

Dinâmica nictemeral das assembléias fitoplanctônicas em um reservatório tropical (reservatório de Corumbá, Estado de Goiás, Brasil), em dois períodos do ciclo hidrológico

Bianca Matias Pivato, Sueli Train e Luzia Cleide Rodrigues*

Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura (Nupélia), Universidade Estadual de Maringá (UEM), Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. * Autor para correspondência. e-mail: luziar@nupelia.uem.br

RESUMO. Este estudo visou identificar, em escala nictemeral, as principais variáveis ambientais intervenientes na distribuição vertical das assembléias fitoplanctônicas no reservatório de Corumbá, Estado de Goiás. Foram efetuadas amostragens em período chuvoso (abril de 1997) e seco (setembro de 1997) na região lacustre do reservatório. O fitoplâncton foi analisado quanto à composição, densidade e biomassa (biovolume). Baixos valores de biomassa ocorreram em ambos os períodos estudados, em condições de baixas concentrações de nutrientes e reduzida disponibilidade de radiação sub-aquática, especialmente no mês de abril quando o tempo de residência da água foi de 10 dias. As variações nictemerai evidenciaram maior concentração do fitoplâncton na zona eufótica, no período matutino, exceto para *Cylindrospermopsis raciborskii* que ocorreu, principalmente, na zona afótica, devido ao gradiente hidráulico. A reduzida abundância fitoplanctônica, em ambas variações nictemerai, foi, provavelmente, decorrente das características morfométricas e sedimentológicas e do curto tempo de residência da água do reservatório de Corumbá.

Palavras-chave: fitoplâncton, variação nictemeral, reservatório tropical.

ABSTRACT. Nictemeral variation of phytoplanktonic assemblages in a tropical reservoir (Corumbá reservoir, Goiás State, Brazil), during two periods of the hydrological cycle. In this study, the main environmental variables that determined the vertical distribution of phytoplanktonic assemblages in the Corumbá Reservoir (Goiás) were assessed in a nictemeral scale. Samples were taken during the rainy (April 1997) and the dry (September 1997) periods, in the lacustrine zone of the Reservoir. Composition, density and biomass of phytoplanktonic assemblages were analyzed. Low biomass values were registered in both nictemeral cycles in conditions of low nutrient concentrations and low light availability, particularly in April, when the water retention time was ten days. Phytoplanktonic organisms were especially concentrated at the euphotic zone, during the morning, except for the *Cylindrospermopsis raciborskii*, which was concentrated at the aphotic zone due to hydraulic gradient. The low values registered in the two nictemeral cycles were mainly due to morphometric and sedimentological factors, and low water retention time in the Corumbá reservoir.

Key words: phytoplankton, diel variation, tropical reservoir.

Introdução

Em reservatórios, como em outros ambientes aquáticos, a ocorrência ou não de estratificações estáveis e as interações entre o regime de mistura vertical e a disponibilidade de luz e nutrientes têm importantes conseqüências sobre a distribuição da comunidade fitoplanctônica na coluna de água (Kimmel *et al.*, 1990; Calijuri *et al.*, 2002). Em

regiões tropicais, a entrada diurna de calor e a pronunciada variabilidade local na velocidade do vento durante o dia são fatores determinantes nas mudanças diárias no processo de estratificação térmica da coluna de água, sendo este fenômeno importante na seleção das espécies fitoplanctônicas (Reynolds, 1999; Barbosa e Padišák, 2002).

O tempo de residência da água do reservatório

nitrito e nitrato (Giné *et al.*, 1980) e N-amoniaco (Koroleff, 1978). Os dados de vazão, tempo de residência (TR) e precipitação foram cedidos por FURNAS Centrais Elétricas.

A densidade fitoplanctônica foi estimada segundo o método de Utermöhl (1958) e APHA (1995). A contagem dos indivíduos foi realizada em campos aleatórios. A biomassa específica foi estimada multiplicando-se a densidade populacional pelo volume dos indivíduos (Edler, 1979; Wetzel e Likens, 2000). O volume celular de cada espécie (μm^3) foi calculado aplicando-se as fórmulas estereométricas mais apropriadas às formas das algas fitoplanctônicas. Para o cálculo do volume celular foram medidos pelo menos 20 indivíduos, exceto no caso de espécies raras.

Visando caracterizar os dois períodos de estudos, foi realizada Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando-se os dados de temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, fósforo solúvel reativo, N-nitrato, N-amoniaco e tempo de residência da água, previamente log-transformados (exceto o pH), através do programa Pc-ord. Utilizou-se o critério de Broken-Stick como método para escolher a representatividade dos eixos.

Resultados

A precipitação pluviométrica apresentou uma sazonalidade bem demarcada durante o ano de 1997, com influência direta sobre a vazão afluente do rio Corumbá e o tempo de residência da água do reservatório (Figura 2), bem como sobre as características físicas e químicas da água (Tabelas 1 e 2).

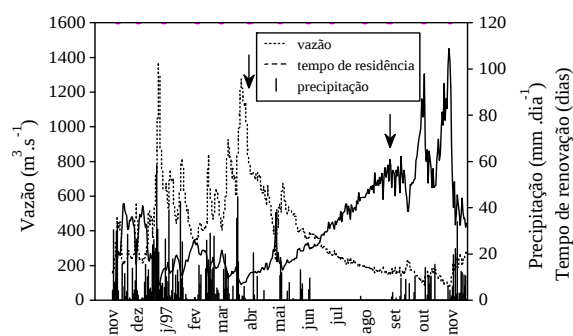


Figura 2. Pulsos diários da vazão afluente do rio Corumbá, do tempo de residência do reservatório e da precipitação pluviométrica (média de três estações meteorológicas). As flechas indicam os dias de amostragem.

O período chuvoso ocorreu entre novembro

de 1996 e maio de 1997, e o seco entre junho e outubro de 1997. Durante as amostragens nictemerais realizadas no mês de abril, o rio Corumbá apresentou vazão afluente de $924 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e tempo de residência da água do reservatório de 10 dias, condições inversas às registradas durante as amostragens no mês de setembro, quando a vazão do rio Corumbá foi de $149 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e o tempo de residência de 58 dias (Figura 2).

Gradientes verticais de temperatura da água foram registrados nos dois ciclos nictemerais, sendo mais acentuados no mês de setembro, quando ocorreu diferença de até 6°C entre as camadas epilimnética e hipolimnética. Neste mês houve a manutenção de uma conspícua termoclina, sendo a estratificação térmica acompanhada de estratificação química, evidenciada pelo registro das menores concentrações de oxigênio dissolvido e pH (Tabela 2) na camada mais profunda do reservatório. No mês de abril, ocorreu estratificação térmica apenas nas camadas superficiais (Figura 3), com baixas concentrações de oxigênio entre 15 e 30 metros de profundidade. A condutividade elétrica e alcalinidade apresentaram as maiores concentrações na região mais profunda do reservatório (Tabelas 1 e 2).

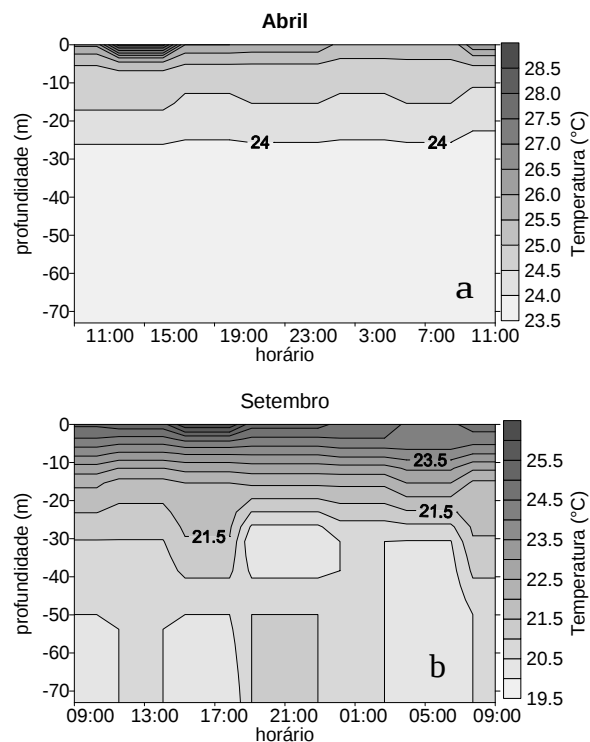


Figura 3. Variação vertical e nictemeral da temperatura ($^\circ\text{C}$) registrada nos dias 11 e 12 de abril (a), e 7 e 8 de setembro de 1997 (b).

Tabela 1. Valores absolutos da temperatura do ar, Z_{cu} e Z_{mis} ; mínimos e máximos de pH, alcalinidade, condutividade elétrica, turbidez, N-amoniacoal, nitrato, nitrito, N-Kjeldahl total, fósforo total (PT), fósforo dissolvido e fósforo solúvel reativo (PSR), durante as amostragens realizadas em abril de 1997, no reservatório de Corumbá, Estado de Goiás. A profundidade (m) está indicada entre parênteses.

Dias		11 de abril				12 de abril	
		11:00	15:00	19:00	23:00	3:00	7:00
Temp. ar (°C)		29	30	23	-	20	21
Z_{cu} (m)		1,4	1,4				1,7
Z_{mis} (m)		8,0	1,5	2,0	3,0	15,0	15,0
Oxigênio dissol. (mg.L ⁻¹)	Min.	0,3 (75)	0,2 (75)	0,0 (75)	1,3 (75)	0,8 (75)	2,6 (30)
	Max.	5,3 (0)	5,1 (0)	4,6 (0)	4,7 (0)	4,5 (0)	4,4 (0)
pH	Min.	5,8 (30)	5,5 (15)	5,4 (75)	5,6 (30)	5,7 (5)	6,5 (30)
	Max.	6,3 (73)	5,9 (0)	5,8 (0)	5,8 (0)	5,9 (0)	6,6 (0)
Cond. elétrica (μS.cm ⁻¹)	Min.	33,7 (15)	34,5 (5)	35,2 (0)	34,5 (5)	35,5 (5)	35,8 (15)
	Max.	114,8 (75)	81,0 (75)	51,3 (75)	67,6 (75)	79,7 (75)	44,8 (75)
Turbidez (NTU)	Min.	40,6 (50)	30,2 (30)	39,1 (50)	42,1 (0)	41,7 (50)	40,7 (50)
	Max.	54,3 (15)	84,7 (75)	49,4 (75)	64,2 (75)	70,1 (75)	49,5 (75)
Alcalinidade total (mEq.L ⁻¹)	Min.	211 (15)	207 (5)	253 (0)	249 (15)	219 (75)	244 (5)
	Max.	983 (75)	555 (75)	294 (75)	222 (75)	257 (30)	273 (75)
PT (μg.L ⁻¹)	Min.	11,4 (30)	9,7 (0)	10,7 (75)	10 (50)	12 (0)	11,4 (0)
	Max.	16,8 (75)	19,5 (75)	12,9 (5)	17,0 (5)	14,7 (5)	27,3 (75)
P-dissolvido (μg.L ⁻¹)	Min.	5,4 (30)	5,2 (75)	6,4 (5)	5,8 (5)	5,2 (5)	7,4 (30)
	Max.	13,6 (5)	10,2 (50)	10,2 (30)	9,8 (15)	11,9 (50)	9,9 (5)
PSR (μg.L ⁻¹)	Min.	2,2 (50)	3,2 (75)	2,3 (50)	2,6 (0)	2,1 (15)	2,3 (15)
	Max.	3,5 (0)	6,6 (15)	6,6 (75)	5,7 (30)	6,1 (0)	3,8 (5)
N-amoniacoal (μg.L ⁻¹)	Min.	1 (15)	3 (0)	7 (0)	4 (0)	4 (0)	6 (5)
	Max.	619 (75)	47 (30)	149 (75)	340 (75)	416 (75)	212 (75)
N-nitrato (μg.L ⁻¹)	Min.	11 (75)	55 (75)	155 (75)	38 (50)	19 (50)	47 (15)
	Max.	209 (15)	210 (50)	216 (0)	200 (15)	219 (30)	173 (75)
N-nitrito (μg.L ⁻¹)	Min.	2 (50)	3 (0)	2 (0)	3 (0)	3 (0)	3 (15)
	Max.	8 (30)	8 (75)	6 (75)	8 (75)	7 (75)	5 (30)
N-Kjeldahl (μg.L ⁻¹)	Min.	141 (0)	42 (75)	169 (5)	113 (0)	169 (0)	197 (0)
	Max.	366 (15)	310 (5)	366 (30)	281 (5)	267 (30)	619 (30)

Tabela 2. Valores absolutos da temperatura do ar, Z_{cu} e Z_{mis} ; mínimos e máximos de pH, alcalinidade, condutividade elétrica, turbidez, N-amoniacoal, nitrato, nitrito, N-Kjeldahl total, fósforo total (PT), fósforo dissolvido e fósforo solúvel reativo (PSR), durante as amostragens realizadas em setembro de 1997, no reservatório de Corumbá, Estado de Goiás. A profundidade (m) está indicada entre parênteses.

Dias		7 de setembro				8 de setembro	
		9:00	13:00	17:00	21:00	01:00	09:00
Temp. ar (°C)		26	30	24	21	19	17
Z_{cu} (m)		15,0	15,0	13,3	-	-	15,9
Z_{mis} (m)		5,0	5,0	1,5	5,0	5,0	9,0
Oxigênio dissol. (mg.L ⁻¹)	Min.	0,7 (30)	0,7 (30)	1,6 (30)	1,1 (30)	0,8 (30)	0,4 (30)
	Max.	4,07 (0)	4,0 (0 e 5)	4,2 (0)	4,6 (5)	4,3 (0)	4,3 (0 e 5)
pH	Min.	6,3 (15)	6,2 (30)	6,2 (15)	6,3 (30)	6,4 (30)	6,2 (15)
	Max.	7,5 (0)	7,4 (0)	7,5 (0)	7,7 (0)	7,8 (0)	7,6 (0)
Cond. elétrica (μS.cm ⁻¹)	Min.	42,8 (5)	43,5 (0)	44,3 (5)	44,7 (5)	44,6 (5)	44,8 (5)
	Max.	47,8 (75)	46,6 (50)	47,7 (75)	48 (75)	47 (75)	47,3 (30)
Turbidez (NTU)	Min.	1,1 (0)	0,7 (15)	0,9 (0)	0,7 (15)	0,7 (0)	0,7 (0)
	Max.	6,9 (75)	6,2 (75)	3,4 (75)	1,9 (75)	2,7 (75)	2,5 (75)
Alcalinidade total (mEq.L ⁻¹)	Min.	250 (30)	237 (50)	233 (50)	216 (30)	215 (50)	234 (50)
	Max.	259 (5)	264 (0)	264 (75)	250 (0)	249 (0)	249 (0)
PT (μg.L ⁻¹)	Min.	4,3 (0)	10,1 (30)	4,8 (0)	10,7 (30)	6,8 (5)	6,3 (5)
	Max.	17,9 (75)	11,8 (5)	9,7 (75)	14,6 (0)	13,6 (0)	13,8 (15)
P-dissolvido (μg.L ⁻¹)	Min.	3,7 (30)	4,3 (0)	3,1 (30)	8,8 (5)	5,8 (5)	3,1 (5)
	Max.	6,6 (0)	10,4 (15)	4,3 (75)	11,5 (15)	10,5 (73)	8,9 (15)
PSR (μg.L ⁻¹)	Min.	2,9 (0)	2,3 (0)	2,4 (15)	4,8 (15)	2,9 (5)	2,4 (5)
	Max.	4,1 (5)	4,3 (50)	3,6 (50)	5,7 (75)	6,0 (75)	6,1 (73)
N-amoniacoal (μg.L ⁻¹)	Min.	5 (0)	10 (5)	6 (5)	6 (50)	5 (75)	6 (50)
	Max.	20 (15)	23 (15)	17 (0)	21 (15)	37 (15)	12 (5)
N-nitrato (μg.L ⁻¹)	Min.	87 (0)	90 (5)	90 (5)	92 (5)	149 (15)	86 (5)
	Max.	324 (75)	312 (75)	341 (50)	318 (50)	317 (50)	300 (75)
N-nitrito (μg.L ⁻¹)	Min.	2 (50)	1 (5)	1	1 (50)	1 (5)	2 (0)
	Max.	3 (0)	3 (0)	1	3 (5)	3 (15)	3 (15)
N-Kjeldahl (μg.L ⁻¹)	Min.	70 (0)	14 (5)	14 (15)	70 (15)	56 (50)	28 (30)
	Max.	253 (5)	324 (0)	281 (50)	241 (50)	225 (0)	127 (15)

A extensão da zona eufótica apresentou ampla variação considerando-se os dois ciclos nictemerais. Devido aos maiores valores de turbidez registrados no mês de abril, a zona eufótica atingiu em média, apenas 2,1 % da extensão da coluna de água; já em setembro, a menor turbidez, principalmente nas camadas superficiais, resultou na maior profundidade de Z_{eu} , alcançando em média 21,1% de extensão da coluna de água (Figura 4; Tabela 1 e 2). A profundidade da zona de mistura em abril esteve restrita aos primeiros metros da coluna de água, exceto as 3:00 e 7:00 horas do dia 12 de abril, quando a extensão da Z_{mis} atingiu cerca de 15 metros de profundidade. A razão $Z_{eu}:Z_{mis}$ neste período variou de 0,09 a 0,9. Em setembro, a profundidade da Z_{mis} esteve entre 1,5 e 9 metros de profundidade, e a amplitude de variação da razão $Z_{eu}:Z_{mis}$ foi maior, situando-se entre 2,6 e 8,9 (Figura 4).

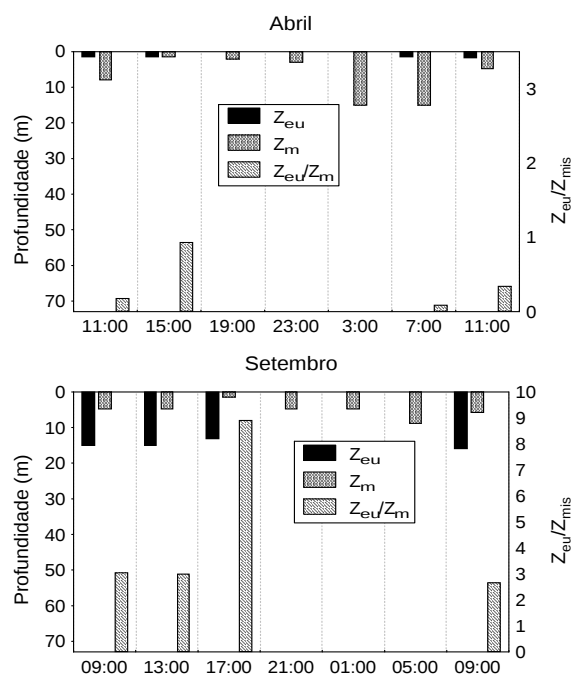


Figura 4. Variação da profundidade da zona eufótica (Z_{eu}), zona de mistura (Z_{mis}) e da razão $Z_{eu}:Z_{mis}$ nos dias 11 e 12 de abril (a), e 7 e 8 de setembro (b) de 1997.

Quanto aos nutrientes, tanto o fósforo solúvel reativo ($1,8 - 6,6 \mu\text{g.L}^{-1}$), quanto o nitrogênio inorgânico dissolvido, N-nitrato ($11 - 341 \mu\text{g.L}^{-1}$) e N-amoniacoal ($1 - 619 \mu\text{g.L}^{-1}$) apresentaram baixas concentrações durante os dois ciclos nictemerais, sem variação nictemeral conspícua, exceto nas camadas mais profundas, especialmente em abril, quando ocorreram valores elevados (Tabela 1 e 2).

A Análise de Componentes Principais (ACP)

mostrou que os dois primeiros eixos explicaram 51,5% da variabilidade total dos dados. Dentre as variáveis selecionadas para análise, o tempo de residência da água (0,51), a turbidez (-0,48), a temperatura da água (-0,48) e o nitrato (0,38) foram as variáveis mais importantes no eixo 1, discriminando claramente no diagrama os períodos amostrais (abril e setembro) (Figura 5). N-amoniacoal (0,57), a condutividade elétrica (0,56), e o oxigênio (-0,48) foram as principais variáveis responsáveis pela formação do eixo 2, caracterizando no diagrama a separação entre a camada de mistura e as profundidades abaixo da mesma, no mês de setembro, período de maior estabilidade da coluna de água.

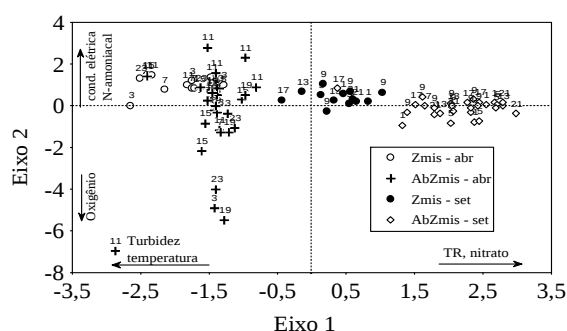


Figura 5. Distribuição dos escores dos ciclos nictemerais de abril e setembro ao longo dos dois primeiros eixos da ACP. Variáveis categóricas utilizadas correspondentes à zona de mistura (Z_{mis}) e as profundidades de coleta situadas abaixo da zona de mistura (AbZ_{mis}).

Assembléias fitoplanctônicas

Foram inventariados 58 táxons durante o período de estudo, distribuídos em 9 grupos taxonômicos, sendo a Classe Chlorophyceae a mais especiosa (Tabela 3).

Os valores de densidade e biomassa fitoplanctônica foram baixos durante os dois ciclos nictemerais (Figuras 6 e 7). A densidade fitoplanctônica apresentou valores similares nos dois períodos de estudo, estando os organismos distribuídos, principalmente, à subsuperfície e a 5 metros de profundidade em ambos os períodos. Os valores variaram de $0,0 \text{ ind.mL}^{-1}$ à subsuperfície nas primeiras horas da madrugada no mês de abril, a 260 ind.mL^{-1} à subsuperfície no início da manhã do dia 08 de setembro. Os valores de biomassa fitoplanctônica estiveram abaixo de $0,1 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$, com exceção do registrado na madrugada de abril a 5 metros de profundidade ($0,34 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$), devido à contribuição de espécies fitoplanctônicas de elevadas dimensões, principalmente, *Gomphonema gracile* e *Gomphonema augur*.

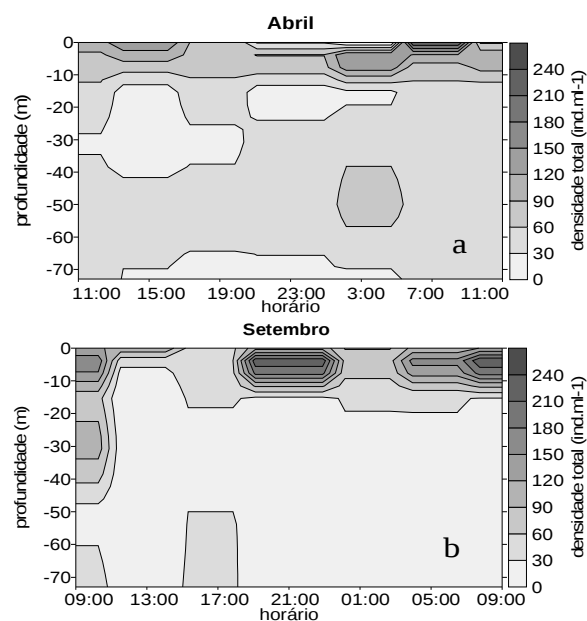


Figura 6. Variação vertical e nictemeral da densidade fitoplantônica total (ind.mL^{-1}) em 11 e 12 de abril (a), e 7 e 8 de setembro de 1997 (b).

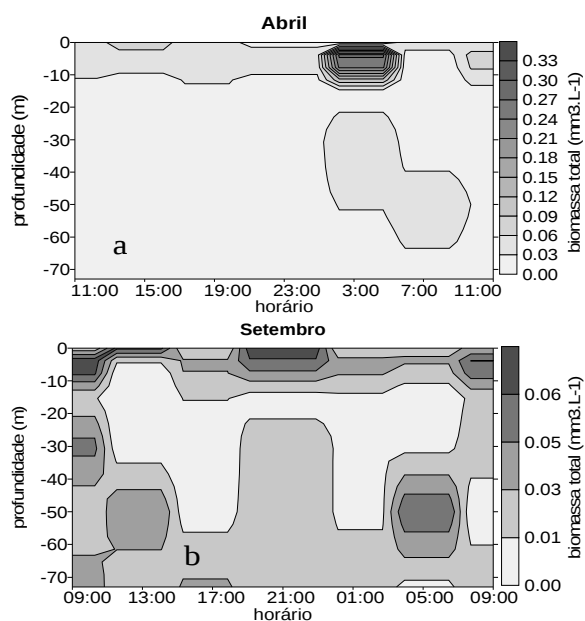


Figura 7. Variação vertical e nictemeral da biomassa fitoplantônica total ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) em 11 e 12 de abril (a), e 7 e 8 de setembro de 1997 (b).

Tabela 3. Táxons fitoplantônicos inventariados no reservatório de Corumbá, nos dias 11 e 12 de abril e 7 e 8 de setembro de 1997.

CYANOBACTERIA	
<i>Aphanotece minutissima</i> (W. West) Kom.-Legn. & Cron.	<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemm.
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Wolosz.) Seen. & Sub. Raj.	<i>Microcystis</i> sp.
<i>Lyngbya</i> sp.	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gom.) Kom. & Anag.
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehr.) Näg.	
BACILLARIOPHYCEAE	
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Sim. var. <i>granulata</i>	<i>Gomphonema augur</i> Ehr.
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Sim. var. <i>angustissima</i> (O. F. Müller) Sim.	<i>Gomphonema gracile</i> Ehr.
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Nitzschia</i> sp. 1
<i>Encyonema minutum</i> (Hil.) Mann	<i>Nitzschia</i> sp. 2
<i>Cymbella</i> sp.	<i>Synedra</i> sp.
<i>Fragilaria</i> sp.	
CHLOROPHYCEAE	
<i>Ankyra</i> sp.	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Kom.-Legn.
<i>Botryococcus braunii</i> Kütz.	<i>Monoraphidium komarkovae</i> Nyg.
<i>Chlorella</i> sp.	<i>Monoraphidium tortile</i> (W. West) Kom.-Legn.
<i>Closteriopsis</i> sp.	<i>Monoraphidium</i> sp.
<i>Coelastrum microporum</i> Näg.	<i>Pediastrum duplex</i> Mey.
<i>Coelastrum</i> sp.	<i>Oocystis</i> sp.
<i>Crucigenia</i> sp.	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerh.) Chod
<i>Desmodesmus armatus</i> (Chod.) Hegew.	<i>Scenedesmus javanensis</i> Chod.
<i>Desmodesmus armatus</i> var. <i>bicaudatus</i> (Gugl.) Hegew.	<i>Scenedesmus</i> sp.1
<i>Desmodesmus opoliensis</i> (Richt.) Hegew.	<i>Scenedesmus</i> sp.2
<i>Desmodesmus</i> sp.	<i>Schroederia setigera</i> (Schröd.) Lemm.
<i>Eutetramorus foitii</i> (Hind.) Kom. Sensu Kom.	<i>Schroederia</i> sp.
<i>Fusola</i> sp.	<i>Schroederia</i> sp. 1
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchn.) Möb.	<i>Tetraedron minimum</i> (Braun) Hansg.
<i>Kirchneriella</i> sp.	<i>Tetrastrum heteracanthum</i> (Nordst.) Chod.
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korsch.) Hind.	
ZYGNEPHYCEAE	
<i>Staurastrum</i> sp.	<i>Staurodesmus</i> sp.
EUGLENOPHYCEAE	
<i>Trachelomonas</i> sp.	<i>Trachelomonas</i> sp. 1
CHRYSOPHYCEAE	
<i>Dinobryon divergens</i> Imhof	
CRYPTOPHYCEAE	
<i>Cryptomonas</i> sp.	<i>Cryptomonas</i> sp. 2
<i>Cryptomonas</i> sp. 1	
DINOPHYCEAE	
<i>Peridinium</i> sp.	

Durante as amostragens realizadas no mês de abril, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) e *Cryptomonas* sp. (Cryptophyceae) contribuíram com mais de 50% dos valores totais de biomassa e densidade em 26,2% e 23,8% das amostras, respectivamente. Nas amostragens realizadas no mês de setembro *Aphanothece minutissima* foi a espécie mais abundante em densidade em 35,7% das amostras, entretanto, devido ao seu reduzido tamanho, sua contribuição para a biomassa foi significativa em apenas 9,5% das amostras.

As espécies de maior contribuição à abundância fitoplanctônica apresentaram distintos padrões de distribuição vertical. *Cryptomonas* sp. esteve

concentrada nas camadas superficiais da coluna de água, com maiores valores no início da manhã e tarde. No período noturno, ocorreu uma redução nos valores de densidade deste táxon e com maior concentração dos indivíduos a 5 metros de profundidade (Figura 8). A cianobactéria filamentosa *Cylindrospermopsis raciborskii* esteve distribuída principalmente abaixo dos 30 metros de profundidade durante as 24 horas de estudo, com valores entre 20 e 30 ind.mL⁻¹ (Figura 9). *Aphanothece minutissima*, cianobactéria colonial, apresentou maiores valores durante a noite e na manhã do dia 08, a 5 metros de profundidade (Figura 10).

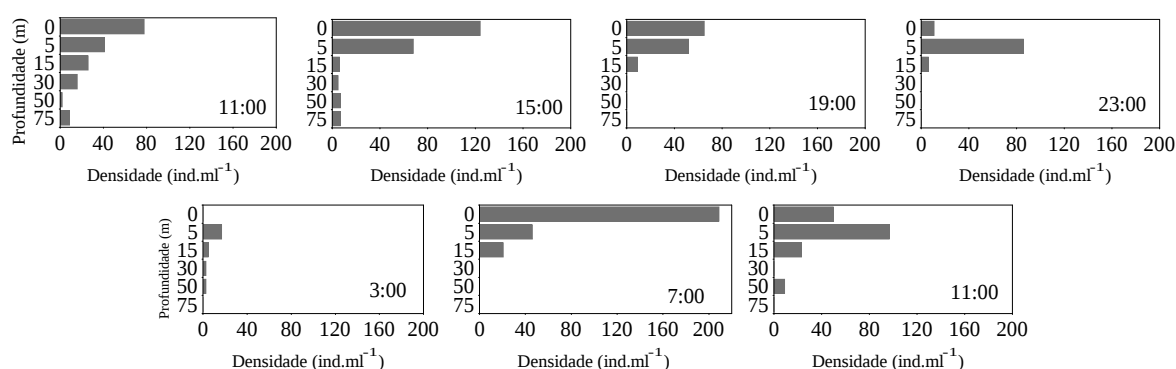


Figura 8. Distribuição vertical de *Cryptomonas* sp. no ciclo nictemeral, em 11 e 12 de abril de 1998.

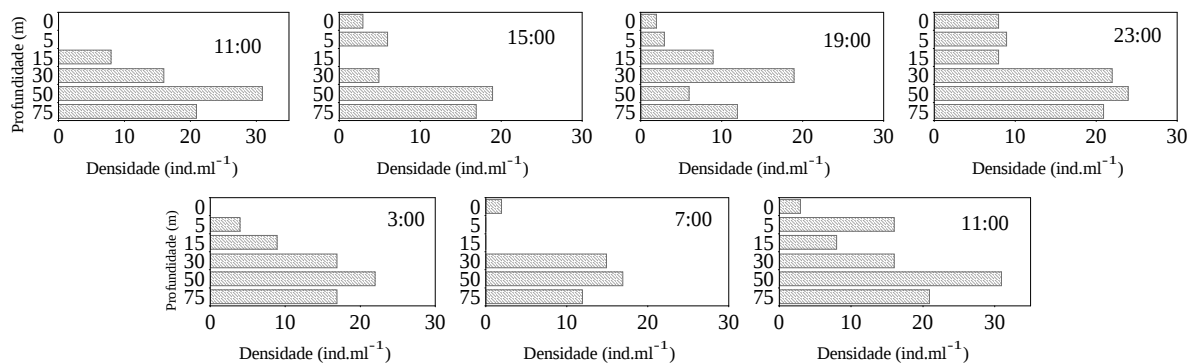


Figura 9. Distribuição vertical de *Cylindrospermopsis raciborskii* no ciclo nictemeral, em 11 e 12 de abril de 1998.

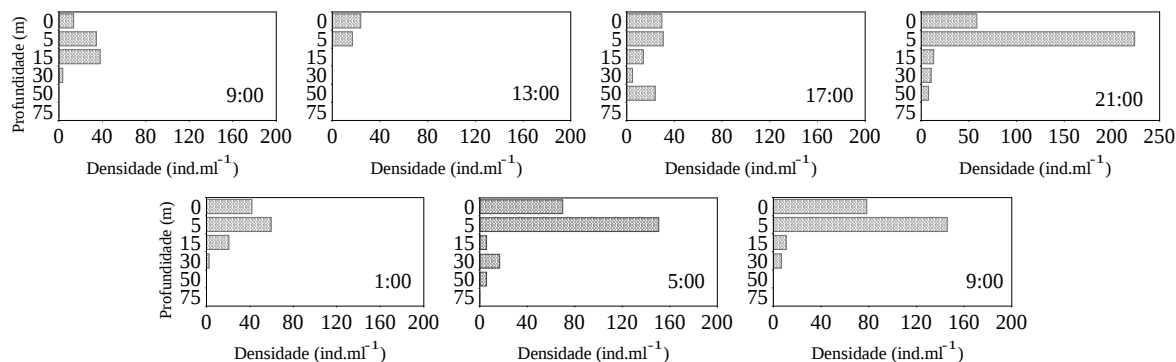


Figura 10. Distribuição vertical de *Aphanothece minutissima* no ciclo nictemeral, em 7 e 8 de setembro de 1998.

Discussão

As interações entre o regime de mistura vertical e a disponibilidade de radiação subaquática e de nutrientes são determinantes sobre a distribuição vertical das espécies fitoplanctônicas (Kimmel *et al.*, 1990; Reynolds, 1994). Em reservatórios estes fatores estão intimamente associados ao tempo de residência da água e ao regime de chuvas (Straškraba, 1999).

A Análise de Componentes Principais evidenciou que a variabilidade dos fatores abióticos é, provavelmente, maior na escala sazonal do que na escala diária ou determinada primariamente pela elevada profundidade do reservatório de Corumbá. Destaca-se a influência da sazonalidade principalmente quanto à disponibilidade de radiação subaquática, a qual foi menor no mês de abril, devido ao incremento de material alóctone, em decorrência das chuvas. Uma tendência à homogeneização dos parâmetros físicos e químicos durante os ciclos diurnos foi evidenciada para o lago Paranoá, Distrito Federal, que apresentou nítida separação somente entre os períodos de seca e cheia (Toledo *et al.*, 1988).

O tempo de residência da água constitui uma importante função de força em reservatórios, influenciando fortemente sobre o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica, uma vez que, comumente, curtos tempos de residência ocasionam perda de biomassa por lavagem hidráulica e choque mecânico (Kimmel *et al.*, 1990; Straškraba *et al.*, 1993; Tundisi *et al.*, 1993). Para o reservatório de Corumbá, o curto tempo de residência da água (10 dias), registrado no mês de abril, associado à baixa disponibilidade luminosa, atuaram negativamente sobre as assembléias fitoplanctônicas contribuindo para a baixa densidade e biomassa observadas no período. No entanto, mesmo com o aumento significativo do tempo de residência da água no mês de setembro (58 dias), os valores de biomassa foram ainda menores, sugerindo que a geologia e morfometria do reservatório de Corumbá desempenham papel fundamental sobre o desenvolvimento fitoplanctônico, como descrito por Straškraba (1999) para reservatórios com tempo de residência entre 15 dias e 1 ano. Um outro fator a ser considerado é a limitação por nutrientes na região lacustre do reservatório, decorrente do processo de sedimentação, considerando-se principalmente o gradiente longitudinal do reservatório (Agostinho *et al.*, 1995; Barbosa *et al.*, 1999).

O processo de sedimentação de partículas, especialmente do fósforo, que é acentuado no reservatório de Corumbá, devido à sua elevada

profundidade e morfologia alongada e estreita (Universidade Estadual de Maringá. Nupélia/Furnas, 1998), também atuou como um importante fator controlador do crescimento fitoplanctônico na região lântica. Vale ressaltar ainda que os aportes de fósforo neste reservatório ocorrem principalmente a partir do rio Corumbá, que apresentou, durante o mesmo período, valores médios de fósforo total de $42 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Universidade Estadual de Maringá/Nupélia/Furnas, 1998; Silva *et al.*, 2001). De acordo com a tipologia proposta por Salas e Limón (1986 apud Tundisi, 1990b), os valores médios de fósforo total registrados no mês de abril ($14,3 \mu\text{g.L}^{-1}$) e no mês setembro ($10,14 \mu\text{g.L}^{-1}$) permitem a classificação da região lacustre do reservatório de Corumbá como oligotrófica, também corroborado pelos baixos valores de biovolume fitoplanctônico observados (abaixo de $0,34 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$).

O baixo número de táxons fitoplanctônicos registrados durante os dois ciclos nictemerai pode ser atribuído ao baixo esforço amostral realizado neste estudo intensivo, uma vez que, através de amostragens mensais realizadas nesta mesma estação estudada durante o período de novembro de 1996 a novembro de 1997, foram registrados 140 táxons (Universidade Estadual de Maringá. Nupélia/Furnas, 1998).

Quanto à distribuição vertical das espécies, alguns autores têm registrado um padrão de distribuição vertical relacionado à migração circadiana exibida por espécies do gênero *Cryptomonas*, que se concentram na subsuperfície durante o dia e mostram migração descendente durante a noite (Arvola *et al.*, 1987; Smolander e Arvola, 1988; Jones, 1988; Tadonlélé *et al.*, 1998). Este padrão de migração está relacionado principalmente às diferenças na intensidade luminosa, concentração de nutrientes (Arvola *et al.*, 1987) e oxigênio dissolvido (Gasol *et al.*, 1991).

A redução na densidade de *Cryptomonas* sp. verificada no epilímnio durante o período noturno no mês de abril, não esteve, provavelmente, relacionada a padrões circadianos de migração, devido, sobretudo, à grande instabilidade da coluna de água e curto tempo de residência do reservatório. Contudo, esta redução pode estar relacionada às maiores taxas de herbivoria na camada superficial da coluna de água durante a noite, devido a maior atividade dos organismos zooplânctônicos (Lampert e Sommer, 1997). Espécies do gênero *Cryptomonas* apresentam alta vantagem competitiva por possuírem reduzidas dimensões e capacidade migratória, permitindo assim, maximizar o aproveitamento de recursos (Jones e Ilmavirta, 1988;

Reynolds, 1997).

Destaca-se a ocorrência de *Cylindrospermopsis raciborskii* abaixo de 30 metros de profundidade no mês de abril, decorrente do aporte de inóculos oriundos da região lótica (Silva *et al.*, 2001) e intermediária do reservatório (Universidade Estadual de Maringá/Nupelia/Furnas, 1998) para as camadas mais profundas da estação de amostragem, na zona lacustre. Este fato associado ao registro de menores concentrações de oxigênio dissolvido na camada intermediária e à tomada de água que se dá a cerca de 30 metros de profundidade neste reservatório indicam a ocorrência de estratificação hidráulica, no reservatório de Corumbá, como tem sido registrada em vários reservatórios do Sul (Thomaz *et al.*, 1997) e Sudeste do Brasil (Henry, 1995). Apesar de *C. raciborskii* ser adaptada a condições de mistura vertical e deficiência de luz (Reynolds, 1988, 1997; Padisák, 1997), não foram registradas grandes populações desta espécie no reservatório de Corumbá.

A despeito de *C. raciborskii* tolerar baixas concentrações de nitrogênio, devido à sua capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico e pela alta afinidade por amônia, esta habilidade torna-se importante somente quando as concentrações deste nutriente estão praticamente esgotadas, com valores entre 1,0 e 2,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Préising *et al.*, 1996). Considerando as elevadas concentrações registradas deste nutriente, especialmente nas camadas mais profundas, pode-se concluir que este sistema não é deficiente em nitrogênio para o desenvolvimento desta alga, dada a ausência de heterocitos nos filamentos observados. Embora estudos tenham reportado alta afinidade desta espécie por fósforo, indicado por sua reduzida constante de semi-saturação para crescimento ($K_s = 2,2 \text{ PSR } \mu\text{g.L}^{-1}$; Istvánovics *et al.*, 2000), bem como elevada eficiência na estocagem do mesmo (Padisák, 1997; Reynolds, 1997), os valores registrados para o reservatório de Corumbá podem ser considerados limitantes para o crescimento desta espécie.

Apesar dos baixos valores de densidade e biovolume registrados neste estudo para *Cylindrospermopsis raciborskii*, na fase de enchimento deste reservatório (Train *et al.*, em prep.) bem como nos três primeiros anos do seu funcionamento, esta espécie foi dominante ao longo do reservatório, tendo apresentado uma tendência de incremento nas estações lênticas (Rodrigues *et al.*, em prep.), com o registro de valores de densidade superiores a 20.000 ind mL^{-1} , no ano de 1998, principalmente no corpo central e nos braços do reservatório. Desse modo, a ocorrência de *C. raciborskii* no reservatório de

Corumbá confirma seu enquadramento como espécie invasora, que tem se espalhado em lagos e reservatórios de todos os continentes (Padisák, 1997; Stoyneva, 2003), inclusive no Brasil (Bouvy *et al.*, 2000; Huszar *et al.*, 2000; Rodrigues *et al.*, 2005; Train *et al.*, 2005).

A distribuição de *Aphanothece minutissima*, predominantemente na camada epilimnética no mês de setembro, pode ser atribuída à presença de bainha mucilagínosa, importante para a suspensão na coluna de água. De acordo com Pearl (1988) as cianobactérias apresentam capacidade de flutuação, principalmente em ambientes fisicamente estáveis, onde geralmente competem com algas eucarióticas da subsuperfície. No reservatório de Corumbá, o desenvolvimento deste táxon foi provavelmente limitado pela extensão da camada de mistura, superior a três metros, uma vez que as concentrações de nutrientes registradas atendem os requerimentos nutricionais exigidos por *A. minutissima* (Reynolds *et al.*, 2002).

É importante destacar que as profundidades de amostragem utilizadas dificultaram um melhor entendimento da distribuição vertical das espécies, sendo que intervalos menores entre as profundidades de amostragem (20 centímetros a 1 metro), principalmente nos extratos superficiais da coluna de água, mostrar-se-iam, provavelmente mais eficientes, como tem sido utilizado por diversos autores (Smolander e Arvola, 1988; Tadolnéké *et al.*, 1998). Por outro lado, as amostragens realizadas em diversas profundidades na zona afótica, demonstraram ser úteis, haja visto os resultados obtidos quanto à distribuição vertical de *Cylindrospermopsis raciborskii*. Além disso, a ocorrência de distribuição agregada dos organismos, ou "patchiness", decorrente de gradientes verticais de temperatura da água, densidade, entre outros fatores (Steele e Henderson, 1992; Lampert e Sommer, 1997), é determinada por fatores que atuam em escalas inferiores a 4 horas e dificilmente podem ser amostradas em escalas espaciais e temporais adequadas, o que dificulta a caracterização dos mesmos (Harris, 1986).

Conclusão

As variações nictemerais e os gradientes verticais de distribuição do fitoplâncton registrados para o reservatório de Corumbá evidenciaram maior concentração de espécies fitoplanctônicas na zona eufótica, no período da manhã, exceto *Cylindrospermopsis raciborskii* que esteve concentrado na zona afótica, devido ao gradiente hidráulico. Os baixos valores de densidade e biomassa

fitoplantônica registrados, bem como o predomínio de espécies de elevada taxa reprodutiva, como *Cryptomonas* spp. e *Aphanothece minutissima*, nos dois períodos de estudo, foram, provavelmente, decorrentes das características morfológicas e sedimentológicas e do curto tempo de residência do reservatório de Corumbá.

Agradecimentos

Aos pesquisadores do laboratório de Limnologia Básica do Nupélia pela determinação dos dados abióticos da água, ao Nupélia pelo apoio logístico, à CAPES pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora e a FURNAS Centrais Elétricas S. A pelo suporte financeiro.

Referências

- AGOSTINHO, A.A. *et al.* The high Paraná river basin: limnological and ichthyological aspects. In: TUNDISI, J.G. *et al.* (Ed.). *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995. cap. 4, p. 59-104.
- APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C.: Byrd Prepress Springfield, 1995.
- ARVOLA, L. *et al.* A three days study of the diel behavior of plankton in highly humic and steeply stratified lake. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 109, n. 1, p. 89-106, 1987.
- BARBOSA, F.A.R.; PADISÁK, J. The forgotten lake stratification pattern: atelomix, and its ecological importance. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, Stuttgart, v. 28, p. 1385-1395, 2002.
- BARBOSA, F.A.R. *et al.* The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the river Tietê-Basin, São Paulo State, Brazil. In: TUNDISI, J.G.; STRAŠKRABA, M. (Ed.) *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers. 1999, cap. 18, p. 425-437.
- BOUVY, M. *et al.* Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquat. Microbi. Ecol.*, Oldendorf, v. 23, p. 13-27, 2000.
- CALIJURI, M.C. *et al.* Temporal changes in the phytoplankton community structure in tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP, Brazil). *J. Plankton Res.*, Oxford, v. 24, n. 7, p. 617-634, 2002.
- CARMOUZE, J.P. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos. fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. São Paulo: Edgar Blücher/Fapesp, 1994.
- COLE, G.A. *Textbook of limnology*. Saint-Louis: C.V. Mosby, 1975.
- EDLER, L. *Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea: phytoplankton and chlorophyll*. Unesco, Working Group 11, Baltic Marine Biologists, 1979.
- GASOL, J.M. *et al.* Diel changes in micro stratification of the metalimnetic community in Lake Cisó. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 211, p. 227-240, 1991.
- GINÉ, M.F. *et al.* Simultaneous determination of nitrite and nitrate by flow injection analysis. *Anal. Chim. Acta.*, Amsterdam, v. 114, p. 191-197, 1980.
- GOLTERMAN, H.L. *et al.* *Methods for physical and chemical analysis of freshwater*. Oxford: Blackwell Scientific Publication. 1978.
- HARRIS, G.P. *Phytoplankton ecology: structure, function and fluctuation*. New York: Chapman and Hall, 1986.
- HENRY, R. The thermal structure of some lakes and Reservoirs in Brazil. In: TUNDISI, J.G. *et al.* (Ed.). *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995, cap. 16, p. 59-103.
- HUSZAR, V.L.M. *et al.* Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 424, p. 67-77, 2000.
- ISTVÁNOVICS V. *et al.* Growth and phosphate uptake kinetics of the cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii*, (Cyanophyceae) in throughflow cultures. *Freshw. Biol.*, Oxford, v. 43, p. 257-275, 2000.
- JONES, R.I. Vertical distribution and diel migration of flagellated phytoplankton in a small humic lake. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 161, p. 75-87, 1988.
- JONES, R.I.; ILMARVITA, V. Flagellates in freshwater ecosystems – concluding remarks. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 161, p. 271-274, 1988.
- KIMMEL, B.L. *et al.* Reservoir primary production. In: THORNTON, K.W. *et al.* (Ed.). *Reservoir limnology: ecological perspectives*. New York: John Wiley & Sons, 1990. cap. 6, p. 133-194.
- KOROLEFF, K. Determination of ammonia. In: GRASSHOFF, K.; KREMLING, E. (Ed.). *Methods of seawater analysis*. Weinheim: Verlag Chemie, 1978.
- LAMPERT, W.; SOMMER, U. *Limnology: The ecology of lakes and streams*. Oxford: University Press, 1997.
- MACKERETH, F.Y.H. *et al.* Water analysis: Some revised methods for limnologists. *Fresh. Biol. Assoc.*, Amleside, v. 30, 1978.
- PADISÁK, J. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 4, p. 563-593, 1997.
- PAERL, H.W. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (Cyanobacteria). In: SANDGREN, C. (Ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. New York: Cambridge University Press, 1988, cap. 7, p. 261-315.
- PRÉSING, M. *et al.* Nitrogen fixation, ammonium and nitrate uptake during a bloom of *Cylindrospermopsis raciborskii* in Lake Balaton. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 136, p. 553-562, 1996.
- REYNOLDS, C.S. Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In: SANDGREN, C. (Ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. New York: Cambridge University Press, cap. 10, p. 388-433, 1988.
- REYNOLDS, C.S. The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 289, p. 9-21, 1994.
- REYNOLDS, C.S. *Vegetation process in the pelagic: a model for*

ecosystem theory. Oldendorf: Ecology Institute, 1997.

REYNOLDS, C.S. Phytoplankton assemblages in reservoirs. In: TUNDISI, J.G.; STRAŠKRABA, M. (Ed.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, cap. 19, p. 439-456, 1999.

REYNOLDS, C.S. *et al.* Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.*, Oxford, v. 24, n. 5, p. 417-428, 2002.

RODRIGUES, L.C. *et al.* Assembléias fitoplanctônicas de 30 reservatórios do Estado do Paraná. In: RODRIGUES, L. *et al.* (Ed.). *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. São Carlos: Rima, cap. 5, p. 57-72, 2005.

SILVA, C.A. *et al.* Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica a jusante e montante do reservatório de Corumbá, Caldas Novas, Estado de Goiás, Brasil. *Acta Sci.*, Maringá, v. 23, n. 2, p. 283-290, 2001.

SMOLANDER, U.; ARVOLA, L. Seasonal variation in the diel vertical distribution of the migratory alga *Cryptomonas marssonii* (Cryptophyceae) in a small, highly humic lake. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 161, p. 89-98, 1988.

STEELE, J.H.; HENDERSON, E.W. A simple model for plankton patchiness. *J. Plankton Res.*, Oxford, v. 14, n. 10, p. 1397-1403, 1992.

STOYNEVA, P.M. Steady-state phytoplankton assemblages in shallow Bulgarian wetlands. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 502, p. 169-176, 2003.

STRAŠKRABA, M. Retention time as a key variable of reservoir limnology. In: TUNDISI, J.G.; STRAŠKRABA, M. (Ed.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, cap. 16, p. 385-410, 1999.

STRAŠKRABA, M. *et al.* A State-of-the-art of reservoir limnology and water quality management. In: STRAŠKRABA, M. *et al.* (Ed.). *Comparative reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht: Kluwer Academic Press, cap. 13, p. 213-288, 1993.

TADONLÉKÉ, R.D. *et al.* Short-term vertical distribution of phytoplankton populations in a shallow tropical lake (Lake

Municipal, Youndé, Cameroon). *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 143, n. 4, p. 469-485, 1998.

THOMAZ, S.M. *et al.* Limnologia do reservatório de Segredo: padrões de variação espacial e temporal. In: AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C. (Ed.) *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. Maringá: Eduem, cap. 2, p. 19-37, 1997.

TOLEDO, L.G. *et al.* Variações diurnas de parâmetros limnológicos no Lago Paranoá, Brasília-DF, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. Botucatu, v. 2, p. 219-237, 1988.

TRAIN, S. *et al.* Distribuição espacial e temporal do fitoplâncton em 3 Reservatórios da bacia do rio Paraná. In: RODRIGUES, L. *et al.* (Ed.). *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. São Carlos: Rima, cap. 6, p. 73-85, 2005.

TUNDISI, J.G. Distribuição espacial, sequência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. *Rev. Bras. Biol.*, Rio de Janeiro, v. 50, n. 4, p. 937-955, 1990a.

TUNDISI, J.G. Key factors of reservoir functioning and geographical aspects of reservoir limnology: Chairman's overview. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 33, p. 645-646, 1990b.

TUNDISI, J.G. *et al.* Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: STRAŠKRABA, M. *et al.* (Ed.). *Comparative reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, cap. 2, p. 25-55, 1993.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ. NUPÉLIA/FURNAS. Estudos limnológicos na área de influência do reservatório de Corumbá (GO). Maringá, 1998, Relatório parcial, 383 p.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-methode. *Mitt. Int. Verein. Limnol.*, Stuttgart, n. 9, p. 1-39, 1958.

WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. *Limnological analysis*. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 2000.

Received on February 01, 2006.

Accepted on July 05, 2006.