
Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e Difusas. Córrego Ibiraporã, SP

Recovery of urban streams by controlling point and diffuse loads

Córrego Ibiraporã, SP

Juliana Caroline de Alencar da Silva e Monica Ferreira do Amaral Porto

Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Depto de Engenharia Hidráulica e Ambiental. SP, Brasil

juliana.ambiental@gmail.com; mporto@usp.br

Recebido: 01/12/13 - Revisado: 30/06/14 - Aceito: 15/09/14

RESUMO

Com a consolidação do saneamento em algumas bacias em núcleos urbanos, um novo desafio surge, o da recuperação dos corpos d'água presentes nelas, mas o que a princípio parecia ser uma consequência do processo, na realidade se mostra uma tarefa muito mais complexa. Muito se diz a respeito da despoluição dos corpos d'água através da eliminação da carga pontual, mas o que se observa na prática é que mesmo diante do controle das cargas pontuais os corpos d'água continuam poluídos diante da não observância da existência da carga difusa. O programa "Córrego Limpo" enfrenta um grande desafio no seu propósito de despoluição dos córregos urbanos em pequenas bacias no município de São Paulo, uma vez que mesmo livres da carga pontual, tais corpos ainda estão sobre influência da carga difusa. A notória melhoria na qualidade dos corpos d'água pertencentes ao programa é ainda mais efetiva nas bacias onde há aplicação da gestão integrada, que prevê o envolvimento da população no processo. Tais ferramentas de gestão são integrantes das conhecidas BMP's (Best Management Practices), que resultam na redução do potencial poluidor da bacia, tornando mais efetivo o processo de despoluição. A fim de avaliar o processo de despoluição de corpos d'água em áreas urbanas, este estudo avaliou a evolução de um dos corpos d'água pertencente ao programa de despoluição "Córrego Limpo", o Córrego Ibiraporã.

Palavras Chave: Controle da poluição hídrica. Córregos urbanos. Poluição difusa.

ABSTRACT

As sanitation is consolidated in some urban watersheds, a new challenge arises: the recovery of bodies of water in these watersheds. However what at first appeared to be a consequence of the process is in fact a much more complex task. Much is said about the pollution of water bodies by removing the point loads, but what we see in practice is that even when the point loads are controlled, the water bodies still remain polluted due to not observing the existence of diffuse loads.. The "Córrego Limpo" program faces a major challenge in its aim to remediate urban streams in small watersheds in São Paulo, since even when they are free of point loads, such bodies are still under the influence of diffuse loads. The marked improvement in the quality of water bodies belonging to the program is even more effective in the basins where integrated management is implemented, which includes the involvement of the population in the process. Such management tools are known as part of the BMPs (Best Management Practices), which result in reducing the pollution potential of the basin, making the process more effective. In order to evaluate the process of urban water body remediation, this study evaluated the evolution of one of the water bodies belonging to the Corrego Limpo Remediation Program, the Ibiraporã stream.

Keywords: Control of water pollution. Urban streams. Diffuse pollution.

INTRODUÇÃO

Os corpos d'água desde o início da formação das grandes civilizações foram tidos como sinônimo de fartura, por serem eles os provedores dos recursos que permitiam o desenvolvimento destas, sendo essas sociedades chamadas apropriadamente de hidráulicas devido a essa relação direta com as águas. No entanto, nos dias de hoje os corpos d'água urbanos fazem parte de um contrassenso se considerada a sua importância no passado, pois para a maioria dos moradores das grandes cidades eles representam apenas fontes de problemas, que foram na verdade resultado da ocupação não planejada do espaço urbano.

O desenvolvimento das cidades se deu excluindo os corpos d'água de qualquer participação na vida urbana, os corpos foram engessados, tamponados e no melhor dos casos esse tamponamento deixou como resquício de que um dia tal lugar havia sido um vale, a presença de canteiros centrais com alguma área verde, como é o caso das Avenidas Nove de Julho, Pacaembu, Vinte e três de Maio e Sumaré. As gerações atuais que trafegam por estas Avenidas, muitas vezes nem imaginam que outrora tais lugares abrigavam rios e riachos (BARTALINI, 2004).

Além da descaracterização, outro grande problema que os corpos d'água enfrentam em áreas urbanas é a poluição. A poluição que chega a um corpo d'água pode ser caracterizada em dois tipos: pontuais, que é o tipo de fonte passível de ser caracterizada e rastreada, como por exemplo, esgotos domésticos e efluentes industriais; e difusas, que são aquelas geradas de forma distribuída ao longo da bacia contribuinte, sendo elas produzidas por inúmeros agentes poluidores, que afluem aos corpos d'água preferencialmente por ocasião dos eventos de chuvas. A poluição difusa está diretamente relacionada com o tipo de uso e ocupação do solo, ou seja, à urbanização, práticas agrícolas, desmatamento e mineração. Em áreas urbanas, ela pode ser gerada por residências, comércio, pólos industriais, complexos esportivos, parques, meios de transporte e resíduos atmosféricos (SMA/PRIME, 1998). Segundo Novotny (2003) os primeiros 40% de escoamento superficial podem conter 60% da carga poluidora.

O problema da poluição nos corpos d'água sempre se popularizou em torno das fontes de poluição pontuais, o que localiza o problema e não exige um manejo integrado de toda a bacia hidrográfica, mas em locais onde a poluição por fontes pontuais já é uma realidade do passado a preocupação com a poluição difusa vem crescendo e demandando estudos para quantificá-la, avaliá-la e eliminá-la. É o caso dos EUA, que vem aprimorando seus esforços para o controle de cargas difusas com investimentos maciços nesse setor desde 1993 (PORTO, 2002).

O início da preocupação com a poluição difusa se dá com a institucionalização da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), na década 1970, quando surgem as primeiras pesquisas relacionadas com a poluição difusa urbana; porém este tema já vinha sendo estudado a partir do século XIX na Europa. Já no Brasil, a temática começou a ser abordada em algumas cidades brasileiras a partir da década de 1990 (PRODANOFF, 2005). A poluição difusa está ligada diretamente ao tipo de ocupação do solo pelo homem, já que

suas atividades geram poluição. A partir do momento em que o homem altera as características de uma bacia, a urbanizando, esta passa a contribuir para uma maior quantidade de sedimentos transportados para os corpos d'água. (NOVOTNY, 2003).

Segundo Porto (1995) e Tomaz (2006) a poluição difusa é formada por diversas contribuições que são difíceis de detectar e quantificar, tais como freios de automóveis, resíduos de pneus, resíduos de pinturas em geral, fezes de animais, resíduos de ferro, zinco, cobre e alumínio de materiais de construção, deposição seca e úmida de particulados de hidrocarbonetos, restos de vegetação, derramamentos, erosão fuligem, poeira, enxofre, metais, pesticidas, nitritos e nitratos, cloretos, fluoretos silicatos, cinzas, compostos químicos e resíduos sólidos, entre outros. Segundo Novotny (2003), outra fonte importante de contribuição para a poluição difusa é a proveniente da atmosfera, já que nos primeiros instantes de precipitação há, grosso modo, a lavagem dos poluentes em suspensão na atmosfera, de modo que o destino final destes são os corpos d'água. Desta forma, a emissão de poluentes atmosféricos também é outro fator importante a ser observado nas políticas de controle à poluição difusa.

Segundo Novotny e Olem (1994) o controle da carga difusa pode ser realizado através de medidas não estruturais e estruturais. As medidas não estruturais, conhecidas como *Best Management Practices (BMP's)* são caracterizadas como sendo medidas de baixo custo, pois não exigem a implementação de estruturas físicas e localizadas, mas sim ações de gestão e gerenciamento por toda bacia, como aquelas que visem organizar a participação da população da bacia a fim de garantir uma eficiente gestão de resíduos; que controlem o uso e ocupação do solo a fim de prevenir a ocupação de áreas sensíveis e evitar; ou que promovam a manutenção de áreas permeáveis a fim de promover a infiltração, resultando na redução da vazão de pico. Medidas estruturais por sua vez demandam maior custo e estão ligadas a intervenções físicas, como exemplo bacias de retenção, que reservam a água a liberando lentamente através da infiltração no solo ou através do uso de um vertedor; bacias de detenção, que reservam a água por determinado período e a liberam logo após o evento de chuva; ou alagados, conhecidos como *wetlands*, que fazem aproveitamento das áreas de várzea para acumulo da água precipitada.

Recuperação de Corpos d'água Urbanos

As primeiras ações voltadas para recuperação de corpos d'água urbanos se deram nos países desenvolvidos, servindo hoje como referência para o processo, o que resultou em alguns países na criação de leis que estabelecem as condições para conservação e recuperação de ambientes aquáticos, como o *"Clean Water Act"* nos Estados Unidos (1972), a *"Directiva quadro da água"* na União Europeia (2000) e a *"Water Resources Act"* na Austrália (2007). Tais países atingiram resultados eficientes na recuperação de seus corpos d'água através da implantação de programas que visam à eliminação da carga pontual e difusa, implantação de parques lineares e programas de gestão participativa nas bacias hidrográficas (MACEDO; CALLISTO; MAGALHÃES, 2011).

Como a preocupação com a recuperação dos corpos d'água é resultado quase que imediato da consolidação do

saneamento básico, no Brasil, em regiões onde o saneamento encontra-se consolidado ou em processo de consolidação, surge à necessidade de compreender as técnicas de recuperação e as etapas envolvidas neste processo, para tanto diretrizes como as da “*Clean Water Act*” são utilizadas como referência. No entanto, no país ainda há regiões em que as condições sanitárias são precárias e a preocupação com a qualidade ambiental fica em segundo plano o que agrava ainda mais a consolidação do processo.

objetivo

O objetivo do presente estudo é analisar o processo de recuperação de corpos d’água em áreas urbanas através da análise da evolução do processo de recuperação do Córrego Ibiraporã pertencente ao programa, de despoluição por eliminação de cargas pontuais, “Córrego Limpo”.

ÁREA DE ESTUDO

Córrego Ibiraporã: Caracterização da área

O Córrego Ibiraporã, afluente do Córrego Pirajussara, localizado na região do Butantã, no município de São Paulo, tem como principais pontos de acesso as Avenidas Eliseu de Almeida e Francisco Morato. A bacia possui influência do clima subtropical úmido, clima atribuído à São Paulo, contando portanto com o regime de precipitações marcado por verões chuvosos e invernos secos. A bacia de drenagem do córrego possui cerca de 67ha e conta com uma população tipicamente residencial, com cerca de 9 mil habitantes (CÓRREGO LIMPO, 2010). A vazão máxima calculada para a bacia, de acordo com a ocupação do solo atual e para um período de retorno de 100 anos, é de 15,3 m³/s.

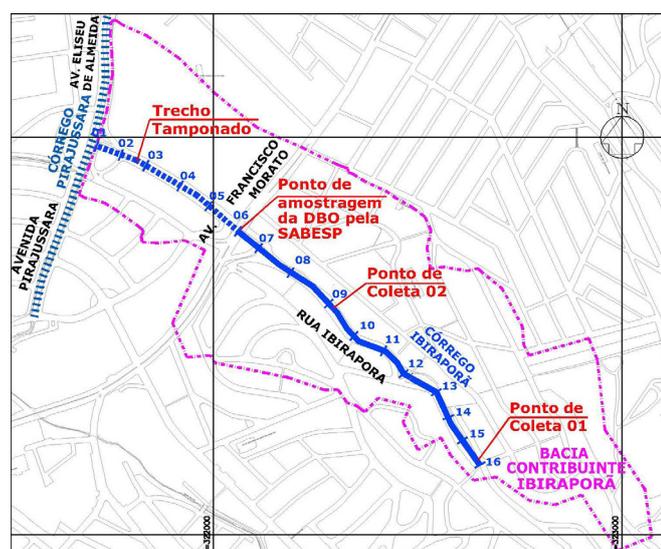


Ilustração 1 - Córrego Ibiraporã: Bacia Contribuinte e Pontos de amostragem

Fonte: Elaborado pelas autoras

O corpo d’água fez parte da segunda fase do programa “Córrego Limpo” concluída em dezembro de 2010. As ações do programa visando a despoluição de corpos d’água consistem na ampliação das redes coletoras de esgoto, destinando a vazão coletada para o tratamento; eliminação de ligações clandestinas no canal e de ligações cruzadas de redes de esgotos em galerias de águas pluviais; intervenções estruturais no canal; e limpeza periódica do canal por agentes de limpeza da prefeitura (Remoção de resíduos sólidos). O indicador de despoluição do programa é a queda no nível da DBO_{5,20} (CÓRREGO LIMPO, 2011)

A ilustração 01 mostra a bacia de contribuição do Córrego Ibiraporã; além disso, é possível visualizar o ponto de amostragem para análise da DBO_{5,20} realizada pela SABESP e os pontos de coleta utilizados neste estudo.

Programa de governança colaborativa

O Córrego Ibiraporã é um dos córregos que fazem parte do programa piloto de governança colaborativa iniciativa do programa “Córrego Limpo”. Através do envolvimento da população residente na bacia, no processo de recuperação do córrego, o programa tem obtido resultados mais efetivos no processo de despoluição (CÓRREGO LIMPO, 2011).

Dentro do conceito de *Best Management Practices*, o programa “Córrego Limpo” realiza a capacitação de técnicos que atuam na bacia. Tal capacitação é feita através da implementação de estratégias de governança colaborativa. A estratégia de governança colaborativa faz uso do “Modelo dos Níveis de Ação Colaborativa” (MNAC). O modelo proposto pelo professor Mark Imperial, da Universidade da Carolina do Norte, foi testado em bacias norte-americanas, que apesar de maiores, apresentavam os mesmos desafios, abordando a questão da colaboração em três níveis: operacional (que trata de intervenções como implantação de infraestrutura, processos educativos, monitoramento e avaliação, portanto envolvem, na maior parte, serviços governamentais.), de formulação de políticas (Que tem caráter orientador, incrementando a comunicação entre os atores, coordenando ações e integrando políticas para alavancar os objetivos coletivos) e institucional (Atividades que influenciam, restringem, incrementam e promovem as ações no nível operacional e formulação de política)(CÓRREGO LIMPO, 2011).

Na bacia do Córrego Ibiraporã, graças ao programa de governança colaborativa, a população residente auxilia o programa gerindo melhor seus resíduos e também na fiscalização de eventuais anomalias no canal ocasionadas por lançamentos clandestinos ou despejo de resíduos sólidos nas proximidades do canal que porventura possam ser carregados pelo escoamento superficial, resultando na alteração imediata do aspecto visual das águas do córrego, indicativo de degradação da qualidade de suas águas. O programa cria um via de comunicação direta com a população da bacia, o que facilita as ações do programa e encoraja a população a participar do processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo é composto por duas frentes investigativas,

a fim de avaliar a resposta dos corpos d'água em estudo frente à eliminação da carga pontual e a influência exercida pela carga difusa nestes corpos d'água em processo de recuperação. Desta forma, o estudo é composto pelas seguintes análises: análise do histórico de monitoramento da DBO e das variáveis físicas e químicas, de tempo chuvoso e seco, do Córrego Ibiraporã; e análise da produção de carga difusa pelo método da UC (Unidade de Carga). Os itens a seguir descrevem a metodologia empregada em cada uma destas análises.

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Segundo o manual de procedimentos e técnicas laboratoriais do Laboratório de Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2004) a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) consiste em um teste empírico através de procedimentos padronizados, no qual é possível determinar a quantidade de oxigênio consumido em um determinado período de tempo em uma determinada amostra.

O monitoramento da DBO é realizado mensalmente pela SABESP no ponto indicado na Ilustração 1, cuja análise é realizada em laboratório próprio e os resultados repassados para as respectivas unidades de negócio. O programa "Córrego Limpo" utiliza a DBO como indicador de qualidade da água nos corpos d'água pertencentes ao programa, desta forma eles são classificados de "condições naturais" a "poluídos" conforme a DBO apresentada, a Tabela 1 apresenta a caracterização utilizada pelo programa "Córrego Limpo", para classificar estes corpos d'água.

Tabela 1 - Caracterização dos Córregos em função da DBO.
Fonte: Adaptado de Córrego Limpo (2011)

Caracterização dos Córregos em função da DBO (mg/L)	
0 a 5	Condições naturais, permite o contato primário das pessoas e a rega de hortaliças.
5 a 10	Condições boas, já não se recomenda o contato primário nem a rega de hortaliças, mas possibilita a existência de peixes, o uso da água para animais e o tratamento convencional da água.
10 a 30	Condições boas, aspecto estético bom, permite a existência de peixes, não exala odores e possibilita o tratamento convencional da água.
30 a 70	Condição estética ainda boa, porém com restrições a existência de peixes e exalação de odores em determinadas épocas do ano (verão seco, principalmente); tratamento de água com alto consumo de produtos químicos.
> 70	Poluído.

O estudo do histórico do monitoramento da DBO fornecido pela SABESP permitiu avaliar a evolução da qualidade da água segundo a DBO do corpo d'água objeto deste estudo e avaliar o quão efetiva foi sua recuperação através da eliminação de cargas pontuais.

Para avaliação da evolução da DBO foi utilizado o Teste T (Paramétrico) para dados pareados (antes e depois), que avalia a diferença entre as médias dos dados amostrais, ou seja, quanto maior o grau da diferença entre as médias, maior a significância das intervenções do programa.

O teste pode ser aplicado através da utilização da ex-

pressão apresentada a seguir.

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_0}{S_d / \sqrt{n}} \tag{1}$$

Onde t é dado pela diferença entre as médias amostrais, menos a média das diferenças, dividido pelo desvio padrão da diferença entre as amostras, que por sua vez é dividido pela raiz quadrada no número de amostras da população amostral.

Variáveis Físicas e químicas

Foram realizadas análises referentes às variáveis físicas e químicas para avaliação da qualidade da água. Foram realizadas duas coletas, para o Córrego Ibiraporã, uma no período seco e outra no período chuvoso, para comparação dos resultados obtidos nos dois períodos e identificação de padrões decorrentes da influência da carga difusa, sendo as análises das amostras coletadas realizadas pelo laboratório "Operator Meio Ambiente". Todas as análises foram realizadas dentro dos prazos de validade da amostra, conforme indicado nas normas: SMEWW 21 st Ed.; EPA; NBR; ASTM; CETESB; INEA e normas técnicas vigentes e descritas nas instruções operacionais padrão de Coleta e Preservação de Amostras do laboratório "Operator Meio Ambiente". A primeira coleta foi realizada em 11/09/2012 (Período seco) e a segunda em 30/01/2013 (Período chuvoso) e em dois pontos do canal, próximo à estaca 9 e à estaca 16 como já mostrado na Ilustração 01.

Quando uma série de dados não segue uma distribuição que obedece aos critérios para aplicação de uma análise paramétrica, pode-se aplicar ao conjunto de dados um análise não paramétrica. No caso dos valores obtidos para as variáveis físicas e químicas temos uma série de dados que pode ser analisada pela análise não paramétrica e para tanto usaremos o Teste de Friedman. O Teste de Friedman, que é indicado para casos que contenham 3 ou mais grupos amostrais, consiste em ordenar os grupos amostrais em postos, realizar a verificação da igualdade da soma dos postos de cada grupo e por fim realiza-se o cálculo da estatística de teste de Friedman, dada pela expressão apresentada a seguir (POCINHO, 2010).

$$X^2 = \frac{12}{b.k.(k+1)} \sum_{i=1}^k R_i^2 - 3.b.(k+1) \tag{2}$$

Onde: b = número de blocos (neste caso o número de variáveis analisadas), k = número de tratamentos e R = somatória dos postos.

Unidade de Carga (UC)

O método da Unidade de Carga consiste em aplicar índices de geração de carga difusa para diferentes tipos de uso de solo existentes na bacia em estudo. O método não faz correlação com a hidrologia e a morfologia da bacia, mas tem como vantagem ser de fácil aplicação e apresentar resultados eficientes, podendo ser aplicado em bacias com diferentes tipos

de uso do solo (NOVOTNY, 2003).

Para obter a geração média de carga difusa para cada classe de uso do solo, a fim de calibrar o modelo e obter a geração total de carga difusa para cada bacia, foi elaborado um método que relaciona os valores de produção de carga difusa para cada tipo de uso do solo do *Corine Land Cover* (CLC) e a produção de carga difusa para o tecido urbano contínuo proposta por Steinke (2007). A Tabela 2 apresenta os valores de contribuição por tipo de uso do solo elaborado pelo *Corine Land Cover* (CLC) que possui uma variação de 0 a 10.

Tabela 2 - Produção de carga difusa para classes de uso do solo do Corine Land Cover (CLC)

Classes de Uso de Solo do CLC			
1. Tecidos Artificializados			0-10
1.1. Tecido Urbano	1.1.1. Tecido Urbano Contínuo		8,22
	1.1.2. Tecido Urbano Descontínuo		6,89
1.2. Indústria, Comércio e Transporte	1.2.1. Indústria, Comércio e Equipamentos Gerais		7,78
	1.2.2. Redes Viárias e Ferroviárias e espaços associados		5,67
1.3. Zonas Verdes	1.3.1. Espaços Verdes Urbanos		2,33
	1.3.2. Equipamentos desportivos e de lazer		3,00

Fonte: Adaptado de Cecchi et al. (2007)

A tabela 3 apresenta os valores monitorados por Steinke (2007) para produção de carga difusa para tecido Urbano e os valores estimados com base nas proporções obtidas pelo *Corine Land Cover* (CLC) para os demais tecidos considerados. Os valores serão usados como referência para o cálculo da produção de carga difusa na bacia em estudo.

Tabela 3 - Produção de Poluição Difusa para classes de uso do solo

Produção de Carga Difusa por Tipo de Uso do Solo					
1. Tecidos Artificializados		N total	P total	Ss Total	Total
1.1. Tecido Urbano	1.1.1. Tecido Urbano Contínuo	1,27	0,03	50,00	51,31
	1.1.2. Tecido Urbano Descontínuo	1,07	0,03	41,91	43,01
1.2. Indústria, Comércio e Transporte	1.2.1. Indústria, Comércio e Equipamentos Gerais	1,21	0,03	47,32	48,56
	1.2.2. Redes Viárias, Ferroviárias e espaços associados	0,88	0,02	34,49	35,39
1.3. Zonas Verdes Orientadas	1.3.1. Espaços Verdes Urbanos	0,36	0,01	14,17	14,54
	1.3.2. Equipamentos desportivos e de lazer	0,46	0,01	18,25	18,73

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de Steinke (2007) e Cecchi et al. (2007)

O método será utilizado para quantificação da carga difusa gerada na bacia do Córrego Ibiraporã.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

O Córrego Ibiraporã, graças ao programa de governança

colaborativa, tem seu processo de despoluição mais consolidado, uma vez que o potencial poluidor da bacia encontra-se minimizado pela implementação das ações do programa. O gráfico da Ilustração 02 mostra a evolução da DBO no Córrego Ibiraporã, onde se pode observar a sua redução significativa e a estabilidade no monitoramento da mesma. Podemos observar a presença de um *outlier* em julho de 2011 que, segundo informações da SABESP, é resultado de um vazamento de esgotos sanitário durante a execução de intervenções na área.

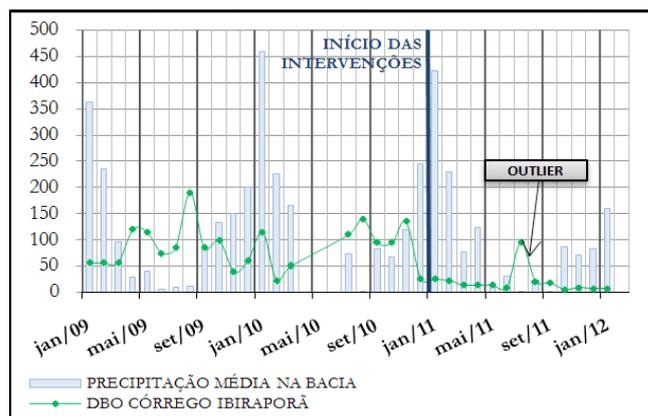


Ilustração 2 -Relação entre a Precipitação (mm) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}) no Córrego Ibiraporã no período 01/01/2007 a 01/01/2012

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de Córrego Limpo (2011) e SAISP (2012)

Para avaliação da eficiência da remoção da DBO para o Córrego Ibiraporã, foi aplicado o teste T, onde primeiramente foi determinada a diferença entre a população amostral da DBO antes (Jan/2009 a Dez/2009) e depois (Jan/2011 a Dez/2011) das intervenções do programa. Portanto para este teste estatístico, foi desconsiderado o monitoramento da DBO no período de execução das obras e ações do programa, sendo considerados doze meses antes das intervenções e doze meses após as intervenções. Na tabela 4 são mostradas as diferenças calculadas, bem como a DBO obtida nos períodos em questão.

Tabela 4 - DBO Córregos Ibiraporã – Antes e depois das intervenções

DBO _{5,20} (mg/L) Córrego Ibiraporã: Antes (2009) e Depois (2011) das Intervenções do Programa "Córrego Limpo"												
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	56	56	56	120	115	75	85	190	85	100	40	60
2011	25	22	14	14	14	9	95	21	19	5	9	7
Diferença	31	34	42	106	101	66	-10	169	66	95	31	53

Fonte: Elaborado pelas autoras

Adota-se como Hipótese para o teste T paramétrico o seguinte: H_0 = as intervenções não surtiram efeito sobre a DBO. Obteve-se o T de 4,819 para o Córrego Ibiraporã; Assim para o nível de significância 0,05 e grau de liberdade 23, pela tabela de T crítico de *Student* (ZAR,1996), obtemos o T crítico de 1,714. Portanto, rejeita-se a hipótese H_0 adotada, ou seja, sendo o T obtido 4,819 e o T crítico 1,714, há efeito considerável das in-

tervenções do programa sobre a DBO do córrego em questão.

Através da média aparada (Importante no caso do Córrego Ibiraporã devido à discrepância apresentada no mês de julho, já que elimina *outliers* - valores discrepantes) tem-se para o Córrego Ibiraporã a DBO média de 14mg/L no ano de 2011. Segundo monitoramento realizado por Larentis (2004) no escoamento superficial, o valor da DBO no ambiente urbano fica por volta de 12mg/L, que foi atribuído à carga difusa. Fazendo assim a comparação entre a DBO média observada no Córrego Ibiraporã e a monitorada por Larentis (2004), podemos inferir que a DBO apresentada pelo corpo d'água é resultado da influência da carga difusa trazida pelo escoamento superficial da bacia, ou seja, a DBO média do córrego Ibiraporã pós- intervenções é condizente com o esperado para um corpo d'água em área urbana sob influência somente de cargas difusas, confirmando a eficiência do programa na remoção das cargas pontuais, uma vez que a presença de cargas pontuais seriam facilmente evidenciadas pela elevação da DBO no corpo d'água.

A resolução CONAMA (2005), que dispõe sobre a classificação de corpos d'água e diretrizes ambientais para enquadramento, prevê no caso de corpos d'água de água doce as seguintes condições de DBO para cada classe: Classe Especial, condições naturais; Classe I, DBO 3,0mg/L; Classe II, DBO 5,0mg/L; e Classe III, DBO 10,0mg/L. Portanto, o efetivo controle das cargas pontuais em corpos d'água urbanos, como no caso do Córrego Ibiraporã, pode resultar no atendimento do padrão de DBO estabelecido pela CONAMA 357 para a classe II. Considerando ainda que em média aproximadamente 12mg/L desta DBO seja proveniente da carga difusa (LARENTIS, 2004), o controle desta carga poderia resultar no atendimento do padrão de DBO estabelecido para a classe I em alguns meses do ano, evidenciando assim a importância do controle deste tipo de poluição no meio urbano.

Variáveis físicas e químicas

Os resultados obtidos para as análises realizadas nas amostras do Córrego Ibiraporã são apresentados na Tabela 05, a seguir, sendo P1TS relativo à coleta na estaca 16 no período seco, P2TS à estaca 9 no período seco, P1TC à estaca 16 no período chuvoso e P2TC à estaca 9 no período chuvoso, conforme já apresentado na Ilustração 01. Os resultados obtidos para as análises realizadas nas amostras do Córrego Ibiraporã são apresentados na tabela 5.

Através da análise qualitativa dos dados podemos concluir que há um aumento significativo na concentração de poluentes no corpo d'água durante o inverno devido à ausência do fenômeno da diluição que ocorre no verão devido ao aumento da precipitação sobre a bacia e consequente aumento da vazão do corpo d'água. Vemos também aparecer no verão o aumento de variáveis características do componente carga difusa, como óleos e graxa, alguns metais como Chumbo e compostos derivados de Petróleo.

Além da avaliação qualitativa, pode-se ainda realizar uma análise estatística na série de dados para obter o grau de diferença entre os grupos amostrais. Por tratar-se de um conjunto de dados que não obedece aos critérios para uma análise

Tabela 5 - Córrego Ibiraporã: Monitoramento das variáveis físicas e químicas da água

Monitoramento das Variáveis Físicas e Químicas da Água				
Variáveis	P1TS	P2TS	P1TC	P2TC
DBO (mg/L)	4,000	5,000	15,000	9,000
DQO (mg/L)	27,000	22,000	38,000	22,000
OD (mg/L)	5,190	2,320	4,800	3,900
Temperatura °C	21,900	22,700	23,100	24,400
Turbidez	1,540	1,070	9,430	10,800
pH	7,420	7,570	7,300	7,470
Alcalinidade Total (mg/L)	67,000	87,000	56,000	72,000
Sólidos Dis. Totais (mg/L)	209,000	218,000	43,000	214,000
Óleos e Graxas (mg/L)	<5	<5	11,000	8,000
Fósforo Total (mg/L)	0,178	0,324	<3,6000	<3,6000
Itrio (%)	90,00	87,00	76,30	81,80

Série de Metais				
Variáveis	P1TS	P2TS	P1TC	P2TC
Alumínio Dissolvido (mg/L)	0,098	0,194	0,027	0,015
Cobre Dissolvido (mg/L)	0,011	0,003	<0,0017	0,002
Ferro Dissolvido (mg/L)	0,092	0,704	0,206	0,126
Mercurio Total (mg/L)	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Antimônio (mg/L)	0,004	<0,0020	<0,002	<0,002
Arsênio Total (mg/L)	<0,0020	<0,0020	<0,002	<0,002
Bário Total (mg/L)	0,066	0,087	0,063	0,081
Berílio Total (mg/L)	<0,0060	<0,0060	<0,006	<0,006
Boro Total (mg/L)	0,054	<0,0520	<0,052	<0,052
Cádmio Total (mg/L)	<0,0017	<0,0017	<0,0017	<0,0017
Chumbo Total (mg/L)	<0,0020	<0,0020	0,006	0,003
Cobalto Total (mg/L)	<0,0020	<0,0020	0,016	<0,002
Cromo Total (mg/L)	0,007	<0,0060	<0,006	<0,006
Lítio Total (mg/L)	<0,0270	<0,0270	<0,027	<0,027
Manganês Total (mg/L)	0,424	0,303	0,254	0,145
Níquel Total (mg/L)	<0,0017	0,003	<0,0017	<0,0017
Prata Total (mg/L)	<0,0001	0,004	<0,00010	<0,00010
Selênio Total (mg/L)	0,005	0,004	<0,003	<0,003
Vanádio Total (mg/L)	<0,0040	<0,0040	<0,004	<0,004
Zinco Total (mg/L)	0,013	0,058	0,034	0,018
Metais Totais (mg/L)	0,774	1,360	0,606	0,389

Série de Derivados de Petróleo				
Variáveis	P1TS	P2TS	P1TC	P2TC
Benzeno (µg/L)	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Etilbenzeno (µg/L)	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Tolueno (µg/L)	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Estireno (µg/L)	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Xilenos (µg/L)	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
p-Bromofluorbenzeno (%)	90,52	104,41	109,73	111,52
Tolueno-d8 (%)	83,31	89,83	105,21	88,60
2-Fluorobifenil (%)	87,13	102,56	79,00	77,87
p-Terfenil d14 (%)	99,69	89,99	78,78	92,73

Série de Cloro				
Variáveis	P1TS	P2TS	P1TC	P2TC
2-Clorofenol (mg/L)	<0,010	<2,00	<0,010	<0,010
1,2-Dicloroetano (mg/L)	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
1,1-Dicloroetano (mg/L)	<2,00	<0,010	<2,00	<2,00
Diclorometano (µg/L)	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Tetracloroeto de Carbono (µg/L)	<1,00	<1,00	<2,00	<2,00
Tetracloroetano (µg/L)	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Triclorobenzenos (µg/L)	<0,07	<0,07	<2,00	<2,00
Tricloroetano (µg/L)	<0,10	<0,10	<2,00	<2,00

Série de Nitrogênio				
Variáveis	P1TS	P2TS	P1TC	P2TC
Nitrato (mg/L)	5,810	0,780	1,780	1,750
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	4,270	7,290	<0,08	1,420
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	4,950	8,460	-	-

Fonte: Elaborado pelas autoras

parametrizada, deve se utilizar uma análise não paramétrica através do Teste de Friedman (ZAR, 1996). Para aplicação do Teste de Friedman considerou-se as variáveis físicas e químicas que apresentavam alterações quantitativas, ou seja, aquelas que poderiam expressar mudanças qualitativas. A Tabela 6 apresenta

Tabela 6 - Postos obtidos para as variáveis físicas e químicas da água- Córrego Ibiraporã

Postos Obtidos - Córrego Ibiraporã								
Variáveis	P1TS		P2TS		P1TC		P2TC	
	Resultados	Postos	Resultados	Postos	Resultados	Postos	Resultados	Postos
DBO (mg/L)	4,0	1	5,0	2	15,0	4	9,0	3
DQO (mg/L)	27,0	3	22,0	2	38,0	4	22,0	2
OD (mg/L)	5,2	1	2,3	4	4,8	2	3,9	3
Temperatura °C	21,9	1	22,7	2	23,1	3	24,4	4
Turbidez	1,5	2	1,1	1	9,4	3	10,8	4
pH	7,4	2	7,6	4	7,3	1	7,5	3
Alcalinidade Total (mg/L)	67,0	2	87,0	4	56,0	1	72,0	3
Sólidos Dis. Totais (mg/L)	209,0	2	218,0	4	43,0	1	214,0	3
Óleos e Graxas (mg/L)	<5	2	< 5	2	11,0	4	8,0	3
Ítrio (%)	90,0	4	87,0	3	76,3	1	81,8	2
p-Bromofluorbenzeno (%)	90,5	1	104,4	2	109,7	3	111,5	4
Tolueno-d8 (%)	83,3	1	89,8	3	105,2	4	88,6	2
2-Fluorobifenil (%)	87,1	3	102,6	4	79,0	2	77,9	1
p-Terfenil d14 (%)	99,7	4	90,0	2	78,8	1	92,7	3
Nitrato (mg/L)	5,8	4	0,8	1	1,8	3	1,8	2
Metais Totais (mg/L)	0,8	3	1,4	4	0,6	2	0,4	1
R		36		43		39		43

Fonte: Elaborado pelas autoras

os postos obtidos para as variáveis consideradas nesta análise.

O valor obtido com a aplicação do Teste de Friedman foi 1,3687. Adotando a seguinte hipótese nula “Não há diferença entre as duas séries amostrais”, para um nível de significância $\alpha=5\%$ e grau de liberdade igual a 3, o valor crítico da distribuição X2 obtido é 7,815 (GUIMARÃES, 2008), portanto não podemos rejeitar a hipótese nula, ou seja, não há diferença sig-

nificativa entre os valores obtidos e o esperado se as amostras fossem iguais. No entanto, cabe realizar ainda uma segunda análise, uma vez que os valores R obtidos podem ainda serem interpretados relacionando a qualidade da água no ponto, uma vez que os postos foram ordenados no sentido crescente da influência negativa da variável analisada, por exemplo, quanto mais oxigênio dissolvido na água melhor a saúde do corpo d’água (Considerando um corpo d’água característico da mata atlântica, como é o caso do corpo d’água em questão na sua condição natural), portanto a maior taxa de oxigênio recebeu o posto 4 e a menor o posto 1. O mesmo foi feito para as demais variáveis. Concluímos então que quanto maior o valor de R obtido, pior o estado do corpo d’água. Partindo destas premissas, é possível analisar detalhadamente os resultados obtidos.

O ponto 1 trata-se da nascente do canal, portanto no inverno como há menos diluição da carga contida no canal, o valor R obtido no inverno (R=35,5) foi menor do que o valor obtido no verão (R=39,0) quando o canal apresenta uma maior diluição de sua carga devido ao regime de chuvas; podemos associar a isto o fato da nascente estar sobre menor influência de cargas pontuais e difusas, uma vez que trata-se do trecho inicial do canal. Já o ponto 2, mais à jusante apresentou valores R muito parecidos para os dois períodos (Inverno, R=43,0 e verão, R=42,5) o que poderia ser interpretado como sendo resultado da carga difusa trazida pelo escoamento superficial, pois do contrário o corpo d’água deveria apresentar uma melhoria na qualidade de suas águas no verão devido ao efeito da diluição dos poluentes pelas chuvas constantes. Portanto, se por um lado o fator diluição é adicionado ao processo, por outro se adiciona também o fator carga difusa, desta forma tem-se a qualidade global do corpo d’água constante nos dois períodos.

Unidade de carga (UC)

Através de imagens de satélite do Google Earth e de visitas à área de estudo, foi possível elaborar o mapa com a classe de uso do solo para a bacia do Córrego Ibiraporã. A Ilustração

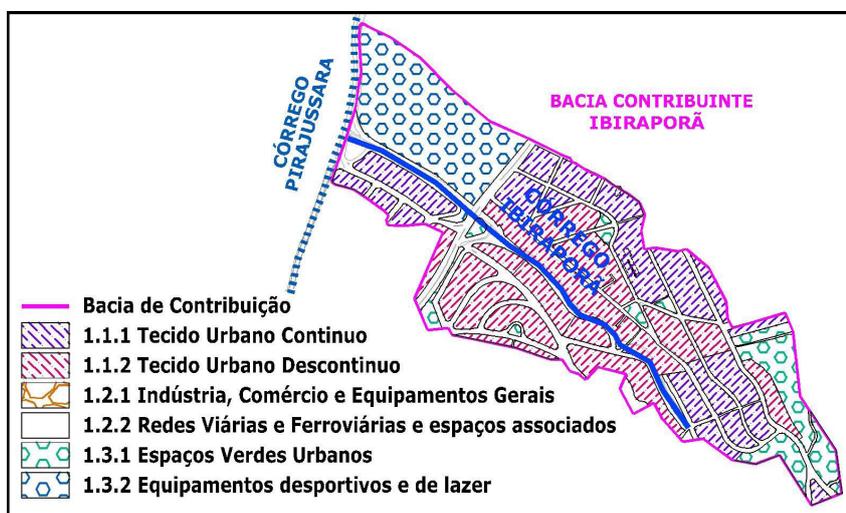


Ilustração 3 - Distribuição na bacia do Córrego Ibiraporã das classes de uso do solo do Corine Land Cover (CLC)

Fonte: Elaborado pelas autoras

03 mostra a divisão de classes de uso para a área de estudo.

Utilizando a metodologia descrita no item anterior foi possível estimar a produção de carga difusa na bacia e os resultados obtidos são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Produção de carga difusa para as diferentes parcelas de classe de uso do solo na bacia do Córrego Ibiraporã, calculada pelo método da Unidade de Carga

Classe	Área (Km ²)	N total (kg/dia)	P total (kg/dia)	Ss Total (kg/dia)	Carga Gerada (Kg/dia)
Tecido Urbano Contínuo	0,1505	0,1917	0,0051	7,5254	7,7222
Tecido Urbano Descontínuo	0,1812	0,1935	0,0052	7,5945	7,7932
Redes Viárias e Ferroviárias e espaços associados	0,6656	0,5849	0,0156	22,9567	23,5572
Espaços Verdes Urbanos	0,0586	0,0212	0,0006	0,8309	0,8526
Equipamentos desportivos e de lazer	0,1115	0,0518	0,0014	2,0349	2,0882
Total	1,1675	1,0432	0,0278	40,9423	42,0134

Fonte: Elaborado pelas autoras

CONCLUSÃO

O estudo mostrou que o programa “Córrego Limpo” apresenta grande efetividade na remoção da DBO, efetividade constatada através da análise do histórico de monitoramento da DBO do Córrego Ibiraporã. Foi possível concluir com base na análise do monitoramento da DBO, da avaliação físico-química e da quantificação da carga difusa, que em corpos d’água como o Córrego Ibiraporã, ações de despoluição como as do programa “Córrego Limpo” voltadas para o controle de cargas pontuais, unidas a medidas para o controle da carga difusa, poderiam resultar no atendimento da DBO de enquadramento de corpos d’água classe II ou até mesmo classe I em algumas épocas do ano, evidenciando assim a importância do controle destes tipos de poluição no meio urbano para a recuperação de seus corpos d’água.

Por fim, aplicando a ecossistemas aquáticos continentais, especificamente rios e riachos, os conceitos de nicho ecológico e diversidade e com base nos resultados obtidos pode se descrever a seguinte sequência de fases percorridas por um corpo d’água em áreas urbanas:

1º Fase: Em um primeiro momento, temos o corpo d’água em estado dito natural, ou seja, antes de sofrer qualquer intervenção antrópica. Neste estágio o corpo d’água apresenta uma determinada biota que sofre variações populacionais em função de eventos sazonais como mudanças ao longo do ano na intensidade luminosa, regime de chuvas (alterando sua vazão), temperatura, entre outros fatores. No entanto a biota estabelecida no corpo d’água está apta a lidar com tais alterações, de modo que apesar da flutuação populacional ao longo do ano, ela se mantém constante se avaliada uma escala temporal mais ampla. Em um ambiente dito natural como este há uma grande diversidade de nichos ecológicos que se consolidaram durante

a história evolutiva deste ambiente atingindo um equilíbrio próprio e interdependente.

2º Fase: Em segundo momento, com a intervenção do homem, que geralmente envolve a mudança na geometria deste corpo d’água, mudanças no aporte de sedimentos provocado pela mudança no uso do solo e lançamento de efluentes, há uma mudança drástica nos nichos ecológicos existentes no momento anterior, uma vez que há a inserção de outros fatores para os quais alguns organismos que ali habitavam não eram tolerantes. Assim, os organismos sensíveis às novas condições são levados à extinção local e o que resta são organismos tolerantes às novas condições, ou seja, aos novos nichos criados pelas alterações e aos nichos ecológicos que se mantiveram. Entende-se então que estes eventos levam rapidamente à perda da diversidade existente, através da extinção local de espécies mais sensíveis e por estarem associados à produção de habitats mais restritivos, há a criação de um ecossistema onde há a predominância de organismos resistentes. Um forte componente de remodelagem desse ecossistema é a quantidade de matéria orgânica disponível, já que micro-organismos decompositores se proliferam na sua presença, consumindo o oxigênio disponível na água e como a quantidade de oxigênio é fator limitante à maioria dos organismos complexos como animais e vegetais em qualquer ambiente, a limitação deste recurso molda significativamente o ecossistema. Os corpos d’água em áreas urbanas em sua grande maioria encontram-se estagnados neste estágio.

3º Fase: Em um terceiro momento, com a retirada das fontes de matéria orgânica, preponderantemente esgotos sanitários, através da consolidação do saneamento na bacia, o corpo d’água tende a reestabelecer sua oxigenação devido à redução da influência de micro-organismos decompositores, assim, com o aumento da disponibilidade do recurso oxigênio há o aumento da diversidade de organismos complexos mais basais, como insetos aquáticos ou na sua fase de vida aquática e macrófitas aquáticas, organismos que em ambientes aquáticos ditos naturais dão sustentação à existência de organismos superiores, como peixes. Nesta fase, a carga advinda do escoamento superficial tem influência significativa no corpo d’água, uma vez que além do aporte de matéria orgânica ela pode contribuir com outros elementos que por ventura podem gerar outros fatores limitantes.

4º Fase: Por fim, em um quarto momento, com a eliminação das cargas pontuais e controle da carga difusa, temos um corpo d’água que suporta a existência de animais superiores, como espécies de peixes mais resistentes. Este corpo d’água integrado à paisagem urbana tem importante papel na promoção do bem estar da população e no aumento da sua qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

- BARTALINI, V. Os córregos ocultos e a rede de espaços públicos urbanos. *Pós* – revista do programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo da FAU-USP, n. 16, p. 82-96, dez. 2004.
- CHECCI, G.; MUNAFÒ, M.; BAIOTTO, F.; ANDREANI, P.; MANCINI, L. Estimating river pollution from diffuse sources in the Viterbo province using the potential non-point

pollution index. *Annali dell' Istituto Superiore di Sanità*, v. 43, n. 3, p. 295-301, 2007.

CONAMA. 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, n. 53, p. 58-63, mar. 2005.

CÓRREGO LIMPO. *Informações, mapas, planilhas e fotos obtidas junto à coordenação do programa "Córrego Limpo" durante a elaboração da pesquisa e outras informações*. [2010?]. Disponível em: <<http://www.corregolimpo.com.br>>. Acesso em: 18 fev. 2011.

CORTES, R.; PINTO, P.; FERREIRA, M. T.; MOREIRA, I. Qualidade biológica dos ecossistemas fluviais. In: MOREIRA, I.; FERREIRA, M. T.; CORTES, R. M. V.; PINTO, P.; ALMEIDA, P. R. (Ed.). *Ecossistemas Aquáticos e Ribeirinhos*. Instituto da Água, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Lisboa: [s.n.], 2002.

GUIMARÃES, P. R. B. *Métodos quantitativos estatísticos*. Curitiba: IESDE Brasil, 2008.

SAISP – Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo. *Histórico de precipitação para Zona Oeste no período de janeiro de 2007 a março de 2012*. São Paulo: FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2012.

LARENTIS, D. G. *Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: Sistema Taquari – Antas–RS*. 2004. 15 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LIMA, L. C. T. M. *Simulação da Qualidade da Água em uma Bacia Hidrográfica: Aplicação a Bacia do rio Curu (CE)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

MACEDO, D. R.; CALLISTO, M.; MAGALHÃES, A.P. *Restauração de cursos d'água em áreas urbanizadas: perspectivas para a realidade brasileira*. RBRH: revista brasileira de recursos hídricos, v. 16, n. 3, p. 127-139, jul./set. 2011.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Laboratório de Saneamento "Profº Lucas Nogueira Garcez". *Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais, voltado para análise de águas e esgotos sanitário e industrial*. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Manual%20de%20Técnicas%20de%20Laboratorio_Aguas%20e%20Esgotos%20Sanitarios%20e%20Industriais.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2014.

MORENO, P.; FRANÇA, J. S.; FERREIRA, W. R.; PAZ, A. D.; MONTEIRO, I.; CALLISTO, M. Use of the beast model for

biomonitoring water quality in a Neotropical basin. *Hydrobiologia*, v. 630, n. 1, p. 231-242, 2009.

MUNAFÒ, M.; CECCHI, G.; BAIOTTO, F.; MANCINI, L. River pollution from non-point sources: a new simplified method of assessment. *Journal of Environmental Management*, v. 77, n. 2, p. 93-98, Oct. 2005.

NOVOTNY, V. *Water quality: diffuse pollution and watershed management*. 2nd ed. New York: John Wiley, 2003.

NOVOTNY, V.; OLEM, H. *Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

POCINHO, M. *Estatística II: – teoria e exercícios passo a passo*. 2010. Disponível em: <http://docentes.ismt.pt/~m_pocinho/Sebenta_estatistica_II_com_anexos_2010.pdf>. Acesso em: 20 maio 2013.

PORTO, M. F. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. L. (Org.). *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH, Editora da UFRGS, 1995. p. 387-414.

PORTO, M. F. *Sistema de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro*. 2002. Tese (Livre-docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002. p. 130-135.

PRODANOFF, J. H. A. *Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano*. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SABESP. *Prestação de Serviços Técnicos Especializados para Capacitação dos Técnicos para Implementação das Estratégias de Governança Colaborativa*. São Paulo: Diretoria Metropolitana da SABESP, 2010.

GOMES, M. C. A. A.; LAMPARELLI, M. C.; JOHNSCHER-FORNASARO, G.; BRASIL. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. *Diagnóstico Limnológico e ecológico do reservatório do Guarapiranga*. São Paulo: SMA, 2000.

STEINKE, V. A. *Identificação de áreas úmidas prioritárias para conservação da biodiversidade na Bacia da Lagoa Mirim (Brasil - Uruguai)*: subsídio para gestão transfronteiriça. 2007. 57 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6525/1/Tese_ValdirAdilsonSteinke.pdf>. Acesso em: 28 maio 2013.

TOMAZ, P. *Poluição difusa*. São Paulo: Editora Navegar, 2006. cap. 3.

Zar, J. H. *Biostatistical analysis*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.