

# PADRÕES DE VARIAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ

Mariana Carolina Teixeira<sup>1,2\*</sup>, Natália Fernanda Santana<sup>1,2</sup>, Júlio César Rodrigues de Azevedo<sup>1,2,3</sup> & Thomaz Aurélio Pagioro<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Maringá (UEM). Av. Colombo, 5790 - PEA - Bloco G90 CEP 87.020-900 - Maringá - PR - Brasil

<sup>2</sup> Núcleo de Pesquisas em Limnologia Ictiologia e Aqüicultura (NUPÉLIA/UEM). Av. Colombo, 5790 - Blocos H90/G90 -87.020-900 - Maringá - PR - Brasil

<sup>3</sup> Departamento Acadêmico de Química e Biologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Av. Sete de Setembro, 3165 - DAQBI - CEP 80.230-901 - Curitiba - PR - Brasil.

\*E-mail: m\_c\_teixeira@yahoo.com

## RESUMO

A busca por padrões que expliquem a dinâmica do carbono nos ambientes aquáticos se tornou importante dentro da ecologia. Os sistemas rio-planície de inundação formaram um ramo à parte na ecologia, por possuírem características distintas, como sua forte regulação pelo regime hidrológico. As possíveis relações entre o carbono orgânico dissolvido (COD) e o nível hidrométrico, a precipitação, a clorofila e o dióxido de carbono foram testadas a fim de inferir sobre a dinâmica de variação do COD na planície de inundação do alto rio Paraná. Para os dados analisados não foi possível estabelecer um padrão geral de variação do COD, pois sua relação com as variáveis testadas foi distinta para cada ambiente e coleta considerados.

**Palavras-chave:** Carbono orgânico, planície de inundação, alto rio Paraná.

## ABSTRACT

### ORGANIC CARBON VARIATION PATTERNS ON THE UPPER PARANÁ RIVER FLOODPLAIN.

The search for patterns to explain carbon dynamics in aquatic environments has gained importance in ecology. For possessing inherent characteristics such as being strongly driven by flooding regularity, river-floodplain systems now constitute a specific branch of ecology. In the present paper, the relationships between the amount of dissolved organic carbon (DOC) and water level, rainfall, chlorophyll and carbon dioxide were tested in an attempt to explain the pattern of DOC variation on the upper Paraná River floodplain. In the end, it was not possible to trace a general pattern of DOC variation based on the obtained results because the tested variables behaved differently according with each area and sample analyzed.

**Keywords:** Organic carbon, floodplain, upper Paraná river.

## INTRODUÇÃO

Em decorrência de sua importância como um dos maiores reservatórios de carbono da biosfera, o carbono orgânico dissolvido (COD) tem sido o foco de muitos estudos relativos à sua ciclagem (ex. Algesten *et al.* 2003, Sobek *et al.* 2006, Sobek *et al.* 2007), caracterização (ex. McDonald *et al.* 2004, Oliveira *et al.* 2006) e degradação biológica e fotoquímica (Anesio *et al.* 2005, Amado *et al.* 2006). No entanto, este componente abiótico e sua dinâmica há muito tempo são contemplados nos estudos limnológicos, como em Birge & Juday (1934), Wetzel & Akira (1974), Holm-Hansen *et al.* (1976), Maier &

Swain (1978), Koenings & Hooper (1976), entre muitos outros, citados por Thurman (1985).

O COD pode representar até 90% do carbono orgânico total (COD) em lagos (Thurman 1985), e é a fração mais importante nos fluxos de energia, podendo estar entre os principais fatores determinantes do funcionamento biótico destes ecossistemas (McDonald *et al.* 2004). Atualmente, o COD é considerado a principal fonte de energia para a cadeia trófica microbiana (*microbial loop*, Pomeroy 1974, Azam 1983), e por meio desta tem sua importância expandida aos níveis tróficos superiores (Fenchel 1982). Ainda, o COD tem influência na produção primária, através das modificações que provoca na

quantidade e na qualidade da radiação disponível na coluna de água (Esteves 1998, Wetzel 1983, Lampert & Sommer 1997).

Nos ambientes aquáticos a quantidade e qualidade do COD variam muito em função da sua origem. Quando formado a partir de processos internos dos corpos de água (autóctone), como a produção fitoplanctônica e de macrófitas aquáticas, o COD tende a ser mais lábil e de fácil assimilação (Baines & Pace 1994, Carlson & Ducklow 1996, Mann & Wetzel 1996), enquanto o COD provindo de aportes externos (alóctone) é, no geral, mais complexo e menos acessível aos microorganismos (Lovley *et al.* 1996, Patel-Sorrentino *et al.* 2004). Sendo assim, qualquer fator que tenha efeito na origem do COD, como a hidrologia, vegetação e tipo de solo (Aiken & Cotsaris 1995, Westerhoff & Anning 2000), ou produtividade primária (Wetzel 1992), afeta tanto a quantidade da matéria orgânica, quanto sua natureza química. Além da origem, há processos que modificam as propriedades do COD, como transformações pela atividade biológica e/ou fotoquímica (Lindell *et al.* 1995, Wetzel *et al.* 1995, Amon & Benner 1996, Bertilsson & Tranvik 1998, Anesio *et al.* 2005, Amado *et al.* 2006), o transporte de matéria orgânica particulada e dissolvida para o sedimento e sua remobilização (Aiken & Cotsaris 1995, Frimmel 1998, Westerhoff & Anning 2000, Chen *et al.* 2002), e ainda as modificações causadas por processos limnológicos básicos como estratificação térmica e hipoxia (Thurman 1985). No geral, esses processos afetam o COD, e o ecossistema como um todo, de maneiras distintas, que dependem da sua intensidade e tempo de duração (Zumstein & Buffle 1989, Jones 1992, Rosa *et al.* 2000, Sargentini *et al.* 2001).

Alguns modelos ecológicos propõem uma relação entre a fonte de matéria orgânica e a dinâmica do COD nos ecossistemas aquáticos (*River Continuum Concept*, *Serial Discontinuity Concept*, *Flood Pulse Concept* (FPC) e *Riverine Productivity Concept* (RPC)) (McDonald *et al.* 2004). No entanto, em sistemas rio-planície de inundação o modelo que prevalece é o FPC (p. ex. Farjalla *et al.* 2006, Thomaz *et al.* 2007) que coloca o pulso hidrológico como o principal fator determinante dos componentes bióticos e abióticos do sistema (Junk *et al.* 1989, Neiff 1990).

Os sistemas rio-planície de inundação são compostos por uma grande variedade de ambientes

aquáticos que variam em forma, velocidade de fluxo, dimensões, características de entorno e conectividade com outros corpos de água (Thomaz *et al.* 2004). Na planície de inundação do alto rio Paraná, o pulso hidrológico sempre foi considerado a principal função de força do sistema, sendo o regulador de vários processos ecológicos na planície (Thomaz *et al.* 1997, Carvalho *et al.* 2003). No entanto, o rio Paraná e grande parte de sua bacia hidrográfica estão sujeitos ao controle de hidrelétricas, que alteram as propriedades do regime hidrológico (Agostinho *et al.* 2000), principalmente a intensidade e frequência dos pulsos de cheia e seca. Na ausência de cheias, Rocha & Thomaz (2004) atribuem à precipitação pluviométrica o papel principal como função de força nestes ecossistemas.

A influência do nível hidrométrico sobre o COD pode ocorrer de várias formas, diretas ou indiretas. Uma delas é a entrada direta de material alóctone das áreas terrestres inundadas, que pode ser mais ou menos importante dependendo, entre outros fatores, das dimensões da área inundada com relação ao ambiente que recebe o aporte e dos processos internos de cada ambiente. A precipitação também pode atuar sobre o COD de maneira distintas, dependendo prioritariamente da bacia de drenagem dos ambientes em questão, pois sua influencia mais direta sobre o COD é o próprio arraste de material para dentro dos corpos de água.

A produção primária autóctone é responsável, por sua vez, por uma parcela considerável do COD nos ambientes aquáticos (Wetzel 1992), e a relação entre este e a clorofila pode indicar a importância dessa produção no *pool* de carbono. A relação entre o COD e o dióxido de carbono dissolvido (CO<sub>2</sub>) também pode indicar o grau de importância da produção primária para o *pool* de COD, já que esta é baseada no consumo de CO<sub>2</sub>, podendo caracterizar os sistemas como autótróficos ou heterotróficos (Carignan *et al.* 2000).

Neste sentido, este trabalho visa testar as possíveis relações entre o COD e o nível hidrométrico, a precipitação, a clorofila e o dióxido de carbono, a fim de inferir sobre a dinâmica de variação do COD e a importância relativa das fontes alóctone e autóctone de carbono na planície de inundação do alto rio Paraná.

## ÁREA DE ESTUDO

A planície de inundação do alto rio Paraná pode ser dividida em três subsistemas, cada um formado por

um grande rio, Paraná, Ivinheima e Baía, e seus corpos de água adjacentes (Figura 1). As lagoas permanentes recebem influências específicas dos sistemas em que se encontram, sendo as influências dos rios Baía e Ivinheima sobre suas lagoas conectadas mais pronunciadas que do Paraná sobre as suas (Comunello 2001 *apud* Thomaz *et al.* 2004). As lagoas temporárias se localizam principalmente nas ilhas do rio Paraná, e podem secar completamente nos períodos de águas baixas (Thomaz *et al.* 2004).

Foram analisados os dados de 12 ambientes da planície, entre rios, canais, lagoas abertas e fechadas, abrangendo os três subsistemas. Algumas características desses ambientes estão descritas abaixo com base em Souza Filho & Stevaux (2001).

O rio Paraná constitui o canal principal da planície de inundação, apresentando largura variada e profundidade média de 4m, podendo alcançar até 15m. A lagoa do Osmar ( $22^{\circ}46'26.64''S$ ;  $53^{\circ}19'56.16''W$ ) e

a lagoa das Garças ( $22^{\circ}43'27.18''S$ ;  $53^{\circ}13'4.56''W$ ) pertencem ao subsistema Paraná. A primeira se localiza na ilha Porto Rico, possui forma alongada, profundidade média de 1,1m e área de 0,006ha. A lagoa das Garças tem profundidade média de 2,0m, área de 14,1ha e perímetro de 4.338,2m. O resaco do Pau Véio ( $22^{\circ}44'50''S$ ,  $53^{\circ}15'11''W$ ) tem 1.146,4m de comprimento e profundidade média de 1,8m, e se localiza na ilha Mutum, no rio Paraná.

O rio Baía apresenta profundidade média de 3,2m, com trechos mais estreitos com diques mais altos e ocupados pela vegetação ripária ou campos de pastagem nativa. Nos trechos mais largos, os diques são mais baixos e a vegetação é de várzea. A lagoa Fechada ( $22^{\circ}42'37,92''S$ ;  $53^{\circ}16'33,06''W$ ), no subsistema Baía, tem forma alongada, com profundidade média de 2,46m, perímetro de 1.375,9m e área de 7,5ha. Localiza-se a 100m do rio Baía, não apresentando conexão direta com o mesmo. A lagoa do Guaraná

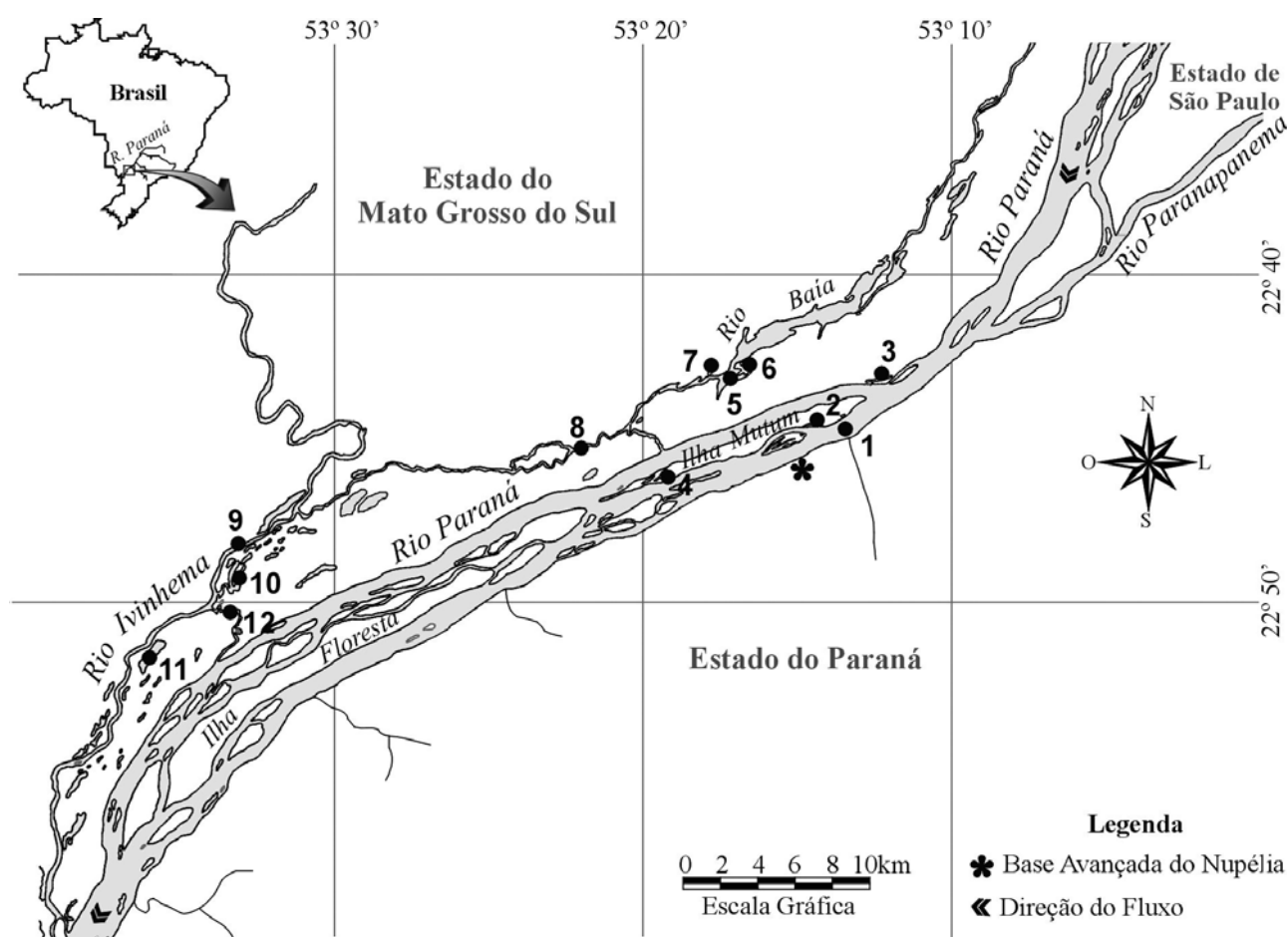


Figura 1. Pontos de coleta: rio Paraná (1); resaco do Pau Véio (2); lagoa das Garças (3); lagoa do Osmar (4); rio Baía (5); lagoa Fechada (6); lagoa do Guaraná (7); canal Corutuba (8); rio Ivinheima (9); lagoa dos Patos (10); lagoa do Ventura (11); canal Ipoitã (12).

Figure 1. Sampling sites: Paraná river (1); Pau Véio glade (2); Garças lagoon (3); Osmar lagoon (4); Baía river (5); Lagoa Fechada lagoon (6); Guaraná lagoon (7); Corutuba channel (8); Ivinheima river (9); Patos lagoon (10); Ventura lagoon (11); Ipoitã channel (12).

(22°43'16,68"S; 53°18' 9,24"W) apresenta forma arredondada, com profundidade média de 2,1m, perímetro de 1.058,3m e área de 4,2ha. É conectada ao rio Baía por um canal de 70m de comprimento e 18m de largura. O canal Corutuba faz a ligação entre os rios Baía e Ivinheima, tem aproximadamente 26.280m de extensão e largura em torno de 20,0m, com profundidade média de 2,7m.

O rio Ivinheima, um tributário da margem direita do rio Paraná, conecta-se ao rio Baía pelo canal Corutuba e ao rio Paraná pelo canal Ipoitã. No subsistema Ivinheima foram amostradas as lagoas do Ventura (22°51' 23,7"S; 53°36' 1,02"W) e dos Patos (22°49'33,66"S; 53°33'9,9"W). A lagoa do Ventura é alongada, com profundidade média de 2,16m, perímetro de 4.697,30m e área de 89,8ha, localizada a 200m do rio Ivinheima, do qual é separada por um dique marginal de 3m de altura. A lagoa dos Patos, a maior das lagoas amostradas, apresenta forma de "luva", com entradas constituindo pequenas baías. Possui profundidade média de 3,50m, área de aproximadamente 113,8ha e perímetro de 14.783,8m. Encontra-se a 10m de distância do rio Ivinheima, com o qual apresenta apenas uma conexão de 8 m de largura. O canal Ipoitã, um canal sinuoso, com profundidade média de 3,2m, liga o rio Ivinheima ao rio Paraná, tem extensão de 7km e largura próxima de 40m.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho (COD, clorofila, alcalinidade, pH, temperatura e pluviosidade) foram gerados pelo programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração/Conselho Nacional de Pesquisa (PELD/CNPq), desenvolvido pelo Núcleo de Pesquisa em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura (NUPELIA) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), na planície de inundação do alto rio Paraná (sítio 6). Os dados de nível diário do rio Paraná são referentes à estação de Porto São José e foram fornecidos pela Itaipu Binacional.

As coletas de água foram realizadas trimestralmente no período de março de 2004 a dezembro 2005, resultando num total de 94 amostras, abrangendo doze ambientes da planície: rio Paraná (RPAR, N=8); ressaco do Pau Véio (RPAU, N=8); lagoa das Garças (LGAR, N=8); lagoa do Osmar (LOSM, N=8); rio Ivinheima (RIVI, N=8); canal Ipoitã (CIPO, N=8);

lagoa dos Patos (LPAT, N=8); lagoa Ventura (LVEN, N=8); rio Baía (RBAI, N=8); lagoa Fechada (LFEC, N=7); lagoa do Guaraná (LGUA, N=7).

As amostras de água foram obtidas com uma garrafa do tipo Van Dorn e em campo foram determinados o pH, oxigênio dissolvido, temperatura e alcalinidade total. A clorofila-a (Golterman *et al.* 1978) e o COD (Shimazdu-TOC5000A) foram determinados no laboratório de Limnologia do NUPELIA. O CO<sub>2</sub> foi calculado a partir da alcalinidade, pH e temperatura da água, pelo método GRAM (Carmouze 1994).

As relações entre o COD e nível hidrométrico, clorofila, precipitação e grau de saturação de CO<sub>2</sub> foram testadas através de regressões lineares simples. Foram consideradas significativas as relações onde  $p < 0,05$  e os resíduos apresentaram distribuição normal de acordo com o teste de Shapiro-Wilk. A relação entre os coeficientes de variação (CV) da clorofila e do COD e o nível hidrométrico foi testada a partir de correlação de Pearson, e foi também considerado o intervalo de confiança de 0,95. Todas as análises foram realizadas no programa STATISTICA versão 7.1 da STATSOFT, INC..

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos trabalhos realizados em ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná (ex. Thomaz *et al.* 1997, Carvalho *et al.* 2003, Rocha & Thomaz 2004), têm encontrado os maiores valores de COD para os subsistemas Baía e Ivinheima. No presente estudo, observou-se a mesma tendência (Tabela I), sendo os maiores valores (maior média das oito coletas) encontrados na lagoa dos Patos ( $11,5 \pm 4,1 \text{mg.L}^{-1}$ ), lagoa Ventura ( $9,8 \pm 3,6 \text{mg.L}^{-1}$ ), lagoa do Guaraná ( $10,0 \pm 7,1 \text{mg.L}^{-1}$ ) e lagoa Fechada ( $12,1 \pm 5,5 \text{mg.L}^{-1}$ ). Já os ambientes do subsistema Paraná, apresentaram baixos valores de COD, com médias inferiores a  $5 \text{mg.L}^{-1}$ .

Entre janeiro de 2004 e dezembro de 2005 foram observados (Figura 2A) seis períodos de cheia (nível maior que 3,5m, de acordo com Veríssimo 1994) e duas secas prolongadas (junho/2004 a janeiro/2005 e maio a dezembro/2005). O maior nível alcançado foi de 6,76m, em janeiro de 2005 e o menor de 1,96m em janeiro do ano anterior. Quando os 12 ambientes foram analisados separadamente, somente para o canal Ipoitã houve relação significativa ( $r = -0,7611$ ;

$p=0,0283$ ) entre o COD e o nível hidrométrico (média dos sete dias anteriores à amostragem, incluindo o dia amostrado, de acordo com Thomaz *et al.* 1997) do rio Paraná, e esta relação foi bastante influenciada pela coleta de setembro de 2005, um período no qual as precipitações e o nível hidrométrico foram baixos (acúmulo dos 30 dias anteriores à coleta = 0mm; média mensal = 2,3m). Para os dados agrupados nos subsistemas, houve relação significativa entre o nível e o COD para os ambientes do rio Paraná ( $N=32$ ;  $r=-0,3535$ ;  $p=0,0472$ ), no entanto, a relação pode ter sido afetada pelas coletas de setembro de 2004 e 2005 na lagoa do Osmar. Desconsiderando as coletas citadas acima, a correlação deixa de existir ( $N=30$ ;  $r=0,2484$ ;  $p=0,1857$ ). A influência causada pelas coletas na lagoa do Osmar pode estar relacionada com o maior isolamento deste ambiente com relação aos outros do mesmo subsistema e também à sua menor área e profundidade (sempre menor que 1m) e, por consequência, maior efeito da vegetação do entorno.

Um dos padrões relacionados ao regime hidrológico é o proposto por Thomaz *et al.* (2007), referente ao efeito homogeneizador das cheias. Em seu trabalho, Thomaz *et al.* (2007) utilizam a relação entre o coeficiente de variação (CV) dos atributos de vários ambientes e o nível hidrométrico para mostrar que o aumento do nível promove uma homogeneização nas características dos ambientes de sistemas rio-planície de inundação. O mesmo foi feito para os dados de COD e clorofila, mas não houve correlação significativa para nenhuma das variáveis. No entanto, como

pode ser observado na Figura 2B, há uma diferença na dispersão dos dados entre as coletas. A dispersão é maior nos meses de junho e dezembro de 2004 e dezembro de 2005 e menor em março de 2004 e março e junho 2005. Nos meses de setembro de 2004 e 2005 a dispersão dos dados de COD é intermediária. A menor variação encontrada nos meses de março e junho de 2005 pode ser atribuída à grande cheia que precedeu as coletas, corroborando com a hipótese de homogeneização de Thomaz *et al.* (2007). Já em março de 2004, o COD apresentou uma variação baixa entre os ambientes, no entanto não houve uma cheia tão expressiva nos meses antecedentes à coleta (Figura 2A).

Outro fator que vem se mostrando importante na dinâmica limnológica dos ambientes da planície de inundação é a precipitação, que, na ausência de grandes cheias, pode ser mais importante que a variação do nível hidrométrico (Rocha & Thomaz 2004). Para os subsistemas não foi detectada nenhuma relação entre a precipitação e o COD, assim como para 11 dos 12 ambientes analisados isoladamente, sendo exceção a lagoa do Guaraná. Quando consideradas todas as coletas, houve forte relação significativa ( $N=7$ ;  $r=0,8834$ ;  $p=0,0084$ ) entre o COD e a precipitação na lagoa do Guaraná, mas a análise dos resíduos apontou forte influência das coletas de junho e dezembro de 2004, quando houve forte precipitação e o COD apresentou os maiores valores nesta lagoa. Quando desconsideradas estas coletas, a relação se inverte e deixa de ser significativa ( $N=5$ ;  $r=-0,8489$ ;

Tabela I. Valores de COD em  $mg.L^{-1}$  obtidos nas coletas de março de 2004 a dezembro de 2005 nos locais de amostragem: lagoa dos Patos (LPAT), lagoa Ventura (LVEN), canal Ipoitã (CIPO) e rio Ivinheima (RIVI); lagoa das Garças (LGAR), lagoa do Osmar (LOSM), resaca Pau Véio (RPAU) e rio Paraná (RPAR); e lagoa do Guaraná (LGUA), lagoa Fechada (LFEC), canal Corutuba (CCOR) e rio Baía (RBAI).

Table I. DOC values ( $mg.L^{-1}$ ) obtained from samples of the period from March 2004 to December 2005, from the sampling sites: Patos lagoon (LPAT), Ventura lagoon (LVEN), Ipoitã lagoon (CIPO) and Ivinheima channel (RIVI); Garças lagoon (LGAR), Osmar lagoon (LOSM), Pau Véio glade (RPAU) and Paraná river (RPAR); Guaraná lagoon (LGUA), Fechada lagoon (LFEC), Corutuba channel (CCOR) and Baía river (RBAI).

Local	MAR/04	JUN/04	SET/04	DEZ/04	MAR/05	JUN/05	SET/05	DEZ/05
LPAT	8,3	18,1	10,4	16,2	9,6	5,4	11,3	15,7
LVEN	9,6	11,4	14,0	13,5	4,3	6,0	12,1	1,6
CIPO	2,8	2,5	3,0	3,0	2,0	2,4	5,2	7,6
RIVI	2,1	4,3	3,0	5,8	1,8	3,1	6,6	3,6
LGAR	2,5	2,9	3,8	2,7	2,1	3,7	4,4	4,9
LOSM	3,4	3,0	7,4	4,8	2,1	4,1	7,3	8,6
RPAU	2,7	2,8	4,3	2,3	2,2	3,0	5,2	0,3
RPAR	1,9	2,3	3,8	2,3	1,8	2,0	4,2	10,6
LGUA	4,9	20,7	-	19,3	7,2	7,7	7,9	12,7
LFEC	-	10,8	9,0	10,0	6,6	9,0	16,6	10,4
CCOR	2,6	18,3	7,5	11,7	5,9	2,5	9,8	7,9
RBAI	3,8	17,0	2,9	11,9	5,6	9,7	11,4	34,1

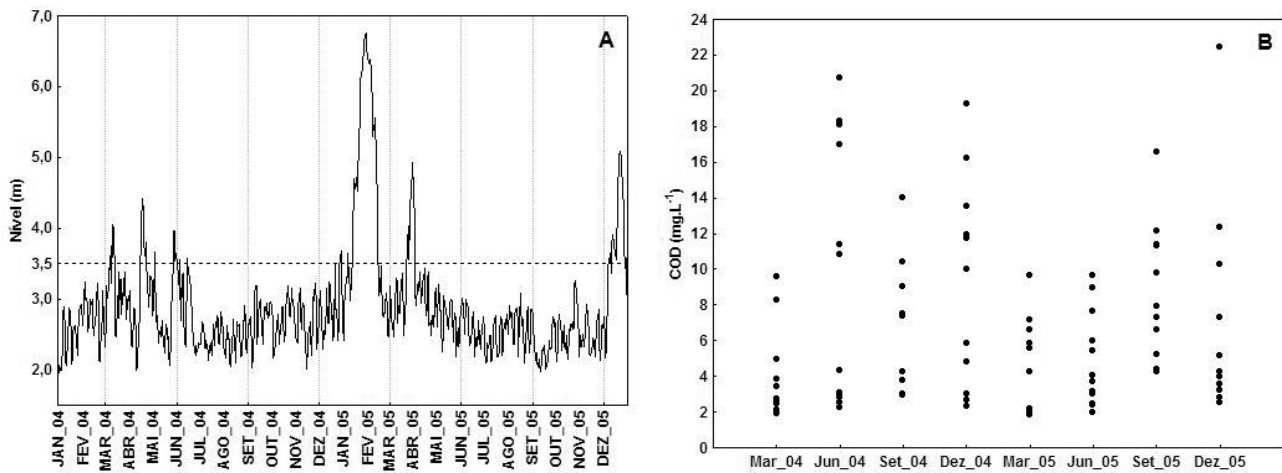


Figura 2. (A) Regime hidrológico do rio Paraná e (B) COD (cada ponto representa um ambiente da planície) no período de 2004 a 2005.

Figure 2. (A) Flow rate variation of Paraná river and (B) recorded DOC (each dot represents one environment of the floodplain) over the years 2004 and 2005.

$p=0,0689$ ). A lagoa do Guaraná, em comparação com a lagoa Fechada e o canal Corutuba, possui uma grande área de drenagem e ainda recebe aportes do córrego Jandira, o que pode aumentar a influência da precipitação no COD deste ambiente. Além disso, a área drenada se caracteriza pela presença de compostos húmicos (Thomaz 1991), que se acumulam por se tratar de um ambiente lântico, diferentemente do rio Baía, onde esta influência é menos evidente.

A relação entre o COD e a clorofila tende a variar em resposta ao ciclo hidrológico. Nos períodos de cheia o COD predominante nos ambientes de planície de inundação é de origem alóctone, oriundo do material vegetal em decomposição e do próprio solo das áreas inundadas (ex. planície amazônica Farjalla *et al.* 2006), não apresentando relação com a produção primária, representada pela clorofila. Para os 12 ambientes amostrados, não houve relação significativa entre o COD e a clorofila, considerando todas as coletas sem distinção de secas e cheias. A análise dos subsistemas apontou relação significativa somente para o subsistema Paraná ( $N=32$ ;  $r=0,3931$ ;  $p=0,0260$ ). No entanto, essa relação foi afetada por três coletas na lagoa do Osmar, setembro de 2004, junho e setembro de 2005 e desconsiderando esses pontos a relação deixa de ser significativa ( $N=30$ ;  $r=-0,0638$ ;  $p=0,7423$ ). Nos períodos anteriores a essas coletas houve baixa precipitação (Figura 3), implicando possivelmente em baixos aportes de COD alóctone. Devido às características peculiares da lagoa do Osmar, especialmente a pequena área, os aportes externos têm grande importância e, na ausência de

chuvas o carbono oriundo da produtividade primária ganha destaque. Não foi possível testar as relações entre COD e clorofila com distinção de secas e cheias para cada ambiente devido ao baixo número de observações, mas para os subsistemas as regressões apontaram ausência de relação entre COD e clorofila tanto nas cheias quanto nas secas para os três subsistemas.

De acordo com Carignan *et al.* (2000) a relação entre o COD e o  $CO_2$  na água pode indicar a importância relativa das algas na produção de carbono. Lagos com baixo aporte de carbono alóctone podem apresentar uma relação negativa entre o COD e o  $CO_2$  (Carignan *et al.* 2000), pois a produção algal é baseada no consumo de  $CO_2$ . Para o subsistema Baía houve relação significativa entre o COD e o  $CO_2$  ( $N=30$ ;  $r=0,5780$ ;  $p=0,0013$ ) quando foram desconsiderados os pontos lagoa Fechada em dezembro de 2005 (alto COD e baixo  $CO_2$ ) e lagoa do Guaraná em dezembro de 2004 (altos COD e  $CO_2$ ), que na primeira regressão apresentaram alta influência sobre a dispersão dos dados. A relação positiva encontrada para o subsistema Baía indica uma possível predominância de carbono alóctone nesses ambientes, em acordo com a falta de relação entre COD e clorofila para este subsistema. Para a lagoa do Guaraná e o canal Corutuba, isoladamente, houve relação significativa ( $r=0,8688$ ;  $p=0,0111$  e  $r=0,8045$ ;  $p=0,0161$ , respectivamente) entre o COD e o  $CO_2$ . A lagoa do Guaraná, como citado anteriormente, está numa área onde predomina matéria orgânica húmica (Thomaz 1991) e o arraste desta pelas chuvas ou pelas inundações pode ser grande. Já o canal Corutuba, apesar

de ser um ambiente semi-lótico, possui águas escuras, que dificultam a produção autóctone de carbono, e uma densa vegetação ciliar, que propicia a entrada de material alóctone. Para os quatro ambientes do subsistema Baía, a coleta de junho de 2004 apresentou forte influência sobre a dispersão dos dados, com os maiores valores de COD e de  $\text{CO}_2$ , provavelmente porque o nível sofreu uma variação de aproximadamente 2m em menos de 15 dias (Figura 1A), proporcionando rápida entrada de material. Quanto ao subsistema Ivinheima e às análises isoladas da lagoa do Ventura, canal Ipoitã e rio Ivinheima, não houveram relações significativas. Já para a lagoa dos Patos houve relação significativa

entre as variáveis ( $N=8$ ;  $r=0,8405$ ;  $p=0,009$ ), mas notou-se forte influência da coleta de junho de 2004, quando o valor do COD foi máximo (Tabela I). A lagoa dos Patos é a maior lagoa amostrada, o que diminuiria a área de influência da vegetação de entorno e região litorânea com relação às demais. No entanto, o formato de 'luva' da lagoa dos Patos faz com que uma área muito maior de várzea seja coberta num pequeno aumento de nível. Além disso, sabe-se da grande influência de carbono alóctone nessa lagoa (Oliveira *et al.* 2006). Neste sentido, justifica-se a relação encontrada entre o COD e o  $\text{CO}_2$  nesta lagoa, ainda mais diante do aumento de nível de junho de 2004, quando a lagoa

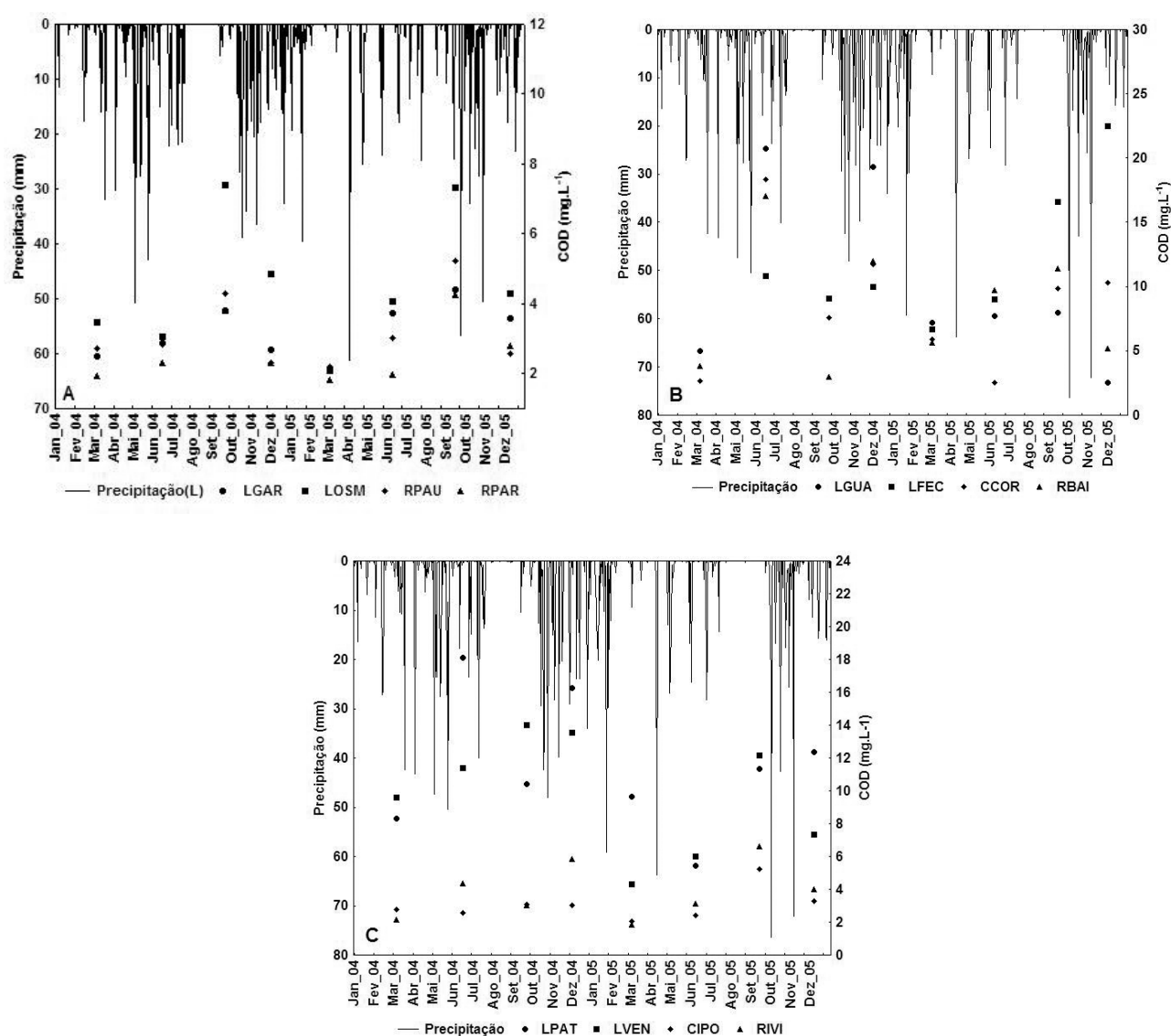


Figura 3. Precipitação local dos subsistemas Paraná (A), Baía (B)/Ivinheima (C) e os valores de COD para cada ambiente: lagoa dos Patos (LPAT), lagoa Ventura (LVEN), canal Ipoitã (CIPO) e rio Ivinheima (RIVI); lagoa das Garças (LGAR), lagoa do Osmar (LOSM), resaca Pau Vêio (RPAU) e rio Paraná (RPAR); lagoa do Guaraná (LGUA), lagoa Fechada (LFEC), canal Corutuba (CCOR) e rio Baía (RBAI).

Figure 3. Rain incidence at the subsystems Paraná (A), Baía (B)/Ivinheima (C) and the DOC values for each environment: Patos lagoon (LPAT), Ventura lagoon (LVEN), Ipoitã lagoon (CIPO) and Ivinheima channel (RIVI); Garças lagoon (LGAR), Osmar lagoon (LOSM), Pau Vêio glade (RPAU) and Paraná river (RPAR); Guaraná lagoon (LGUA), Fechada lagoon (LFEC), Corutuba channel (CCOR) and Baía river (RBAI).

apresentou profundidade de quase 2m, pelo menos 40cm a mais que nas outras coletas. Para o subsistema Paraná não houve nenhuma relação significativa, nem para o subsistema como um todo nem para os ambientes separadamente, indicando que a produção de COD é independente da produção primária, corroborando com a análise dos dados de clorofila.

No geral, não foi possível observar um padrão na variação do COD que se aplique para todos os ambientes. O COD dos ambientes do subsistema Paraná não apresentou relação com o nível e nem com a precipitação e, contrariamente ao esperado, também não houve relação com a clorofila e com o CO<sub>2</sub>. A lagoa do Osmar, do subsistema Paraná, se mostrou por várias vezes diferente das demais, influenciando as relações propostas, indicando sua peculiaridade. O COD no subsistema Baía apresentou uma maior influência da precipitação e sua relação positiva com o CO<sub>2</sub> indicou predominância de carbono alóctone. O COD do subsistema Ivinheima não apresentou resposta clara a nenhuma das variáveis testadas, apenas na lagoa dos Patos houve relação significativa entre o COD e o CO<sub>2</sub>, indicando também predominância de carbono alóctone.

Como observado, a planície de inundação do alto rio Paraná apresenta uma gama muito diversa de ambientes e com certeza cada um apresenta uma resposta específica tanto à função de força primária, os pulsos hidrológicos, quanto às outras variáveis que podem afetar o COD quantitativamente e qualitativamente. Neste sentido, somente estudos mais detalhados, em termos de escala temporal e espacial, podem realmente identificar os padrões do COD neste ecossistema.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A.A.; THOMAZ, S.M.; MINTE-VERA, C.V. & WINEMILLER, K.O. 2000. Biodiversity in the high Paraná River floodplain. Pp. 89-118. In: B. GOPAL, W.J. JUNK, & J.A. DAVIS (Eds). Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation. Backhuys Publishes, Leiden, The Netherlands, v.1. 353p.
- AIKEN, G. & COTSARIS, E. 1995. Soil and Hydrology: their effect on NOM. *Journal American Water Works Association*, January: 36-45.
- ALGESTEN, G.; SOBEK, S.; BERGSTRÖM, A.; ÅGREN, A.; TRANVIK, L.J. & JANSSON, M. 2003. Role of lakes for organic carbon cycling in the boreal zone. *Global Change Biology*, 10: 141-147.
- AMADO, M.A.; FARJALLA, V.; ESTEVES, F.A.; BOZELLI, L.R.; ROLAND, F. & ENRICH-PRAST, A. 2006. Complementary pathways of dissolved organic carbon removal pathways in clear-water Amazonian ecosystems: photochemical degradation and bacterial uptake. *FEMS Microbiology Ecology*, 56: 8-17.
- AMON, R.M.R. & BENNER, R. 1996. Photochemical and microbial consumption of dissolved organic carbon and dissolved oxygen in the Amazon River system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(10): 1783-1792.
- ANESIO, A.M.; GRANÉLI, W.; AIKEN, G.R.; KIEBER, D.J. & MOPPER, K. 2005. Effect of humic substances photodegradation on bacterial growth and respiration in lake water. *Applied and Environmental Microbiology*, 71: 6267-6275.
- AZAM, F.; FENCHEL, T.; FIEL, J.G.; GRAY, J.S.; MEYERRELL, L.A. & THINGSTAD, F. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology – Progress Series*, 19: 257-263.
- BERTILSSON, S. & TRANVIK, L.J. 1998. Photochemically produced carboxylic acids as substrates for freshwater bacterioplankton. *Limnology and Oceanography*, 43(5): 885-895.
- CARMOUZE, J.P. 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. Edgar Blucher: FAPESP, São Paulo. 253p.
- CARVALHO, P.; THOMAZ, S.M. & BINI, L.M. 2003. Effects of water level, abiotic and biotic factors on bacterioplankton abundance in lagoons of a tropical floodplain (Paraná River, Brazil). *Hydrobiologia*, 510: 67-74.
- CARIGNAN, R.; PLANAS, D. & VIS, C. 2000. Planktonic production and respiration in oligotrophic Shield lakes. *Limnology and Oceanography*, 45: 189-199.
- CHEN, J.; GU, B.; LEBOEUF, E.J.; PAN, H. & DAI, S. 2002. Spectroscopic characterization of the structural and functional properties of natural organic matter fractions. *Chemosphere*, 48: 59-68.
- ESTEVES, F.A. 1998. *Fundamentos de limnologia*. Interciência. Rio de Janeiro. 602p.
- FARJALLA, V.F.; AZEVEDO, D.A.; ESTEVES, F.A.; BOZELLI, R.L.; ROLAND, F. & ENRICH-PRAST, A. 2006. Influence of hydrological pulse on bacterial growth and DOC uptake in a clear-water amazonian lake. *Microbial Ecology*, 52: 334-344.
- FRIMMEL, F.H. 1998. Characterization of natural organic matter as major constituents in aquatic systems. *Journal of Contaminant Hydrology*, 35: 201-216.
- JONES, R.I. 1992. The influence of humic substances on lacustrine planktonic food chains. *Hydrobiologia*, 229: 73-91.
- JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B. & SPARKS, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian*



- Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106: 110-127.
- LAMPERT, W. & SOMMER, U. 1997. *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. New York, Oxford University press. 382p.
- MCDONALD, S.; BISHOP, A.G.; PRENZLER, P.D. & ROBARDS, K. 2004. Analytical chemistry of freshwater humic substances. *Analytica Chimica Acta*, 527: 105-124.
- NEIFF, J.J. 1990. Ideas para la interpretacion ecológica Del Paraná. *Interciencia*, 15: 424-441.
- OLIVEIRA, J.L., BOROSKI, M., AZEVEDO, J.C.R. & NOZAKI, J. 2006. Spectroscopic investigation of humic substances in a tropical lake during a complete hydrological cycle. *Acta hydrochimica hydrobiologica*, 34: 608-617.
- POMEROY, L.R. 1974. The ocean's food web, a changing paradigm. *BioScience*, 24: 499-504.
- ROCHA, R.R.A., THOMAZ, S.M. 2004. Variação temporal de fatores limnológicos em ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná (PR/MS – Brasil). *Acta Scientiarum - Biological Sciences*, 26: 261-271.
- ROSA, A.H.; ROCHA, J.C. & FURLAN, M. 2000. Substâncias húmicas de turfa: estudo dos parâmetros que influenciam no processo de extração alcalina. *Química Nova*, 23(4): 472-476.
- SARGENTINI, E.; ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; ZARA, L.F. & SANTOS, A. 2001. Substâncias húmicas aquáticas: fracionamento molecular e caracterização de rearranjos internos após complexação com íons metálicos. *Química Nova*, 24(3): 339-344.
- SOBEK, S.; SÖDERBÄCK, B.; KARLSSON, S.; ANDERSSON, E. & BRUNBERG, A.K. 2006. A carbon budget of a small humic lake: an example of the importance of lakes for organic matter cycling in boreal catchments. *Ambio*, 35: 469-475.
- SOBEK, S.; TRANVIK, L.J.; PRAIRIE, Y.T.; KORTELAJINEN, P. & COLE, J.J. 2007. Patterns and regulation of dissolved organic carbon: an analysis of 7500 widely distributed lakes. *Limnology and Oceanography*, 52: 1208-1219.
- SOUZA FILHO, E.E. & STEVAUX, J. C. 2001. Descrição dos locais de amostragem. In: Universidade Estadual de Maringá. Nupélia/PELD. A planície de inundação do rio Paraná: Site 6 PELD/CNPq – Relatório PELD 2000. Maringá, 2001. Disponível em: <[http://www.peld.uem.br/Relat2000/2\\_2\\_CompBioticoDesLocAmost.PDF](http://www.peld.uem.br/Relat2000/2_2_CompBioticoDesLocAmost.PDF)>. (Acesso em 25 de maio de 2008).
- SOUZA FILHO, E.E. & STEVAUX, J.C. 1997. Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Curutuba, Ivinhemima. Pp. 2-46. In: A.E.A.M. Vazzoler, A.A. Agostinho & N.S. Hahn (Eds). A planície de inundação do alto rio Paraná. Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. EDUEM, Nupélia, Maringá, Paraná, 460p.
- STATSOFT, INC. (2005). STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- THOMAZ, S.M. 1991. Influência do regime hidrológico (pulsos) sobre algumas variáveis limnológicas de diferentes ambientes aquáticos da planície de inundação do alto rio Paraná, MS, Brasil. São Carlos: UFSCar. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos. São Paulo. Brasil. 294p.
- THOMAZ, S.M.; ROBERTO, M.C. & BINI, L.M. 1997. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. Pp. 73-102. In: A.E.A.M. Vazzoler, A.A. Agostinho & N.S. Hahn (Eds). A planície de inundação do alto rio Paraná. Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. EDUEM, Nupélia, Maringá, 460p.
- THOMAZ, S.M.; PAGIORO, T.A.; BINI, L.M.; ROBERTO M.C. & ROCHA, R.R.A. 2004. Limnological characterization of the aquatic environments and the influence of hydrometric levels. Pp. 75-102. In: S.M. Thomaz, A.A. Agostinho, N.S. Hahn (Eds). The upper Paraná River and its Floodplain. Backhuys Publishers, Leiden. 393p.
- THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. & BOZELLI, R.L. 2007. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia*, 579: 1-13.
- THURMAN, E.M. 1985. *Organic geochemistry of natural waters*. Martinus Nijhoff/Dr. Junk, Netherlands. 497p.
- VERÍSSIMO, S. 1994. Variações na composição da ictiofauna em três lagoas sazonalmente isoladas, na planície de inundação do alto rio Paraná, ilha Porto Rico, PR-Brasil. São Carlos: UFSCar. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos. São Paulo. Brasil. 77p.
- WESTERHOFF, P. & ANNING, D. 2000. Concentration and characteristics of organic carbon in surface water in Arizona: influence of urbanization. *Journal of Hydrology*, 236: 202-222.
- WETZEL, R.G. 1990. Detritus, Macrophytes and nutrient cycling in lakes. In: R. DE BERNARDI, G. GIUSSANI & L. BARBANTI (Eds.). Scientific perspectives in theoretical and applied limnology. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 47: 233-249. 1990.
- WETZEL, R.G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. Academic Press, San Diego. 1006p.
- ZUMSTEIN, J. & BUFFLE, J. 1989. Circulation of pedogenic and aquagenic organic matter in an eutrophic lake. *Water Research*, 23(2): 229-239.

Submetido em 30/05/2008.

Aceito em 30/07/2008.