



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Qualidade das águas e hemerobia da bacia do córrego do Mineirinho, São Carlos, SP

Fabio Leandro da Silva<sup>1</sup>, Geisy Cândido da Silva<sup>2</sup>, Ângela Terumi Fushita<sup>3</sup>, Irineu Bianchini Junior<sup>4</sup>, Marcela Bianchessi da Cunha-Santino<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Bacharel em Gestão e Análise Ambiental pela Universidade Federal de São Carlos, mestre em Ciências da Engenharia Ambiental, doutorando em Ecologia e Recursos Naturais na Universidade Federal de São Carlos. [fabioleodasilva@gmail.com](mailto:fabioleodasilva@gmail.com). <sup>2</sup> Bacharel em Gestão e Análise Ambiental pela Universidade Federal de São Carlos, mestranda em Geociências e Meio Ambiente na Universidade Estadual Paulista no Instituto de Pós-graduação em Geociências e Ciências Exatas. [silva\\_geisi@yahoo.com.br](mailto:silva_geisi@yahoo.com.br). <sup>3</sup> Bióloga pela Universidade Federal de São Carlos, mestre em Ecologia e Recursos Naturais, Doutora em Ecologia e Recursos Naturais. Professora adjunto A da Universidade Federal do ABC. [angela\\_fushita@yahoo.com.br](mailto:angela_fushita@yahoo.com.br). <sup>4</sup> Biólogo pela Universidade Federal de São Carlos, mestre em Ecologia e Recursos Naturais, Doutor em Ecologia e Recursos Naturais. Docente do Departamento de Hidrobiologia, Universidade Federal de São Carlos. [irineu@ufscar.br](mailto:irineu@ufscar.br). <sup>5</sup> Bióloga pela Universidade Federal de São Carlos, mestre em Ecologia e Recursos Naturais, Doutora em Ecologia e Recursos Naturais. Docente do Departamento de Hidrobiologia, Universidade Federal de São Carlos. [cunha\\_santino@ufscar.br](mailto:cunha_santino@ufscar.br).

Artigo recebido em 14/02/2017 e aceito em 03/01/2018

### RESUMO

O monitoramento limnológico auxilia no diagnóstico da qualidade dos recursos hídricos e pode ser utilizado como uma ferramenta de gestão ambiental, fornecendo subsídios para a tomada de decisão e no planejamento ambiental de bacias hidrográficas. A qualidade da água das nascentes e da foz do córrego do Mineirinho, localizado na área urbana do município de São Carlos, SP, foi avaliada por 11 variáveis limnológicas e pelo índice de qualidade da água, no período de cheia e de seca, sendo enquadrada como regular a ruim. Dentre os indicadores ambientais da água que apresentaram maior influência sobre sua qualidade, os coliformes fecais e a DBO5 foram os que mais contribuíram para a diminuição da qualidade da água nesse ambiente lótico. Tanto as variáveis limnológicas quanto o índice de qualidade da água se relacionaram com os elevados graus de hemerobia no entorno do córrego do Mineirinho, que caracteriza a área estudada com baixa capacidade de autorregulação e alta dependência do manejo humano para a manutenção de suas funções ecossistêmicas.

Palavras-chave: variáveis limnológicas, uso e ocupação da terra, índice de qualidade da água.

## Water quality and hemeroby of Mineirinho Stream basin, São Carlos, SP

### ABSTRACT

The limnological monitoring can be used as an environmental management tool, since it assists the diagnosis of the quality of water resources providing support for decision-making and support the watershed environmental planning. Thus, the quality of the spring waters and the mouth of the Mineirinho stream (São Carlos, SP) were assessed by 11 limnological variables and the water quality index in both hydrological periods (rainy and dry); the quality was characterized as medium to bad. Among the environmental indicators of water that presented the greater influence on their quality, the fecal coliforms and BOD5 were the main contributors to the observed decline in water quality. Both limnological variables as the water quality index were related to the high levels of hemeroby in the adjacent surrounding of the stream Mineirinho that characterized the studied area as predominantly urban use.

Key words: limnological variables, land use and occupation, water quality index.

### Introdução

A degradação dos ecossistemas aquáticos em função das atividades antrópicas tem

despertado o interesse pela realização do manejo adequado desses sistemas, devido à deterioração da qualidade dos corpos hídricos, impossibilidade

1921

dos usos múltiplos da água e modificação na estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008).

Dentre os principais fatores responsáveis pela perda de qualidade da água está a destruição de vegetação ciliar, o despejo de efluentes (industriais e domésticos), a disposição inadequada de resíduos sólidos (Siqueira et al., 2012) e a poluição difusa proveniente das áreas agrícolas e urbanas (Silva et al., 2017).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal Nº 9.433/1997) tem como um de seus objetivos assegurar tanto à atual quanto às futuras gerações, água com padrões adequados de qualidade para os diferentes usos múltiplos da água. Dentre as diretrizes dispostas nesta lei, destacam-se a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e a articulação da gestão de recursos hídricos com os usos e cobertura da terra nas bacias hidrográficas (Brasil, 1997).

O gerenciamento de ecossistemas aquáticos consiste em um dos maiores desafios da atualidade para os tomadores de decisão e gestores em todos os níveis (i.e. federal, estadual e municipal), visto que a qualidade desses sistemas está relacionada com as atividades econômicas e condições do saneamento básico (Santos et al., 2013).

Este cenário vem sendo agravado nas cidades de pequeno e médio porte, visto o comprometimento da qualidade ambiental ocasionado pelo acelerado processo de urbanização e planejamento inadequado (Silva et al. 2015). No intuito de lidar com esta situação, a administração pública deve optar por métodos aplicáveis que auxiliem (Larondelle e Haase, 2013) na gestão dos recursos hídricos.

Nesse contexto, o monitoramento limnológico e a análise da paisagem auxiliam no diagnóstico da qualidade e manejo dos recursos hídricos, fornecendo subsídios para a tomada de decisão e auxílio no planejamento ambiental de bacias hidrográficas.

Frente ao exposto, este estudo teve como objetivo responder as seguintes questões: (a) Existem diferenças significativas na qualidade da água da sub-bacia do Mineirinho em função do período hidrológico (seca × cheia)? (b) As interferências antrópicas na paisagem alteram a qualidade de água no Córrego do Mineirinho e seus afluentes? e (c) A análise conjunta de índices limnológicos e de indicadores da paisagem podem evidenciar como as atividades antrópicas alteram

a qualidade da água no córrego do Mineirinho e seus afluentes?

## **Materiais e métodos**

### **Área de estudo**

A bacia do Córrego do Mineirinho está inserida na ottobacia 846492 (ANA, 2016), referente à bacia hidrográfica do Rio Monjolinho e se localiza na região centro oeste do município de São Carlos (SP) ocupando parte do perímetro urbano da cidade. Salienta-se que a uma parcela da bacia do Córrego Mineirinho se encontra em uma zona condicionada para a expansão urbana do município de São Carlos, conforme o Plano Diretor (Silva et al. 2015).

Esta bacia (Figura 1) possui aproximadamente 5,42 km<sup>2</sup> e localiza-se entre as coordenadas geográficas 47° 56' 24,324" W; 21° 59' 19,296" S e 47° 54' 44,741" W; 22° 1' 9,534" S, sendo seu principal afluente o Córrego do Mineirinho, que é um ambiente lótico de segunda ordem (São Paulo, 1977), possui um percurso de 3,7 km e deságua no Rio Monjolinho.

O Córrego do Mineirinho localiza-se no bairro residencial Santa Angelina, município de São Carlos (SP) e à montante, existem outros dois afluentes, um formado por uma nascente localizada dentro do campus II da Universidade de São Paulo (USP) e outra nascente localizada no bairro residencial Santa Felícia. A vegetação é composta por cerrado lato sensu, visto que a vegetação é constituída por diferentes fisionomias de cerrado (São Paulo, 2009).

### **Protocolo de avaliação para pequenos rios**

As características dos pontos de amostragem foram avaliadas com a aplicação do Protocolo de Avaliação para Pequenos Rios (Petersen, 1992). Os parâmetros ambientais considerados foram: (i) padrão de uso da terra diretamente adjacente à zona ripária, (ii) largura da zona ripária desde a margem do rio até o campo, (iii) integridade da zona ripária, (iv) vegetação da zona ripária adjacente ao canal do rio (ca. 10 metros), (v) estruturas de retenção, (vi) estrutura do canal, (vii) sedimentos no canal, (viii) estrutura da margem, (ix) escavação da margem pela ação da água, (x) substrato pedregoso, (xi) substrato do sedimento, (xii) corredeira e remansos ou meandros, (xiii) vegetação aquática, (xiv) ictiofauna, (xv) detritos e (xvi) macrobentos.

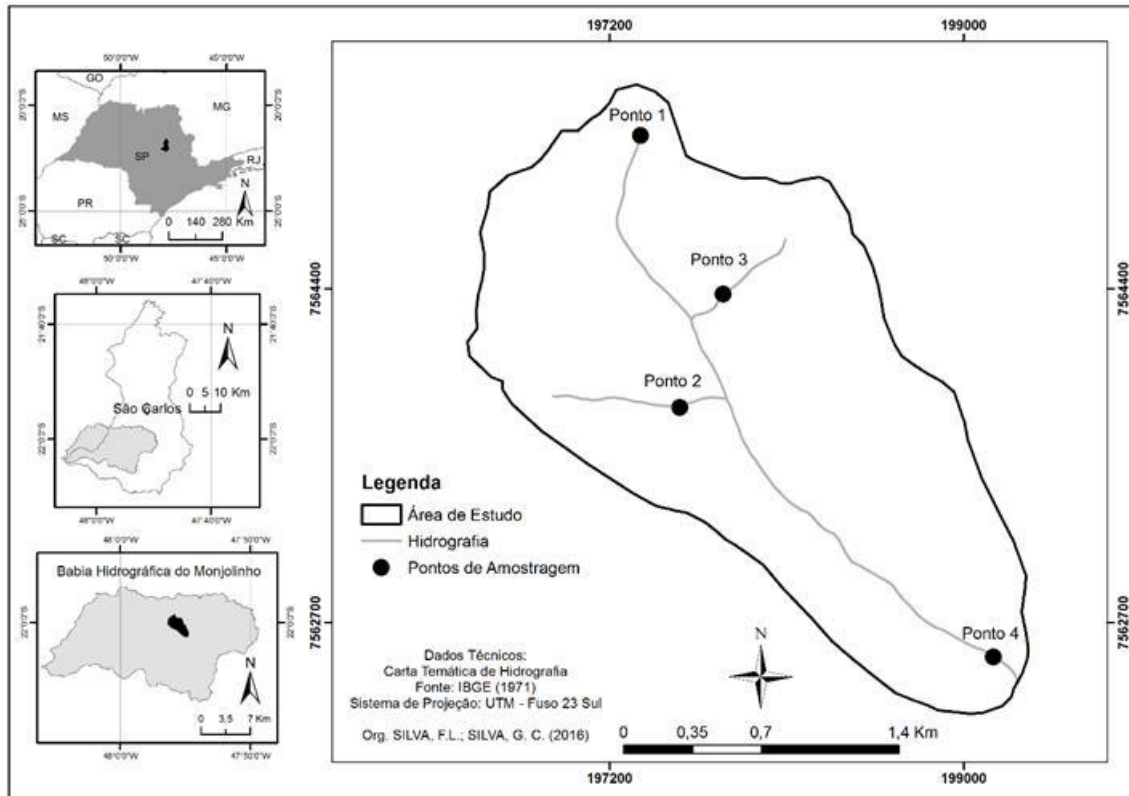


Figura 1. Localização Geográfica da Microbacia do Córrego do Mineirinho e pontos de coleta.

**Protocolo de avaliação para pequenos rios**

Cada característica apresenta quatro pontuações, dos quais somente um foi selecionado com base nas observações de campo no ponto de amostragem. A soma dos 16 parâmetros resultou em uma faixa de qualidade ambiental (Tabela 1).

As coletas e análises da água foram realizadas durante o ano de 2015 em duas estações climáticas (i.e. cheia e seca). A coleta referente ao

período chuvoso foi realizada em 30/03/2015 durante o período da manhã entre às 08h00min e 10h00min, em quatro pontos distintos (Tabela 2, Figura 1). Durante o período de estiagem, a coleta foi realizada em 13/08/2015, também no período da manhã nos mesmos pontos amostrados durante o período de cheia. Os métodos analíticos empregados nas análises das variáveis limnológicas encontram-se na Tabela 3.

Tabela 1. Classificação do ambiente lótico conforme o escore obtido e recomendações (modificado de Petersen Jr., 1992).

Classes	Pontuação	Estado	Recomendação
1	293 - 360	Excelente	Biomonitoramento e proteção do atual estado
2	224 - 292	Ótimo	Identificar as alterações e monitorar mudanças
3	154 - 223	Bom	Alterações menores são necessárias
4	86 - 153	Ruim	Alterações maiores são necessárias
5	16 - 85	Péssimo	Completa reestruturação estrutural é necessária

Tabela 2. Pontos de amostragem na Microbacia do Córrego do Mineirinho (Silva et al., 2015).

Pontos	Latitude (UTM m E)	Longitude (UMT m N)	Descrição
1	197.369	7.565.171	Nascente localizada no bairro residencial Santa Angelina, com margens erodidas e assoreadas, além da degradação da vegetação nativa e presença de descarte inadequado de resíduos sólidos.
2	197.778	7.564.371	Trecho da nascente localizada no Campus II da USP, nascente com vegetação nativa mais preservada.
3	197.546	7.563.804	Trecho da nascente localizada no bairro Santa Felícia, atrás do condomínio Recanto do Bosque, com margens erodidas e degradação da vegetação nativa.
4	199.163	7.562.512	Antes da confluência com o Rio Monjolinho, presença de vegetação nativa preservada e presença de descarte inadequado de resíduos sólidos.

Tabela 3. Variáveis limnológicas e metodologia utilizada para análise.

Variável	Método de análise	Referência ou Equipamento
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5</sub> )	Polarográfico	APHA, AWWA e WPCF (1998)
Carbono total, Carbono inorgânico e Carbono orgânico total	Combustão e detecção em infravermelho	SHIMADZU modelo TOC-VCSN
Coliformes	Cartela com meio de cultura em gel	Colipaper®
Fósforo Total	Espectrometria	Strickland & Parsons (1960)
Nitrogênio Total	Quimioluminescência	SHIMADZU modelo TOC-VCSN
Condutividade elétrica, pH, Turbidez, Temperatura, Oxigênio dissolvido	Medidor portátil	HORIBA U-10
Sólidos totais	Método gravimétrico	CETESB (1978)

### Análises estatísticas

Para comparar a qualidade das variáveis limnológicas dos quatro pontos da sub-bacia do Mineirinho em função do período hidrológico (seca e cheia), as médias das variáveis limnológicas de todos os pontos amostrados foram testadas utilizando a análise dos componentes principais (ACP). Os dados foram organizados em uma matriz de pontos de coleta/período hidrológico (8 linhas) e variáveis limnológicas (10 colunas).

### Índice de Qualidade da Água (IQA)

O IQA é um índice adaptado e desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb, 2015), esse índice

considera o produtório ponderado de nove variáveis limnológicas (coliformes, DBO<sub>5</sub>, fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais, temperatura e turbidez) e enquadra o corpo hídrico em uma faixa de qualidade, de acordo com a ponderação obtida (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação do IQA. (Fonte: Cetesb, 2015).

Nível de Qualidade	Ponderação
Ótima	79 < IQA ≤ 100
Boa	51 < IQA ≤ 79
Regular	36 < IQA ≤ 51
Ruim	19 < IQA ≤ 36
Péssima	00 < IQA ≤ 19

**Elaboração de usos e ocupações da terra e o indicador de naturalidade da paisagem**

Os limites da microbacia foram estabelecidos com base em cartas topográficas (IBGE, 1971) de Ibaté – SF-23-V-C-IV-3 e São Carlos – SF-23-Y-A-I-1, utilizando o software ArcGIS 10.2 (Esri, 2013). A carta temática para representação dos usos da terra para o ano de 2015 foi elaborada com base em interpretação visual do mapa base do software ArcGis 10.2 e visitas “in situ” para a averiguação em campo e posterior correção de mapeamento.

O grau de hemerobia foi aplicado para avaliar a naturalidade da área de estudo. Essa

abordagem considera um gradiente de influência antrópica na paisagem (Tabela 5), em escala ordinal do nível 1 (ahemerobiótico) reflete maior naturalidade e ausência de interferência humana ao nível 6 (metahemerobiótico) corresponde a elementos artificiais (Fushita, 2011), com baixa capacidade de resiliência e alta dependência do manejo antrópico para o funcionamento de seus processos (Winter, 2016). A carta temática de hemerobia foi elaborada tendo como base os usos e cobertura da terra, sendo utilizado o SIG ArcGIS 10.2 por meio da ferramenta de reclassificação.

Tabela 5. Classificação e descrição do grau de hemerobia (Adaptado de Fushita, 2011).

Grau de Hemerobia	Classificação	Descrição
Ahemerobiótico	1. Natural	Paisagem natural com pequena interferência antrópica (sem influência humana direta e capaz de auto regulação)
Oligohemerobiótico	2. Quase natural	Paisagem pouco antropizada (sofre influência dos seres humanos, é similar a classificação anterior)
Mesohemerobiótico	3. Semi-natural	Paisagem mais artificial do que natural (resulta do uso humano, que nem sempre é intencional, sua capacidade de auto regulação é limitada)
Eumerobiótico	4. Agrícola	Paisagem artificial (intencionalmente criada e totalmente dependente do manejo e controle humano, predomínio de atividades destinadas à agropecuária)
Polihemerobiótico	5. Quase cultural	Paisagem artificial (intencionalmente criada e totalmente dependente do manejo e controle humano, corresponde a áreas agrícolas em transição para áreas urbanizadas)
Matahemerobiótico	6. Cultural	Paisagem artificial (intencionalmente criada e totalmente dependente do manejo e controle humano, corresponde a áreas urbanas)

**Resultados e discussão**

Análise das variáveis limnológica

O início da ocupação da sub-bacia do Mineirinho se intensificou na década de 90 do século XX (Tarpani e Brandão, 2009). Essa sub-bacia tem sofrido redução em sua área rural devido ao processo de urbanização nas últimas décadas, sendo que o grau de urbanização da bacia passou de 22,3% em 1984 para a 51,6% em 2011 (Silva et al., 2014). No período de 2007-2008, a urbanização ocupava 40% da área dessa bacia (Tarpani e Brandão, 2009). Os efeitos ambientais e sociais da urbanização não planejada implicam no desenvolvimento ineficiente do saneamento básico de uma região, afetando a saúde pública (Teixeira et al., 2014). Outro efeito da urbanização é o aumento da área impermeabilizada do solo em uma bacia

hidrográfica, resultando em efeitos indesejáveis na qualidade da água em rios das áreas adjacentes: (i) aumento do escoamento superficial oriundo das águas pluviais, (ii) aumento da frequência de enchentes e erosões, (iii) alteração no regime de temperatura de um rio e (iv) aumento da entrada de substâncias tóxicas e de nutrientes nos rios (Klein, 1979).

Os resultados das variáveis limnológicas avaliadas nos quatro pontos amostrais e nos períodos de seca e de cheia são apresentados na Tabela 6. Em relação à análise microbiológica da água, comparando essa variável com os padrões de qualidade definidos pela Resolução CONAMA nº357/05 para os corpos de água doce Classe 2 notou-se que independente dos períodos hidrológicos e dos pontos amostrais o limite estabelecido para os coliformes fecais foi excedido em todos os pontos amostrados, sendo que os maiores números de bactérias foram

observados no P1 durante a estação chuvosa e o P4 na estiagem. Para Classe 2, o máximo permitido não poderá ser exceder 2.500 de coliformes termotolerantes pra o uso de recreação de contato secundário e para dessedentação de animais não deverá exceder o limite de 1.000.

Os coliformes fecais são organismos indicadores da qualidade sanitária em um determinado corpo hídrico uma vez que residem no trato gastrointestinal de animais de sangue quente esse indicador apenas pode inferir a presença de patógenos no ambiente (Ashbolt et al., 2001), dessa forma, os resultados indicaram que todos os pontos amostrais estão submetidos à contaminação microbiológica por despejos inadequados de esgoto doméstico ou por escoamento superficial que carrega para dentro dos corpos de água as fezes de animais (e.g. gado) nas épocas de elevadas precipitações atmosféricas.

O carbono orgânico presente nos corpos de água doce continentais é oriundo tanto dos organismos vivos como exudados de fitoplâncton (Descy et al., 2002), da degradação dos detritos vegetais autóctones ou alóctones (Gudasz et al., 2015) quanto de esgotos urbanos liberados em ambientes lóticos (Daniel et al., 2002) sendo que concentrações elevadas de carbono podem indicar a poluição de origem orgânica. Não existe na legislação brasileira um valor de referência para essa variável, mas a concentração de carbono é um indicativo do teor de matéria orgânica nos ambientes. A entrada de compostos orgânicos originada de efluentes domésticos e industriais é discutida em termos de DBO (Maier & Swain, 1978). As concentrações de DBO5 da água durante a cheia nos P2 e P3 estiveram acima do limite estabelecido (5 mg/L), enquanto que na estação seca somente P1 apresentou conformidade com o enquadramento do corpo hídrico na Classe 2. A maior concentração dessa variável foi observada no P4 durante a estiagem. A DBO em cinco dias de incubação reflete a aclimação da microbiota e a oxidação substancial da matéria orgânica (Penn et al., 2009). Considerando a demanda carbonácea de oxigênio no meio aquático e a biodegradabilidade do mesmo, pode-se estimar a quantidade de carbono orgânico refratário (COR), em que  $COR = COT - (DBO5/2,5)$  (Margalef, 1983). Dessa forma, na estação chuvosa, a percentagem média de COR foi 27,7% e na seca 78,2%, esses valores indicam que no período de estiagem as frações de carbono se tornam mais recalcitrantes em relação às épocas de elevadas precipitações atmosféricas. Esse fato pode se relacionar com a formação de substâncias

húmicas tanto de origem edáfica quanto de origem aquática que se concentraram na água no período de pouca chuva; essas substâncias apresentam, usualmente, caráter refratário (Abbt-Braun et al., 2004).

Em relação à oxigenação das águas, somente o P1 apresentou concentrações de OD inferiores a 5 mg/L, estando em desacordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005 durante os dois períodos de amostragem. A pior condição de oxigenação foi observada durante a estiagem, provavelmente em função da baixa precipitação que ocorre no período e consequente estagnação da mesma. O baixo fluxo de água na estação da seca refletiu a baixa reaeração da água, principalmente no P1 que é a nascente da sub-bacia do Mineirinho com baixa profundidade e baixo fluxo de água, além dessa região estar submetida à ação antrópica (Tabela 2). A incidência de radiação solar em ambientes com baixa profundidade tende a aumentar a temperatura dos mesmos (Tabela 6), sendo nesse caso menor a solubilidade do OD. A temperatura em P1 sempre foi maior (ca. 2°C no verão e 4°C no inverno) que nos demais pontos amostrais. A variação da temperatura nas duas estações de amostragem variou em função da sazonalidade, sendo maior no verão. De acordo com a sistemática de Koppen, o clima da região é classificado como subtropical de inverno seco (Cwb), caracterizado por duas estações climáticas bem definidas: um inverno seco que ocorre entre os meses de abril a setembro e um verão chuvoso, compreendido entre os meses de outubro a março (Cepagri, 2016). As concentrações de P estiveram acima do nível de qualidade estabelecido (0,1 mg/L para ambientes lóticos) pela legislação CONAMA n° 357/05 em todos os pontos amostrados durante o período de cheia. Durante a estiagem, as concentrações desse elemento estiveram dentro do limite estabelecido em todos os pontos. Dessa forma o escoamento superficial da água que ocorre em função das elevadas precipitações atmosféricas pode estar carreando esse elemento do cultivo de cana-de-açúcar, que representa 15% da área da bacia (Tarpani & Brandão, 2009). Na época de estiagem com a supressão do escoamento, a entrada de P no sistema cessa, diminuindo suas concentrações. Dessa forma, processos de sorção, adsorção e sedimentação do P podem ocorrer (Holtan et al., 1988). As concentrações de P em um ambiente aquático também podem ser incrementadas pelo aumento do P reativo nos solos adjacentes a um

corpo de água e ressuspensão desse elemento a partir do sedimento (Johnston & Dawson, 2005).

pH dos solos tendem a apresentar valores de pH mais baixos influenciado na acidez do meio

Tabela 6. Valores médios ( $\pm$  DP) das variáveis limnológicas (físicas, químicas e microbiológicas) do Córrego do Mineirinho nas duas estações hidrológicas.

Variáveis	Estação Chuvosa				Estação Seca			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
C <sub>Org</sub> (mg/L)	1,85 (0,17)	3,64 (0,18)	4,53 (0,89)	4,54 (0,08)	4,47 (0,41)	1,0 (0,02)	10,8 (0,35)	1,4 (0,41)
Col <sub>fecais</sub> (UFC/100 ml)	6,5×10 <sup>5</sup>	3,8×10 <sup>4</sup>	2,9×10 <sup>5</sup>	4,0×10 <sup>5</sup>	2,8×10 <sup>5</sup>	1,2× 10 <sup>5</sup>	6,3× 10 <sup>5</sup>	6,5× 10 <sup>5</sup>
CE (μS/cm)	0,077 (0,001)	0,015 (0)	0,099 (0)	0,055 (0,005)	0,13 (0)	0,02 (0)	0,15 (0,05)	0,07 (0,01)
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	6,06 (0,71)	6,49 (0,61)	7,07 (0,43)	6,34 (0,31)	0,59 (0,35)	7,8 (0,23)	6,0 (0,68)	8,9 (0,21)
P <sub>Total</sub> (mg/L)	0,186 (0,003)	0,233 (0,013)	0,261 (0,009)	0,371 (0,015)	0,051 (0,001)	0,035 (0,004)	0,073 (0,002)	0,035 (0,001)
pH	5,6 (0,19)	5,0 (0,15)	5,4 (0,09)	5,9 (0,21)	4,6 (0,01)	5,1 (0,26)	5,6 (0,17)	5,6 (0,10)
N <sub>Total</sub> (mg/L)	2,11 (0,52)	3,61 (0,97)	0,26 (0,10)	3,44 (0,27)	8,52 (0,18)	0,35 (0,22)	7,67 (1,83)	3,76 (0,99)
OD (mg/L)	4,64 (0,01)	9,02 (0,02)	8,7 (0,01)	6,27 (0,42)	1,7 (0,17)	7,93 (0,20)	8,43 (0,75)	9,23 (0,05)
ST (mg/L)	73 (6)	57 (1)	49 (5)	91 (1)	34 (1)	159 (20)	68 (1)	98 (6)
T (°C)	24,4 (0,01)	21,7 (0,01)	22,6 (0,01)	22,4 (0,03)	22 (0,06)	16 (0,17)	19,67 (0,58)	18 (0,12)
Turbidez (UNT)	1,60 (0,57)	78,00 (0)	78,00 (0)	27,33 (0,58)	15,53 (7,53)	9,20 (3,48)	70,73 (17,10)	8,60 (2,62)

Em relação ao nitrogênio total (orgânico e inorgânico) da água, a exceção do P2, esse elemento apresentou as maiores concentrações na estação chuvosa. Dorndeld (2006) encontrou concentrações de nitrogênio total próximo a foz do Rio Mineirinho igual a 0,45 mg/L (estação chuvosa) e 0,7 mg/L (estação seca), notou-se que as concentrações de N obtidas no presente estudo são maiores do que as concentrações obtidas pela autora durante suas coletas realizadas entre os anos de 2003 e 2004. Uma das principais fontes de nitrogênio nos corpos hídricos é a lixiviação de solos fertilizados, drenagem de águas pluviais, poluição difusa das áreas urbanas e efluentes (CETESB, 2009), de fato, considerando que essa área teve uma acelerada urbanização ao longo da última década, esses fatores contribuíram para o aumento de N na água.

Todos os pontos amostrais apresentaram pH abaixo do enquadramento da Resolução CONAMA n° 357/2005 (pH entre 6 e 9), indicando um meio ácido. A sub-bacia do Mineirinho insere-se em uma região onde ocorre o predomínio da fisionomia Cerrado, nessas áreas o

aquático (Haridasan, 2008). A turbidez em nenhum momento excedeu o padrão estabelecido (100 UNT) para ambientes lóticos de Classe 2 (CONAMA 357/05) durante as campanhas realizadas nos dois períodos hidrológicos; embora em P2 e P3 na estação chuvosa e em P3 na estação seca tenha excedido o limite de 40 UNT para Classe 1. Considerando que as nascentes avaliadas são corpos de água de 1ª ordem, os valores dessa variável encontraram-se elevados, indicando uma perturbação antrópica no entorno dos pontos de coleta (Tabela 6). Embora exista uma faixa de mata ripária, as adjacências dos P1, P2 e P3 foi observado plantações de cana-de-açúcar e áreas urbanizadas, segundo Spellman (2010), as principais ações antrópicas que causam aumento na turbidez são, plantações, escoamento urbano superficial e obras de infraestrutura urbana, atividades que foram identificadas no entorno nos pontos de coleta (Figura 3). Os sólidos totais não ultrapassaram o valor preconizado para corpos hídricos de Classe 1 (500 mg/L), conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05. As principais fontes dos

sólidos totais são: descargas de efluentes líquidos, fertilizantes, escoamento superficial e erosão do solo (Spellman, 2008). A condutividade elétrica foi sempre maior nos pontos amostrais (P1 a P4) na época de seca. Na época de elevadas

precipitações atmosféricas, o aumento do volume de água, apresenta um efeito diluidor nas águas, diminuindo assim a quantidade de eletrólitos dissolvidos presentes nos ecossistemas aquáticos.

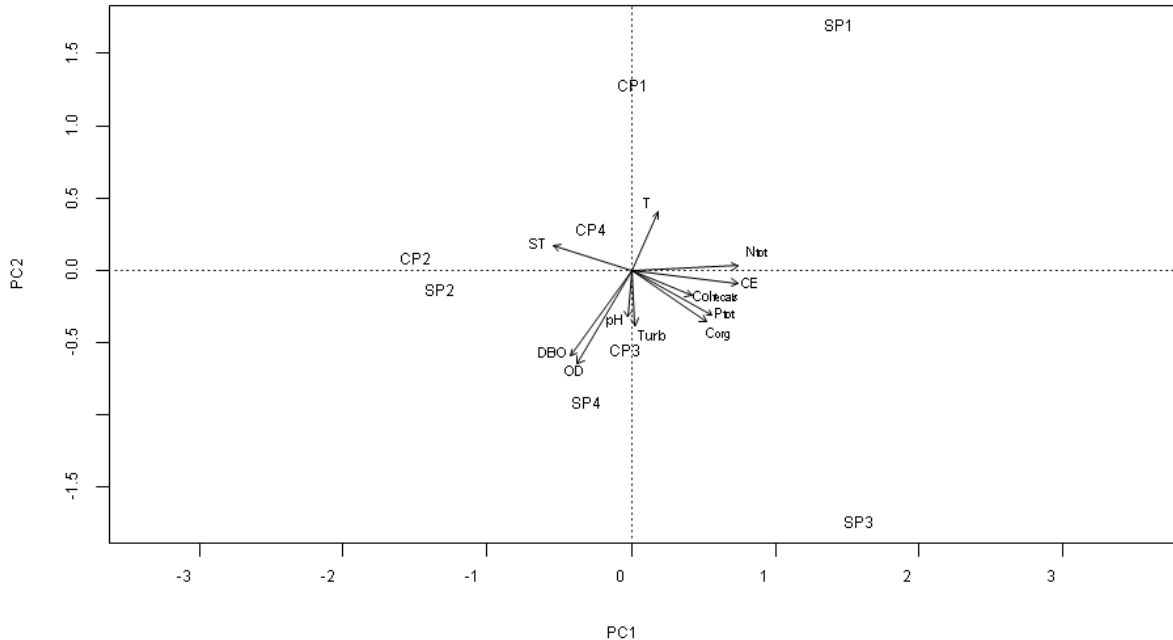


Figura 2. Diagramas de ACP indicando os escores das variáveis limnológicas amostradas na seca (S), cheia (C) nos distintos pontos amostrais: P1 a P4. Em que: T = temperatura, Corg = carbono orgânico, OD = oxigênio dissolvido, Ntot = nitrogênio total, Ptot = Fósforo total, Colfecais = coliformes fecais, Turb = turbidez, CE = condutividade elétrica, DBO = demanda bioquímica de oxigênio, ST = sólidos totais e pH = potencial hidrogeniônico.

Tabela 7. Pontuações das componentes principais (PC1 e PC2) indicando as variabilidades das variáveis limnológicas nos períodos hidrológicos e pontos amostrados.

	<b>Eixo 1 (PC1)</b>	<b>Eixo 2 (PC2)</b>
N <sub>Total</sub>	0,87448	0,03606
P <sub>Total</sub>	0,66110	-0,36494
Temperatura	0,21786	0,47680
Condutividade elétrica	0,87136	-0,10703
Turbidez	0,02270	-0,44526
Oxigênio dissolvido	-0,44168	-0,75796
pH	-0,03136	-0,37573
Coliformes fecais	0,48878	-0,20363
Resíduos totais	-0,63391	0,20171
DBO <sub>5</sub>	-0,49220	-0,69153
Corg	0,60788	-0,41176
<b>Autovalor</b>	<b>4,334</b>	<b>2,5286</b>
<b>Proporção</b>	<b>0,394</b>	<b>0,2299</b>
<b>Proporção acumulado</b>	<b>0,394</b>	<b>0,6239</b>

A Figura 3 indica a dispersão das variáveis limnológicas em função das épocas de coleta e dos pontos de amostragem em função das pontuações dos componentes principais. A Tabela

7 mostra as pontuações das componentes principais (PC1 e PC2) indicando as variabilidades das variáveis limnológicas nos períodos hidrológicos e pontos amostrados. As



componentes principais CP1 a CP4 explicam 92,70% dos dados analisados. Observou-se uma correlação elevada entre as seguintes variáveis: DBO5, oxigênio dissolvido, turbidez e pH. O P1 (cheia: CP1 e seca: SP2) difere dos demais pontos, principalmente em função dos valores da temperatura. Em CP1 também foram importantes os valores das variáveis limnológicas: nitrogênio total, condutividade elétrica, fósforo total, carbono orgânico e coliformes fecais. As variáveis resíduos totais, turbidez, pH, oxigênio dissolvido e DBO5 explicam a variação dos dados dos pontos P2, P3 e P4 no período de cheia. No período de seca, os resíduos totais e temperatura não foram variáveis importantes para os pontos SP2, SP3 e SP4.

### Aplicação do índice de qualidade da água (IQA)

O cálculo do IQA mostrou que durante a estação chuvosa todos os pontos se enquadraram na faixa de qualidade regular, indicando o comprometimento dos usos múltiplos da água nesses pontos, como por exemplo, abastecimento público. Durante a estiagem, a exceção do P1 cuja faixa de qualidade correspondente foi ruim, os demais pontos de amostragem mantiveram seu enquadramento na faixa de qualidade regular (Tabela 8). No geral, notou-se que a qualidade da água nos pontos amostrados não apresentou variações em relação ao período hidrológico, mesmo na estação chuvosa que devido ao maior volume de água no sistema poderia apresentar um efeito diluidor de compostos orgânicos e inorgânicos presentes no sistema, assim também como um engatilhador na autodepuração devido à maior vazão e velocidade da água.

Tabela 8. Ponderação do IQA para o Córrego do Mineirinho (P1 e P4) e tributários (P2 e P3).

	<b>Estação</b>	<b>Ponderação</b>	<b>Classificação</b>
P1	Cheia	39,8	Regular
	Seca	27,9	Ruim
P2	Cheia	46,4	Regular
	Seca	42,2	Regular
P3	Cheia	40,8	Regular
	Seca	41,2	Regular
P4	Cheia	43,3	Regular
	Seca	43,6	Regular

As variáveis que mais influenciaram a qualidade da água foram os coliformes fecais e a DBO5 as quais são indicadores ambientais de

despejo irregular de esgoto devido ao vazamento nas tubulações que levam o esgoto doméstico por gravidade ou mesmo pelas ligações clandestinas na rede de drenagem de água pluvial.

### Aplicação do protocolo de Petersen (1992)

Para a aplicação do protocolo algumas adaptações foram realizadas nas características relativas ao padrão de uso da terra diretamente adjacente à zona ripária, visto que os corpos hídricos avaliados estão inseridos predominantemente na área urbana do município de São Carlos. As características bióticas e abóticas do P1 totalizou 105 pontos, indicando assim que a localidade apresenta um estado ruim (Classe IV). Dentre as características que acarretaram em uma menor pontuação destacam-se a presença de clareiras frequentes com pontos de erosão na zona ripária, canal com poucas estruturas de retenção, margem com pouca vegetação, substrato uniforme de areia, pouca presença de vegetação aquática e ausência de ictiofauna, bem como espécies de macroinvertebrados em zonas oxigenadas. A melhoria nas condições do ambiente lótico pode ocorrer mediante a realização de alterações estruturais, principalmente nas regiões de instabilidade, aporte de sedimentos para o sistema e regeneração da vegetação ripária. Por sua vez, os demais pontos avaliados foram enquadrados no estado bom (classe III) em função de sua pontuação (P2 = 207 pontos, P3 = 202 pontos, P4 = 198 pontos). Foi possível identificar que os corpos hídricos apresentaram melhores condições de integridade da vegetação ripária, estruturas de retenção e estrutura da margem do que o P1, porém os trechos avaliados também apresentaram ausência ou escassez de peixes e poucas espécies de macroinvertebrados. Dessa forma, a melhoria dos ambientes lóticos pode ser promovida mediante a realização de pequenas alterações estruturais que envolvam os sedimentos no canal, bem como o seu substrato.

### Usos e ocupação da terra e hemerobia na bacia hidrográfica

O mapeamento das tipologias de uso e ocupação da terra (Figura 3) permitiu verificar que de mata ripária possui uma largura média de 25 metros, bem como encontra-se presente em toda a extensão do córrego do Mineirinho e de seus afluentes.

O uso agrícola, predominantemente voltado para o cultivo de cana-de-açúcar apresentou influência direta nos três cursos de água de primeira ordem que contribuem ao córrego do Mineirinho (segunda ordem), nos quais estão localizados os pontos 1, 2 e 3. Neste trecho, estão as instalações da Universidade de São Paulo, *campus II* e, com menor porcentagem, a tipologia gramíneas, que foi representada por áreas vazias que tendem a ser ocupadas futuramente por usos residenciais.

Os usos residenciais compreendem áreas com edificações residenciais, residências comuns, condomínios fechados e conjuntos habitacionais. Estes usos foram desmembrados em tipologias diferentes, pois “in situ” apresentam características distintas, sendo as edificações caracterizadas por prédios que variam de 3-15 andares; os condomínios fechados caracterizados por comportar um número restrito de moradias comuns em delimitações físicas.

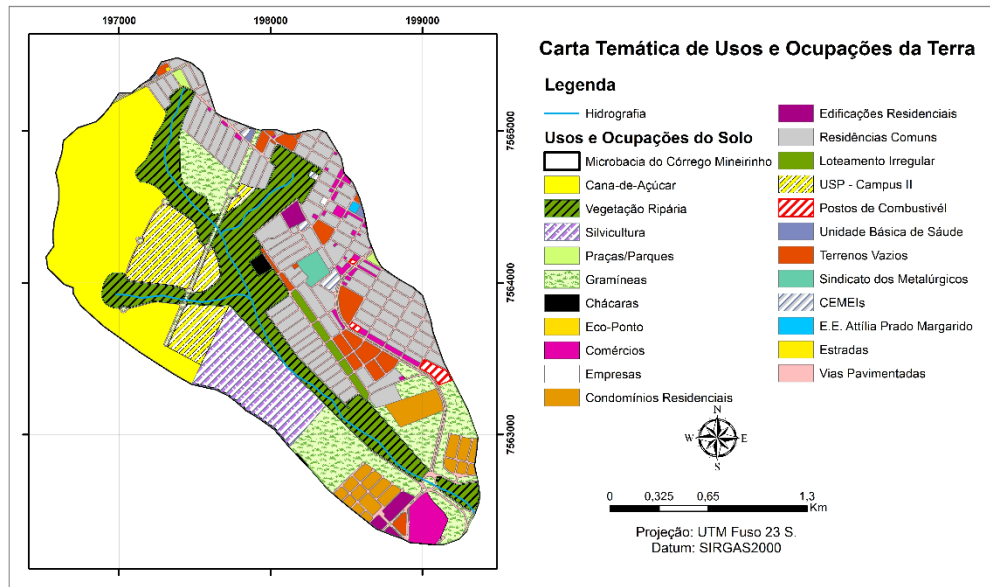


Figura 3. Uso e cobertura da terra na sub-bacia do Córrego Mineirinho.

E as residências comuns são caracterizadas por loteamento habitacionais que constituem os bairros dentro da microbacia.

Na porção ao sul da microbacia foram identificadas as tipologias ocupacionais condomínios, edificações residenciais e comércio, representado por um centro comercial, caracterizando a área como de grande potencial econômico da sub-bacia e estão concentrados próximos ao exutório do córrego e do P4. Foram identificadas, ainda, áreas de silvicultura e gramíneas, próximas da confluência dos afluentes do córrego do Mineirinho.

A área com intensa urbanização está localizada ao norte do Córrego do Mineirinho, foi caracterizada por residências comuns, equipamentos urbanos públicos, pequenos comércios e empresas, terrenos vazios, e uma faixa de loteamento irregular ocupando local destinado à servidão (Figura 3). No presente estudo, considerou-se: equipamentos urbanos públicos aqueles bens de utilidade comunitária

(e.g. praças, escolas, postos de saúde); pequenos comércios são localidades voltadas ao atendimento das necessidades básicas de compra da população local; empresas caracterizam-se por serem empreendimentos do segundo setor da economia e produzem bens ou serviços; terrenos vazios são os espaços subutilizados e não ocupados por construções físicas; e por fim, a faixa de loteamento irregular refere-se ao conjunto de residências construídas em uma área que deve ser destinada exclusivamente a operação da linha de transmissão elétrica que corta a sub-bacia.

A bacia de drenagem do córrego do Mineirinho caracteriza-se por ser uma paisagem predominantemente paisagem artificial (69,9%) (áreas metahemerobióticas, polihemerobióticas e eumerobióticas) (Figura 4). Regiões com alto grau de interferência antrópica e baixa capacidade de autorregulação (metahemerobióticas) na sub-bacia do córrego do Mineirinho são caracterizada por conjuntos habitacionais, equipamentos públicos (escolas, posto de saúde e guarda municipal),

comércios e pequenas fábricas e/ou empresas de pequeno porte, além de edificações residenciais e empreendimentos verticalizados concentrados na porção sudeste e ocupam 44,5% da microbacia. Esta condição reflete nos valores das variáveis limnológicas. Por exemplo, a concentração de coliformes nos pontos amostrados, que excederam o limite estabelecido para os corpos de água doce Classe 2.

Áreas polihemerobióticas estão associadas às chácaras presentes as margens do Córrego Mineirinho, as quais apesar de estarem próximas

às margens do mesmo, não infligem a Área de Preservação Permanente (APP) que é de 0,3%. A porção noroeste da sub-bacia é predominantemente eumerobiótico, relacionada com o plantio de cana-de-açúcar (25,1%). As áreas mesohemerobióticas são representadas por pastagens e gramíneas (12,2%), as quais vêm sendo modificadas rapidamente com os avanços de tipologias culturais no local, principalmente por esta região estar localizada em um eixo de expansão urbana da cidade de São Carlos-SP.

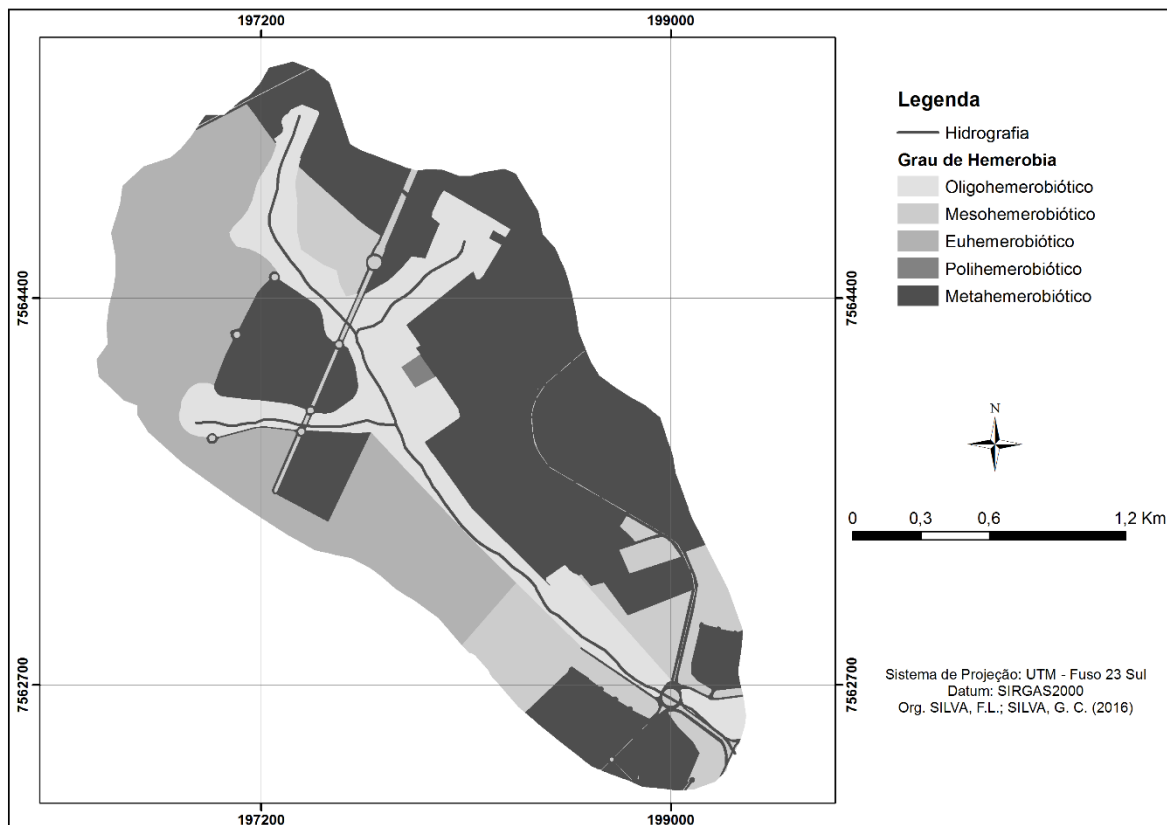


Figura 4. Grau de hemerobia da microbacia do Córrego Mineirinho.

A paisagem natural (áreas ahemerobióticas) remeteu somente às Áreas de Preservação Permanente (APP), que variam de 5 a 55 m ao longo do córrego do Mineirinho e seus afluentes, que podem funcionar como áreas tampão dos impactos gerados nas paisagens culturais, corroboram a classificação do córrego como de qualidade boa e com perturbação para os quatro pontos na estação chuvosa. Essas áreas atualmente estão garantidas pela Lei Municipal nº 13.944/2006.

### Conclusões

Verificou-se que a análise conjunta de índices limnológicos e de indicadores relacionados com a paisagem constituem uma forma para evidenciar o modo como as atividades antrópicas alteram a qualidade da água do Córrego Mineirinho.

A qualidade da água no córrego do Mineirinho e seus afluentes, avaliada pelas variáveis limnológicas dos pontos amostrados e pelo IQA foi enquadrada como regular a ruim

considerando o período hidrológico. Dentre as variáveis da água que apresentaram maior influência sobre a piora da qualidade da água, os coliformes fecais (variação da ordem de grandeza: 104 e 105) e a DBO5 foram os indicadores ambientais de despejo irregular de esgoto, indicando a inadequação do saneamento básico nessa microbacia. As variáveis limnológicas e o IQA se relacionaram como os elevados graus de hemerobia no entorno do córrego do Mineirinho, com predomínio do uso urbano.

A bacia de drenagem pode ser considerada uma paisagem cultural com que se caracterizou por um sistema com baixa capacidade de autorregulação, alta dependência do manejo e tecnologia humanos para a manutenção e funcionamento, predominando áreas metahemerobióticas, polihemerobióticas e eumerobióticas.

Por fim, destaca-se que o grande predomínio das áreas artificiais e interferência antrópica no sistema acabam comprometendo a capacidade de provisão dos serviços ambientais na sub-bacia hidrográfica.

#### Agradecimentos

Os autores agradeceram ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de estudo (Processos CNPq no. 118842/2014 – 5 e CAPES PNPd-Institucional nº 23038.006939/2011-17) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo no. 2013/22901-0).

#### Referências

Agência Nacional de Águas, 2016. GeoNetwork - o portal para informações e dados espaciais. Disponível: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuiid=fe192ba0-45a9-4215-90a5-3fba6abea174>. Acesso: 16 nov. 2016.

Ashbolt, N.J., Grabow, W.O., Snozzi, M., 2001. Indicators of microbial water quality. IWA Publishing, 289-316.

Abbt-Braun, G., Lankes, U., Frimmel, F.H., 2004. Structural characterization of aquatic humic substances - The need for a multiple method approach. *Aquat. Sci.* 66, 151.

APHA, American Public Health Association. AWWA. WPCF. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation Standard methods for the

examination of water and wastewater. Washington D.C., 1998.

Benini, R de. M., Martioli, C., Mendiondo, E.M., 2004. Uso de SIG Associado ao Método Racional para Previsão de Vazões na Bacia do Córrego do Mineirinho, São Carlos-SP. In: III Simpósio de Recursos Hídricos. 11p.

BRASIL. 1997. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura, 2014. Clima dos municípios Paulistas: a classificação climática de Köppen para o estado de São Paulo. Disponível: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso: 24 set. 2016.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 1978. Determinação de resíduos em águas - Método gravimétrico. Normalização Técnica L5.149. São Paulo.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2009. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e amostragem. Disponível: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>. Acesso: 16 fev. 2016.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2014. Índices de qualidade da água. Disponível: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf>. Acesso: 08 nov. 2014.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março.

Daniel M.H.B., Montebelo, A.A., Bernardes, M. C., Ometto, J.P.H.B., Camargo, P.B., Krusche, A.V., Ballester, M.V., Victoria, R.L., Martinelli, L. A. 2002. Effects of urban sewage on dissolved oxygen, dissolved inorganic and organic carbon, and electrical conductivity of small streams along a gradient of urbanization in the Piracicaba River basin. *Water, Air and Soil Pollution* 136, 189 - 206.

Descy, J. P., Leporcq, B., Viroux, L., François, C., Servais, P., 2002. Phytoplankton production, exudation and bacterial reassimilation in the River Meuse (Belgium). *Journal of Plankton Research* 24, 161-166.

Dornfeld, C.B., 2006. Utilização de *Chironomus* sp (Diptera, Chironomidae) para avaliação da qualidade de sedimentos e contaminação por

- metais. Dissertação (Doutorado). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, 2013. ArcGIS for the desktop 10.2. California.
- Fushita, A.T., 2011. Padrão espacial e temporal das mudanças de uso da terra e sua relação com indicadores da paisagem. Estudo de caso: bacia hidrográfica do médio rio Mogi-Guaçu superior (SP). Tese (Doutorado). São Carlos - SP. Universidade Federal de São Carlos.
- Gudasz, C.S., Sobek, D., Bastviken, B., Koehler, Tranvik, L.J., 2015. Temperature sensitivity of organic carbon mineralization in contrasting lake sediments. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 120, 1215–1225.
- Haridasan, M., 2008. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20, 183-195.
- Henze, M., Comeau, Y., 2008. Wastewater characterization. In: M. Henze, M.C.M. Van. Loosdrecht, G.A. Ekama and D. Brdjanovic. (eds). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. IWA Pub, Londres.
- Holtan, H., Kamp-Nielsen, L., Stuanes, A.O., 1988. Phosphorus in soil, water and sediment: an overview. *Hydrobiologia*. 170, 19 – 34.
- Johnston, A.E., Dawson, C.J., 2005. Phosphorus in Agriculture and in Relation to Water Quality. Peterborough: Agricultural Industries Confederation, 71p.
- Klein, R.D., 1979. Urbanization and stream quality impairment. *Water Resource Bulletin*, 15, 948–963.
- Larondelle, N., Haase, D., 2013. Urban ecosystem services assessment along a rural–urban gradient: A cross-analysis of European cities. *Ecological Indicators*, 29, 179 - 190.
- Maier, W.J., Swain, W.R., 1978. Organic carbon - A nonspecific water quality indicator for Lake Superior, *Water Research*, 12, 523–529.
- Margalef, R. 1983. *Limnologia*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- Penn, M.R., Pauer, J.J., Mihelcic, J.R., 2009. Biochemical oxygen demand. *Environmental and ecological chemistry* 2, 278
- Petersen Jr, R.C., 1992. The RCE: a Riparian, chennle, and environmental inventory for small strems in the agricultural landscape. *Freshwater Biology*, 27, 295-306.
- Santos, R.M., Moreira, R.A., Rocha, O., 2013. Composição e abundância do zooplâncton em um córrego urbano. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 9, 18 - 32.
- SÃO PAULO, 1977. Decreto n° 10.755, de 22 de novembro.
- SÃO PAULO, 2009. Resolução SMA n° 64, de 10 de setembro.
- Siqueira, G.W., Arile, F., Miguéis, A.M., 2012. Diagnóstico da qualidade da água do Rio Parauapebas (Pará - Brasil). *Acta Amazonica*, 42, 413-422.
- Silva, F.L.; Oliveira, E.Z.; Picharillo, C.; Ruggiero, M.H.; Costa, C.W.; Moschini, L.E., 2017. Naturalidade da Paisagem verificada por meio de indicadores ambientais: manancial do Rio Monjolinho, São Carlos-SP. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10, 970 – 980.
- Silva, G.C., Silva, F.L., Printes, L.B., Cunha-Santino, M.B. de, 2014. Avaliação da degradação ambiental na microbacia do córrego do mineirinho São Carlos-SP. In: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Anais: IBEAS, Belo Horizonte - MG, 8 p.
- Silva, M.P., Picharillo, C., Silva, G.C., Silva, F.L., Gonçalves, J.C., 2015. Análise da influência dos aspectos sociais na percepção ambiental da população residente na microbacia do Córrego Mineirinho, município de São Carlos-SP. *Revista Eixo*, 4, 91 - 99.
- Spellman, F.R., 2010. *Spellman's Standard Handbook for Wastewater Operators*, 2 ed. CRC Press, Boca Raton-FL.
- Strickland, J. D, Parson, T.R., 1960. *A manual of sea water analysis*, 2 ed. Bull. Fish. Res. Bd, Ottawa-CA.
- Tarpani, R.R.Z e Bradão, J.L.B., 2009. Análise ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Mineirinho - São Carlos/SP. Anais: VI Congresso de Meio Ambiente da Associação de Universidades Grupo de Montevideu – AUGM. São Carlos: UFSCar/AUGM.
- Teixeira, J.C., Oliveira, G.S., Viali, A.M., Muniz, S.S., 2014. Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009. *Eng Sanit Ambient*, 19, 87-96
- Tundisi, J.G. e Matsumura-Tundisi, T., 2008. *Limnologia*. Oficina de Textos, São Paulo.