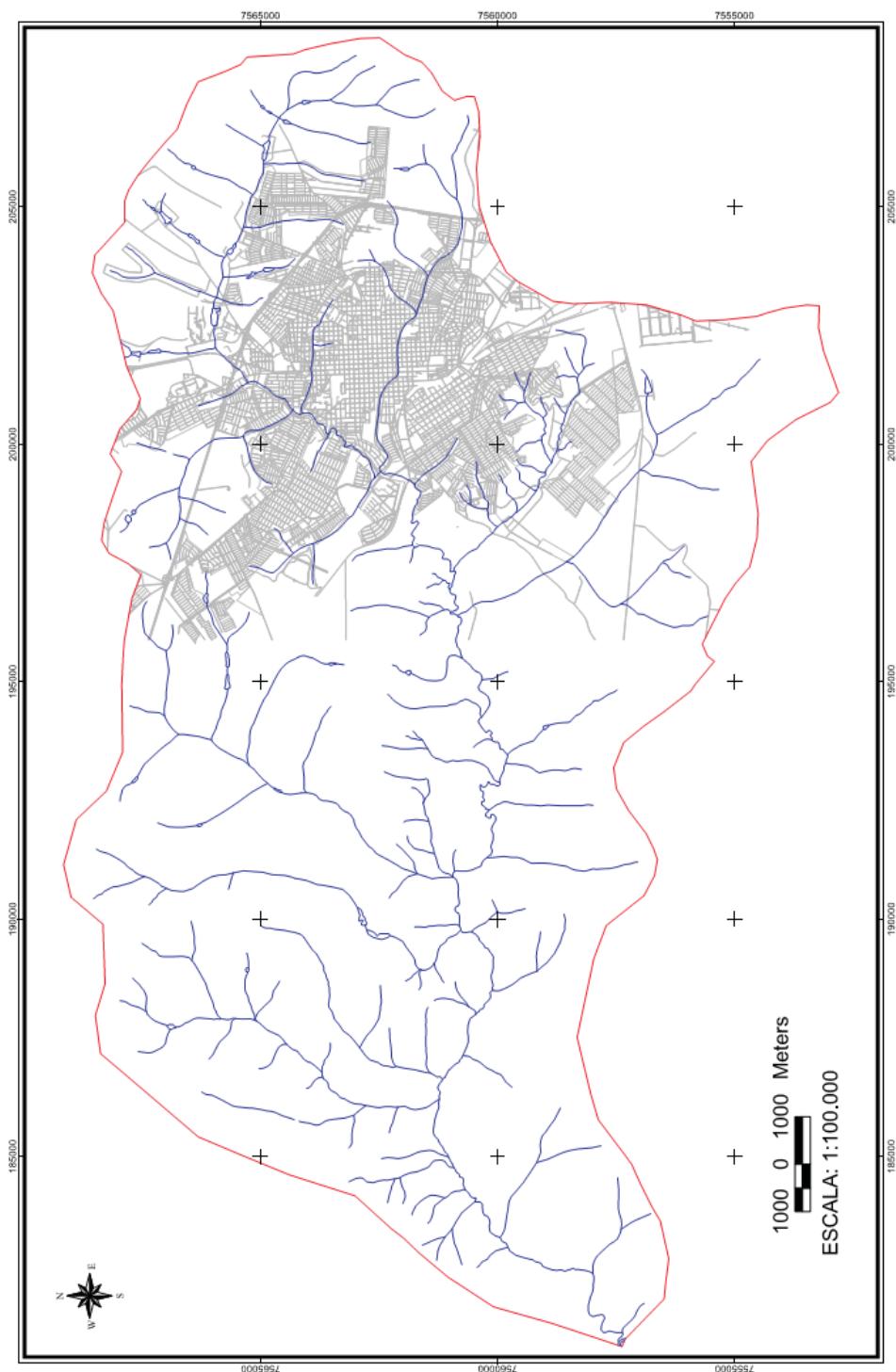
**Figura 5.** Localização da UGRHI 13, na qual a bacia hidrográfica do rio Monjolinho está inserida



Fonte: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (2015)

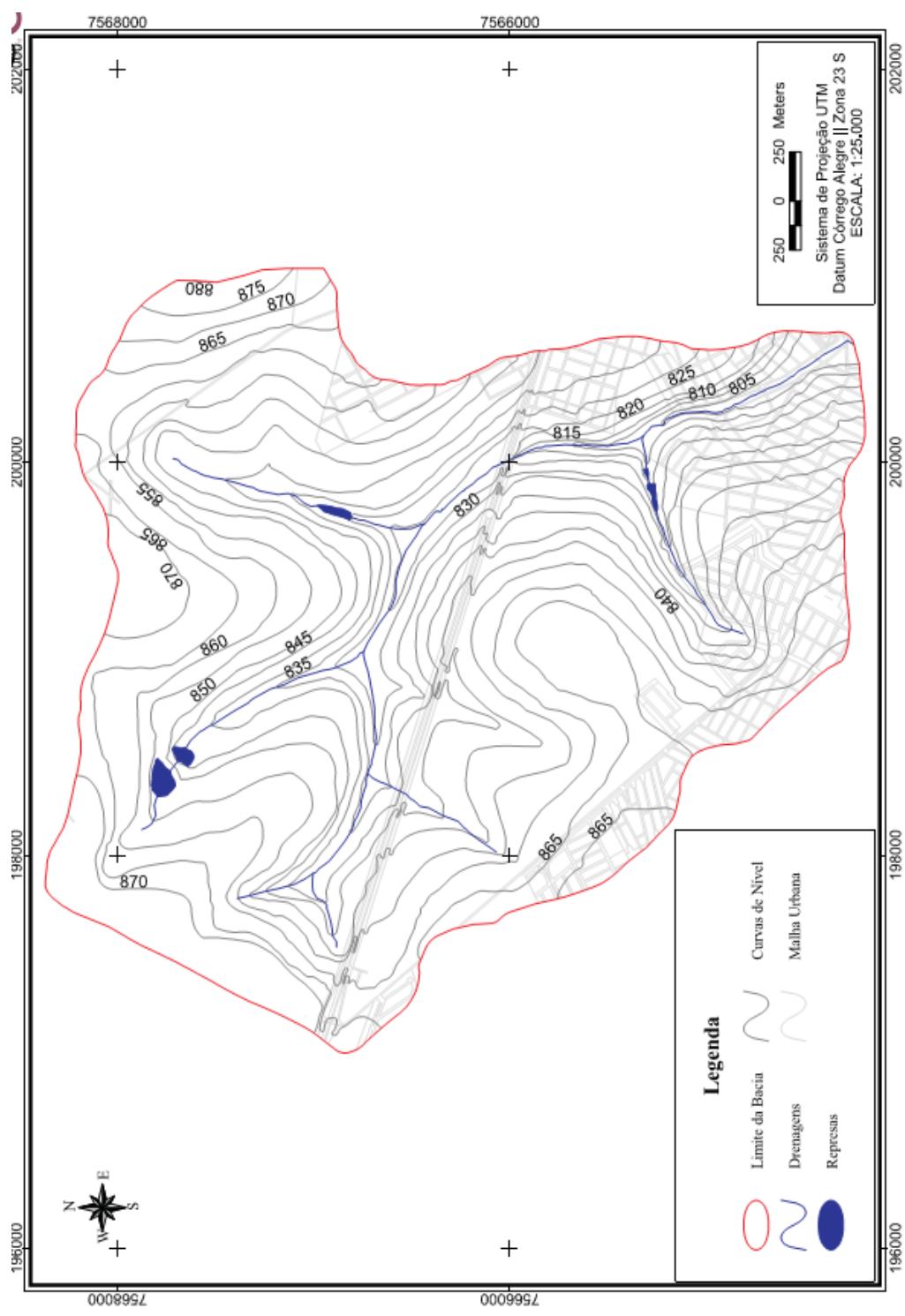
A sub-bacia do córrego do Tijuco Preto tem 2,31 km<sup>2</sup> de área, dos quais 50% já estava impermeabilizada em 1998 (TARPANI, 2008) (Figura 8). O córrego é considerado uma área especial de interesse ambiental pelo Plano Diretor, o qual, entre outros, é constituído por ‘porções do território destinadas a proteger e recuperar os mananciais, nascentes e corpos d’água’. A sub-bacia está também inserida nas Zonas 1 e 2 do Plano, que visam ao melhoramento da habitação e da malha viária locais (SÃO CARLOS, 2005).

**Figura 6.** Bacia do Monjolinho, onde as sub bacias do Santa Maria do Leme e Tijuco estão inseridas



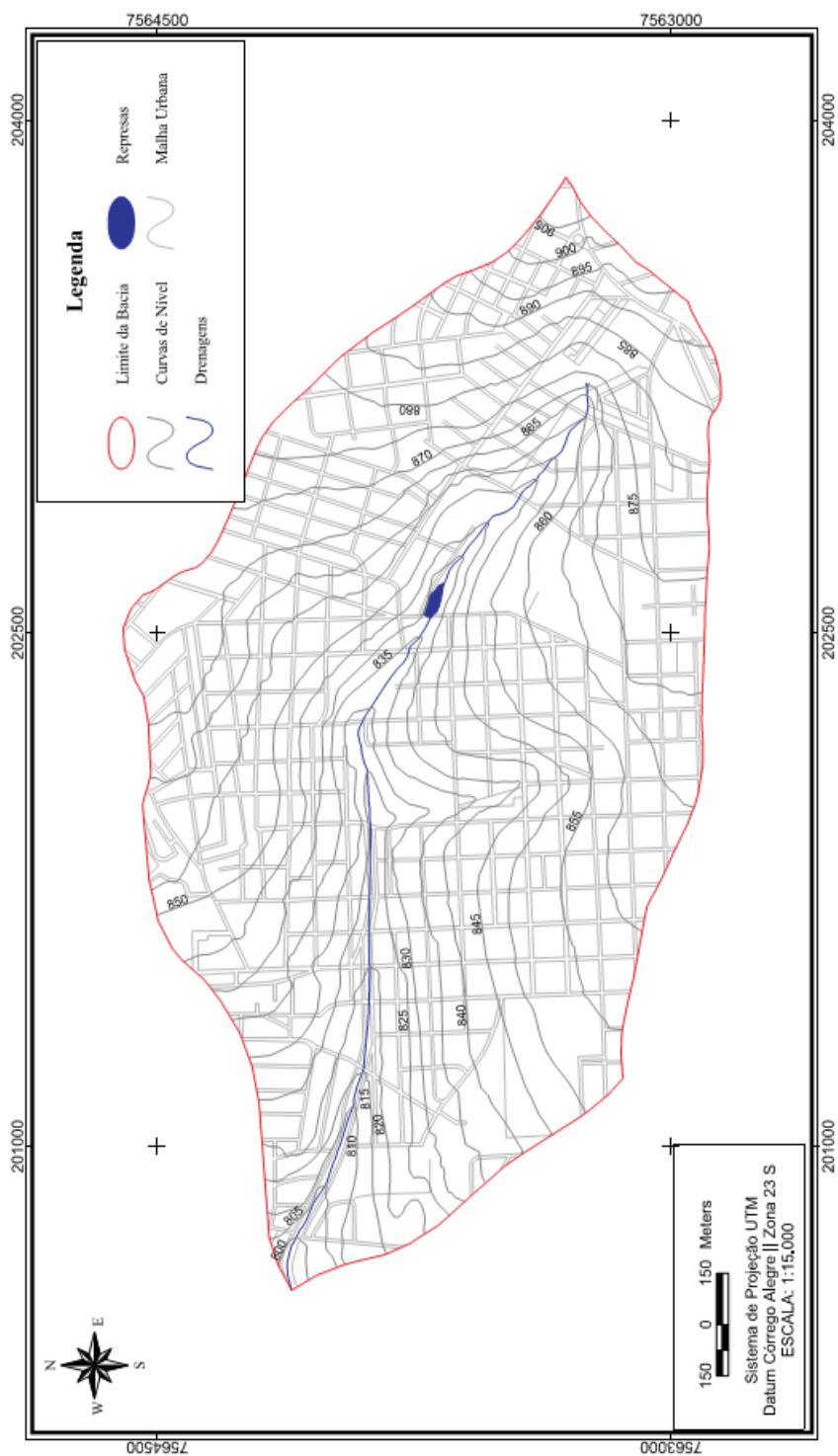
Fonte: Bertazi (2011a)

**Figura 7.** Mapa topográfico da sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme



Fonte: Bertazi (2011b)

**Figura 8.** Mapa topográfico da sub-bacia do córrego Tijuco Preto



Fonte: Bertazi (2011c)

#### **4.2 Mapeamento das formas de uso e ocupação do solo nas sub-bacias**

Com o auxílio da ferramenta QGIS 2.18.10, o mapeamento de uso e ocupação do solo e cálculo das respectivas áreas foram feitos para caracterização de ambas as bacias, a fim de informar os contextos em que os serviços ambientais desempenhados pelos córregos estão inseridos.

Para a elaboração dos mapas, foram utilizados os metadados da base hidrográfica ottocodificada da bacia do Rio Tietê, da Agência Nacional de Águas (2013) e base de municípios do IBGE. Os projetos foram trabalhados na projeção SIRGAS 2000 com escala 1:50.000 e a imagem de satélite usada foi do Google Earth, em formato XML. Mesmo que em projeção diferente (WGS 84/PseudoMercator), este formato do arquivo é uma alternativa para minimizar uma limitação do software quanto à adequação da imagem de satélite para a elaboração dos mapas no sistema de referência cartográfica dos projetos.

Com a localização do município de São Carlos, os metadados das áreas de contribuição (em escala de microbacia) e hidrografia, e um pré-conhecimento da localização dos exutórios e hidrografia das bacias, os polígonos correspondentes às microbacias de cada sub-bacia foram unidos de forma a obter a sub-bacia final. Com os traçados feitos, os mapas de uso de ocupação foram traçados de forma simples, a fim de diferenciar vegetação e área urbana. Por fim, com os diferentes usos identificados e diferenciados, as áreas foram calculadas em hectare (ha) e os mapas exportados.

### 4.3 Indicadores climatológicos, hidrológicos e de qualidade de água

Os serviços ecossistêmicos foram avaliados pelos indicadores descritos no Quadro 4, com suas respectivas justificativas. Os indicadores tiveram como base os documentos Egoh et al. (2012); Ministry for the Environment of New Zealand (1998); Ringold et al. (2009).

**Quadro 4.** Indicadores de serviços ecossistêmicos, suas respectivas descrições de execução, serviços medidos e justificativa de aplicação.

Indicador	Descrição	Serviços estimados				Justificativa
		Suprimento	Regulação	Provisão	Cultural	
Observação da paisagem ao redor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Densiômetro esférico;</li> <li>Visualizações e fotografias em campo ao longo dos córregos principais</li> </ul>	X	X		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indicador primário de uso e ocupação do solo, fornece detalhes da área imediata ao rio que influencia em sua morfologia e qualidade</li> <li>Indicadores secundários: mata ciliar, resíduos sólidos, presença e extensão de leito natural.</li> </ul>
Quantidade de água (vazão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Método do objeto flutuante;</li> <li>Verão e inverno (1 medição/estação)</li> </ul>	X		X		Responsável por determinar a quantidade de água disponível
Coliformes totais, fósforo total e Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coleta de amostras de água em três seções;</li> <li>Análises das amostras no BIOTACE (SHS/EESC/USP);</li> <li>Verão e inverno (1 coleta/estação)</li> </ul>	X	X	X		Indicadores de possível poluição por excrementos (humano ou animal) e esgoto e agricultura ao longo do rio
Temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido (OD), pH e turbidez	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de sonda em três seções;</li> <li>Verão e inverno (1 coleta/estação)</li> </ul>	X	X			Parâmetros básicos de qualidade de água, são responsáveis por determinar solubilidade de nutrientes e estabelecimento de ambiente ótimo para suportar vida aquática

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de imagens de satélite georreferenciadas e do software QGIS® para obter as diferentes porcentagens de formas de ocupação do solo das bacias;</li> <li>• Fotografias em campo ao longo dos córregos principais;</li> </ul>	X	X	X	Influência sobre cargas pontuais e difusas de poluição, e consequentemente o aporte de nutrientes e poluentes aos cursos d'água
<b>Classes de uso do solo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coleta de amostras em três seções;           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análises das amostras no BIOTACE (SHS/EESC/USP);</li> <li>• Verão e inverno (1 coleta/estação)</li> </ul> </li> </ul>	X	X		Bioindicadores específicos de qualidade de água, que podem indicar presença de macronutrientes em excesso, como fósforo e nitrogênio

Fonte: Autoria própria

#### 4.3.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS

Foram coletados dados de temperatura do ar e precipitação em São Carlos dos registros da estações automáticas do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017a), do período 01/08/2016 a 31/07/2017, a fim de caracterizar as condições ambientais básicas nas quais as coletas foram realizadas. Os dados foram tratados de forma a representar a temperatura média e precipitação total de cada mês e foram comparados com a série histórica de normais climatológicas de 1961 a 1990 disponibilizada pelo INMET para o município de São Carlos (INMET, 2017b).

#### 4.3.2 COLETAS

Foram feitas coletas em três pontos em cada córrego (nascente, médio curso e foz) nos meses de Agosto/Setembro de 2016 (inverno) e Fevereiro de 2017 (verão). As Figuras 9 a 14, capturadas pelo Google Earth, mostram a localização dos pontos escolhidos, juntamente com suas respectivas coordenadas geográficas. A Tabela 1 mostra os horários das coletas em cada ponto.

**Figura 9.** Localização da nascente do córrego Santa Maria do Leme (SMN) ( $21^{\circ}58'07.3"S$   $47^{\circ}55'11.3"O$ )



Fonte: Google Earth

**Figura 10.** Localização do médio curso do córrego Santa Maria do Leme (SMMC) ( $21^{\circ}59'40.9"S$   $47^{\circ}54'11.0"O$ )



Fonte: Google Earth

**Figura 11.** Localização da foz do córrego Santa Maria do Leme (SMF) ( $21^{\circ}59'59.3"S$   $47^{\circ}54'01.1"O$ )



Fonte: Google Earth

**Figura 12.** Localização da nascente do córrego Tijuco Preto (TJN) ( $22^{\circ}00'36.3"S$   $47^{\circ}52'32.8"O$ )



Fonte: Google Earth

**Figura 13.** Localização do médio curso do córrego Tijuco Preto (TJMC) ( $22^{\circ}00'19.9"S$   $47^{\circ}52'56.1"O$ )



Fonte: Google Earth

**Figura 14.** Localização da foz do córrego Tijuco Preto (TJF) ( $22^{\circ}00'07.5"S$   $47^{\circ}53'58.6"O$ )



Fonte: Google Earth

**Tabela 1.** Horário das coletas realizadas nas nascentes, médio cursos e foz dos córregos Santa Maria do Leme e Tijucu Preto, no inverno e no verão.

	Inverno		Verão	
	Santa Maria do Leme (23/09/2016)	Tijucu Preto (26/08/2016)	Santa Maria do Leme (06/02/2017)	Tijucu Preto (08/02/2017)
<b>Nascente</b>	08h57	08h30	09h22	08h40
<b>Médio Curso</b>	10h13	9h38	08h34	08h57
<b>Foz</b>	09h36	10h45	08h54	09h10

Fonte: Autoria própria

Em cada ponto, com o auxílio de uma sonda multiparamétrica (modelo HI9829, Hanna®), os valores de pH, temperatura, turbidez, condutividade e oxigênio dissolvido (OD) foram obtidos. Para as análises de fósforo e nitrogênio, foram coletadas amostras de água em garrafas pet de 2 L (previamente lavadas com água deionizada e ácido clorídrico). Parte das amostras foram usadas, primeiramente, para diluição a fim de realizar a análise de coliformes totais e *Escherichia coli* (realizada no mesmo dia de coleta). Aliquotas de 100 mL foram armazenadas em frascos âmbar para a posterior análise do fitoplâncton, preservadas com lugol acético (1%). O restante das amostras foi congelado para posterior análise de fósforo total e nitrogênio total Kjeldahl (NTK) (APHA, 2005).

Por fim, a cobertura vegetal e vazão nos pontos de coletas foram estimadas, respectivamente, com o auxílio de um densíômetro esférico (LEMMON, 1956; LEMMON, 1957), e a partir da média de três medições de largura e profundidade com uma trena e do tempo cronometrado para um objeto flutuante ao percorrer uma distância determinada (ALMEIDA JUNIOR et al., 2010).

#### 4.3.3 FÓSFORO TOTAL

O método escolhido para a determinação de fósforo foi o descrito pela American Public Health Association (APHA, 2005) e as análises foram realizadas no Laboratório de Biotoxicologia de Águas Continentais e Efluentes (BIOTACE/EESC/USP).

Para obtenção das concentrações de fósforo total das amostras coletadas, estas não foram filtradas e as análises foram feitas em réplicas analíticas. Em cada tubo de ensaio colocou-se 50 mL de amostra bruta de cada ponto, seguido da adição de uma gota de fenolftaleína, 1 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> forte e 0,5 mg de persulfato de potássio. Em seguida, os tubos foram tampados com papel alumínio e, então encaminhados para digestão em autoclave por 30 minutos a 120 °C. Após o tempo decorrido, os tubos foram retirados para resfriamento.

Com os tubos resfriados, em cada um foi adicionada uma gota de fenolftaleína e estes foram então titulados com NaOH 5N até atingirem uma coloração rosa, com o auxílio de um agitador. Em seguida, o conteúdo de cada tubo foi transferido para balão volumétrico de 100 mL, adicionando-se água deionizada para completar o volume. Após esta etapa, foram retirados 50 mL do balão volumétrico e transferidos para tubo de ensaio. O procedimento foi repetido para os doze tubos, separadamente.

Por fim, em cada tubo foram adicionados 8 mL de reagente misto e estes colocados em um espectrofotômetro marca HACH modelo DR/4000V, para leitura dos resultados. Este foi programado com comprimento de onda de 880 nm e a leitura feita entre 10 e 30 minutos após a adição do reagente misto.

#### **4.3.4 NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (NTK)**

O método escolhido para a determinação de nitrogênio total Kjeldahl foi o descrito pela APHA (2005) e as análises realizadas no Laboratório de Biotoxicologia de Águas Continentais e Efluentes (BIOTACE/EESC/USP).

Inicialmente, as amostras passaram por um processo de digestão. Colocaram-se 100 mL de amostra bruta de cada ponto em tubos de vidro de 300 mL e adicionados 10 mL de solução digestora. Em seguida, estes foram encaminhados para o digestor automático Buchi® por 30 minutos a 380 °C, em sistema de fluxo fechado. Após o tempo decorrido, os tubos foram retirados para resfriamento.

A segunda etapa do procedimento foi de destilação. Com os tubos resfriados, cada um foi colocado no aparelho de destilação e titulação automática Buchi®. Com adição de água e titulado com  $\text{H}_2\text{BO}_3$  0,01N até pH 4,65. Ao final da titulação, foi anotado o volume gasto de ácido. O mesmo procedimento foi feito para o branco. O branco foi feito com réplica e utilizou-se o menor volume gasto de ácido. Por fim, a concentração de nitrogênio total Kjeldahl foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$NTK = \frac{(V_{at} - V_b) \times 14 \times 1000 \times N}{V_{am}} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

NTK (mg/L): nitrogênio total Kjeldahl

$V_{at}$  (mL): volume de ácido titulado

$V_b$  (mL): volume de branco

N: normalidade do ácido (0,01)

$V_a$  (mL): volume de amostra (100)

#### 4.3.5 COLIFORMES

Para a análise dos coliformes totais e *Escherichia coli*, foi utilizado o método da norma técnica da CETESB L5.214 (CETESB, 2007). As análises foram realizadas no Laboratório de Poluição Ambiental (EESC/USP). As amostras coletadas nos seis pontos foram diluídas a  $10^{-2}$  (1:100) e  $10^{-4}$  (1:10000). Primeiramente foram adicionados 99 mL de água deionizada em doze frascos, dois para cada ponto de cada córrego. Em seguida, para a primeira diluição, em um frasco com água deionizada, foi adicionado 1 mL de amostra bruta, resultando na diluição  $10^{-2}$  (1:100). Após a homogeneização

desta, em um segundo frasco com 99 mL de água deionizada foi adicionado 1 mL do frasco com diluição à  $10^{-2}$ , resultando na diluição  $10^{-4}$  (1:1000).

Posteriormente, essas amostras foram filtradas utilizando uma bomba a vácuo com um papel filtro de 0,45 µm de porosidade, os quais foram colocados em placas de Petri com cultura *Chromocult®* e então encaminhadas para estufa por 24 horas à 27 °C. A leitura ocorreu logo após esse período, contando colônias correspondentes às *E. coli* e coliformes termotolerantes, cujos valores de contagem foram multiplicados pelo fator de diluição correspondente para obter o número de unidades formadoras de colônias por volume de amostra (UFC/mL).

#### 4.3.6 FITOPLÂNCTON

As análises foram realizadas no Laboratório de Biotoxicologia de Águas Continentais e Efluentes (BIOTACE/EESC/USP). A contagem do fitoplâncton foi realizada em câmaras de sedimentação de acordo com os métodos de Lund et al. (1958) e Utermöhl (1958), em microscópio invertido Olympus® (modelo CKX41) no aumento de 400x. Foi considerado como um organismo: (1) organismos unicelulares; (2) colônias; (3) cenóbios e (4) até 50 µm de tricomas e filamentos, para expressar os resultados em organismos por volume (org/mL).

Para estimar a densidade fitoplanctônica, a contagem foi realizada aleatoriamente por campos dentro de dois transectos perpendiculares (Equação 2) (APHA, 2005). O limite de campos a serem contados foi determinado por meio da estabilização da curva de espécies, no qual não foram contados mais campos quando atingido o número de 100 indivíduos (precisão de  $\pm 20\%$ ;  $p < 0,05$ ) seguido pela ausência de novas espécies por sete campos consecutivos (APHA, 2005; SANT'ANNA et al., 2006).

O sistema de classificação adotado para as classes do fitoplâncton foi o de Van-De-Hoek, Mann e Janhs (1995). Quando possível, a identificação dos gêneros foi realizada com base no trabalho de Bicudo e Menezes (2006).

$$D = \left( \frac{N \times At}{Ac \times V} \right) \times C \quad Equação\ 2$$

Sendo:

D: densidade (org/mL);

N: número de organismos;

A<sub>t</sub>: área total da câmara (mm<sup>2</sup>);

A<sub>c</sub>: área do campo (mm<sup>2</sup>);

V: volume da câmara (mL);

C: número de campos contados.

#### **4.4 Questionário para avaliação da percepção das pessoas sobre os serviços ambientais**

As perguntas do questionário (Quadro 5) foram elaboradas pela autora com auxílio de elementos comuns em iniciativas similares de avaliação da percepção das pessoas acerca dos serviços ecossistêmicos (i.e. BUCHEL; FRANTZESKAKI; 2015; PARKYN; QUINN, 2006). O objetivo foi saber a respeito da percepção acerca de serviços ambientais exercidos pelos córregos. Além disso, foi questionado a idade e sexo dos indivíduos entrevistados. Quanto à amostragem, buscou-se obter o maior número de respostas possível em cada bacia, de forma equilibrada, abordando transeuntes nos pontos de estudo.

**Quadro 5.** Estrutura do questionário aplicado com os respectivos serviços avaliados em cada pergunta.

Número	Pergunta	Opções	Serviços avaliados			
			Suporte	Regulação	Provisão	Cultural
1	Você sabe o nome do córrego?	a) Sim; b) Não				X
1.1	Se sim, qual que é?	---				X
2	Você o enxerga como um aspecto positivo ou negativo?	a) Positivo; b) Negativo				X
2.1	Por quê?	---				X
3	Você percebe ou já percebeu uma cor na água:	a) Transparente; b) Amarela; c) Marrom; d) Verde; e) Outra	X	X		X
4	Você percebe ou já percebeu na superfície da água:	a) Espuma; b) Resíduos Sólidos; c) Brilho Oleoso; d) Algas Flutuantes	X	X		X
5	Você percebe ou já percebeu as seguintes presenças de algas (fotos)?	a) Distribuição uniforme; b) Massas flutuantes; c) Aderidas; d) Espuma azul – esverdeada	X	X		X
6	Você já foi afetado por uma inundação alguma vez?	a) Sim; b) Não		X		X
6.1	Se sim, como?	a) Inundou a casa/negócio; b) Perdas materiais; c) Não consegui sair de um local; d) Não consegui chegar ao meu destino; e) Outro		X		X
7	Você teve algum prejuízo devido ao assoreamento ou erosão do rio (fotos)?	a) Sim; b) Não	X	X		X
7.1	Em caso positivo, quais?	a) Perda parcial ou integral da propriedade; b) Acidente físico; c) Perda material;	X	X		X

Fonte: Autoria própria

#### 4.5 Avaliação do desempenho dos serviços ecossistêmicos

Com as entrevistas realizadas e os dados coletados dos indicadores em campo, buscou-se compreender sobre o desempenho dos serviços ecossistêmicos dos córregos em suas respectivas bacias de maneira qualitativa e quantitativa, respectivamente, por associação livre e interpretação da autora. Os desempenhos dos serviços identificados foram sumarizados por córrego e respectivos pontos de

amostragem (nascente, médio curso e foz) e classificados como Positivo, Mediano e Negativo, de acordo com as justificativas do Quadro 6.

**Quadro 6.** Classificação e justificativas usadas para avaliar o desempenho de alguns dos serviços identificados

Classificação	Justificativa
<b>Positivo</b>	Os serviços estavam provendo benefícios aos seres humanos de maneira aparentemente satisfatória, apesar de algumas deficiências, quando existentes.
<b>Mediano</b>	Há algumas deficiências na provisão dos benefícios aos seres humanos, mas seu desempenho não foi aparentemente comprometido totalmente.
<b>Negativo</b>	Os serviços existentes estão aparentemente comprometidos ou inaptos de forma a prejudicarem o seu desempenho em proverem os benefícios;

Fonte: Autoria própria



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 USO E OCUPAÇÃO

As áreas de estudo possuem matrizes de uso e ocupação bastante distintas. O entorno do córrego Santa Maria do Leme apresenta-se mais com maior disposição de classes, mesmo com algumas predominâncias, enquanto que o Tijuco Preto mostra-se predominado por apenas uma classe. A Tabela 2 exibe, em termos absolutos e relativos, o resumo das áreas das três principais classes observadas nas bacias.

**Tabela 2.** Resumo das áreas absolutas (ha) e relativas das classes urbano, vegetação e aberta nas sub-bacias dos córregos Santa Maria do Leme e Tijuco Preto

<b>Classe</b>	<b>Santa Maria do Leme</b>		<b>Tijuco Preto</b>	
	Área absoluta (ha)	Área relativa (%)	Área absoluta (ha)	Área relativa (%)
Urbano (residencial, comercial, industrial, estradas)	386	31,95	330	91,67
Vegetação	196	16,22	30	8,33
Aberta (pastagens e solo exposto)	557	46,11	-	-

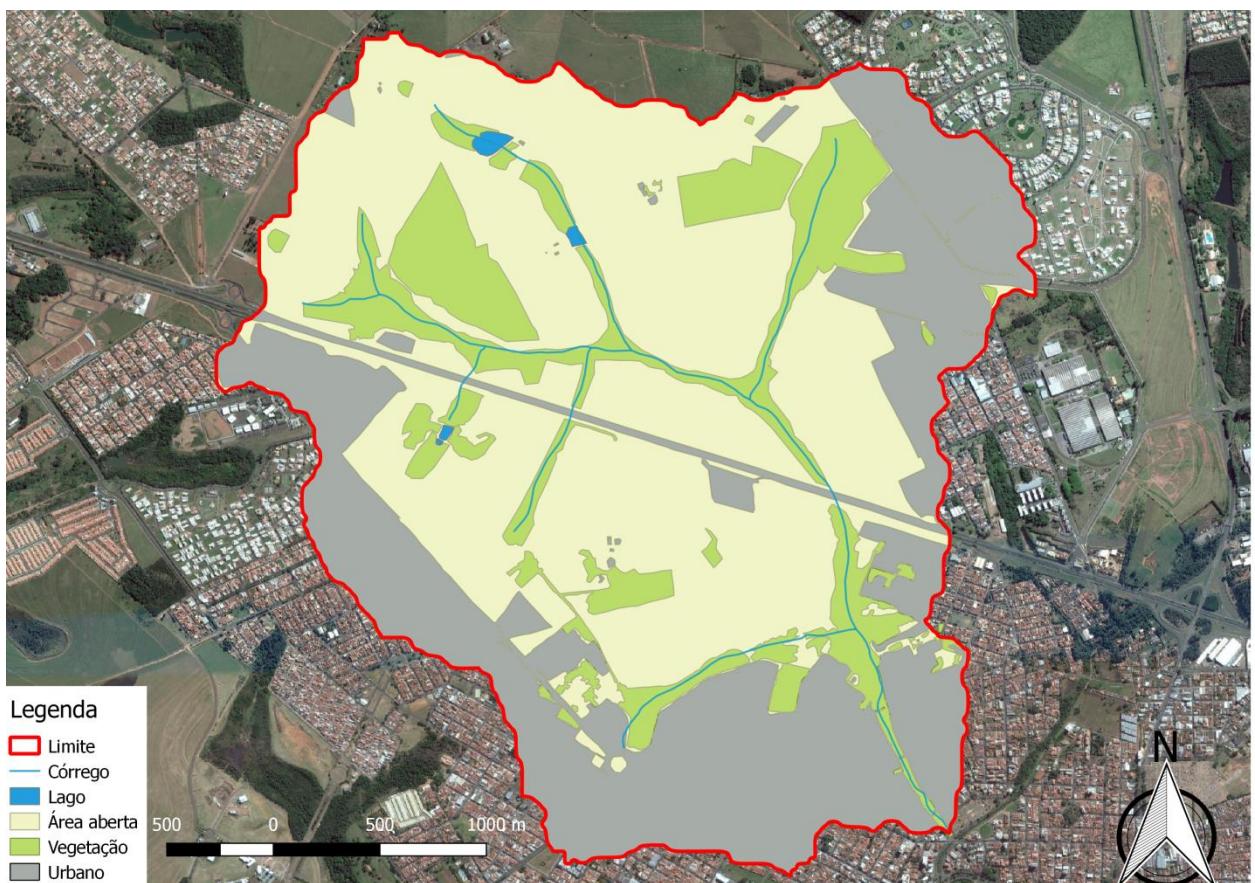
Fonte: Autoria própria

A área total obtida da bacia do Santa Maria do Leme foi de 1208 ha (Figura 15) e, além das classes Urbano e Vegetação, também foi considerada a classe Área Aberta, apenas observada nessa bacia e é a que possui maior área – aproximadamente 557 ha (46,11%). Essa classe abrange porções de solo exposto e gramíneas, mas em sua grande maioria pastagens, que se localizam principalmente à montante da bacia, após a Rodovia Washington Luiz, e mais à jusante, próximo à porção urbana. A classe Urbano é a segunda maior na bacia (386 ha) e encontra-se principalmente no exutório da bacia e suas fronteiras nordeste e noroeste.

Ambas as classes encontram-se em significativa competitividade por espaço com a porção de vegetação, cuja representatividade é de apenas 16,11% da bacia, e se dispõe, principalmente, ao longo dos cursos dos córregos, com exceção de alguns

fragmentos, identificados como vegetação de propriedades privadas ou grupos de espécies arbóreas concentradas em uma área, geralmente em meio ao campo aberto.

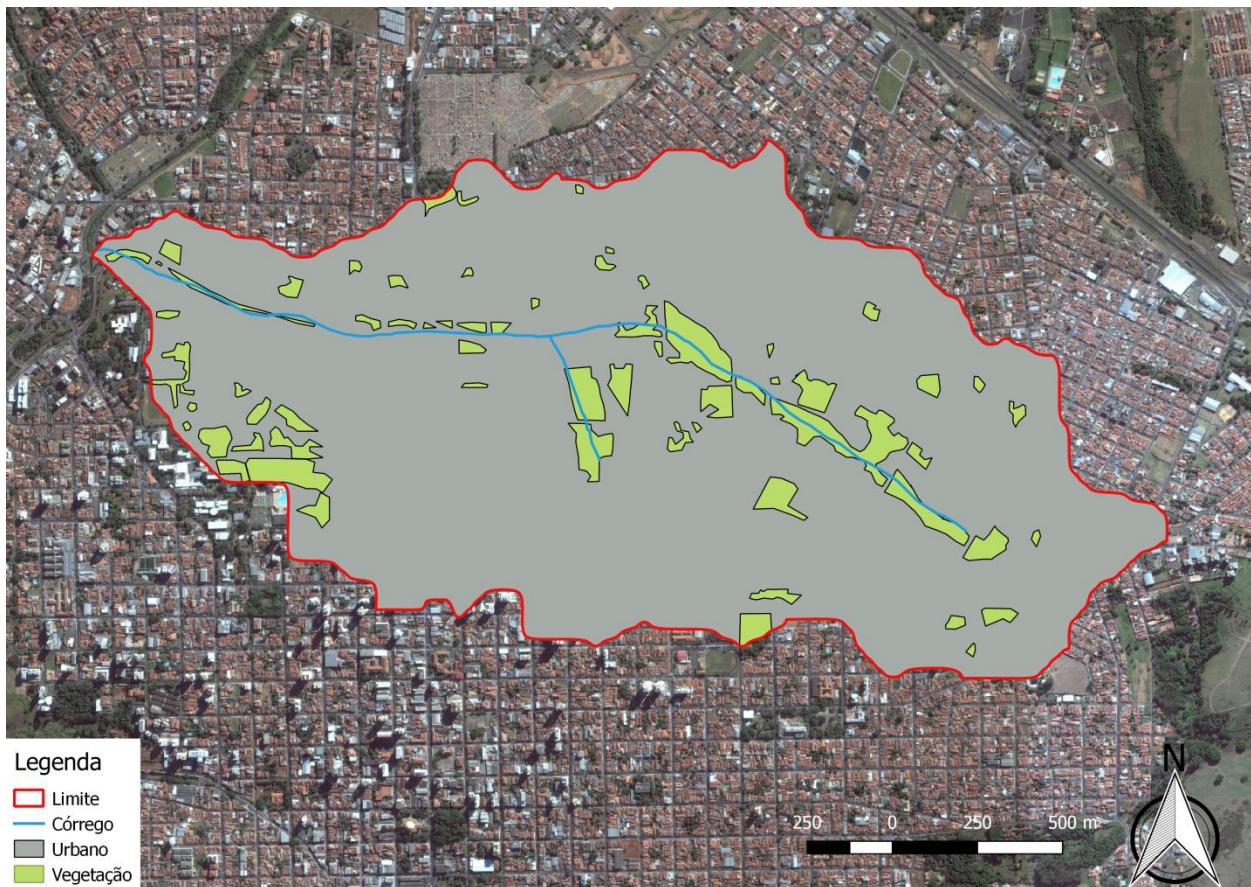
**Figura 15.** Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Santa Maria do Leme (escala 1:16.000)



Fonte: A Autora com colaboração de José Mateus Curado de Souza e Erik Melo

A área total obtida da bacia do Tijuco Preto foi de 360 ha (Figura 16) e encontra-se em quase sua totalidade urbanizada - a classe Urbano representa 91,67% de toda a bacia. Áreas verdes compreendem fragmentos de vegetação em meio à matriz urbana e ao longo do Tijuco Preto. No entanto, esses fragmentos ao longo do córrego são apenas observados somente em alguns trechos e mais comuns à montante da bacia.

**Figura 16.** Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Tijuco Preto (escala 1:10.000)



Fonte: A Autora com colaboração de José Mateus Curado de Souza e Erik Melo

## 5.2 ANÁLISE VISUAL E PARÂMETROS GERAIS

As nascentes de ambos os córregos apresentam, de maneira geral, certo nível de vegetação natural circundante, ainda que com usos e ocupações do solo distintos. É importante ressaltar que em todos os pontos, com exceção da nascente do Santa Maria do Leme, a vegetação ficou expressivamente densa no verão de forma a chegar a dificultar o acesso até os córregos nas coletas (Figuras 19, 23, 26 e 33).

No Santa Maria do Leme, a sua nascente encontra-se dentro de uma fazenda onde reside uma família de três pessoas, e cujos arredores são caracterizados por vegetação rasteira e algumas árvores esparsas. O local foi caracterizado com uma cobertura vegetal de 0%, uma vez que grande parte de suas margens é circundada por

campo aberto (Figura 17). Foram observadas nas margens do lago plantas emergentes, assim como evidência de estrutura para retirada de água para irrigação e abastecimento para a família. Não houve mudanças perceptíveis nos arredores do local entre os dois períodos de coleta.

**Figura 17.** Nascente do córrego Santa Maria do Leme (Fevereiro/2017)



Fonte: Autoria própria

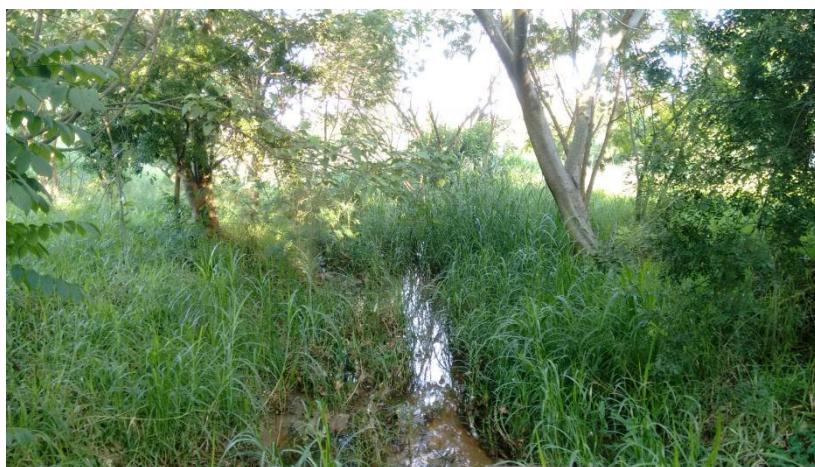
Por outro lado, a nascente do Tijuco Preto é caracterizada por estar mais inclusa em um contexto residencial urbano, juntamente por um parque urbano linear às suas margens (Figura 18). A cobertura vegetal nesse ponto é de 35%, porém com extensão de poucos metros e bastante assoreado. É importante ressaltar que no local exato da nascente, existem processos erosivos avançados (Figura 20) e expressiva presença de resíduos sólidos (Figura 21). Apenas no verão foram observados alguns girinos.

**Figura 18.** Nascente do córrego Tijuco Preto (Agosto/2016)



Fonte: Autoria própria

**Figura 19.** Nascente do córrego Tijuco Preto (Fevereiro/2017)



Fonte: Autoria própria

**Figura 20.** Processo erosivo avançado na nascente do córrego Tijuco Preto (Agosto/2016)



Fonte: Autoria própria

**Figura 21.** Cama desmontada abandonada às margens da nascente do córrego Tijuco Preto (Fevereiro/2017)



Fonte: autoria própria

Os pontos amostrais localizados nos médios cursos dos riachos caracterizam-se por serem circundados por ocupação residencial urbana e vegetação densa em suas margens. No entanto, a cobertura vegetal no Santa Maria do Leme é de 42%, enquanto que no Tijuco Preto é de 10%.

O médio curso do Santa Maria do Leme (Figura 22) possui uma ponte para pedestres, cujo uso foi constatado em ambas as visitas, por pessoas praticando esportes, pedestres, ciclistas e passagens de motocicletas (Figura 24). A presença

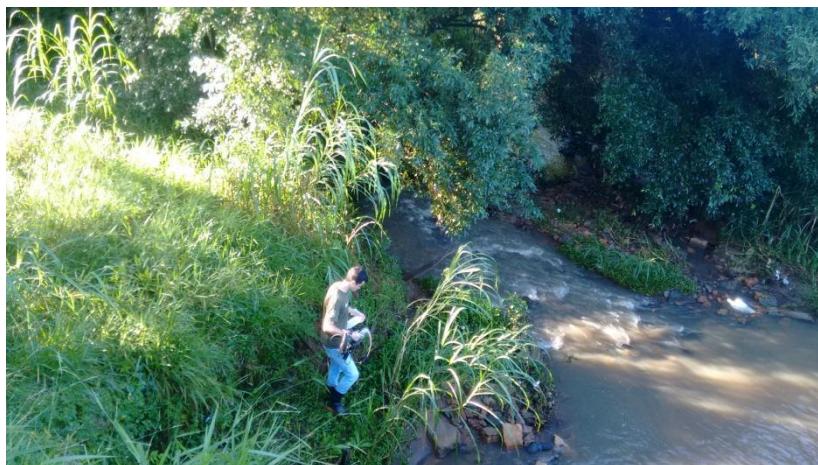
dessa estrutura também permitiu o aparecimento de um encachoeiramento no ponto de coleta, de forma que este atributo pode afetar alguns dados. Também foi perceptível uma canalização com descarga urbano-viária e, apenas no inverno, algas aderidas ao fundo do córrego.

**Figura 22.** Médio curso do córrego Santa Maria do Leme (Setembro/2016)



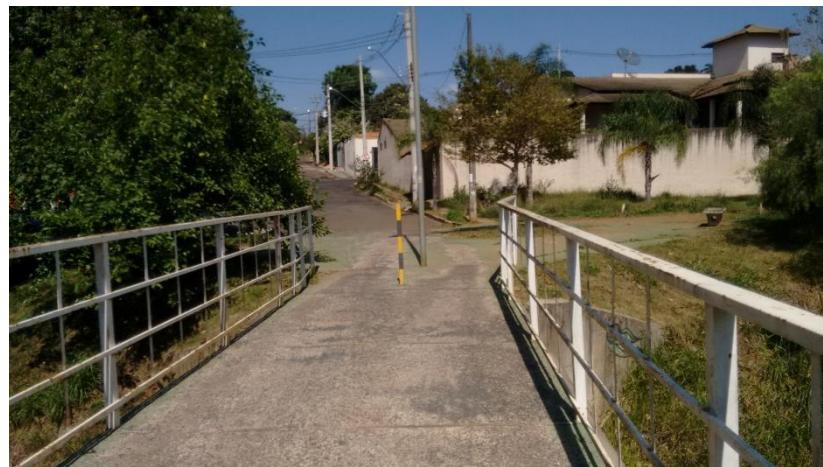
Fonte: Autoria própria

**Figura 23.** Médio curso do córrego Santa Maria do Leme (Fevereiro/2017)



Fonte: Autoria própria

**Figura 24.** Ponte para pedestres e ciclistas no médio curso do córrego Santa Maria do Leme (Setembro/2016)



Fonte: Autoria própria

Já o médio curso do Tijuco Preto (Figura 25) encontra-se abaixo de uma ponte para carros, além de possuir uma canalização evidente de emissão de esgoto doméstico e drenagem urbano-viária (Figura 27). Resíduos sólidos são mais expressivamente encontrados neste ponto (Figura 28) em relação à sua nascente. Processos erosivos avançados são perceptíveis logo à montante da ponte (Figura 29). Foram notados, no inverno, alguns pássaros aquáticos e, no verão, foram observados pequenos peixes.

**Figura 25.** Médio curso do córrego Tijuco Preto (Agosto/2016)



Fonte: Autoria própria

**Figura 26.** Médio curso do córrego Tijuco Preto (Fevereiro/2017)



Fonte: Autoria própria

**Figura 27.** Canalização de esgotamento doméstico e drenagem urbano/viária no médio curso do Tijuco Preto (Agosto/2016)



Fonte: Autoria própria

**Figura 28.** Resíduos sólidos às margens da rua no médio curso do Tijuco Preto (Agosto/2016)



Fonte: Autoria própria

**Figura 29.** Processos erosivos avançados à montante da ponte no médio curso do Tijuco Preto (Agosto/2016)



Fonte: Autoria própria

Por fim, a foz de ambos os córregos se localiza em áreas urbanizadas, com poucos metros de vegetação em suas margens, seguidos de vias de tráfego intenso, estabelecimentos comerciais e residências. A cobertura vegetal registrada no córrego Santa Maria do Leme foi de 22%, enquanto que no córrego Tijuco Preto a cobertura vegetal era próxima a 0%.

A foz do córrego Santa Maria do Leme (Figura 30) encontra-se numa área mais residencial, mas mais caracterizada por alguns processos erosivos e presença de resíduos sólidos (Figura 31).

**Figura 30.** Foz do córrego Santa Maria do Leme (Fevereiro/2017)



Fonte: Autoria própria

**Figura 31.** Resíduos sólidos encontrados às margens da foz do córrego Santa Maria do Leme (Fevereiro/2017)



Fonte: Autoria própria

Em contrapartida, a foz do córrego Tijuco Preto (Figura 32) encontra-se como um canal retificado e com degraus hidráulicos. Suas margens são ocupadas por uma

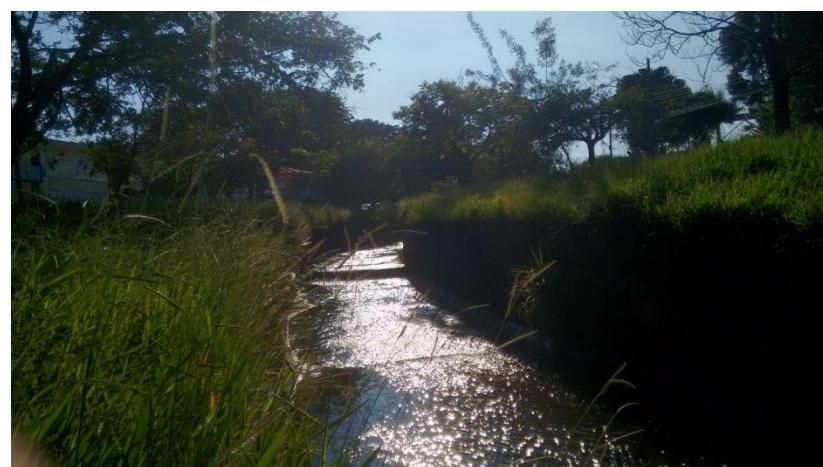
das principais avenidas da cidade, a Av. Trabalhador São Carlense, com tráfego constante. Foram observadas algas aderidas em seu assoalho.

**Figura 32.** Foz do córrego Tijuco Preto (Agosto/2016)



Fonte: Autoria própria

**Figura 33.** Foz do córrego Tijuco Preto (Fevereiro/2017)



Fonte: Autoria própria

O córrego Santa Maria do Leme apresentou, de forma geral, condições visuais menos alteradas do que o córrego Tijuco Preto. Este último apresentou, em todos os pontos, algum impacto antrópico negativo, principalmente resíduos sólidos em quantidade significativa e, excepcionalmente, descarga de esgoto doméstico e urbano-

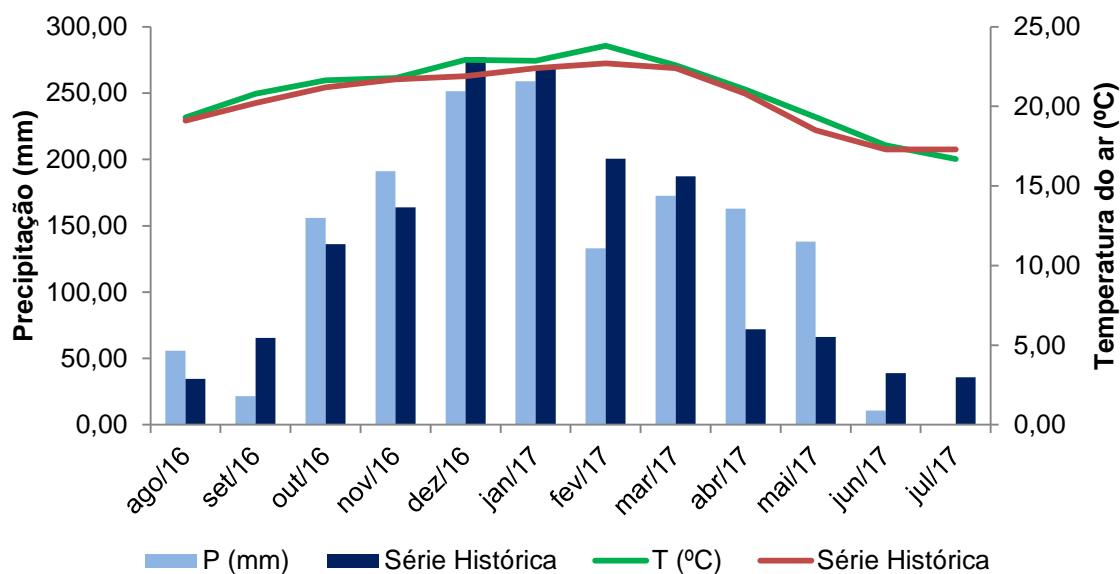
viária. Processos erosivos mais expressivos foram evidentes ao longo de todo o Tijuco Preto, com exceção de sua foz, enquanto que processos erosivos no Santa Maria do Leme foram evidentes em sua foz, mas em menor magnitude, quando comparado com o Tijuco Preto.

## 5.3 DADOS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

### 5.3.1 PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DO AR

Os dados do Gráfico 1 apresentam as condições ambientais nas quais o período da pesquisa esteve submetido, de Agosto de 2016 a Julho de 2017. Durante a época da primeira coleta – Agosto e Setembro de 2016 – caracterizando o final do inverno, houve precipitação total mensal de 55,80 mm em Agosto e 21,60 mm em Setembro, com temperaturas médias mensais de 19,31°C e 20,80°C, respectivamente. Já em Fevereiro, quando ocorreu a segunda coleta, no verão, registrou-se a menor precipitação total da estação, 133,0 mm, mas a maior temperatura média do ar de 23,80 °C. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger referente à São Carlos, trata-se de um clima tipo Cwa (subtropical), caracterizado por verão e inverno bem definidos, verão chuvoso e com temperatura média do ar do mês mais quente acima de 22 °C (“Classificação climática de Köppen-Geiger”, [s.d.]).

**Gráfico 1.** Registro de precipitação total (mm) e temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) mensais do período da pesquisa (Agosto/2016 a Julho/2017) em comparação com a série histórica de temperatura média compensa e precipitação acumulada mensal 1961 a 1990.



Fonte: INMET (2017a; 2017b)

Comparando os dados com a série histórica de 1961 a 1990, o período chuvoso (outubro a março) comportou-se como o esperado, sendo que Fevereiro registrou a maior diferença de precipitação do período do estudo com a série histórica, de 67,50 mm. Com relação ao período seco (maio a setembro), percebe-se que os meses de abril e maio foram atípicos, uma vez que foram registrados valores de precipitação muito maiores em relação à série histórica (91,10 e 71,70 mm de diferença, respectivamente). Em relação aos valores de temperatura do ar, o período de estudo foi mais quente ou igual que a média histórica em todos os meses (com exceção de julho), com a maior diferença registrada em Fevereiro, de 1,10  $^{\circ}\text{C}$ .

### 5.3.2 VAZÃO

A Tabela 3 evidencia um aumento da vazão entre as estações de coletas nos pontos do córrego Santa Maria do Leme, e uma pequena queda para o Tijuco Preto, com exceção da foz. O primeiro apresenta maiores valores de vazão do que o segundo

em ambas as estações, menos na nascente - como o ponto escolhido para a nascente do Santa Maria do Leme é um ambiente lêntico, a vazão obtida foi zero.

**Tabela 3.** Valores de vazão ( $m^3/s$ ) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão

	Inverno		Verão	
	Santa Maria do Leme	Tijuco Preto	Santa Maria do Leme	Tijuco Preto
<b>Nascente</b>	0,00	0,01	0,00	0,003
<b>Médio Curso</b>	1,25	0,11	2,80	0,080
<b>Foz</b>	0,44	0,16	0,49	0,220

Fonte: Autoria própria

No Santa Maria do Leme, em ambas as estações, o médio curso foi o que registrou maior vazão, sendo no verão a maior registrada ( $2,8 m^3/s$ ). Por fim, a vazão na foz pouco se alterou – de  $0,44 m^3/s$  no inverno para  $0,49 m^3/s$ . De forma geral, a vazão do Santa Maria do Leme sempre foi maior a partir do médio curso que do Tijuco, possivelmente devido ao fato de haver mais afluentes em sua bacia, que contribuem no aumento de vazão.

Já no Tijuco Preto houve uma diminuição da vazão tanto na nascente, quanto no médio curso – de  $0,01 m^3/s$  para  $0,003 m^3/s$ , e  $0,11 m^3/s$  para  $0,08 m^3/s$ , respectivamente. Por outro lado, a foz registrou um aumento de  $0,16 m^3/s$  para  $0,22 m^3/s$ . O assoreamento expressivo no verão pode ter contribuído na redução de vazão na nascente e médio curso, mesmo que tenha sido registrado precipitações elevadas, característicos da estação (ver Gráfico 1).

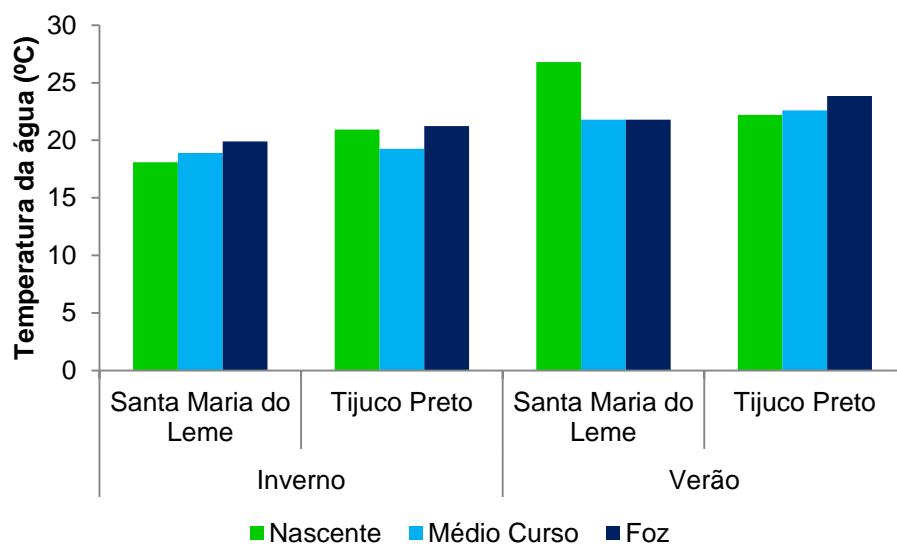
## 5.4 DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

### 5.4.1 TEMPERATURA

As temperaturas da água entre os pontos de ambos os córregos (Gráfico 2) foram maiores no verão. No inverno, o ponto com maior temperatura foi a foz do Santa

Maria do Leme com 19,9 °C e, no verão, a maior temperatura foi registrada na nascente do mesmo córrego, 26,8 °C.

**Gráfico 2.** Valores de temperatura da água (°C) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão



Fonte: Fonte: Autoria própria

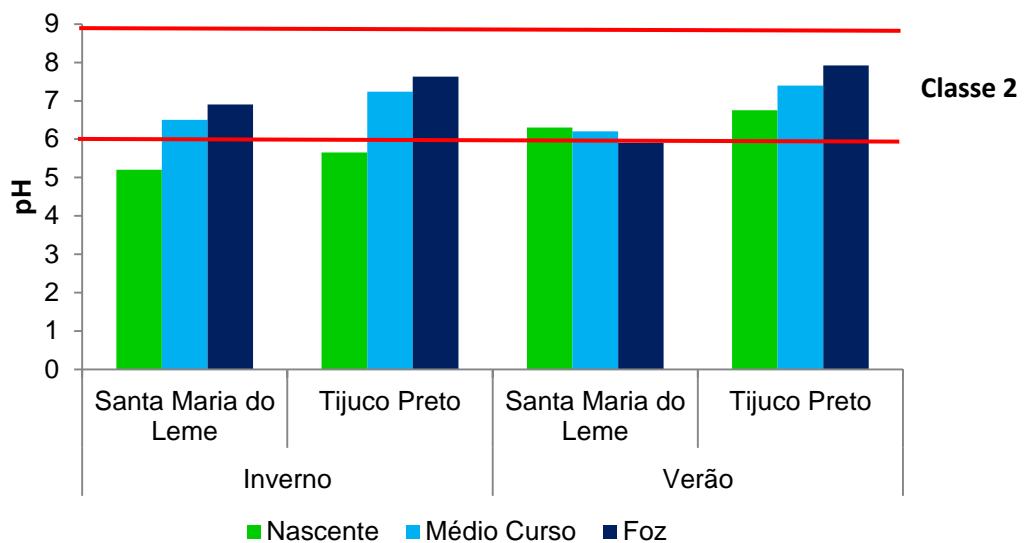
O Tijuco Preto no verão, assim como o Santa Maria do Leme no inverno, registraram temperaturas crescentes de suas nascentes até suas fozes. O Tijuco Preto registrou uma queda nos valores da nascente para o médio curso no inverno, ainda que pequena – de 20,94 para 19,25 °C, voltando a aumentar para 21,24 °C na foz. Já o Santa Maria registrou a sua maior temperatura na nascente, enquanto que o médio curso e a foz apresentaram o mesmo valor de 21,8 °C.

#### 5.4.2 pH

Como é possível observar no Gráfico 3, os valores de pH foram crescentes da nascente para a foz em ambos os rios em ambas as estações, com exceção para o Santa Maria do Leme no verão, cujos valores decresceram discretamente. Todos os valores indicam uma variação pequena de pH, entre o neutro e o levemente ácido. Apenas os pontos das nascentes do Santa Maria do Leme e Tijuco Preto no inverno e a foz do Santa Maria do Leme no verão apresentaram-se levemente fora do intervalo

estabelecido de pH mínimo de 6,0 e máximo de 9,0, pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2005) (5,20; 5,65 e 5,90, respectivamente).

**Gráfico 3.** Valores de pH na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão, juntamente com os limites mínimo e máximo estabelecidos pela Resolução CONAMA nº357/2005 para águas doces de Classe 2 (linhas vermelhas).



Fonte: Autoria própria

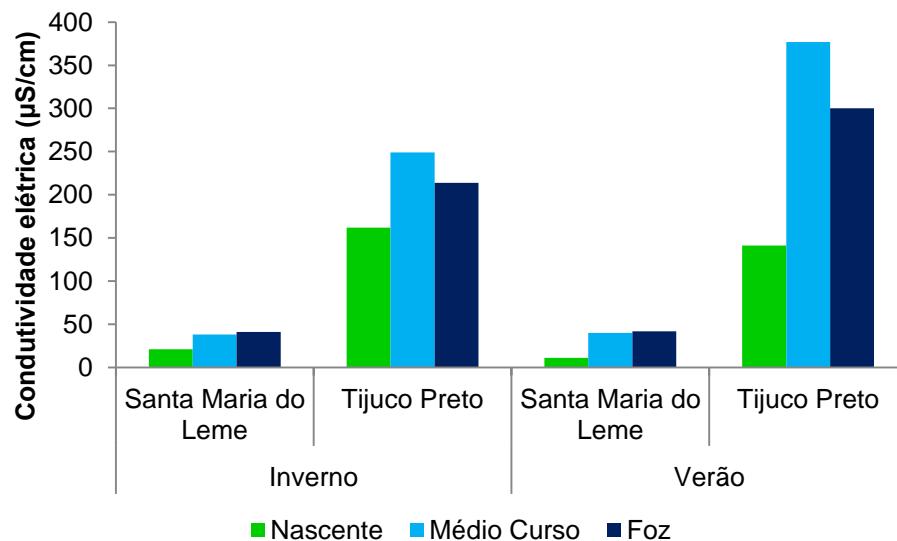
Foram registrados os maiores valores de pH no Tijuco Preto, no inverno (7,63) e no verão (7,92), ambos em sua foz. Houve aumento de pH do inverno para o verão, com a maior diferença registrada na sua nascente, de 19,4% - de 5,65 para 6,75.

No entanto, foram registrados valores no Santa Maria do Leme ligeiramente menores no inverno, com exceção da sua nascente, onde foi registrado um aumento de 5,2 para 6,3. Adicionalmente, enquanto que no inverno o maior valor registrado foi de 6,9 na sua foz, no verão o maior pH ocorreu em sua nascente, 6,3.

### 5.4.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica de ambos os córregos (Gráfico 4) aumentou explicitamente do inverno para o verão. No entanto, os maiores valores em ambas as estações foi no Tijuco Preto, com destaque para o médio curso onde foram observados os maiores valores – 249 µS/cm no inverno e 377 µS/cm no verão (51,4%). Em seguida, tem-se a foz variando de 214 µS/cm para 300 µS/cm. Por fim, os menores valores foram registrados na nascente, apesar de uma diminuição entre estações – de 162 µS/cm para 141 µS/cm (12,96%).

**Gráfico 4.** Valores de condutividade elétrica (µS/cm) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão.



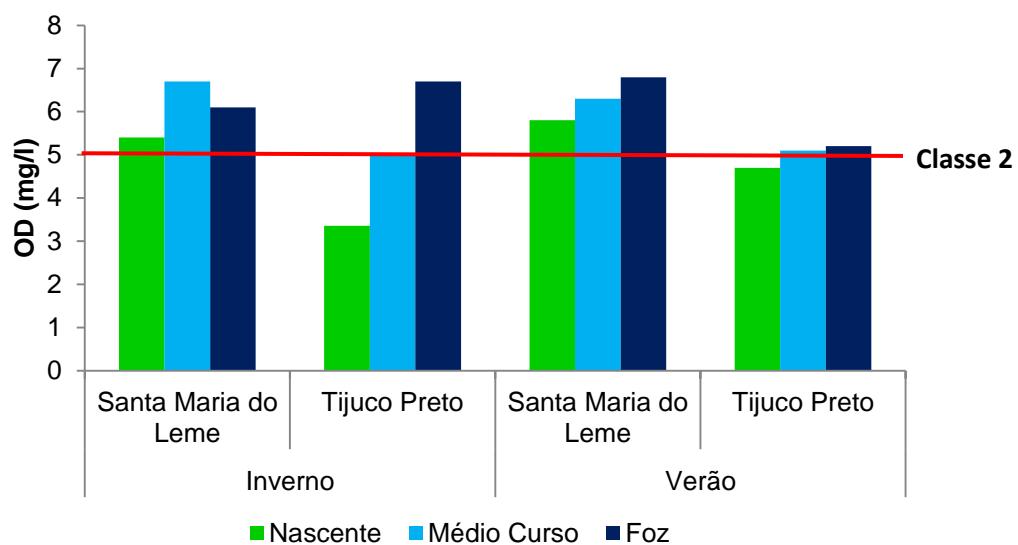
Fonte: Autoria própria

Em contrapartida, o Santa Maria do Leme apresentou os menores valores de CE registrados, com um aumento discreto da nascente para a foz, em cada estação. Sua foz possui a maior condutividade em ambas as estações, no entanto com um aumento pouco expressivo no verão e o mesmo pode se dizer sobre o médio curso. Por outro lado, na nascente foi registrada uma diminuição de 47,62% - de 21 para 11 µS/cm.

#### 5.4.4 OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O Gráfico 5 contém as concentrações de OD crescentes entre os pontos de ambos os córregos em ambas as coletas, com exceção do Santa Maria do Leme no inverno, que registrou seu pico no médio curso, seguido da foz e nascente. O maior valor registrado foi de 6,8 mg/L na foz do Tijuco Preto no verão, enquanto que o menor registrado foi na nascente do mesmo córrego, durante o inverno – 3,36 mg/L. O valor registrado no inverno, assim como no verão no mesmo ponto (4,47 mg/L), encontram-se abaixo do limite mínimo de 5,0 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 para águas doces Classe 2, e foram os únicos pontos em desacordo com a legislação.

**Gráfico 5.** Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão, juntamente com o limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 para águas doces de Classe 2 (linha vermelha)



Fonte: Autoria própria

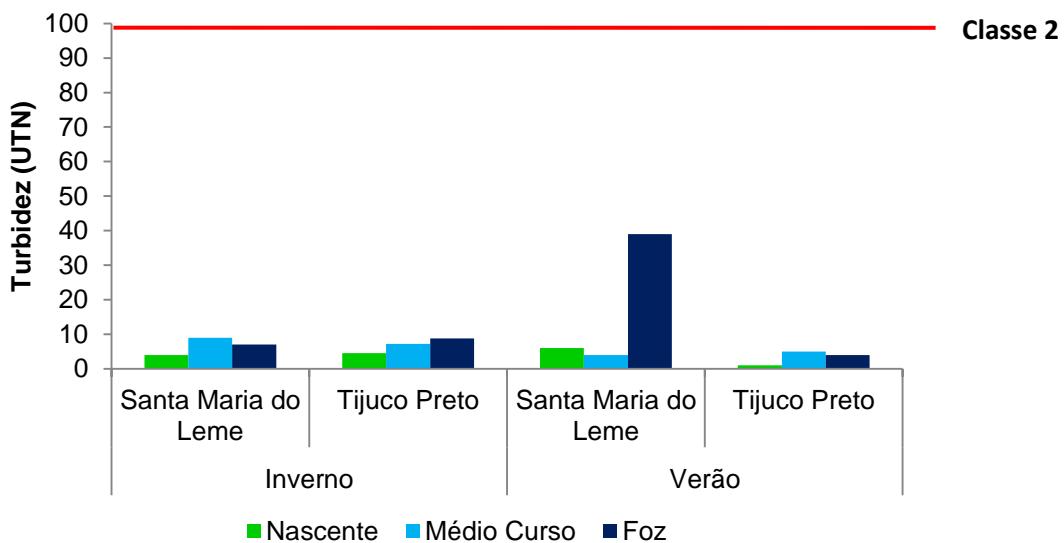
As concentrações de OD no Santa Maria do Leme apresentaram discreta variação entre seus respectivos pontos entre as duas estações e seu médio curso foi o único a apresentar uma diminuição. O córrego do Tijuco Preto apresentou variações

maiores. A disponibilidade de OD na nascente aumentou 39,88% no verão, e sua foz foi a única a indicar uma diminuição – de 6,7 para 5,2 mg/L (22,39%).

#### 5.4.5 TURBIDEZ

O Gráfico 6 evidencia variações relativamente pequenas de turbidez entre os córregos e as épocas do ano, com a exceção da foz do Santa Maria do Leme, que apresentou um valor excepcional de 39 UNT no verão. Esse valor pode ser explicado pela presença de uma feição erosiva no ponto. Apesar deste resultado em particular, de forma geral, a turbidez entre os córregos variou pouco e todos se encontram dentro do limite máximo estabelecido de 100 UNT para Classe 2 de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 no que se refere a este parâmetro.

**Gráfico 6.** Valores de turbidez (UNT) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão, juntamente com o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 para águas doces de Classe 2 (linha vermelha).



Fonte: Autoria própria

O Santa Maria do Leme apresentou, de forma geral, menores valores de turbidez do que o Tijuco no inverno e maiores no verão, com exceção no médio curso em ambas as estações. O Santa Maria do Leme apresentou seu maior valor de turbidez no seu médio curso durante o inverno – 9 NTU, enquanto que no verão esse valor caiu para 4

NTU, sendo a única queda registrada, e sua nascente pouco variou entre as estações. Por outro lado, o Tijuco Preto apresenta quedas em todos os pontos. Os maiores valores registrados de turbidez foram durante o inverno, com o maior sendo em sua foz, de 8,8 NTU. Alternativamente, o maior valor de turbidez no verão se deu no seu médio curso, de 5 NTU. Os valores de turbidez em ambas as nascentes pouco variaram entre as estações.

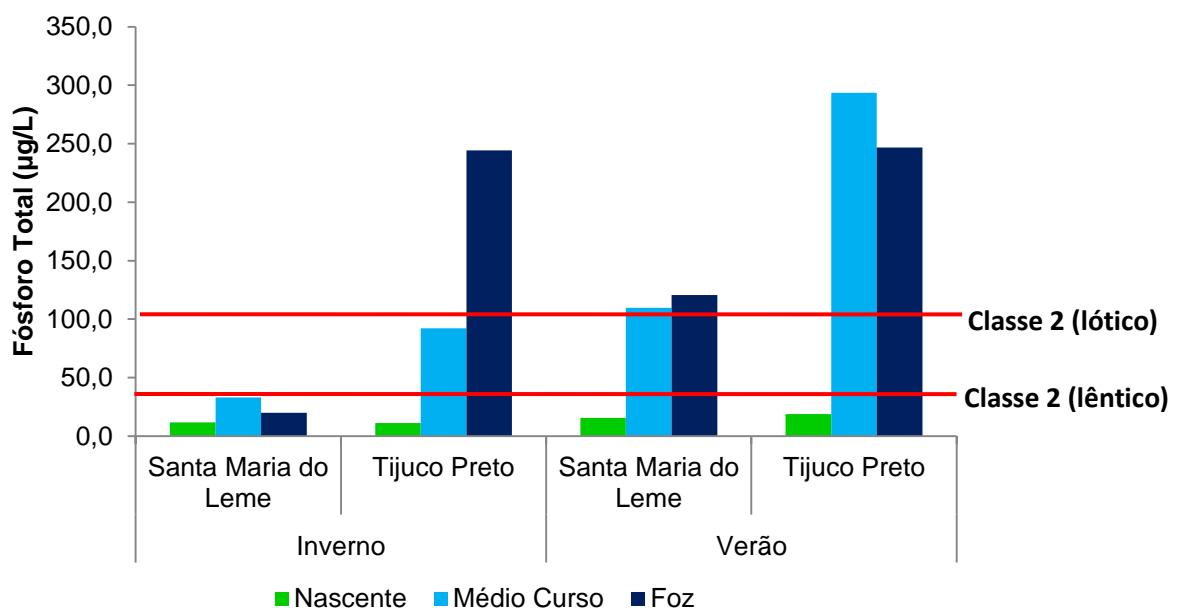
#### **5.4.6 FÓSFORO TOTAL**

De acordo com o Gráfico 7, com exceção da nascente, o Tijuco Preto foi o que apresentou as maiores concentrações de fósforo total em ambas as estações, sendo que em sua foz, no inverno, foi registrada a maior concentrações do nutriente - 244,28 µg/L. No verão, no entanto, o maior valor registrado foi no seu médio curso, de 293,60 µg/L, onde também registrou a maior variação entre as estações, de 218,61%.

Apesar do Santa Maria do Leme apresentar valores menores, houve aumento da concentração de fósforo total entre as estações, com maior variação registrada em sua foz – 504,96%, de 19,96 µg/L no inverno, a 120,72 µg/L no verão-, seguida do médio curso, cuja variação foi de 230,57% (33,21 µg/L a 109,77 µg/L, respectivamente).

As nascentes, em ambas as estações, mostraram-se dentro dos limites máximos estipulados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para ambientes lóticos (100 µg/L) e lênticos, no caso do ponto escolhido para nascente do Santa Maria do Leme (30 µg/L). No entanto, quando tratando-se dos outros pontos dos córregos, somente os médios cursos no inverno, apresentaram-se abaixo do limite máximo estabelecido de 100 µg/L. Em ambas as estações, a foz do Tijuco Preto apresentou concentrações de fósforo muito acima do permitido pela legislação.

**Gráfico 7.** Valores médios de fósforo total ( $\mu\text{g/L}$ ) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno, juntamente com os limites máximos estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 para sistemas lóticos e lênticos de Classe 2 (linhas vermelhas)



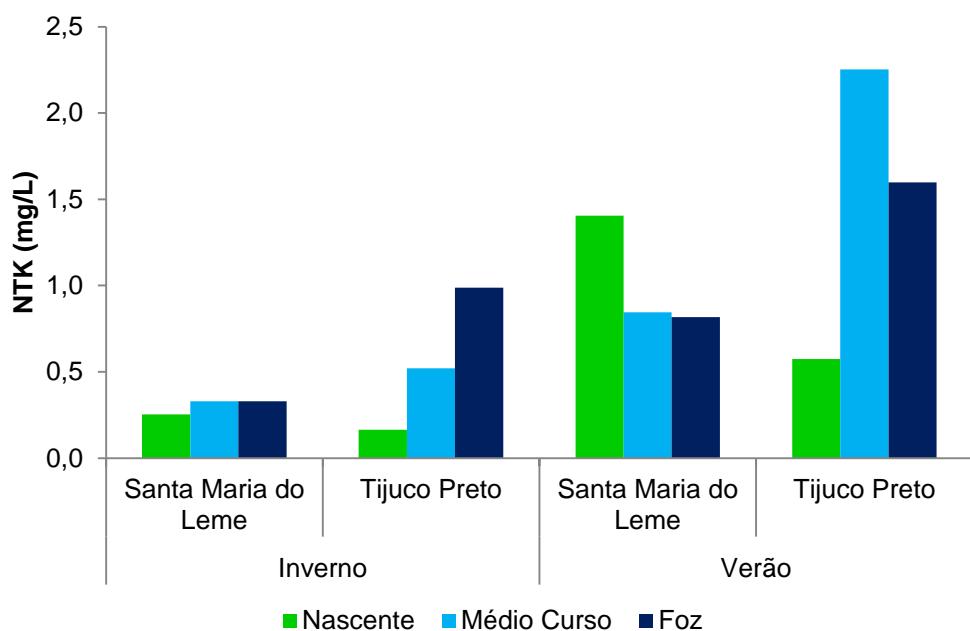
Fonte: Autoria própria

#### 5.4.7 NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (NTK)

O Gráfico 8 apresenta o comportamento para as concentrações de nitrogênio total Kjeldahl (NTK). De uma estação a outra, houve aumentos significativos em todos os pontos. O Tijuco Preto apresentou os maiores valores de NTK, com exceção da nascente em ambas as estações – o Santa Maria do Leme registrou 0,253 mg/L contra 0,164 mg/L do Tijuco Preto no inverno, e 1,406 mg/L contra 0,574mg/L, respectivamente, no verão.

A maior concentração de NTK no inverno foi na foz do Tijuco Preto – 0,987 mg/L, mas no verão a maior concentração foi registrada no médio curso – 2,253 mg/L. A nascente do Santa Maria do Leme registrou uma variação significativa de NTK – 454,69%, de 0,253 mg/L no inverno a 1,406 mg/L no verão.

**Gráfico 8.** Valores médios de nitrogênio total Kjeldahl (mg/L) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão.



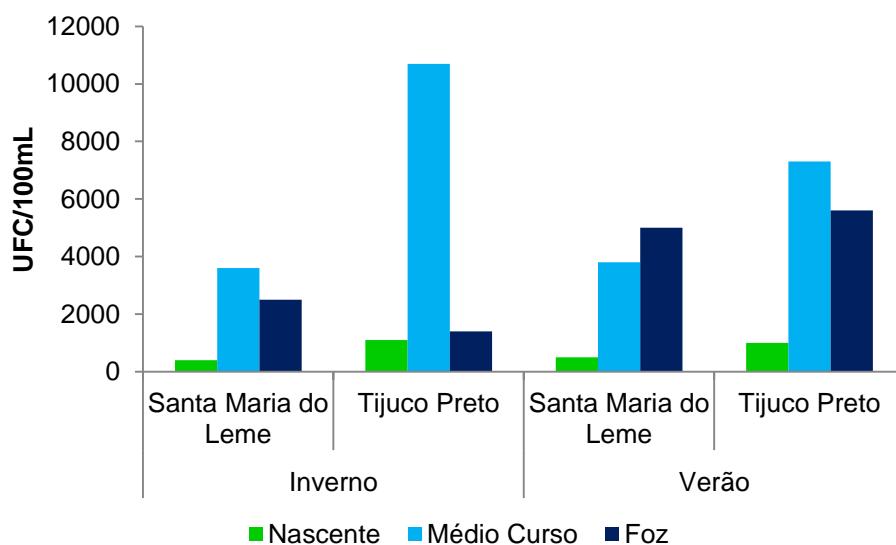
Fonte: Autoria própria

#### 5.4.8 COLIFORMES TOTAIS E *E.COLI*

O Gráfico 9 evidencia um comportamento bastante variado dos resultados de coliformes entre pontos e estações. No entanto, o Tijuco Preto é o que apresenta maiores valores em ambas as estações e nos três pontos. As nascentes de ambos são as que apresentam os menores valores de coliformes totais.

Tanto a nascente quanto o médio curso do Tijuco Preto apresentam uma queda nos valores de UFC/100 mL, com exceção da foz, que apresentou um aumento. No entanto, em ambas as estações, o médio curso apresentou os maiores valores registrados – 10.700 UFC/100 mL e 7.300 UFC/100 mL no inverno e verão, respectivamente. A sua foz, por outro lado, apresenta o maior aumento registrado, de 300% - de 1.400 para 5.600 UFC/100 mL.

**Gráfico 9.** Valores de coliformes totais (UFC/100 mL) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão

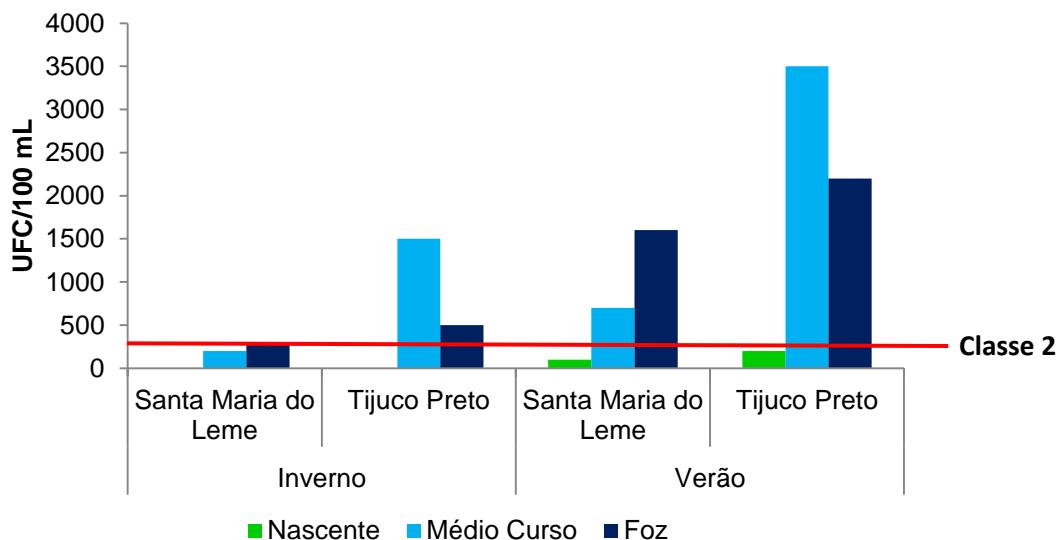


Fonte: Autoria própria

Em contrapartida, no Santa Maria do Leme foi observado um aumento em todos os seus pontos entre as estações. Seu maior valor de coliformes, no inverno, foi em seu médio curso (3.600 UFC/100 mL), enquanto que no verão a sua foz obteve o maior valor (5.000 UFC/100 mL). Este último também foi o que apresentou a maior diferença entre estações, de 100%.

Em relação à *E. coli*, o Gráfico 10 apresenta as quantidades de UFC/100 mL nos pontos para efeitos de comparação com o que é definido pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Na legislação é previsto para corpos hídricos de Classe 2 que a concentração de coliformes termotolerantes (ou *E. coli*) não pode exceder o limite de 200 UFC/100 mL em 80% ou mais de 6 amostras coletadas com frequência bimestral. Apesar da metodologia do trabalho não ter seguido dessa forma, foi comparado as seis amostras dos córregos em ambas as estações, com o limite estabelecido.

**Gráfico 10.** Densidades de *E. coli* (UFC/100 mL) na nascente, médio curso e foz dos rios Santa Maria do Leme e Tijuco Preto, no inverno e no verão, juntamente com o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 para águas doces de Classe 2 (linha vermelha)



Fonte: Autoria própria

No verão a concentração de *E. coli* aumentou para todos os pontos, e os valores no Tijuco Preto são maiores que os detectados no Santa Maria do Leme em ambas as estações. O Tijuco Preto tem quatro das suas seis amostras (66,67%) acima do limite permitido pela legislação, todas ocorrentes no médio curso e foz. No inverno, não foram encontradas concentrações de *E. coli* na nascente, no entanto, no verão foram detectados 200 UFC/100 mL, atingindo o limite estabelecido por lei.

Por outro lado, ao longo do Santa Maria do Leme, apenas três das seis amostras (50%) apresentaram valores acima do estabelecido. No inverno, apenas na sua foz foram observados valores de 300 UFC/100 mL, e seu médio curso atingiu o valor estabelecido pela resolução. No verão, detectaram-se 500 UFC/100 mL na foz, e o médio curso também ultrapassou o valor permitido pela legislação, com 1.500 UFC/100 mL. Sua nascente não apresentou *E. coli* no inverno, mas foram observados valores de 100 UFC/100 mL no verão.

#### 5.4.9 FITOPLÂNCTON

No presente trabalho, foram identificados o total de oito grupos fitoplanctônicos, incluindo as cianobactérias (*Cyanobacteria*), *Bacillariophyta* e as classes *Chlorophyceae*, *Dinophyceae*, *Euglenophyceae*, *Cryptophyceae*, *Chrysophyceae* e *Zygnematophyceae*.

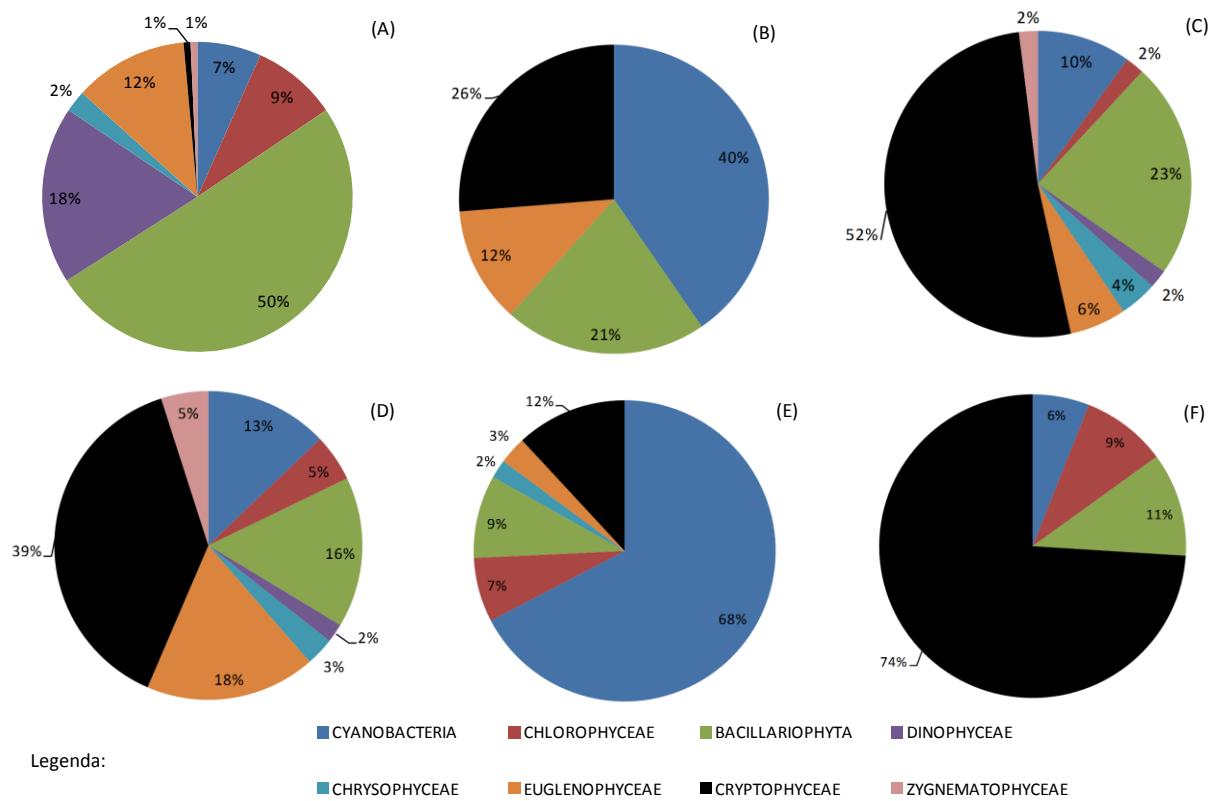
No inverno (Figura 34), o córrego Santa Maria do Leme apresentou todos os oito grupos identificados em sua nascente e foz, com predominância do grupo *Bacillariophyta* (50%) e de *Cryptophyceae* (52%), respectivamente. No médio curso, apenas quatro grupos foram encontrados, sendo as cianobactérias as mais abundantes (40%). Já para o Tijuco Preto, a diversidade de grupos diminuiu da nascente para a foz (todos os oito grupos foram encontrados na nascente, seis no médio curso e cinco na foz). A classe *Cryptophyceae* foi a mais representativa tanto na nascente (39%), quanto na foz (74%), se tornando o grupo dominante nesse último caso. No médio curso, assim como no Santa Maria do Leme, houve dominância de *Cyanobacteria* (68%). É importante ressaltar que, em termos relativos, a densidade da classe *Euglenophyceae* é virtualmente zero na foz do Tijuco Preto, no entanto em termos absolutos, sua densidade foi de 16 org/mL.

No verão (Figura 35), o córrego Santa Maria do Leme manteve a presença de todos os oito grupos na nascente como na estação anterior (mesmo que em termos relativos, o grupo *Euglenophyceae* tenha densidade relativa zero, em termos absolutos houve registro de 77 org/mL). No entanto, o médio curso apresentou três grupos a mais (*Crypsophyceae*, *Zygnematophyceae* e *Bacillariophyta*), enquanto que na foz três não estavam mais presentes (*Dinophyceae*, *Zygnematophyceae* e *Euglenophyceae*). O córrego Tijuco Preto apresentou queda no número de grupos no verão, com a nascente apresentando cinco grupos (*Dinophyceae*, *Cryptophyceae* e *Zygnematophyceae* estavam ausentes), quatro no médio curso e foz (ausência de *Euglenophyceae*, *Cryptophyceae* e *Zygnematophyceae* no médio curso, e apenas *Euglenophyceae* na foz).

A nascente do Santa Maria do Leme apresentou resultados opostos na composição relativa fitoplanctônica de forma significativa. O grupo Bacillariophyta, predominante no inverno, teve uma densidade relativa de 1% no verão – enquanto que no inverno, o grupo Zygnematophyceae tinha uma densidade relativa de 1% e no verão, predominou com 83%, seguido por Chlorophyceae, com 10%. O único grupo não presente no ponto nessa estação foi Euglenophyceae. O médio curso do Santa Maria do Leme apresentou abundância de Cyanobacteria, 44%, com pouca diferença em relação ao inverno. Na foz, houve similar abundância dos grupos Bacillariophyta e Cyanobacteria (30% cada).

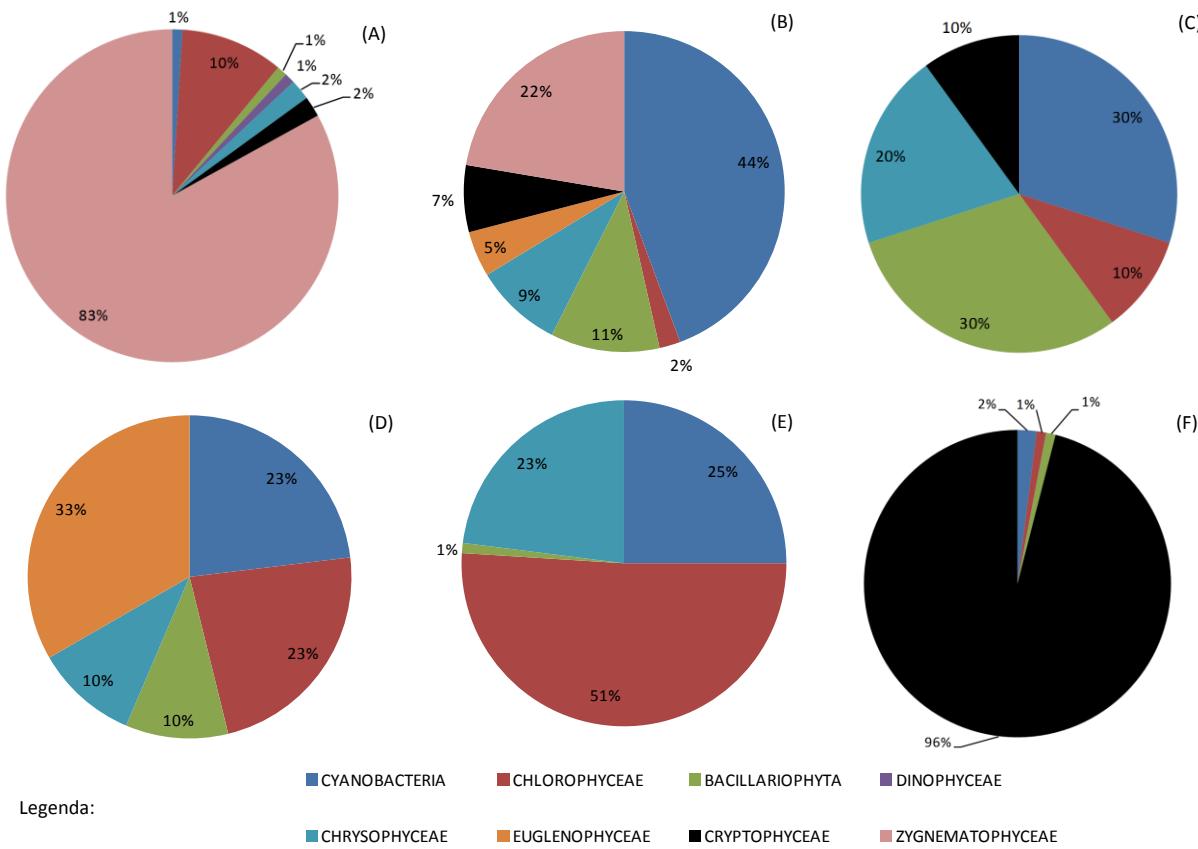
No Tijuco Preto, percebeu-se que Euglenophyceae cresceu em densidade relativa – 18% a 33% -, juntamente com Cyanobacteria e Chlorophyceae, que cresceram de 13 e 5%, respectivamente, para 22%. Cryptophyceae, que era o grupo predominante no inverno, não foi encontrado no verão. No médio curso, o grupo Cyanobacteria, foi reduzido a 23%, e o grupo Chlorophyceae cresceu de 7 a 51%, predominando. O grupo Chrysophyceae também cresceu, mas ficou em proporção similar ao primeiro, com uma densidade relativa de 23%. Bacillariophyta manteve-se com menor expressividade em relação ao todo, mas sua densidade relativa reduziu de 9 a 1%. Por fim, a foz registrou a maior proporção de todas as coletas de um único grupo, ao mesmo tempo que manteve o mesmo – Cryptophyceae cresceu para 96%, reduzindo os outros grupos que já estavam presentes no inverno, a 2% (Cyanobacteria), 1% (Chlorophyceae e Bacillariophyta) e ausência completa de Euglenophyceae.

**Figura 34.** Densidades relativas dos grupos fitoplanctônicos encontrados nos córregos do Santa Maria do Leme (A - nascente, B - médio curso e C - foz) e Tijuco Preto (D - nascente, E - médio curso e F - foz) no inverno



Fonte: Autoria própria

**Figura 35.** Densidades relativas dos grupos fitoplanctônicos encontrados nos córregos do Santa Maria do Leme (A - nascente, B - médio curso e C - foz) e Tijuco Preto (D - nascente, E - médio curso e F - foz) no verão



Fonte: Autoria própria

## 5.5 ENTREVISTAS

A Tabela 4 descreve a quantidade de entrevistas conduzidas por córrego e em cada respectivo ponto. A faixa etária dos entrevistados foi de 23 a 81 anos. É importante ressaltar que além das entrevistas realizadas pelo questionário, duas entrevistas adicionais foram feitas também com membros da Associação de Moradores e Amigos dos Jardins e da ONG Associação Veredas, ambos inseridos na sub-bacia do Santa Maria do Leme.

**Tabela 4.** Número de entrevistas com questionário conduzidas por córrego e respectivos pontos

	Santa Maria do Leme	Tijuco Preto	Total
<b>Nascente</b>	3	10	13
<b>Médio Curso</b>	6	6	12
<b>Foz</b>	5	7	12
<b>Total</b>	14	23	37

Fonte: Autoria própria

Foi observado que 32 dos entrevistados não souberam dizer o nome do córrego analisado. Apenas cinco entrevistados identificaram os córregos corretamente: dois na nascente do Tijuco Preto e três no médio curso do Santa Maria do Leme. Em contrapartida, no que dizia respeito à visão dos entrevistados sobre os córregos como aspecto positivo ou negativo, as respostas já abrangearam uma menor diferença, com 41% ( $n=15$ ) respondendo enxergarem como negativo, 59% ( $n=21$ ) como positivo, e apenas uma pessoa se posicionou como indiferente. Dos que enxergavam como negativo, cerca de 80% das respostas foram ao longo da bacia do Tijuco Preto, enquanto que quando visto como positivo, as respostas estavam bastante balanceadas entre ambas as bacias (47% na do Santa Maria do Leme, 53% na do Tijuco Preto).

As justificativas das respostas foram bastante similares. Aos que enxergavam os córregos como aspectos positivos, os enxergavam como parte da natureza, um atributo que ajuda na harmonização da paisagem, ambiente agradável para atividades (i.e.

meditação ou passeios), consumo para cultivo de verduras, ou apenas por ser um aspecto natural, já se assumiu ser algo positivo. Já no caso dos que enxergaram como negativo, mencionaram presença de usuários de drogas nos arredores durante a noite (nascente do Tijuco Preto), mau cheiro, proliferação de insetos e “mato”, num sentido pejorativo à presença de vegetação, que frequentemente remete à insegurança. A pessoa que se mostrou com opinião indiferente, no médio curso do Santa Maria do Leme, justificou por morar mais longe da várzea do córrego e passar pelo ponto com pouca frequência.

No que se refere ao uso dos córregos para alguma finalidade, apenas quatro indivíduos afirmaram positivamente, nas nascentes. No Tijuco Preto, um afirmou usar para repouso, meditação e educação, enquanto que no Santa Maria do Leme, a finalidade era para irrigação e abastecimento local, por um poço caipira, dessedentação de gado e cultivação hidropônica. Aos que afirmaram negativamente o consenso foi de verem os córregos como poluídos, portanto, inaptos para qualquer uso, ou não haver necessidade por terem acesso à abastecimento público de água.

No que diz que respeito a visualizações sobre a superfície dos córregos, 12 entrevistados afirmaram terem visto espuma e/ou brilho oleoso, e resíduos sólidos foram observados em todos os pontos, com exceção da nascente do Santa Maria do Leme. Na foz do Tijuco Preto, um entrevistado afirmou que resíduos sólidos e espuma foram percebidos mais comumente antes da retificação do rio. Sobre visualização de algas, apenas seis afirmaram terem observado algas do tipo aderidas, massas flutuantes ou espuma azul esverdeada. Os três tipos foram avistados nos três pontos do Tijuco Preto, mas somente na foz do Santa Maria do Leme foi avistada espuma azul esverdeada.

Dos 37 entrevistados pelo questionário, apenas cinco afirmaram terem sido afetados por algum alagamento. Estes alegaram que foram afetados pela lentidão do trânsito na nascente do Tijuco Preto e foz do Santa Maria do Leme. A perda material e dificuldade de sair do local foram alegados por um funcionário de um posto de gasolina na foz do Santa Maria do Leme e impedimento de chegar até o local de destino, no médio curso do mesmo córrego, devido ao ruimento da ponte na época.

Em adição, sobre episódios de erosão ou assoreamento dos córregos, apenas uma pessoa, na nascente do Tijuco Preto, afirmou ter sido afetada por prejuízo estético e perda de apreciação visual do córrego. Também apenas quatro entrevistados afirmaram terem contraído alguma doença transmitida pelo *Aedes aegypt* (sendo apenas um de Zika na nascente do Tijuco Preto, e os outros três de dengue nos médios cursos) e não foram constatados casos de doenças de veiculação hídrica (i.e. cólera, febre amarela, esquistossomose).

Perceberam-se posicionamentos distintos em relação aos córregos. Houve um indivíduo na foz do Tijuco Preto que voluntariamente expôs sua opinião sobre como é contra a canalização do rio e que são necessárias mais matas ciliares e uma relação melhor entre rio e cidade. Outro entrevistado no mesmo ponto afirmou que o fato de ter crescido em um sítio o fez mais conectado à natureza e a favor de qualquer ação em benefício ao meio ambiente. Este mesmo indivíduo afirmou que “*quem nunca viveu em contato com a natureza não a valoriza*”.

Um entrevistado na foz do Santa Maria do Leme voluntariamente sugeriu que sejam feitos trabalhos diferenciados para as pessoas cuidarem e conhecerem o local. Em contrapartida, em algumas entrevistas realizadas na foz do Santa Maria do Leme, uma entrevistada acreditava que este era um esgoto a céu aberto e sentiu-se impelida a mudar de opinião ao saber que era um córrego. Alguns entrevistados na foz dos riachos trabalhavam ou passavam nos arredores dos córregos, mas pouco sabiam dizer sobre estes, já que não era onde moravam.

No caso da nascente do Santa Maria do Leme, o contato com o córrego e a represa na propriedade evidenciou uma diferença significativa de relacionamento com os recursos hídricos. Na propriedade, a água é usada para múltiplas finalidades, como lavar roupa, cozimento de alimentos, para beber, dessedentação de gado e até mesmo cultivo de uma horta hidropônica (Figura 36). Inclusive, a própria entrevistada afirmou que nada é perdido, e que a água residuária da hidroponia é despejada no jardim ou em cultivos que estejam na terra. Foi observada uma confiança maior na qualidade do recurso, o que não foi visto em nenhum outro ponto, apesar da aparente preocupação dos entrevistados para que a situação mudasse.

**Figura 36.** Cultivo hidropônico com uso da água advinda do ponto da nascente do Santa Maria do Leme (julho/2017)



Fonte: Autoria própria

Um ponto a ser realçado foi um consenso observado de que se via necessidade de mais protagonismo do poder público para que as condições nos córregos e seus arredores mudassem. Quanto a atitudes voluntárias por parte dos entrevistados, apenas três disseram limparem os resíduos sólidos dos riachos – sendo apenas um na nascente do Tijuco Preto e dois no médio curso do Santa Maria do Leme – e uma das entrevistadas era da Associação de Moradores e Amigos dos Jardins (AMOR).

A AMOR existe desde 2003 e é um núcleo de engajamento dos moradores do bairros jardins Santa Paula, Nova Santa Paula, Centenário, Paulistano e Icálio, que estão ao redor do córrego Santa Maria do Leme, e conta com 40 associados (pagantes, não necessariamente ativos). O seu escopo de atividades abrange garantir a qualidade de vida e melhorias dos bairros que fazem parte da associação, e ações focadas no córrego estão inclusas. No que se refere a preocupações direcionadas apenas ao Santa Maria do Leme, há a ONG Associação Veredas.

Em entrevista com os membros, Nivaldo e Helena, duas atividades importantes realizadas que se referem ao córrego são mutirões de limpeza (de três a quatro vezes ao ano) e plantio de mudas (iniciado em 2004 e recorrente). Também já foram realizados três concursos fotográficos, dos quais o de 2016 foi com o tema “O Córrego Santa Maria do Leme e sua natureza”. Um programa de Educação Ambiental foi uma das intenções iniciais na época da fundação da Associação, no entanto a falta de

motivação e engajamento dos outros moradores não renderam resultados e o projeto foi deixado de lado.

De forma geral, os associados veem o córrego de forma diferente da população que vive nos bairros abrangidos. Assim como constatado nas outras entrevistas, a vegetação não é vista de maneira totalmente benéfica, já que remete à insegurança. Muitas pessoas não acham desejável plantar muitas mudas devido a esse problema e a Prefeitura já realizou poda de ramos baixos para melhorar a visibilidade dos transeuntes. É comum fazerem as podas e não retirarem os resíduos e deixarem no lugar que fizeram (isso foi observado também na nascente do Tijuco Preto), e isso é considerado um prejuízo estético para os arredores do córrego.

Quando questionados sobre a falta de engajamento de associados e de outras pessoas dos bairros em se envolverem com as atividades da AMOR, e porque eles achavam que isso ocorria, os entrevistados responderam que existe um desinteresse (e até mesmo definido em um momento como “desamor”) em se dedicar às atividades propostas e ao córrego (e que também foi dito não ser um problema exclusivo do Santa Maria do Leme). Motivação, prazer pessoal e sentimento de parceria entre os associados mais ativos são os que permitem que as ações sociais e voltadas ao córrego continuem.

Os mutirões de limpeza são um exemplo dessa falta de engajamento daqueles fora da Associação. Segundo os entrevistados, antes das intervenções da Associação, entulhos eram muito mais comuns, além de ter uma vegetação bem mais reduzida. No início das atividades, a divulgação era mais forte (folhetos distribuídos e faixa de divulgação na sede da AMOR), mas os gastos eram muito altos e sempre apareciam as mesmas pessoas já envolvidas - geralmente associados e poucos fora da associação. Atualmente a divulgação já é mais virtual e fazem o mutirão com cerca de 15 a 20 pessoas.

Já a ONG Veredas existe desde 2010 com o objetivo de desenvolver atividades dentro e em prol da sub-bacia do Santa Maria do Leme. Atualmente conta com cerca de 10 membros, em sua maioria de terceira idade, de diferentes formações, e que

possuem a questão ambiental como motivação comum. A entrevistada, Leda, compartilhou que as principais ações da ONG têm sido projetos de educação ambiental junto a escolas, articulação com o poder público (especialmente no que diz respeito à revisão do Plano Diretor, cujos planos de expansão urbana afetam diretamente a bacia) e seminários para a exposição de estudos a respeito da bacia. De acordo com a entrevistada, cerca de 7.000 pessoas já foram contempladas com as atividades de educação ambiental, dentre iniciativas da própria ONG em trabalhar com as escolas públicas, e iniciativas de escolas que tivessem interesse.

No entanto, devido à falta de recursos financeiros, essas atividades estão menos frequentes do que quando do início da ONG. Em contrapartida, existe parcerias com o Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, com o Instituto de Arquitetura e Urbanismo e o curso da Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo. Essas parcerias têm a finalidade de produzir conhecimento acerca da bacia e permitir uma melhor formação dos membros da ONG que possam auxiliá-los tanto com as atividades de educação ambiental, quanto com as articulações com o poder público, principalmente o Conselho Municipal de Defesa ao Meio Ambiente (COMDEMA) e Conselho Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Carlos (COMDUSC).

Um aspecto bastante protagonista nas atividades de educação ambiental da ONG é o Bosque Santa Marta. Trata-se de um fragmento de 27.000 m<sup>2</sup> de floresta semidecídua no bairro Santa Marta, onde se costuma fazer uma aula ao ar livre com os participantes para abordar o bosque, sua função e importância, e expandir para a necessidade de matas ciliares, tudo dentro do contexto da sub-bacia do Santa Maria do Leme. Com esse bosque, no entanto, percebe-se um problema já identificado nas outras entrevistas: a sensação de insegurança que matas fechadas geram para a população.

No entanto, a mobilização da população para tanto se envolver nas atividades da ONG, quanto se sensibilizarem com as questões ambientais no contexto da bacia e mudarem esse quadro de resistência, é o maior desafio encontrado – e também identificado com a AMOR. Foi mencionado que as pessoas possuem uma visão muito

“clean” (ou seja, de que tudo deve ser de aspecto limpo e asséptico) e que a natureza dos bosques não se encaixam nessa visão (por exemplo, com as folhas secas vistas como “sujeira”) e, portanto, acabam sendo vistos de maneira negativa. Uma grande ambição da ONG é que futuramente um parque linear seja instalado na região unindo esse bosque a outro nas proximidades, o Bosque Cambuí, e assim permitir que uma interação melhor com o córrego e seus arredores e aspectos naturais.

No caminho para esse objetivo, juntamente com as atividades de educação ambiental, a articulação com a Prefeitura de São Carlos também é uma ação necessária. Na revisão do Plano Diretor, uma grande conquista da ONG foi de garantir mais 30 metros das margens dos córregos, somados a 30 metros já garantidos – e que isso é um passo para um futuro espaço para o parque linear almejado. Além disso, as atividades constantes com o COMDEMA e COMDUSC têm como objetivo garantir que as diretrizes para implantação de empreendimentos estão sendo repassadas corretamente, além de auxiliar na melhoria delas e engajar empreendedores a seguirem-nas. Segundo a entrevistada, tudo isso é feito de forma lenta e gradativa, buscando o melhor diálogo possível para que seja possível atingir os objetivos da ONG para a bacia.

## **5.6 DESEMPENHO DOS SERVIÇOS AMBIENTAIS**

Os serviços de regulação, suporte, provisão e culturais são responsáveis por prover benefícios aos seres humanos (HASSAN; SCHOLES; ASH, 2005) e de acordo com o ecossistema, esses benefícios serão fornecidos de maneiras diferentes. No entanto, uso e ocupação podem influenciar no desempenho desses serviços e, consequentemente, afetar sua oferta e demanda, além de aspectos pessoais daqueles que os percebem. Um resumo geral do desempenho dos principais serviços discutidos pode ser encontrado no Quadro 7 ao final da discussão.

### 5.6.1 DESEMPENHO QUALITATIVO

Parte da degradação ambiental se dá por questões comportamentais, e não somente tecnológicas (CLAYTON; OPOTOW, 2004). Especificidades locais, como características culturais e geográficas, uso e não uso de certas áreas, experiências de vida e convicções morais influenciam na percepção e preferências quanto aos serviços ambientais (COSTANZA, 2000; DAILY, 1997). Portanto, é necessário identificar as razões e motivações em proteger os serviços ambientais, a fim de auxiliar na compreensão de quais serviços são relevantes para diferentes partes interessadas e quais *trade-offs* são necessários mitigar pela gestão territorial (SEPPELT et al., 2011).

Foi observado nas entrevistas que mesmo com a maioria dos pontos estando inserida em contexto urbano, existiu uma diferença pequena entre aqueles que enxergavam os córregos negativa ou positivamente, evidenciando o valor pessoal prezado por cada indivíduo. Um pouco menos da metade dos entrevistados perceberam os córregos de maneira negativa, mas aqueles que enxergaram-nos positivamente levaram em conta sua percepção de natureza como benéfica e necessária, apesar dos mesmos motivos enxergados pelos que viam negativamente.

Sendo assim, é possível inferir que todos os serviços estão prejudicados de alguma maneira pela visão dos entrevistados. Mas apesar de desempenhos negativos, como aspectos estéticos comprometidos (tanto do córrego, quanto dos seus arredores) e lazer, algumas justificativas evidenciam um desempenho positivo por alguns serviços culturais, como conexão com a natureza e fins educacionais. O fato de cerca de 80% dos entrevistados não saberem o nome dos córregos pode evidenciar também deficiências nos serviços culturais. Além disso, os serviços de suporte, regulação e provisão podem também estarem prejudicados devido à percepção de poluição quanto aos córregos, que pode significar comprometimento de serviços como consumo de água e depuração de poluentes.

Complementarmente, percebe-se que a diferença no uso e ocupação das bacias também refletiu na percepção dos serviços. Como observado, 80% das respostas negativas se deram ao longo da bacia do Tijuco Preto, que possui cerca de 92% de sua

área completamente urbanizada. Em contrapartida, o caso excepcional na nascente do Santa Maria do Leme mostrou uma relação que não foi observada em nenhum outro ponto. O local encontra-se em uma fazenda, cujos aspectos naturais foram considerados os mais preservados do que em qualquer outro ponto (mesmo com a presença de pastagens ao redor), e a água do lago é usada para atividades domésticas e cultivo de uma horta hidropônica. Conexões entre diferenças de uso e ocupação e percepção dos serviços ambientais também foram observadas em outros estudos (ABRAM et al., 2014; MUHAMAD et al., 2014; ZHANG et al., 2016).

No caso daqueles que viam positivamente, mesmo que as proporções das respostas entre bacias sejam quase as mesmas, ações voluntárias que buscassem a melhoria da qualidade ambiental foram somente detectadas na Bacia do Santa Maria do Leme, cuja proporção de vegetação é quase o dobro do encontrado na bacia do Tijuco Preto. Nas entrevistas realizadas com a AMOR e a ONG Veredas, motivações pessoais e afinidades com as questões ambientais são reflexos dos serviços culturais desempenhados pelo córrego Santa Maria do Leme e sua bacia, e como esses aspectos buscam mudar as questões negativas associadas a esses e aos outros serviços. Exemplos são os mutirões de limpeza (afetando serviços culturais e suporte), plantio de mudas (regulação e suporte), educação ambiental e concursos fotográficos (serviços culturais afetando-se de forma interna) e articulação com o poder público (buscando afetar todos os serviços)

Informações mais detalhadas seriam necessárias para confirmar o desempenho de alguns serviços relacionadas ao controle de doenças. Mesmo que nenhum caso de doença de veiculação hídrica tenha sido registrado nas entrevistas, o serviço regulador de doenças pode não estar em condições aceitáveis, já que foi relatado na nascente do Tijuco, que havia focos do mosquito *Aedes aegypt* na área, e que já teria ocorrido muitos casos em outros anos, além dos quatro casos (três de dengue e um de Zika) identificados nas entrevistas.

Já no caso de cheias, apenas cinco pessoas reportaram terem sido prejudicadas de alguma forma. Esse dado sugere que pode haver problemas com a regulação de cheias, no entanto como houve entrevistados que não viviam na região de várzea dos

córregos (alguns moravam mais acima da várzea ou não eram do local), não é possível inferir seu real desempenho. Porém, no caso da foz Santa Maria do Leme, é muito comum haver enchentes, como observado por Pelissari (2016), que segundo a Defesa Civil de São Carlos, ocorreram 26 casos de enchente entre 2005 e 2014 – uma média de 2,8 eventos por ano -, que sugerem uma deficiência histórica desse serviço no Santa Maria do Leme.

No que se refere à erosão e assoreamento, uma pessoa apenas afirmou ter tido algum prejuízo estético na nascente do Tijuco Preto, mas as evidências de processos erosivos avançados tanto neste ponto, quanto no seu médio curso, sugerem que o serviço de controle de erosão esteja prejudicado.

Percebe-se que valores pessoais, aspectos estéticos e confiança na qualidade da água são dominantes para determinar esses desempenhos, quando vistos de forma qualitativa. Mesmo quando os córregos foram vistos como negativos, houve o sentimento de que os aspectos que contribuem para isso fossem revertidos. E apesar de dificuldades de engajamento e recursos, as ações voluntárias para melhorias na bacia do Santa Maria do Leme buscam aos poucos melhorar todos os serviços desempenhados (apreciação estética, provisão de água, lazer, regulação microclimática, suporte à vida aquática, entre outros) e mudar valores pessoais das outras pessoas que interajam com a bacia. Logo, o desempenho de serviços culturais refletem sobre os outros serviços, da mesma forma que os serviços de regulação, suporte e provisão influenciam no desempenho dos primeiros. No entanto, é importante ressaltar que não foi perguntado às pessoas sobre instrução e se moravam na região, e esses são aspectos que podem afetar suas visões a respeito dos córregos e seus serviços.

### **5.6.2 DESEMPENHO QUANTITATIVO**

Como mencionado, a qualidade da água aparenta ser um aspecto que influencia a visão das pessoas quanto aos córregos e seus serviços. Em termos quantitativos, os

indicadores de qualidade de água buscam informar e detalhar com mais profundidade os desempenhos dos serviços observados nas entrevistas, principalmente no que diz respeito aos de regulação, provisão e suporte. No que se refere à Resolução CONAMA nº 357/2005, alguns indicadores como pH, OD, turbidez, fósforo total, *E. coli* e densidade fitoplânctônica podem indicar não conformidades que possam estar comprometendo as finalidades previstas para corpos hídricos de classe 2 (proteção das comunidades aquáticas; abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; aquicultura e atividade de pesca; recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer por contato direto), além de outros serviços.

Turbidez foi o único parâmetro analisado que, em todos os pontos em ambas as estações, esteve de acordo com a legislação. Esse parâmetro impacta principalmente a qualidade estética de córregos e lagos (KAORU; SMITH; LIU, 1995; LLOYD, 1987) e nas visitas de campo, não foram observados quaisquer irregularidades visuais quanto a esse indicador que pudessem ter efeitos estéticos adversos.

Os serviços de suporte, de forma geral, aparentam ser a categoria menos alterada. Os valores de temperatura variaram de acordo com as estações (e de acordo com os horários das coletas) e 75% dos valores de pH apresentaram-se dentro do estabelecido pela legislação, sendo que aqueles que estavam fora apresentaram pouco diferença em relação ao mínimo estabelecido. Contudo, quanto à vazão, os valores obtidos foram relativamente baixos, com o máximo registrado de 2,8 m<sup>3</sup>/s no médio curso do Santa Maria do Leme no verão. Tais vazões podem não permitir atividades como natação (prevista pela resolução CONAMA nº 357/2005), mas são o suficiente para permitirem suporte à vida aquática (i.e. pequeno peixes, girinos, macroinvertebrados e fitoplâncton) e terem influências ambientais locais.

Além disso, a alteração da geomorfologia do córrego do Tijuco Preto na região da sua foz, onde é retificado, suas margens enlargadas e com degraus hidráulicos, também afetam os serviços de suporte. O regime de fluxo de sistema lóticos é responsável por controlar, direta e indiretamente, as condições de habitat por estar

fortemente relacionado às suas características físico-químicas (TETZLAFF; GROTTKER; LEIBUNDGUT, 2005). Portanto, mudanças geomorfológicas e hidrológicas afetam aspectos hidráulicos (i.e. perfis de velocidade), que afetam processos ecológicos como organismos filtradores (HART; FINELLI, 1999), processamento de carbono e ciclagem de nutrientes (JONES; MULHOLLAND, 2000).

Quanto ao oxigênio dissolvido, trata-se de um parâmetro que permite a sobrevivência de seres vivos. Apenas a nascente do Tijuco Preto não apresentou o mínimo de 5 mg/L requerido pela legislação, provavelmente devido ao intenso assoreamento, que também pode ter impactado na sua baixa vazão. No entanto, o oxigênio dissolvido possui uma relação indireta com temperatura e possui variações diárias (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2017). Logo, análises mais frequentes poderiam informar melhor se neste ponto está havendo problemas com a solubilização do gás e afetando as condições para suportar vida.

Por outro lado, quando se refere a serviços de regulação e provisão, ambas as categorias aparentam ter desempenhos mais insatisfatórios, como observado pelas entrevistas. A baixa vazão do córrego Santa Maria do Leme, por exemplo, foi um dos motivos alegados para acabar com a sua captação, que ocorreu até a década de 80, além de alegações de qualidade comprometida para abastecimento, evidenciando a perda de um serviço de provisão. Complementarmente, os altos valores de CE ao longo do Tijuco Preto indicam que há uma grande concentração de íons, provenientes de poluição, e este comportamento é observado na maioria dos córregos urbanos (PAUL; MEYER, 2001). Os resultados se relacionam com os de NTK e fósforo total, nutrientes que são principais indicadores de poluições pontuais por esgoto, o que foi observado no médio curso do Tijuco Preto (ver Figura 27).

A foz do Tijuco Preto, em ambas as estações, e o seu médio curso no verão apresentaram valores de fósforo total muito acima do limite de 100 µg/L estabelecido pela legislação. No entanto, quando os mesmos valores são comparados com o limite sugerido por Cunha, Dodds e Calijuri (2011) de 30 µg/L, considerado pelos autores como seguro para a biota aquática (com base em análises conduzidas em ambientes lóticos paulistas), a diferença aumenta consideravelmente e o médio curso do Tijuco

Preto, no inverno, considerado em conformidade com a legislação, pode estar, no entanto, apresentando riscos à vida aquática. Segundo o mesmo estudo, o limite de 0,31 mg/L de NTK para ambientes lóticos é sugerido. Com base nisso, todos os pontos (com exceção da nascente do Santa Maria do Leme, que é um ambiente lêntico, e a nascente do Tijuco Preto no inverno), apresentam valores acima desse limite e, novamente, o Tijuco Preto apresenta as maiores diferenças na sua foz em ambas as estações, e o médio curso no verão com a maior diferença geral.

Em comparação com outro estudo, o comportamento temporal em relação aos mesmos parâmetros foi oposto nos dois córregos: no verão (Março e Abril/2008) os valores foram maiores que os do inverno (Setembro/2008). Os maiores valores de fósforo total registrados foram de 402 µg/L e 172 µg/L no Tijuco Preto no inverno, em pontos antes e após uma indústria de tapetes (sendo este último ponto bastante próximo ao ponto do médio curso desse trabalho). Quanto aos valores de NTK, também foram no inverno, mas na nascente e antes da indústria de tapetes – 2,12 e 2,59 mg/L respectivamente. No entanto os resultados mostram um comportamento similar, em que os valores de NTK e fósforo total no Tijuco Preto são maiores do que no Santa Maria do Leme (BAIO, 2009). Portanto, uma variedade climática pode estar contribuindo no desempenho temporal dos serviços.

Os valores de *E. coli* sugerem contaminações fecais em algum ponto das bacias dos córregos e corroboram os resultados de NTK e fósforo total. Por mais que os valores não sigam estritamente a forma como é atribuída pela legislação, a sua presença afeta principalmente os serviços de provisão. Isso é facilmente perceptível pelo fato de haver uso direto de água no ponto da nascente do Santa Maria do Leme, onde o valor máximo de *E. coli* detectado foi de 100 UFC/100 mL, que está abaixo do limite estabelecido pela legislação, o que não ocorre em outros pontos, os quais atingiram ou excederam o limite em ambas as estações.

As densidades relativas de fitoplâncton podem ser reflexos dos resultados de fósforo total e NTK, e sugerem deficiências no desempenho dos serviços ecossistêmicos. A dominância do grupo de Cryptophyceae na foz do córrego Tijuco Preto em ambas as estações pode ser um reflexo direto da contribuição de esgoto no

seu médio curso, uma vez que esse grupo (representado aqui pelo gênero *Cryptomonas*) é característico de águas ricas em nutrientes, com baixa luminosidade e é considerado tolerante a poluição orgânica (ESTEVES; SUZUKI, 2011; PALMER<sup>1</sup>, 1969 *apud* TAYLOR et al., 1979). A presença de Euglenophyceae na sua nascente no verão, mesmo com ausência de Cryptophyceae, também sugere condições insatisfatórias, pois essa classe de algas é comumente encontrada em águas com elevadas concentrações de matéria orgânica (ESTEVES; SUZUKI, 2011).

Em contrapartida, a dominância de Zygematophyceae na nascente do córrego Santa Maria do Leme corrobora os dados de que seja um ambiente em condições mais satisfatórias no que se refere à qualidade de água e, consequentemente, de seus serviços. Essa classe de algas, em sua maioria, é sensível à poluição e é característica de águas mais quentes, claras e oligo-mesotróficas com baixa condutividade e pH (ESTEVES; SUZUKI, 2011; NGEARNPAT; PEERAPORNPIRAL, 2007; STAMENKOVIĆ; CVIJAN, 2009). No entanto, a presença de Cryptophyceae ao longo do córrego Santa Maria do Leme, com densidade relativa de 52% na foz durante o inverno, pode indicar piora na qualidade da água ao longo de seu curso, uma vez que esse grupo é característico de águas ricas em nutrientes (PALMER<sup>2</sup>, 1969 *apud* TAYLOR et al., 1979)

Além disso, embora as cianobactérias sejam organismos cosmopolitas e altamente adaptáveis sob diferentes condições, sua presença em quase todos os pontos, e em alguns casos de forma bastante significativa (i.e. médio curso do Tijuco Preto no verão), é preocupante devido ao fato de alguns desses microrganismos serem potencialmente produtores de cianotoxinas e estas serem prejudiciais à saúde humana e à biota aquática (ESTEVES; SUZUKI, 2011). Por fim, deve-se dar uma atenção especial a esse grupo, pois estes são indicadores de ambientes eutrofizados e podem ser dominantes em um cenário de mudanças climáticas, principalmente com o aquecimento das águas (O'NEIL et al., 2012).

<sup>1, 2</sup> PALMER (1969) – A Composite rating of algae tolerating organic pollution. **Journal of Phycology**, v. 5, n. 1, p. 78 – 82, 1969

Portanto, os valores de *E. coli*, fitoplâncton, NTK e fósforo total permitem inferir que serviços como suporte à vida aquática, depuração de nutrientes e uso direto podem estar seriamente prejudicados em todos os pontos de ambos os córregos, com exceção das nascentes, que apresentaram resultados desempenho mais satisfatórios. Além desses, ao ultrapassarem os valores estabelecidos pela CONAMA nº 357/2005, os usos previstos pela legislação para águas doces de Classe 2 podem estar em sua maioria, comprometidos. A descarga de esgoto observado no médio curso do Tijuco Preto mostra-se como principal contribuidor para a degradação da qualidade da água no Tijuco Preto, mas valores acima do permitido no Santa Maria do Leme sugerem que há algum tipo de poluição não identificada em um ou mais pontos entre o ponto de nascente e médio curso.

**Quadro 7.** Resumo do desempenho de alguns dos serviços identificados na nascente, médio curso e foz dos córregos Santa Maria do Leme e Tijuco Preto. Desempenho positivo está indicado em verde, mediano em laranja e negativo em vermelho.

		Santa Maria do Leme			Tijuco Preto		
Serviços/Pontos		Nascente	Médio Curso	Foz	Nascente	Médio Curso	Foz
Culturais	Apreciação Estética						
	Lazer e recreação de contato primário						
	Pesca						
	Conexão com a natureza						
Provisão	Fins educacionais						
	Cultivo de hortaliças						
	Aquicultura						
Regulação	Consumo humano						
	Depuração de nutrientes						
	Regulação de doenças						
	Controle de cheias						
Suporte	Controle de erosão						
	Proteção às comunidade aquáticas						

Fonte: Autoria própria





## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Levando-se em conta as variáveis avaliadas nas estações durante o período da pesquisa, sugere-se que os quatro tipos de serviços ecossistêmicos encontraram-se comprometidos em alguns aspectos. A magnitude variou com o uso e ocupação distintos das bacias, sendo que os serviços na bacia do Tijuco Preto, com cerca de 92% da sua área urbanizada, encontraram-se aparentemente mais prejudicados que na bacia do Santa Maria do Leme, o que corrobora as afirmações que a urbanização tem efeitos negativos sobre os serviços ecossistêmicos aquáticos.

Foi observado que o desempenho de serviços culturais refletiu sobre os outros serviços, da mesma forma que os serviços de regulação, suporte e provisão influenciaram no desempenho dos primeiros. Quando vistos de forma qualitativa, valores pessoais, aspectos estéticos e confiança na qualidade da água foram dominantes para determinar o desempenho dos serviços. Apreciação estética, conexão com os córregos e lazer foram os principais serviços culturais identificados como prejudicados, devido à presença de resíduos sólidos, percepção negativa quanto à vegetação circundante e à qualidade da água. No entanto, informações demográficas como educação e se os moradores moravam na região não foram obtidas e poderiam informar com maior profundidade sobre essa classe de serviços.

Em termos quantitativos, os indicadores de qualidade de água sugeriram que serviços de regulação e provisão são os mais prejudicados, sendo potabilidade o serviço com o desempenho identificado como mais insatisfatório. Os altos valores de condutividade elétrica, concentração de fósforo total acima de 100 µg/L estabelecido pela legislação, presença de *E. coli* acima do limite estabelecido no médio curso e foz do Tijuco Preto, valores de NTK acima do valor sugerido na literatura e presença significativa dos grupos Cryptophyceae, Cyanobacteria e Euglenophyceae foram os principais resultados a sugerirem o desempenho negativo desses serviços. Os serviços de suporte estão aparentemente menos prejudicados. Os resultados de condutividade elétrica, fósforo total e NTK, juntamente com valores baixos de vazão e alterações na geomorfologia sugerem o comprometimento do serviços de suporte, mas os resultados

de temperatura, pH e oxigênio dissolvido indicam que estejam com um desempenho mais positivo do que os serviços de regulação, provisão e culturais.

A primeira grande demanda observada a partir desse trabalho seria aprofundar estudos que correlacionem indicadores de qualidade de água e serviços ecossistêmicos, especialmente no contexto de córregos urbanos, visto que não foi encontrada literatura que tivesse essa abordagem. Em adição, a continuação com análises nos mesmos pontos poderá permitir perceber variações temporais e informar melhor sobre as condições dos serviços analisados neste trabalho. Além disso, recomenda-se realizar estudos similares em outras sub-bacias do Monjolinho, o que poderá aumentar a escala de compreensão do desempenho dos serviços ambientais aquáticos dentro da bacia. Concomitantemente, análises estatísticas poderão colaborar com aprofundamento da relação entre indicadores e, consequentemente, quais se relacionam melhor com cada tipo de serviço e seus desempenhos.

Também sugere-se realizar estudos mais detalhados e focados com as populações e serviços ambientais aquáticos. Esses estudos poderão informar melhor sobre o aspecto humano dos serviços e direcionar melhores discussões sobre governança. Dessa forma, espera-se que as ações voluntárias observadas com a AMOR e a ONG Veredas sejam fortalecidas, e que iniciativas similares possam ser observadas na bacia do Tijuco Preto para a melhora da sua qualidade e, consequentemente, de seus serviços.

## REFERÊNCIAS

ABRAM, N. K. et al. Spatially explicit perceptions of ecosystem services and land cover change in forested regions of Borneo. **Ecosystem Services**, v. 7, p. 116–127, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Base hidrográfica ottocodificada da Bacia do Rio Tietê.** Disponível em:<<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=370&currTab=distribution>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

ALAM, M. Z. et al. Water quality and resident perceptions of declining ecosystem services at Shitalakka wetland in Narayanganj city. **Sustainability of Water Quality and Ecology**, Mar. 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2017.03.002>.

ALEXANDER, A. et al. Alternative methods of valuing global ecosystem services. **Ecological Economy** (submitted).

ALMEIDA JUNIOR, A. J. C. D. et al. Medição de velocidade e vazão em cursos d'água: molinete hidrométrico versus método do flutuador. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, Uberaba, 2010. **Anais...** Uberaba: ABID, 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater.** 21<sup>rst</sup>ed. Washington: APHA, 2005..

ARNOLD, C. L.; GIBBONS, C. J. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. **Journal of the American Planning Association**, v. 62, n. 2, p. 243–258, 1996.

AYLWARD, B. et al. Freshwater ecosystem services. In: HASSAN, R.; SCHOLES, R.; ASH, N.; (Ed.). **Ecosystems and human well-being:** current state and trends. Washington, DC: Island, 2005. V.1, Cap.7, p. 213–255. (The Millennium Ecosystem Assessment Series).

BAIO, J. A. F. **Avaliação da contaminação nos principais corpos d'água do município de São Carlos / SP.** 2009. 111p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2009.

BARNAUD, C.; ANTONA, M. Deconstructing ecosystem services: Uncertainties and controversies around a socially constructed concept. **Geoforum**, v. 56, p. 113–123, 2014.

BATEMAN, I. J. et al. Economic analysis for ecosystem service assessments. **Environmental and Resource Economics**, v. 48, n. 2, p. 177–218, 2011.

BENNETT, E. M.; PETERSON, G. D.; GORDON, L. J. Understanding relationships

among multiple ecosystem services. **Ecology Letters**, v. 12, n. 12, p. 1394–1404, 2009.

BERTAZI, M.H. **Bacia hidrográfica do rio Monjolinho: mapa hidrográfico**. São Carlos: Centro de Divulgação Científica e Cultural da Universidade de São Paulo, 2011a. 1 mapa, color., escala 1:100.000.

BERTAZI, M.H. **Sub – bacia hidrográfica do córrego Santa Maria do Leme: mapa topográfico**. São Carlos: Centro de Divulgação Científica e Cultural da Universidade de São Paulo, 2011b. 1 mapa, color., escala 1:25.000.

BERTAZI, M.H. **Sub – bacia hidrográfica do córrego Tijuco Preto: mapa topográfico**. São Carlos: Centro de Divulgação Científica e Cultural da Universidade de São Paulo, 2011c. 1 mapa, color., escala 1:15.000.

BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil**: chave para identificação e descrições. 2.ed. São Carlos: RiMa, 2006.

BRAUMAN, K. et al. The Nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. **Annual Review of Environment and Resources**, n. 32, p. 1–32, July 2007.

BUCHEL, S.; FRANTZESKAKI, N. Citizens' voice: a case study about perceived ecosystem services by urban park users in Rotterdam, the Netherlands. **Ecosystem Services**, v. 12, p. 169–177, 2015.

CASTILLA, E. P. et al. Quantification of phytoplankton bloom dynamics by citizen scientists in urban and peri-urban environments. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 11, p. 690-700, 2015.

CHEH, X. et al. Spatial-temporal variations of water quality and its relationship to land use and land cover in Beijing, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 5, p. 449, 2016.

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN-GEIGER. Disponível em:<[https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica\\_o\\_Clim\\_tica\\_Koppen.pdf](https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica_o_Clim_tica_Koppen.pdf)>. Acesso em: 03 ago. 2017.

CLAYTON, S.; OPOTOW, N. (Ed.). **Identity and the natural environment: the psychological significance of nature**. Massachusetts: M.I.T., 2004.

COMMON INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL SERVICES. **Structure of CICES**. Disponível em:<<http://cices.eu/cices-structure/>>. Acesso em: 20 Feb. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma técnica L5.214 -**

**coliformes totais** - determinação pela técnica de membrana filtrante: método de ensaio. São Paulo, 2007.

\_\_\_\_\_. **Enquadramento dos corpos hídricos** – mapas temáticos | águas interiores - sistema ambiental paulista - governo de SP. Disponível em:<<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/enquadramento-dos-corpos-hidricos-mapas-tematicos/>>. Acesso em: 3 jul. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357 de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005, n. 53, p. 58-63.

COSTANZA, R. Social goals and the valuation of ecosystem services. **Ecosystems**, v. 3, n. 1, p. 4–10, 2000.

COSTANZA, R. et al. The Value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387115, p. 253–260, May 1997.

\_\_\_\_\_. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, n. 1, p. 152–158, 2014.

COSTANZA, R.; NEIL, C. The energy embodied in the products of ecological systems: a linear programming approach. In: MITSCH, W.J.; BOSSERMAN, R.W.; KLOPATEK, J.M. (Ed.). **Energy and ecological modeling**. New York: Elsevier, 1981. p.745–755.

COSTANZA, R.; HANNON, B.M. Dealing with the “Mixed Units” Problem in Ecosystem Network Analysis. In: WULFF, F.; FIELD, J.G.; MANN, K.H. (Ed.). **Network analysis of marine ecosystems: methods and applications**. Heidelberg: Springer, 1989. p.90–115.

CUNHA, D. G. F.; DODDS, W. K.; CALIJURI, M. C. Defining nutrient and biochemical oxygen demand baselines for tropical rivers and streams in São Paulo State (Brazil): A comparison between reference and impacted sites. **Environmental Management**, v. 48, n. 5, p. 945–956, 2011.

DAILY, G. **Nature's services**: societal dependence on natural ecosystems. Washington, DC: Island, 1997.

DODDS, W. K.; PERKIN, J. S.; GERKEN, J. E. Human impact on freshwater ecosystem services: A global perspective. **Environmental Science and Technology**, v. 47, n. 16, p. 9061–9068, 2013.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L.B. **Water in environmental planning**. New York: Freeman, 1978.

EGOH, B. et al. **Indicators for mapping ecosystem services**: a review. Luxembourg: Luxemburg Publications Office of the European Union, 2012. Disponível em:<[http://bookshop.europa.eu/en/indicators-for-mapping-ecosystem-services-pbLBNA25456;/pgid=y8dIS7GUWMdSR0EAIMEUUsWb0000bkrukNw9;sid=WLtBrKQaKC9BsPRgnh\\_fC8Y\\_-ng9\\_Ol5Rsk=?CatalogCategoryID=7QwKABstDHwAAAEjK5EY4e5L](http://bookshop.europa.eu/en/indicators-for-mapping-ecosystem-services-pbLBNA25456;/pgid=y8dIS7GUWMdSR0EAIMEUUsWb0000bkrukNw9;sid=WLtBrKQaKC9BsPRgnh_fC8Y_-ng9_Ol5Rsk=?CatalogCategoryID=7QwKABstDHwAAAEjK5EY4e5L)>. Acesso em: 09 mai. 2016.

ELLIS, E. C.; RAMANKUTTY, N. Putting people in the map: Anthropogenic biomes of the world. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 6, n. 8, p. 439–447, 2008.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. **Ecological Economics**, v. 65, n. 4, p. 663–674, 2008.

ESTEVES, F. A.; SUZUKI, M. S. Comunidade fitoplânctônica. In: ESTEVES, F. A. (Org.). **Fundamentos de limnologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p.375-445.

FELÍCIO, B. C. **Áreas marginais a corpos hídricos urbanos**: delimitação e zoneamento ambiental. Área piloto: bacia do córrego Santa Maria Madalena, em São Carlos/SP. 2014. 193p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

FINLAYSON, C.M.; D'CRUZ, R. (Coord.). Inland water systems. In: HASSAN, R.; SCHOLES, R.; ASH, N.; (Ed.). **Ecosystems and human well-being**: current state and trends. Washington, DC: Island, 2005. V.1, Cap.20, p. 553-583. (The Millennium Ecosystem Assessment Series).

**FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. São Carlos.** Disponível em:<<http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/perfil>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

HART, D. D.; FINELLI, C. M. Physical-biological coupling in streams: the pervasive effects of flow on benthic organisms. **Annual Review of Ecology and Systematics**, n. 30, p. 363–395, 1999.

HAUCK, J. et al. Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: some stakeholder perspectives. **Environmental Science & Policy**, n. 25, p.13 – 21, 2013

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. São Carlos » infográficos:** dados gerais do município. Disponível em:<<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=354890>>. Acesso em: 1 out. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações automáticas.** Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 13 jul. 2017a.

\_\_\_\_\_. **Normais climatológicas do Brasil (1961-1990).** Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 1 out. 2017b.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento no Brasil.** Disponível em:<<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 18 jul. 2017.

JONES J.B.; MULHOLLAND, P.J. **Streams and ground waters.** San Diego: Academic, 2000.

JUNQUEIRA, C.A.R.; SILVA, R.S. Ocupação antrópica de fundo de vale: análise do vale do córrego Santa Maria do Leme, São Carlos, SP. In: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL INTEGRADO SUSTENTÁVEL, 2., 2006, Braga. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2006.

KAORU, Y.; SMITH, V. K.; LIU, J. L. Using random utility models to estimate the recreational value of estuarine resources. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 77, n. 1, p. 141–151, Feb. 1995.

KEELER, B. L. et al. Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 45, p. 18619–18624, 2012.

LAMARQUE, P.; QUÉTIER, F.; LAVOREL, S. The Diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. **Comptes Rendus - Biologies**, v. 334, n. 5–6, p. 441–449, 2011.

LAUTENBACH, S. et al. Mapping water quality-related ecosystem services: concepts and applications for nitrogen retention and pesticide risk reduction. **International Journal of Biodiversity Science Ecosystem Services & Management**, v. 8, p. 1–2, 2012.

LEMMON, P.E. A Spherical densiometer for estimating forest overstory density. **Forest Science**, v. 2, p. 314–320, 1956.

\_\_\_\_\_. A New instrument for measuring forest overstory density. **Journal of Forestry**, v. 55, p. 667–668, 1957.

LI, W. et al. Temporal variation of heavy metal pollution in urban stormwater runoff. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 6, n. 5, p. 692–700, 2012.

LLOYD, D. S. Turbidity as a water quality standard for salmonid habitats in Alaska. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 7, n. 1, p. 34–45, Jan. 1987.

MA CONCEPTUAL Framework. In: HASSAN, R.; SCHOLES, R.; ASH, N.; (Ed.). **Ecosystems and human well-being: current state and trends**. Washington, DC: Island, 2005. V.1, Cap.1, p. 25-36. (The Millennium Ecosystem Assessment Series).

MEYER, J. L.; PAUL, M. J.; TAULBEE, W. K. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, n. 3, p. 602, 2005.

MILCU, A. I. et al. Cultural ecosystem services: a literature review and prospects for future research. **Ecology & Society**, v. 18, n. 3, p. 44–88, 2013.

MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT OF NEW ZEALAND. **Environmental performance indicators confirmed indicators for air, fresh water and land**. New Zealand, 1998.

MOONEY, H. A. et al. **Ecosystems and human well-being**. Washington, DC: Island, 2005.

MUHAMAD, D. et al. Living close to forests enhances people's perception of ecosystem services in a forest-agricultural landscape of West Java, Indonesia. **Ecosystem Services**, v. 8, p. 197–206, 2014.

MÜLLER, F.; BURKHARD, B. The Indicator side of ecosystem services. **Ecosystem Services**, v. 1, n. 1, p. 26–30, 2012.

NAHUELHUAL, L. et al. A Mapping approach to assess intangible cultural ecosystem services: the case of agriculture heritage in Southern Chile. **Ecological Indicators**, v. 40, p. 90–101, 2014.

NAIDOO, R. et al. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, n. 28, p. 9495–9500, 2008.

NELSON, E. et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, n. 1, p. 4–11, 2009.

NELSON, G. Drivers of ecosystem change: summary chapter. **Ecosystems and Human Well-being: current state and trends**, v. 1, p. 73–76, 2005.

NGEARNPAT, N.; PEERAPORNPIRAL, Y. Application of desmid diversity in assessing the water quality of 12 freshwater resources in Thailand. **Journal of Applied Phycology**, v. 19, n. 6, p. 667–674, 2007.

NORGAARD, R. B. Ecosystem services: from eye-opening metaphor to complexity blinder. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1219–1227, 2010.

ODUM, E.P. **Fundamentos de ecologia**. 6.ed. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004

O'NEIL, J. M. et al. The Rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. **Harmful Algae**, v. 14, p. 313–334, 2012.

PARKYN, S.; QUINN, J. Urban streamscapes: what people want to see in their neighbourhood. **Water & Atmosphere**, v. 14, n. 1, p. 14–15, 2006.

PAUL, M. J.; MEYER, J. L. Streams in the Urban Landscape. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 32, n. 1, p. 333–365, 2001.

PELISSARI, M. H. D. **Análise do Manejo das Águas Pluviais no Município de São Carlos - Estudo da Bacia do Córrego Santa Maria do Leme**. 2016. 167p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

RAYMOND, C. M. et al. Ecosystem services and beyond. **BioScience**, v. 63, n. 7, p. 536–546, 2013.

REID, W. V. et al. Nature: the many benefits of ecosystem services : McCauley replies. **Nature**, v. 443, p. 749–750, Oct. 2006.

RINGOLD, P. L. et al. Report from the workshop on indicators of final ecosystem services for streams. **Environmental Protection**, v. 2009, 2009.

LA ROSA, D.; SPYRA, M.; INOSTROZA, L. Indicators of cultural ecosystem services for urban planning: a review. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 74–89, 2016.

SANT'ANNA, C. L. et al. **Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciênciac; São Paulo: Sociedade Brasileira de Ficologia (SBFic), 2006.

SÃO CARLOS (Prefeitura). **Lei nº 13.691/2005. Institui o plano diretor do município de São Carlos e dá outras providências.** Disponível em:<<https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-sao-carlos-sp>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

SCHRÖTER, M. et al. Ecosystem services as a contested concept: a synthesis of critique and counter-arguments. **Conservation Letters**, v. 7, n. 6, p. 514–523, 2014.

SEPPELT, R. et al. A Quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 3, p. 630–

636, 2011.

SILVA, V. B.; CRISPIM, J. Q. Um Breve relato sobre a questão ambiental. **Revista GEOMAE**, v. 2, n. 1, p. 163–175, 2011.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré**. Disponível em:<<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao>>. Acesso em: 11 dez. 2015.

SONODA, K.; YEAKLEY, J. A.; WALKER, C. E. Near-stream landuse effects on streamwater nutrient distribution in an urbanizing watershed. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, n. 6, p. 1517–1532, 2001.

STAMENKOVIĆ, M.; CVIJAN, M. Desmid flora (Chlorophyta, Zygnematophyceae) of the Danube in the Province of Vojvodina (Northern Serbia). **Archives of Biological Sciences**, v. 60, n. 2, p. 181–199, 2009.

TARPANI, R. R. Z. **Análise ambiental de micro-bacia hidrográfica visando a prevenção de danos ambientais e econômicos**. 2008. 67p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

TETZLAFF, D.; GROTTKER, M.; LEIBUNDGUT, C. Hydrological criteria to assess changes of flow dynamic in urban impacted catchments. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 30, n. 6–7, p. 426–431, 2005 (Special Issue).

TAYLOR, W. D. et al. **Phytoplankton water quality relationships in U.S. lakes, part VI**: the common phytoplankton genera from Eastern and Southeastern lakes. Las Vegas: United States Environmental Protection Agency, 1979.

UN-WATER. **Water for a sustainable world**. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2015.

UNITED NATIONS. **World urbanization prospects: the 2014 revision, highlights (ST/ESA/SER.A/352)**. New York: United Nations, 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Dissolved oxygen, from the USGS water science school: all about water**. Disponível em:<<https://water.usgs.gov/edu/dissolvedoxygen.html>>. Acesso em: 18 July 2017.

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommenung der quantitativen phytoplankton -methodik. **Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 9, p. 1-38, 1958.

VAN-DE-HOEK, C.; MANN, D. G.; JANHS, H. M. **Algae: an introduction to phycology**.

Cambridge: University of Cambridge Press, 1995.

VOROSMARTY, C. J.; LÉVÈQUE, C.; REVENGA, C. (Coord.). Fresh water. In: HASSAN, R.; SCHOLES, R.; ASH, N.; (Ed.). **Ecosystems and human well-being: current state and trends**. Washington, DC: Island, 2005. V.1, Cap.7, p. 165-207. (The Millennium Ecosystem Assessment Series).

WALSH, C. J. et al. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, n. 3, p. 706–723, 2005.

WANG, J. et al. Temporal variations of surface water quality in urban, suburban and rural areas during rapid urbanization in Shanghai, China. **Environmental Pollution**, v. 152, n. 2, p. 387–393, 2008.

WORLD BANK. **Environment matters at the world bank**: valuing coastal and marine ecosystem services. Washington, DC: World Bank, 2009.

ZHANG, W. et al. Awareness and perceptions of ecosystem services in relation to land use types: evidence from rural communities in Nigeria. **Ecosystem Services**, v. 22, n. November, p. 150–160, 2016.

ZHANG, X. Q. The Trends, promises and challenges of urbanisation in the world. **Habitat International**, v. 54, n. 13, p. 241–252, 2016.