

Interação água – sedimento e sua importância para o entendimento dos processos de poluição: estudo de caso seção fluvial do rio Iguaçu, Bacia do Alto Iguaçu

Interaction water - sediment and its importance for understanding pollution processes: case study fluvial section of the Iguaçu river, Iguaçu River Watershed

Vanessa Daneluz Gonçalves¹(*)
Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes²

Resumo

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433, de 1997, (BRASIL, 1997), propõe um novo paradigma fundamentado na gestão integrada, descentralizada e participativa dos recursos hídricos em todos os níveis territoriais da administração. Para tanto, esse modelo de gestão envolve as ordens do poder público, usuários e sociedade civil organizada. Adicionalmente, também são princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos a adoção da bacia hidrográfica como unidade operacional de gestão; promoção de usos múltiplos e atribuição de valor econômico da água; e priorização do abastecimento humano em caso de escassez. Nesse contexto, o problema inerente à poluição de corpos d'água pode ser melhor entendido pelo estudo da dinâmica de poluição e das complexas interações entre a água e o sedimento. No Brasil, o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos tem se tornado uma atividade comum no âmbito da gestão de sistemas aquáticos, contudo, o seu monitoramento concomitante com o da qualidade dos sedimentos ainda é pouco praticado. Este artigo destaca essa questão. Para tanto, uma seção transversal do rio Iguaçu foi selecionada e avaliada quanto à interação água-sedimento. Por meio desta pesquisa foi possível adquirir informações importantes sobre os processos de poluição por meio dos fluxos nas fases água e sedimento. Em suma, foi possível avaliar diferentes estágios de oxidação da poluição, em termos de carbono e de nitrogênio nas duas fases; identificar possíveis atividades de amonificação, nitrificação na água e desnitrificação no sedimento; identificar acúmulo de fosfato no sedimento; constatar que a poluição excedeu a capacidade suporte do rio, e que este tem acumulado material orgânico lábil em sua fase sedimento, o qual contribuirá para a fase água, em eventos de precipitação pela resuspensão do sedimento, mesmo após a cessação da fonte poluidora.

Palavras-Chave: Qualidade da Água; Sedimento; Gestão de Recursos Hídricos.

1 Me; Engenheira de Recursos Hídricos e Ambiental; Universidade Federal do Paraná, Curitiba - Brasil; Professora Assistente da Universidade Estadual de Maringá; Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário CEP 87020-900 - Maringá - PR - BR. E-mail: van_dg@msn.com (*) Autora para correspondência.

2 Dr.; Engenheiro; Civil and Environmental Engineering Department da University of Toronto; Professor Associado do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná; Endereço: Rua XV de Novembro, 1299 | CEP 80.060-000 - Curitiba - Paraná - Brasil; E-mail: cris.dhs@ufpr.br

Abstract

The National Water Resources Policy, instituted through Law 9.433 of 1997 (BRASIL, 1997) proposes a new paradigm based on the integrated, decentralized and participatory management of water resources in all of the territorial levels of administration. To this, the management model involves the orders of the public power, users and organized civil society. In addition, it is also the principles of the National Water Resources Policy to adopt the river basin as an operational management unit; promotion of multiple uses and allocation of economic value of water; and the prioritization of human supplies in the event of shortages. In this context, the problem inherent in the pollution of water bodies can be better understood by studying the dynamics of pollution and the complex interactions between water and sediment. In Brazil, the monitoring of the quality of water resources has become a common activity in the management of aquatic systems, however, its concomitant monitoring with the quality of the sediments, is still little practiced. This article highlights this issue, so a cross section of the Iguaçu river was selected and evaluated for water-sediment interaction. Through this research it was possible to acquire important information about the pollution processes through the flows in the water and sediment phases. In short, it was possible to evaluate different stages of oxidation of the pollution, in terms of carbon and nitrogen in the two phases; to identify possible ammonification, nitrification in water and denitrification activities in the sediment; to identify an accumulation of phosphate in the sediment; to verify that the pollution exceeded the support capacity of the river, and that this has accumulated labile organic material in its sediment phase, which will contribute to the water phase in precipitation events by the resuspension of the sediment, even after the cessation of the polluting source

Key words: Quality of Water; Sediment; Water Resources Management.

Introdução

O intemperismo atuante em meios rochosos, solos e compostos minerais, gera subprodutos que são carregados pela drenagem natural, podendo compor o leito de corpos hídricos, onde constituirão o sedimento. O sedimento em meio aquático desempenha função importante de armazenamento e transporte de nutrientes e compostos contaminantes ao longo do sistema hidrográfico (REIS et al., 2001). Quanto ao transporte de sedimentos, este possui efeito mais acentuado em rios de menor dimensão e, especialmente, em bacias de montanha que apresentam uma menor capacidade de armazenamento e uma resposta a picos de precipitação mais rápida, transportando cargas sedimentares significativas em períodos de tempo reduzidos (REIS et al., 2001). Fato que está bastante relacionado a problemas de assoreamento de canal, pelo aporte excessivo de sedimentos no sistema aquático.

Os compostos presentes no sedimento podem degradar-se ou reagir com outros, gerando formas solúveis ou potencialmente mais tóxicas. Concomitantemente, podem ocorrer distintos processos de adsorção e liberação do material adsorvido ao sedimento, os quais são influenciados por condições físico-químicas de pH, oxigênio dissolvido e por microrganismos (RIGAUD et al., 2013).

Os sedimentos são componentes fundamentais do ambiente fluvial, por promoverem nutrientes para os organismos vivos e por atuarem como depósito para muitos contaminantes de

origem antrópica, devido às suas características físicas e químicas (REIS et al., 2001). Contudo, o desenvolvimento econômico e consequentes emissões antrópicas causaram elevada deterioração da qualidade das águas costeiras (RIGAUD et al., 2013), continentais (NILIN et al., 2013) e dos sedimentos na década de 1970 e 1980 (FÖRSTNER, 1989). Adicionalmente, as condições hidrodinâmicas de muitos rios foram alteradas pela construção de obras hidráulicas, como diques, barragens, sistemas de drenagem e por mudanças no uso da terra, como desmatamento e urbanização. Assim, como consequência de anos de poluição dos cursos hídricos, entende-se que houve acúmulo de material potencialmente poluidor no sedimento, e esse material pode causar impactos negativos à qualidade da água em situações de resuspensão do sedimento (RIGAUD et al., 2013).

Quanto à dinâmica de rios em termos de formação de sedimento por meios naturais ou por influência de atividades antrópicas, destacam-se entre os fenômenos que afetam a dinâmica do sedimento: o escoamento superficial, a erosão de margens, a deposição em planície, os processos de adsorção-desadsorção, a carga em suspensão, a precipitação, o consumo biológico e os fluxos no canal de deposição (REIS et al., 2001). A concentração de oxigênio dissolvido na coluna d'água é o principal fator a afetar a dinâmica dos fluxos entre a água e o sedimento, por influenciar reações bioquímicas importantes (MIDDELBURG; LEVIN, 2009).

Em termos de gestão de recursos hídricos, o monitoramento da qualidade do sedimento pode ser uma ferramenta importante a somar-se ao monitoramento comumente realizado na coluna d'água. Diversos estudos têm sido conduzidos com esse propósito (VAN METRE; HOROWITZ, 2013; KHALIK et al., 2013; NILIN et al., 2013; RIGAUD et al., 2013). As análises de qualidade em sedimentos são de grande valia na mensuração do grau de poluição em sistemas aquáticos, dado seu caráter em acumular substâncias nocivas, em especial às hidrofóbicas (LIMA et al., 2001). Ainda, salienta-se a importância de análises de razões de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo (C:N:P), na detecção de possíveis contaminantes derivados de atividades antrópicas, como esgotos domésticos, visto que a razão C:N:P de fontes naturais de matéria orgânica, plantas terrestres e aquáticas, obedecem a um padrão estequiométrico (PETRUCIO; FARIA, 1998).

Em países como os EUA, o monitoramento do sedimento tem sido praticado há mais tempo, como relata o estudo desenvolvido por Van Metre e Horowitz (2013), que concentrou uma série histórica com 80 anos de dados de monitoramento da qualidade do sedimento no Lago Whittington (jusante ao encontro dos rios Mississippi e Arkansas, nos EUA). A avaliação do sedimento permite a aquisição de informações peculiares, como Nilin et al., (2013), ao monitorarem o sedimento de estuários em Fortaleza, no Brasil, constataram a retenção de metais nesses ambientes e seu consequente acúmulo ao longo da última década. Entretanto, a pesquisa também concluiu que a toxicidade do ambiente aquático estava relacionada a outros tipos de contaminantes, e não aos metais.

Entretanto, até o presente, não há respaldo legal em termos de padrões de qualidade para atividades de monitoramento do sedimento em prol da gestão dos recursos hídricos. O que temos à disposição é a Resolução CONAMA nº 344/2004 (BRASIL, 2004) que estabelece, entre outras coisas, procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, de modo a amparar legalmente as atividades de dragagem do sedimento e disposição final, sem tratar de questões como monitoramento da qualidade do sedimento em corpos d'água.

Contudo, há evidências de que o monitoramento do sedimento pode auxiliar de forma expressiva o entendimento dos fenômenos que ocorrem na coluna d'água, devido à inter-relação existente entre esses ecossistemas (REIS et al., 2001; VAN METRE; HOROWITZ, 2013; KHALIK et al., 2013; NILIN et al., 2013; RIGAUD et al., 2013). Nesse contexto, com o

propósito de investigar a inter-relação entre o leito de fundo do rio com a coluna d'água adjacente, este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento dos fluxos desses ambientes a partir de mensurações dos parâmetros de carbono, nitrogênio e fósforo no sedimento; e concomitantemente, dos parâmetros de pH, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, carbono, fósforo, nitrogênio e sólidos sedimentáveis na coluna d'água, a fim de se obterem possíveis correlações entre as fases.

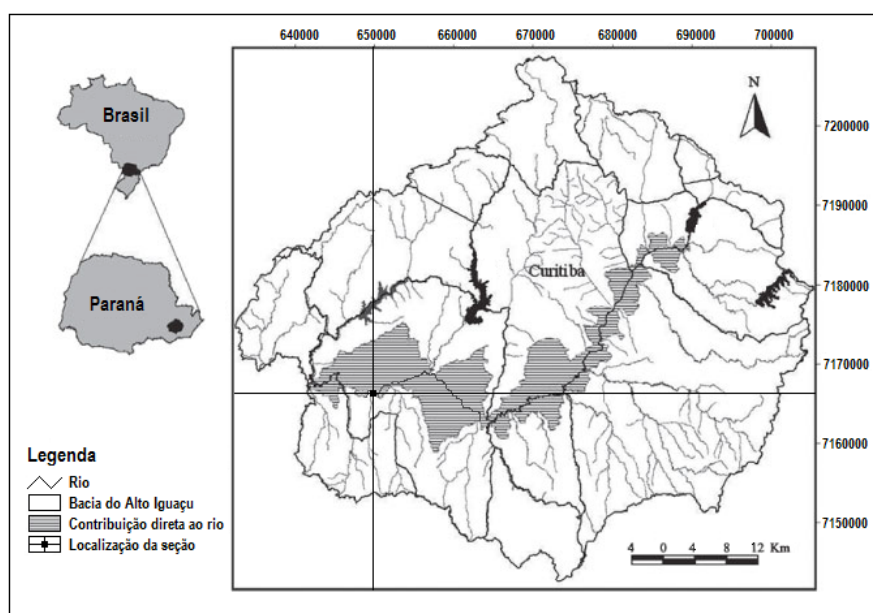
Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado no rio Iguaçu que pertence à Bacia do Alto Iguaçu, a qual drena cerca de 3.000 km² de área. A bacia está situada no estado do Paraná e engloba a cidade de Curitiba, e mais outros 14 municípios denominados por Região Metropolitana de Curitiba - RMC, o que inclui o município de Araucária. O trecho do rio Iguaçu pertencente à Bacia do Alto Iguaçu, possui 86 km de extensão, desde a sua nascente na junção dos Rios Iraí e Palmital, até a sua foz no rio Verde, incluindo 26 afluentes principais do rio Iguaçu. (PORTO et al., 2007; KNAPIK, 2009). Os afluentes de margem direita cortam a cidade de Curitiba e recebem toda a carga proveniente da poluição difusa, efluente doméstico, lançamentos pontuais e efluentes resultantes das indústrias instaladas na Cidade Industrial de Curitiba - CIC, situada no terço inferior da sub-bacia do rio Barigüi, afluente ao rio Iguaçu (FRANÇA, 2009). Em termos qualitativos, o rio Iguaçu, situado na bacia do Alto Iguaçu, apresenta enquadramento em classes (Especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4) dependendo da sub-bacia de contribuição, por exemplo, o local de estudo está enquadrado como classe 4, já o rio Itaquí, afluente do rio Iguaçu, pertence à classe 3 (PARANÁ, 2013).

Para a avaliação do proposto, definiu-se como local de estudo, a seção transversal do rio Iguaçu situada no município de Araucária, sob as coordenadas 25°36'01" Sul e 49°30'48" Oeste (Figura 1).

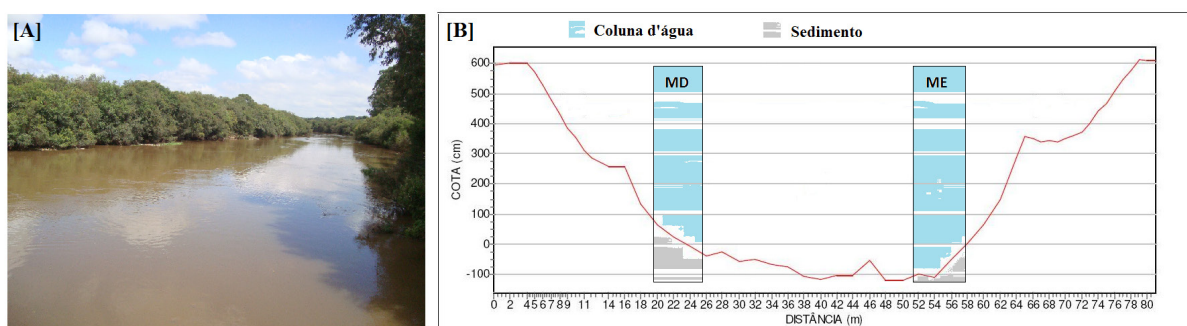
Figura 1 – Localização da seção transversal de estudo no rio Iguaçu, bacia do Alto Iguaçu



Fonte: Adaptado de Silva et al. 2010.

A seção está a uma altitude de 858 metros, e sob influência de uma área de drenagem de 2.577,76 km² (KNAPIK, 2009), e possui cerca de 80 metros de largura e 6,0 metros de profundidade. Para exemplificar, a cota de 4,10 metros de profundidade representa uma condição de 243,80 m³/s de vazão no canal. A Figura 2A apresenta uma imagem fotográfica do local de estudo e a Figura 2B mostra o perfil do canal (linha vermelha) com os locais de amostragem de sedimento e água, situados nas proximidades da margem direita (MD) e margem esquerda (ME) do rio.

Figura 2 – Rio Iguaçu, bacia do Alto Iguaçu. [A] imagem fotográfica do local de estudo, [B] perfil do canal contendo os locais de amostragem do sedimento e água



De acordo com Dombroski, Fernandes e Azevedo (2009), o desenvolvimento na bacia do Alto Iguaçu promoveu significativo e rápido processo de ocupação urbana irregular, e o crescimento de atividades industriais que promoveram consequências negativas diretas ao equilíbrio de processos voltados à manutenção da bacia hidrográfica, como a demanda crescente por água potável, alterações na qualidade das águas de corpos hídricos, drenagem urbana, contaminação crescente por micropoluentes orgânicos e inorgânicos na coluna da água e nos sedimentos, alterações no clima local e nos processos hidrológicos.

Amostragem do sedimento

Ao longo da seção transversal do rio em estudo, foram monitorados dois pontos no sedimento, aqui denominados por MD e ME que representam pontos nas proximidades da margem direita e da margem esquerda do rio, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 2B. As amostras foram coletadas com auxílio de uma draga tipo de Petersen, içada ao fundo do canal, e analisadas quanto ao carbono orgânico total, fósforo total e nitrogênio total. A mensuração do carbono orgânico total foi realizada com a utilização de um amostrador de sólidos acoplado a um analisador do tipo TOC, em que a amostra é previamente tratada para remoção do carbono inorgânico e, em seguida, é pesada em recipiente de quartzo e introduzida em forno (1000°C) para sua total combustão. O carbono liberado na forma de CO₂ é quantificado por meio de um detector de infravermelho não dispersivo (NDIR). Já as análises de fósforo total foram realizadas segundo o método da ignição dissolução com ácido clorídrico (ANDERSEN, 1976). E as análises de nitrogênio total foram realizadas por meio do método da digestão por persulfato de potássio (SMART, 1983).

Amostragem da água

Quanto às análises de água, de forma semelhante à amostragem realizada no sedimento, foram monitoradas duas regiões próximas às margens direita e esquerda do rio. Nesse caso, devido à variação natural do nível do rio, as amostras foram coletadas a meia profundidade da coluna d'água com auxílio de uma garrafa de Van Dorn içada simultaneamente com um guincho elétrico que registrava as informações de profundidade do local. Na sequência, as amostras foram reservadas em frascos de poliestireno e mantidas sob refrigeração com auxílio de caixa térmica e gelo, como sugerido na NBR 9.898 (ABNT, 1987), até sua avaliação em termos de qualidade, em Laboratório de análises ambientais específico, sempre respeitando os prazos de validade de cada análise conforme sugerido em APHA (1998).

Parâmetros mensuráveis por sensores específicos de campo foram determinados no local: pH - potencial hidrogeniônico (pH 330i/SET, WTW); turbidez (WQ770 Turbidimeter, Global Water); Oxigênio Dissolvido – OD (Handylab OX 12/SET, SCHOTT); temperatura (obtido pelo Oxímetro). E outros parâmetros foram determinados em laboratório: Carbono Orgânico Total - COT (Combustão e detecção por infravermelho não dispersivo - NDIR, TOC-VCPH SHIMADZU CORPORATION, 2003); Nitrogênio Total – NT pelo método do persulfato (APHA, 1998); Fósforo Total - PT (MURPHY, 1962; APHA, 1998).

Coletas

Por meio de quatro campanhas de campo, foram coletadas (i) 7 amostras simples de 1 kg de sedimento cada uma; destas, 3 são referentes à margem direita e 4 são referentes a margem esquerda; e (ii) 8 amostras simples de 5 litros cada uma, da coluna d'água, sendo 4 delas referentes à margem direita e as outras 4 da margem esquerda. A Tabela 1 contém informações sobre as coletas realizadas em termos de período da amostragem, vazão do canal e precipitação média de 30 dias antes da coleta.

Tabela 1 – Data, vazão e precipitação média respectivas das quatro coletas realizada no rio Iguaçu

Coleta	C1	C2	C3	C4
Data	12/11/2009	03/03/2010	26/05/2010	26/09/2010
Vazão, Q (m^3s^{-1})	50,88	102,44	73,00	27,3
Precipitação média ¹ (mm)	145,0	225,9	103,3	68,5

Legenda: ¹Precipitação média calculada a partir de dados pluviométricos de 19 estações situadas na área de estudo (PARANÁ, 2017).

Nesta pesquisa foram adotadas as seguintes denominações para as coletas de sedimento: C1S-MD, C1S-ME, C2S-MD, C2S-ME, C3S-ME, C4S-MD, C4S-ME (sendo, “C1” a “Coleta 1”, “S” de “Sedimento”, “MD” de “Margem de Direita”, “ME” de “Margem Esquerda” e assim sucessivamente). E para a qualidade da água: C1A-MD, C1A-ME, C2A-MD, C2A-ME, C3A-MD, C3A-ME, C4A-MD, C4A-ME (semelhante ao caso anterior, “C1” a “Coleta 1”, “A” de “Água”, “MD” de “Margem de Direita”, “ME” de “Margem Esquerda” e assim sucessivamente). Salienta-se que não foi possível realizar a amostragem referente à C3S-MD por dificuldades técnicas em coletar o sedimento; assim, como não foi possível concluir a análise de nitrogênio total referente à C2A-MD.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos por este trabalho, a fim de organização, foram subdivididos em três vertentes: i) Avaliação quali-quantitativa do sedimento; ii) Avaliação quali-quantitativa da água; e iii) Avaliação da inter-relação água-sedimento.

i) Avaliação quali-quantitativa do sedimento

As análises de sedimento envolveram a mensuração de carbono orgânico total, nitrogênio total e fósforo total. Os resultados para tais parâmetros, assim como as razões molares, estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Porcentagens em 1 grama, concentrações e razões molares de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo no sedimento.

Amostra	C _{TS} (%)	N _{TS} (%)	P _{TS} (%)	C _{TS} ($\mu\text{mol/g}$)	N _{TS} ($\mu\text{mol/g}$)	P _{TS} ($\mu\text{mol/g}$)	C _{TS} / N _{TS} (molar)	C _{TS} / P _{TS} (molar)	N _{TS} / P _{TS} (molar)
C1S-ME	5,18	0,09	0,28	4315,32	62,38	31,62	69,18	136,47	1,97
C1S-MD	3,86	0,14	0,15	3217,73	100,73	17,14	31,94	187,73	5,88
C2S-MD	3,38	0,14	0,24	3202,26	65,35	32,80	49,00	97,63	1,99
C2S-ME	3,84	0,09	0,30	2820,26	102,95	27,17	27,39	103,80	3,79
C3S-ME	5,80	0,15	0,25	4831,92	104,46	27,98	46,26	172,73	3,73
C4S-MD	6,21	0,16	0,29	4644,88	96,88	34,62	47,94	134,17	2,80
C4S-ME	5,57	0,13	0,31	5174,39	113,65	32,72	45,53	158,14	3,47
Média	4,83	0,13	0,26	4029,54	92,34	29,15	45,32	141,52	3,38
DP	1,12	0,03	0,05	932,79	20,13	5,94	13,49	33,70	1,34
CV (%)	23	22	21	23	22	20	30	24	40

Legenda: C_{TS}, carbono orgânico total no sedimento; N_{TS}, nitrogênio total no sedimento; P_{TS}, fósforo total no sedimento, DP, desvio padrão; e CV, coeficiente de variação.

Por meio da Tabela 2, pode-se constatar que todas as amostras apresentaram valores consideráveis de carbono orgânico, destaque para a amostra C4S-ME referente à margem esquerda da coleta 4, a qual apresentou maior valor, 5174,39 $\mu\text{mol/g}$. Em termos de valores médios percentuais, determinou-se, neste estudo, o valor de 4,83% para o C_{TS}. Dombroski, Fernandes e Azevedo (2009) já haviam evidenciado valor médio semelhante de 4,51% para o parâmetro na área de estudo. Esses valores de C_{TS}, determinados no sedimento sugerem a maior predisposição do sedimento em adsorver um maior número de compostos hidrofóbicos, e/ou podem estar relacionados a despejos de efluentes domésticos. Entretanto, em situação hipotética de dragagem desse sedimento e sua posterior disposição no solo, destaca-se, pela Resolução CONAMA n° 344/2004, que o valor de carbono orgânico total presente está bem abaixo do valor limite de 10%, limite que, se superado, enquadra o sedimento como potencialmente prejudicial ao ambiente receptor (BRASIL, 2004).

Os resultados de nitrogênio total variaram entre 62,38 $\mu\text{mol/g}$ e 113,65 $\mu\text{mol/g}$, sendo que esse valor máximo foi determinado na margem esquerda durante a coleta 4, amostra C4S-ME, mesma amostragem para a qual foi encontrada à maior concentração de C_{TS}. Dombroski,

Fernandes e Azevedo (2009) mensuraram no mesmo local de estudo, o valor médio de nitrogênio total de 0,10%, semelhante a média calculada por esta pesquisa.

Já em termos de fósforo total, os resultados obtidos para o parâmetro foram próximos de ambientes naturais, o que corrobora com resultado determinado por Dombroski, Fernandes e Azevedo (2009) na mesma região de estudo, em que foi determinado o valor médio de fósforo total de 0,23%. Em estudo no Lago Barigüi situado em Curitiba (Paraná – BR), Bem (2009) mensurou elevados valores de P_{TS} , com concentração máxima determinada de 84,7 $\mu\text{mol/g}$. Para Froehner e Martins (2008), que também determinaram elevadas concentrações de fósforo total (P_{TS}) no rio Barigüi, a alta concentração de P_{TS} pode estar relacionada a efluentes domésticos quanto a concentração de fósforo em relação à concentração de carbono é maior, considerando a matéria orgânica como $C_{106}H_{267}O_{110}N_{16}P$.

A investigação quanto à origem da composição do sedimento tem sido avaliada por meio da adoção de proporções entre os seus elementos básicos de carbono, nitrogênio e fósforo (FROEHNER; MARTINS, 2008; DOMBROSKI; FERNANDES; AZEVEDO, 2009; BEM, 2009; GONÇALVES, 2011), esta razão entre os elementos é uma abordagem comum em estudos geoquímicos e servem como indicadores interessantes a respeito da fonte de matéria orgânica (RUTTENBERG; GOÑI, 1997). No que compete às razões molares, a Tabela 3 contém informações quanto à possível procedência do material. Neste contexto, quanto à razão C_{TS}/P_{TS} , Ruttenberg e Goñi (1997) sugerem valores em torno de 6,6 para caracterizar o sedimento como de origem do fitoplâncton. Entretanto, para este estudo de caso foram encontrados altos valores, com razão molar média de 141,52, o que sugere que o sedimento analisado não é originário do fitoplâncton.

Tabela 3 – Procedência do sedimento segundo a razão molar

Razão	Faixa ou valor	Característico
C_{TS}/P_{TS}	6,6	Fitoplâncton
C_{TS}/N_{TS}	10 – 100	Plantas terrestres
C_{TS}/N_{TS}	100 - 1000	Madeira
N_{TS}/P_{TS}	16	Ambiente natural

Legenda: C_{TS} , carbono orgânico total no sedimento; N_{TS} , nitrogênio total no sedimento; P_{TS} , fósforo total no sedimento.

Fonte: Adaptado de Ruttenberg e Goñi (1997).

A continuidade da avaliação com base na Tabela 3 e diante dos resultados expostos na Tabela 2, pode-se afirmar que o sedimento contém forte presença de material oriundo de plantas terrestres, a julgar pelos resultados de razão do C_{TS}/N_{TS} , que apresentaram média de 45,32. Já a razão média de N_{TS}/P_{TS} de 3,38 sugere uma procedência não totalmente natural do sedimento. Ainda, constata-se um considerável aporte de fósforo em relação ao de nitrogênio, o que sugere neste caso, que o nitrogênio seja o fator limitante no sedimento. Froehner e Martins (2008), também obtiveram resultados semelhantes para a razão N_{TS}/P_{TS} , com valor máximo de 3,5 e mínimo de 1,2.

ii) Avaliação quali-quantitativa da água

A Tabela 4 resume as informações obtidas de qualidade da água segundo parâmetros monitorados e coletas. As avaliações da qualidade da água permitem fazer algumas observações

quando aos resultados ao compará-los com os pressupostos normativos, como por exemplo, a Resolução CONAMA n° 357 de 2005 (BRASIL, 2005), e com trabalhos pertinentes.

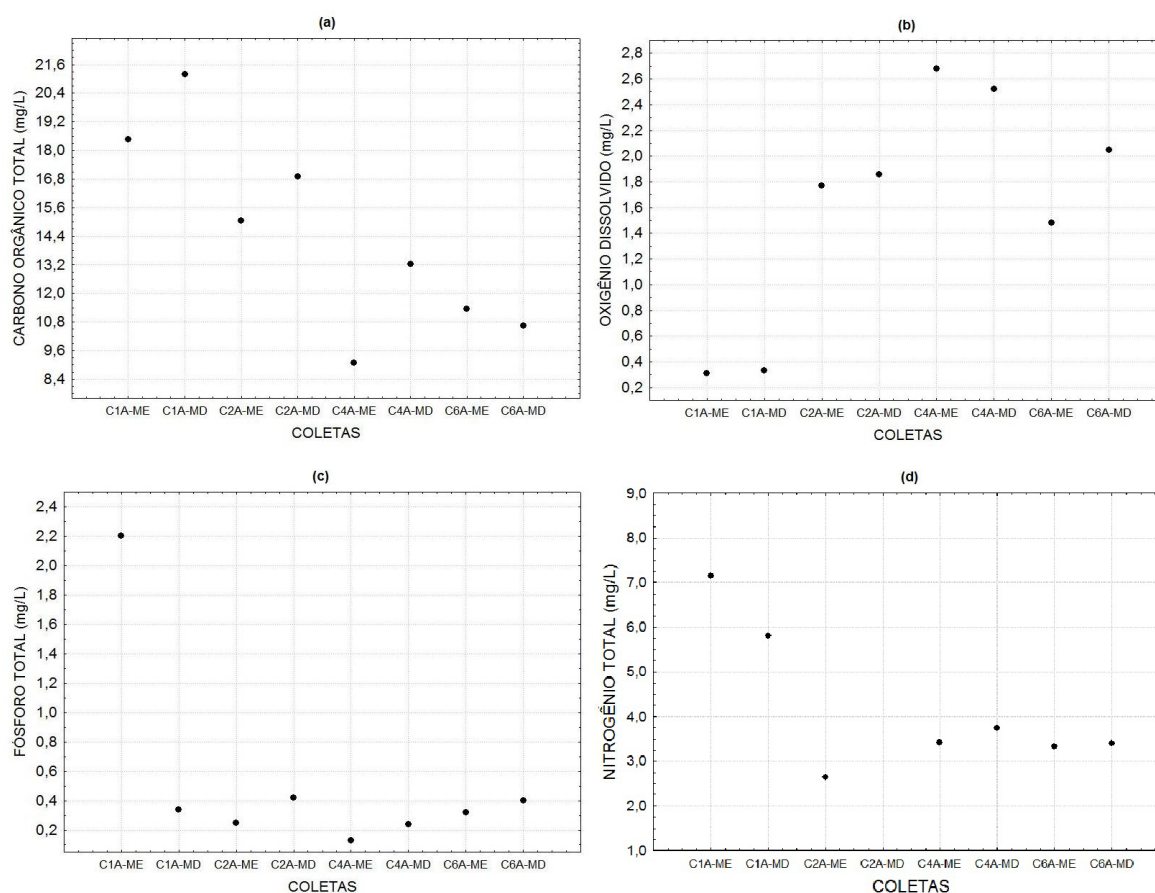
Tabela 4 – Parâmetros de qualidade da água por coleta

Coleta	pH	T _b (NTU)	T (°C)	C _{TA} (mg/L)	OD (mg/L)	P _{TA} (mg/L)	N _{TA} (mg/L)	SS (mL/L)	Q (L/s)
C1-ME	7,20	30,00	23,30	18,46	0,31	2,20	7,15	0,35	50880
C1-MD	7,20	33,00	23,20	21,19	0,33	0,34	5,80	0,30	50880
C2-MD	7,30	27,40	22,20	15,05	1,77	0,25	2,64	0,35	102440
C2-ME	7,30	34,50	22,30	16,89	1,86	0,42	ND	0,30	102440
C4-ME	7,20	29,40	17,30	9,07	2,68	0,13	3,42	0,10	73000
C4-MD	7,30	32,10	17,40	13,22	2,52	0,24	3,72	0,10	73000
C6-MD	7,30	48,50	18,90	11,34	1,48	0,32	3,33	0,70	27300
C6-ME	7,40	49,80	18,00	10,63	2,05	0,40	3,41	0,50	27300
Média	7,28	35,59	20,33	14,48	1,63	0,54	4,21	0,34	63405,0
DP	0,07	8,66	2,66	4,18	0,89	0,68	1,63	0,20	29646,7
CV (%)	1	24	13	29	55	126	39	59	47

Legenda: nd, não determinado; C_{TA}, carbono orgânico total na água; N_{TA}, nitrogênio total na água; P_{TA}, fósforo total na água; T_b, turbidez; T, temperatura; OD, oxigênio dissolvido; SS, sólidos sedimentáveis; Q, vazão; DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.

Por meio das informações contidas na Tabela 4, sugere-se quanto ao: **i) pH**: o valor de pH exerce influência sobre processos biológicos e químicos – ionização, volatilidade, dissolução, precipitação, toxicidade, entre outros (WEINER, 2000). Na análise qualitativa dos resultados, pode-se afirmar que durante o período monitorado, o parâmetro manteve-se em conformidade com o sugerido pela Resolução CONAMA n°357/2005, a qual estabelece um range ótimo de 6,0 < pH < 9,0, independente da classe (BRASIL, 2005). De certa forma, tais resultados corroboram com os determinados por Knapik (2009), durante investigação no mesmo local; **ii) Turbidez**: a mesma resolução supracitada permite classificar todas as coletas em classe 1 (até 40 NTU), com exceção da última coleta, segundo ambas margens, C4A-ME e C4A-MD. Knapik (2009) realizou monitoramento no período de 2005 a 2008 e determinou, no local, o valor médio de turbidez de 42 NTU; **iii) Temperatura**: quanto aos resultados de temperatura, os mesmos se concentraram em faixas consideradas aceitáveis para a manutenção da fauna e flora aquáticas (HUCKEMBECK et al., 2012). A Figura 3 apresenta os resultados gráficos dos parâmetros de carbono orgânico total, oxigênio dissolvido, fósforo total e de nitrogênio total, segundo pontos e coletas.

Figura 3 - Parâmetros de qualidade da água por coleta realizada em seção transversal do rio Iguaçú. [A] C_{TA} , carbono orgânico total, [B] OD, oxigênio dissolvido, [C] P_{TA} , Fósforo total e [D] N_{TA}^1 , nitrogênio total



Nota: N_{TA}^1 : o resultado de nitrogênio total referente à C2A-MD foi descartado por incerteza na leitura.

A análise da Figura 3 e da Tabela 4 permite sugerir quanto ao: **iv) C_{TA}** : apesar de não haver normativa para esse parâmetro, observa-se, em termos quantitativos, que foram encontrados valores consideráveis ($14,48 \pm 4,18$ mg/L). Knapik (2009) determinou valor de C_{TA} médio de 10 mg/L. Para Coelho (2013), há um aporte significativo de material orgânico e inorgânico ao longo do rio Iguaçú, inclusive nas partes mais à jusante da bacia, o que inclui o local de estudo pertinente a este trabalho; **v) OD**: as concentrações de oxigênio dissolvido, mensuradas, estão um nível considerado deficitário segundo padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005 que exige um mínimo de 2 mg/L para enquadramento em classe 4 (BRASIL, 2005). O déficit de oxigênio dissolvido sugere a presença de compostos passíveis de oxidação em excesso, os quais podem ser oriundos de sub-bacias situadas à montante do local, como as dos rios Palmital, Belém e Barigui, que são altamente urbanizadas. Ainda, Knapik (2009) evidenciou condições insuficientes de OD em torno de 2 mg/L. Logo, seria coerente supor como sumidouros de oxigênio, a presença de matéria orgânica lábil e de compostos nitrogenados, possivelmente advindos de despejos domésticos e industriais.

Quanto ao carbono, **vi) P_{TA}** : pela Resolução CONAMA n° 357/2005, o fósforo manteve-se em classe 4 ($> 0,15$ mg/L), em todas as coletas, com exceção da coleta 4 em que foi mensurada comparativamente melhor qualidade ($P_{TA} = 0,13$ mg/L), classe 3 ($< 0,15$ mg/L) (BRASIL, 2005).

Knapik (2009) determinou para o local valores médios de fósforo total menores que 0,45 mg/L. E por fim, **vii**) N_{TA} : o monitoramento do nitrogênio total resultou em concentrações relativamente baixas para o parâmetro, com média de 4,21 mg/L. Valores maiores já foram mensurados neste ambiente, com média próxima de 10 mg/L (KNAPIK, 2009). Coelho (2013), após avaliar um banco de dados de qualidade da água de cinco anos referentes ao local de estudo, destaca que há uma tendência de aumento das concentrações respectivas de fósforo e nitrogênio totais ao longo do tempo.

Em estudos desenvolvidos por Khalik et al., (2013), em Cameron Highlands, na Malásia, foram determinadas concentrações de OD (média de 4,99 mg/L), nitrogênio na forma de nitrato (média de 1,55 mg/L) em concentrações abaixo dos limites estipulados pela *Malaysian National Drinking Water Quality Standard* (10 mg/L), e de fosfato (média de 0,96 mg/L) porém, com valores que excedem o definido pela mesma normativa (0,2 mg/L). Para Khalik et al. (2013), os resultados obtidos da qualidade da água estão correlacionados com poluição difusa advinda de áreas cultivadas com uso de fertilizantes.

No presente estudo, constata-se por meio dos resultados de qualidade da água que o local é característico de um ambiente em estágio de poluição, a julgar principalmente pelas concentrações baixas de oxigênio dissolvido, e predomínio de elevada concentração de nutrientes. Ainda, este ambiente já possui histórico de qualidade em nível degradado (FRANÇA, 2009; DOMBRISKI; FERNANDES; AZEVEDO, 2009; KNAPIK, 2009; GONÇALVES, 2009; COELHO, 2013).

iii) Avaliação da inter-relação água-sedimento

A inter-relação entre a coluna d'água e o sedimento foi avaliada por meio da correlação linear de Pearson. Considerou-se para este estudo, como correlações significativas as $0,50 \leq |r| \leq 1,0$. A Tabela 5 contém as correlações entre distintos parâmetros de qualidade da água e parâmetros de carbono, fósforo e nitrogênio do sedimento.

Tabela 5 – Corelação linear de Pearson entre parâmetros de água e sedimento

	C_{TA}	P_{TA}	N_{TA}	pH	Tb	T	OD	SS	Q	C_{TS}	N_{TS}	P_{TS}	P
C_{TA}	1,0												
P_{TA}	0,5	1,0											
N_{TA}	0,7	0,8	1,0										
pH	-0,5	-0,3	-0,6	1,0									
Tb	-0,4	-0,2	-0,3	0,7	1,0								
T	1,0	0,5	0,7	-0,4	-0,5	1,0							
OD	-0,9	-0,6	-0,8	0,4	0,2	-0,9	1,0						
SS	-0,1	0,0	-0,2	0,6	0,8	-0,1	-0,2	1,0					
Q	0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,8	0,3	0,2	-0,6	1,0				
C_{TS}	-0,7	0,0	-0,2	0,2	0,6	-0,8	0,4	0,3	-0,6	1,0			
N_{TS}	-0,4	-0,6	-0,3	0,1	0,6	-0,7	0,3	0,2	-0,5	0,5	1,0		
P_{TS}	-0,6	0,2	-0,4	0,6	0,4	-0,4	0,4	0,4	-0,1	0,5	-0,3	1,0	
P	0,5	0,1	0,1	-0,3	-0,8	0,7	-0,3	-0,4	0,9	-0,8	-0,8	-0,2	1,0

Legenda: C_{TA} , carbono orgânico total na água; P_{TA} , fósforo total na água; N_{TA} , nitrogênio total na água; Tb, turbidez; T, temperatura; OD, oxigênio dissolvido; SS, sólidos sedimentáveis; Q, vazão; C_{TS} , carbono orgânico total no sedimento; N_{TS} , nitrogênio total no sedimento; P_{TS} , fósforo total no sedimento; P, Precipitação.

A análise da Tabela 5 permite afirmar que as correlações positivas do C_{TS} e do N_{TS} com a turbidez (ambas de $r = 0,6$) sugerem que tais espécies presentes no sedimento estejam complexadas de modo a formar um material particulado. Ainda, a correlação negativa do C_{TS} do sedimento com o C_{TA} da água ($r = -0,7$), sugere que o carbono presente na coluna d'água esteja concentrado na forma dissolvida, o que corrobora com a sua fraca correlação com a turbidez ($r = -0,4$) ou mesmo com SS ($r = -0,1$).

As correlações negativas do C_{TS} e do N_{TS} com a vazão ($r = -0,6$ e $r = -0,5$ respectivamente) subentende que, com o aporte de vazão decorrente de um evento intenso de precipitação, promove a resuspensão do leito de fundo com conseqüente transporte de sedimentos, o que inclui com maior grau os transportes concomitantes de nitrogênio e carbono. Ou ainda, ao analisar as correlações obtidas com a Precipitação, observa-se que C_{TA} correlacionou-se positivamente ($r = 0,5$) com o parâmetro hidrológico, enquanto C_{TS} negativamente ($r = -0,8$), situação que sugere, em eventos de precipitação, a introdução de formas de carbono na água pelo escoamento superficial, e a resuspensão do carbono sedimentado, devido ao aumento do fluxo. Nilin, et al., (2013) afirmam que chuvas intensas contribuem para a resuspensão do sedimento devido ao regime turbulento do fluxo. Esse efeito de resuspensão do sedimento após eventos de precipitação também foi evidenciado com o nitrogênio total presente no sedimento (N_{TB}), diante de sua correlação negativa com a Precipitação ($r = -0,8$).

Na avaliação das correlações das espécies com o OD, sugere-se, a partir da correlação negativa com o C_{TA} ($r = -0,9$), que o carbono orgânico presente na coluna d'água encontra-se em grau moderado de oxidação. No sedimento, foi observada ausência de correlação significativa entre o OD e o carbono orgânico (C_{TS}), fato que sugere o predomínio de processos anaeróbios de estabilização do carbono orgânico presente no sedimento. Isso pode estar relacionado a um aporte de carga orgânica no corpo hídrico muito superior à sua capacidade de autodepuração, o que caracteriza uma poluição por material orgânico. Esse excesso de carbono orgânico presente na coluna d'água consome o oxigênio dissolvido, o qual permanece em baixa concentração na água, como evidenciado na Figura 2 (b), e possivelmente, em insuficiente ou mesmo ausente concentração no sedimento para a oxidação de carga orgânica que compõe o leito de fundo do corpo hídrico, C_{TS} .

Ainda, a correlação do N_{TA} com o OD ($r = -0,8$), sugere a ocorrência de reações metabólicas de nitrificação, em que há o consumo de OD para a oxidação do nitrogênio amoniacal às formas de nitrito e nitrato. Comumente, a demanda carbonácea é exercida previamente à demanda nitrogenada, conforme afirma Von Sperling (2005). Logo, diante dos indícios de poluição do local por carga orgânica proveniente de esgotos domésticos e industriais (FRANÇA, 2009; KNAPIK, 2009; GONÇALVES, 2011; COELHO, 2013), sugere-se então, que se trata de uma poluição remota, dado o estágio de oxidação dos constituintes de nitrogênio ser moderado. Salienta-se que a nitrificação, ou transformação da amônia a nitrito e deste ao nitrato, requer um ambiente aeróbio, e neste caso, devido às baixas concentrações de OD, ocorre de forma totalmente limitada. Nesse contexto, pode ocorrer o predomínio do nitrogênio na forma de amônia devido ao processo de amonificação, ou seja, de transformação do nitrogênio orgânico à amônia, fenômeno que ocorre tanto em ambiente aeróbio quanto em anaeróbio.

Diante dos dados e considerações feitas sobre demanda carbonácea e nitrogenada, sugere-se que o aporte de carga orgânica seja demasiado ao ponto de consumir o OD presente na água e dificultar o processo de oxidação do nitrogênio na coluna d'água. Novamente, é possível que o

sedimento esteja em condições anaeróbias, a julgar pelas baixas concentrações de OD na coluna d'água, e especialmente, pelo fato de a concentração do nitrogênio no sedimento estar baixa, aquém da concentração de fósforo, o que sugere a ocorrência de atividades de desnitrificação. Segundo Esteves (2011), certas bactérias anaeróbias facultativas em condições anaeróbicas são capazes de utilizar nitrato comoceptor de hidrogênio, reduzindo-o a nitrogênio molecular ou a amônia. Adicionalmente, em menor importância se comparada às algas, às bactérias heterotróficas fixadoras do gênero *Azotobacter* que habitam extratos anaeróbios, desencadeiam um processo de fixação do nitrogênio em certos compartimentos do sistema, o que inclui o sedimento.

Quanto aos consideráveis valores de fósforo no sedimento (superiores aos de nitrogênio no sedimento), destaca-se que esse elemento, geralmente na forma de fosfato, quando presente em ambientes aquáticos, pode precipitar e vir a compor o sedimento, sendo que a taxa de precipitação irá depender da presença de íons (ex. ferro, sulfeto, alumínio), da concentração de oxigênio e do pH. De acordo com Esteves (2011), ecossistemas aquáticos com presença de OD e com pH próximo ao neutro, apresentam parte dos íons de ferro oxidados ou Fe^{3+} , o qual na forma de hidróxido de ferro hidratado pode formar um complexo ao adsorver espécies fosfatadas em sua superfície, precipitando-as principalmente no sedimento. Adicionalmente, Dombroski, Fernandes e Azevedo (2009), identificaram para esse local de estudo, a presença de argilas. Esteves (2011) salienta que minerais secundários como a argila, possui elevada capacidade de adsorção de fosfatos, especialmente quando há alumínio e ferro em sua constituição. Nesse contexto, Khalik et al., (2013), ao caracterizar quali-quantitativamente sedimentos oriundos do rio Bertam, na Malásia, justificaram a variação do fosfato e do carbono orgânico no sedimento, devido à presença de argila naquele ambiente, a qual os retém.

Em relação às baixas concentrações de fosfato na água, deve-se salientar a possibilidade de ocorrência de circulação do fosfato em “curto-circuito”, neste caso, o fosfato orgânico dissolvido presente na coluna d'água é degradado até a sua forma inorgânica e, sequencialmente, é assimilado pelo fitoplâncton, sem vir a compor a fase do sedimento (Ohle, 1938; apud Esteves, 2011), o que é bastante comum em lagos.

Observa-se, por meio do exposto, que é possível extrair informações importantes pelo monitoramento do sedimento, e de sua correlação com dados de qualidade da água. Tais informações são essenciais para a compreensão das transferências de massa e energia que ocorrem entre esses ambientes.

Conclusões

De modo geral, constata-se que a avaliação dos resultados obtidos com o monitoramento do sedimento permite a aquisição de informações importantes e complementares às obtidas por meio do tradicional monitoramento de recursos hídricos. Por esta pesquisa, observou-se que os dados isolados de parâmetros de qualidade da água, como os de OD, N_{TA} e P_{TA} , indicam um aporte de carga poluidora, ou seja, certo grau de degradação do corpo hídrico em questão. Isso fica evidente devido à baixa concentração de OD.

Já a avaliação concomitante dos resultados de água e sedimento, permite complementar plausivelmente essas informações anteriores. Nesse caso, verificou-se que o carbono orgânico presente na água apresenta-se em estado moderado de oxidação. Esse fato sugere um aporte de material orgânico ao corpo receptor além da capacidade de autodepuração desse ambiente.

Em eventos de precipitação, sugere-se aporte de carbono na água, somada a resuspensão do carbono presente no sedimento. Ainda, no sedimento, as concentrações de P_{TS} superiores às de N_{TS} , diferente do observado na coluna d'água (em que o N_{TA} supera o valor de P_{TA}), sugerem a acumulação no fósforo no sedimento, talvez devido às condições de OD, pH, concentração de íons e argilas, fatos que permitem a precipitação do fósforo (fosfato) após sua complexação com íons, especialmente os de ferro, ou sua adsorção com argilas em geral. Nesse contexto, a circulação do fosfato em “curto-circuito” pode estar agindo como um sumidouro desse elemento na coluna d'água.

Na avaliação mais acurada do nitrogênio nos ambientes água e sedimento, este estudo sugere processos de nitrificação, a qual é rapidamente revertida no sedimento por atividades de desnitrificação, devido às condições escassas (ou por vezes ausentes) de OD nessa fase. Não se descarta também a possibilidade de ocorrência de atividade de amonificação. E, por fim, pela relação C_{TS}/N_{TS} , sugere-se a presença de material oriundo de plantas terrestres compondo o sedimento, contudo a relação N_{TS}/P_{TS} apresenta um indicativo de composição não natural, o que justifica estudos anteriores nesse ambiente que evidenciaram aportes de poluição por fontes alóctones, em especial, esgotos domésticos.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada com recursos da CAPES-REUNI e do CNPq.

Referências

ANDERSEN, J. M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. **Water Research**, v.10, p.329 – 331, 1976.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9.898/Junho de 1987 – Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores, 1987.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12614/Maio de 1992 - Águas – Determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) – Método de incubação (20°C, cinco dias), 1992.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th. ed. Washington, DC: APHA, 1998.

BEM, C. C. Determinação do estado de eutrofização de um lago raso: estudo de caso do Lago Barigüi - Curitiba. Curitiba, 2009. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Relator: Fernando Henrique Cardoso. Diário Oficial da União, Brasília, 8 de janeiro de 1997.

BRASIL, CONAMA. Resolução nº 344 de 25 de março de 2004. Diário Oficial da União, Brasília, 2004.

BRASIL, CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 18 de março de 2005.

COELHO, M. **Estratégia de monitoramento da qualidade da água para a gestão de recursos hídricos em bacias urbanas**. Curitiba, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná.

DOMBROSKI, L. F.; FERNANDES, C. V. S.; AZEVEDO, J. C. R. Um olhar alternativo para o diagnóstico de qualidade da água em rios: estudo de caso da alteração da qualidade de sedimentos no Rio Iguaçu, Região Metropolitana de Curitiba. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió. **Anais da Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, 2011.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3 Ed. Interciência: Rio de Janeiro, 2011.

FRANÇA, M. S. Análise Estatística Multivariada dos Dados de Monitoramento de Qualidade de Água da Bacia do Alto Iguaçu: Uma Ferramenta para Gestão de Recursos Hídricos. Curitiba, 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

FÖRSTNER, U. Contaminated sediments. **Springer-Verlag**, Germany, p.157, 1989.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigui na Região Metropolitana de Curitiba. **Química Nova**, v.31, n.8, p.2020 – 2026, 2008.

GONÇALVES, V. D. Avaliação de alterações de parâmetros de qualidade da água em uma seção transversal – seu impacto para a gestão de recursos hídricos. Curitiba, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná.

HUCKEMBECK, S.; CLAUDINO, M.; CORREA, F.; BASTOS, R. F.; LOEBMANN, D.; TOZETTI, A. M.; GARCIA, A. M. The activity patterns and microhabitat use of *Pseudis minuta* Günther, 1858 (Anura, Hylidae) in the Lagoa do Peixe National Park, a biosphere reserve of the brazilian subtropics. **Braz. J. Biol.**, v.72, n.2, p.331-336, 2012.

KHALIK, W. M. A. W. M.; ABDULLAH, M. P.; PADLI, N.; AMERUDIN, N. A. Assessment on nutrient status in water and sediment quality of Bertam river, Cameron Highlands. **Int. J. Chem. Sci.** v.11, n.2, p.709-720, 2013.

KNAPIK, H. G. Reflexões sobre Monitoramento, Modelagem e Calibração na Gestão de Recursos Hídricos: Estudo de Caso da Qualidade da Água da Bacia de Recursos Hídricos. Curitiba, 2009. 180 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

LIMA, M. C.; GIACOMELLI, M. B. O.; SÜPP, V.; ROBERGE, F. G.; BARRERA, P. Especiação de cobre e chumbo em sedimento do rio Tubarão (SC) pelo método tessier. **Química Nova**. v.24, n.6, p.734-742, 2001.

MIDDELBURG, J. J.; LEVIN, L. A. Coastal hypoxia and sediment biogeochemistry. **Biogeosciences**. v.6, p.1273-1293, 2009.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal. Chim. Acta**, v.27, p.31 – 36, 1962.

NILIN, J.; MOREIRA, L. B.; AGUIAR, J. E.; MARINS, R.; ABESSA, D. M. S.; LOTUFO, T. M. C.; COSTA-LOTUFO, L. V. Sediment quality assessment in a tropical estuary: The case of Ceará River, Northeastern Brazil. **Marine Environmental Research**. v.91, p.89 – 96, 2013.

PARANÁ, Resolução nº 04 do Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira - COALIAR, de 11 de julho de 2013.

PARANÁ, Instituto de Águas do Paraná – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: < <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasMensaisPrecipitacao.do?action=gerarRelatorio>>. Acesso em: 10 Mai. 2017.

PETRUCIO, M. M.; FARIA, B. M. Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé; Esteves, F. A., Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 1998.

PORTO, M. F. et al.. Bacias Críticas: Bases Técnicas para a definição de Metas Progressivas para seu Enquadramento e a Integração com os demais Instrumentos de Gestão. Curitiba: UFPR – Departamento de Hidráulica e Saneamento, (FINEP/CT-HIDRO), 2007.

REIS, A.; PARKER, A.; ALENCOÃO, A. Avaliação da qualidade de sedimentos em rios de montanha: um caso de estudo no norte de Portugal. **Recursos Hídricos – Associação portuguesa dos Recursos Hídricos**. v.31, 2001.

RIGAUD, S.; RADAKOVITCH, O.; COUTURE, R. M.; DEFLANDRE, B.; COSSA, D.; GARNIER, C.; GARNIER, J. M. Mobility and fluxes of trace elements and nutrients at the sediment–water interface of a lagoon under contrasting water column oxygenation conditions. **Applied Geochemistry**. v.31, p.35-51, 2013.

RUTTENBERG, K. C.; GONI, M. A. Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and $^{13}\text{C}_{\text{oc}}$ in arctic, temperate, and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. **Marine Geology**, v.139, p.123-145, 1997.

SILVA, J. P. A.; MUELBERT, A. E.; OLIVEIRA, E. C.; FÁVARO, L. F. Reproductive tactics used by the Lambari *Astyanax aff. fasciatus* in three water supply reservoirs in the same geographic region of the upper Iguaçú River. **Neotropical Ichthyology**, v.8, n.4, p.885-892, 2010.

SMART, M. M., RADA, R. G., DONNERMEYER, G. N. Determination of total nitrogen in sediments and plants using persulfate digestion. **Water research**, v.17, p.1207 – 1211, 1983.

VAN METRE, P. C.; HOROWITZ, A. J. An 80-year record of sediment quality in the lower Mississippi River. **Hydrol. Process.** v.27, p. 2438–2448, 2013.

WEINER, E. R. **Applications of Environmental Aquatic Chemistry**: a practical guide. 2 ed. CRC Press, 2000.