

VARIAÇÃO TEMPORAL DE UMA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DO RESERVATÓRIO DE APM-MANSO ATRAVÉS DE MODELAGEM ECOLÓGICA TRIDIMENSIONAL

Luciana Fernandes Fonseca Rocha¹ & Norberto Mangiavacchi²

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Rua São Francisco Xavier, Nº 524, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP: 20550-013.

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica - Rua São Francisco Xavier, Nº 524, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP: 20550-013.

E-mails: luciana.rocha.es@gmail.com, norberto.mangiavacchi@gmail.com

RESUMO

A ecologia de reservatórios, que são ecossistemas complexos, dinâmicos e artificiais, vem assumindo destaque no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade da aplicação, no reservatório de APM-Manso, de um modelo ecológico tridimensional em estudos sobre a dinâmica fitoplanctônica, simulando a variação temporal do fitoplâncton para dois cenários distintos de carga de nutrientes. O modelo CAEDYM foi acoplado ao ELCOM e a simulação foi realizada em duas etapas: uma hidrodinâmica e outra ecológica. Escolheu-se para as simulações o período de cinco meses, a partir de 1º de setembro de 2005. Foram construídos dois cenários de simulação, o primeiro contendo os valores reais de carga de nutrientes dos principais rios contribuintes medidos em campo, e o segundo com redução na carga de nutrientes destes rios, simulando um possível processo de substituição de áreas florestadas por áreas de pastagem na bacia do rio Manso. A comunidade fitoplanctônica simulada apresentou rápidas respostas à disponibilidade de nutrientes do ambiente, e os resultados obtidos corroboraram diversas teorias sobre as estratégias adaptativas e sobre as dinâmicas algais. Dentre as Classes simuladas, Bacillariophyceae e Cryptophyceae se mostraram mais sensíveis às reduções de carga, enquanto Chlorophyceae e Cyanophyceae, apesar de terem suas biomassas reduzidas, sofreram menos com o impacto, sugerindo estarem mais adaptadas à limitação de nutrientes. Os picos chuvosos influenciaram positivamente as taxas de crescimento das Bacillariophyceae no Cenário 1. Observou-se em ambas as simulações uma tendência de substituição na dominância de Cyanophyceae por Chlorophyceae.

Palavras-chave: Modelagem ecológica; ELCOM; CAEDYM; fitoplâncton; limnologia.

ABSTRACT

TEMPORAL VARIATION OF A PHYTOPLANKTON COMMUNITY IN THE APM-MANSO RESERVOIR THROUGH TRIDIMENSIONAL ECOLOGICAL MODELING. The ecology of reservoirs, that are complex dynamic and man-made ecosystems, has assumed prominence in Brazil. This study explored the application viability of a tridimensional ecological modeling on phytoplankton dynamics in APM-Manso reservoir, simulating the temporal variation of phytoplankton community in two different scenarios of nutrient loading. The CAEDYM model was coupled to ELCOM, and the simulation was conducted in two stages: one hydrodynamic and other ecological. The period of five months, from September 1st, 2005 was chosen for the simulation. Two simulation scenarios were constructed, the first containing the actual values of nutrient loading of the main tributary rivers measured in field, and the second with a reduction in nutrient load of these rivers, simulating a possible replacement process to grazing areas from forested areas in Manso's River basin. The simulation showed rapid responses of phytoplankton to nutritional availability, and the results obtained corroborated several theories about alga's adaptive strategies and dynamics. Among the simulated Classes, Bacillariophyceae and Cryptophyceae were more sensitive to load reduction, while Chlorophyceae and Cyanophyceae, despite having their biomass lowered, suffered less from the impact, suggesting that they are

more adapted to nutrient limitation. The rain peaks positively influenced the growth rates of Bacillariophyceae in Scenario 1. A trend of replacing the dominance of Cyanophyceae to Chlorophyceae was observed in both simulations.

Keywords: Ecological modeling; ELCOM; CAEDYM; phytoplankton; limnology.

RESUMEN

VARIACIÓN TEMPORAL DE UNA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN EL EMBALSE DE APM-MANSO MEDIANTE EL MODELADO ECOLÓGICO TRIDIMENSIONAL. La ecología de los embalses, que son ecosistemas complejos, dinámicos y artificiales, ha asumido un rol importante en Brasil. El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad de la aplicación de un modelo ecológico tridimensional sobre la dinámica fitoplanctónica en el embalse de APM-Manso, simulando una variación temporal de fitoplancton en dos escenarios diferentes de carga de nutrientes. El modelo CAEDYM se acopló al ELCOM y se realizó una simulación en dos etapas: una hidrodinámica y otra ecológica. Para las simulaciones se eligieron períodos de cinco meses, a partir del 1° de septiembre de 2005. Se construyeron dos escenarios de simulación, el primero conteniendo los valores reales de carga de nutrientes de los principales ríos contribuyentes medidos en el campo, y el segundo con una reducción de la carga de nutrientes de esos ríos, simulando un posible proceso de sustitución de áreas forestales por áreas de pastizales en la cuenca del río Manso. La simulación mostró respuestas rápidas de una comunidad fitoplanctónica ante la disponibilidad de nutrientes en el ambiente, y los resultados obtenidos confirman varias teorías acerca de las estrategias adaptativas y la dinámica de las algas. Entre las Clases simuladas, Bacillariophyceae y Cryptophyceae fueron más sensibles a la reducción de carga, en tanto que Chlorophyceae y Cyanophyceae, a pesar de su reducida biomasa, sufrieron menos el impacto, sugiriendo que se adaptan mejor a las limitaciones de nutrientes. Los picos de lluvia influyeron positivamente en las tasas de crecimiento de Bacillariophyceae en el escenario 1. Observándose en ambas simulaciones una tendencia a la sustitución del predominio de Cyanophyceae por Chlorophyceae.

Palabras clave: Modelado ecológico; ELCOM; CAEDYM; fitoplancton; limnología.

INTRODUÇÃO

Reservatórios são importantes ecossistemas artificiais de usos múltiplos. Como são sistemas complexos, apresentam padrão dinâmico, respondendo rapidamente às mudanças dos mecanismos de funcionamento (Tundisi 1999).

A ecologia de reservatórios assume elevada importância devido ao grande número de represas de construção recente no Brasil. Os trabalhos limnológicos nos reservatórios devem estar relacionados com os sistemas integrados que atuam na bacia hidrográfica, incluindo as múltiplas atividades humanas e seus impactos (Tundisi 1985, 1986).

Nas represas, que são ecossistemas intermediários entre ambientes lênticos e lóticos (Margalef 1983), o fitoplâncton apresenta uma ampla variabilidade temporal que define o alto grau de incerteza em relação às suas populações (Dos Santos & Calijuri 1998), as quais respondem rapidamente a esta variabilidade por apresentarem curto tempo de geração (Reynolds 1997).

A comunidade de algas é de grande relevância na diversidade biológica dos ecossistemas aquáticos continentais devido à sua alta proporção na biodiversidade total desses sistemas. Qualquer mudança na composição em termos de espécies e/ou biomassa pode afetar as taxas fotossintéticas, as taxas de utilização de nutrientes, as taxas de predação e, em consequência, influenciar a ocorrência de profundas modificações nos ecossistemas aquáticos (Wetzel 2001, Ferreira *et al.* 2005).

Dada a complexidade desses ecossistemas, alguns ecólogos procuram entendê-los dividindo-os em sistemas mais simples e estudando a função de cada parte em um todo. Essa análise permite a compreensão de fenômenos complexos, possibilitando a aplicação de métodos quantitativos (Von Bertalanffy 1977), como a modelagem matemática.

Existem diversos modelos hidrodinâmicos disponíveis para pesquisas na área de ecologia de reservatórios. Em virtude da existência de diversos programas que visam à melhoria e a manutenção da qualidade da água e dos ecossistemas associados,

a implantação desses modelos é uma necessidade atual. Os modelos são construídos para organizar a compreensão de sistemas e idéias, avaliar os dados observados, fornecer entendimento das ligações entre os componentes, definir problemas e fazer previsões.

O modelo ELCOM (sigla em inglês para Modelo para Estuários, Lagos e Mares, *Estuary, Lake and Coastal Ocean Model*), desenvolvido pelo Center for Water Research (CWR), na Austrália, é um código numérico tridimensional que simula o comportamento temporal de corpos d'água, prevendo a distribuição de velocidades, temperaturas e salinidades em lagos, estuários e reservatórios estratificados, sujeitos a fatores ambientais externos (Hodges *et al.* 2000, Hodges & Dallimore 2001a, Hodges & Dallimore 2001b, Romero & Imberger 2003).

Este modelo pode ser executado separadamente em estudos hidrodinâmicos ou conjugados com outros modelos como, por exemplo, o CAEDYM (sigla em inglês para Modelo Computacional de Dinâmicas de Ecossistemas Aquáticos, *Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model*), também desenvolvido pelo CWR, em simulações de processos biológicos e químicos (Hipsey & Hamilton 2008). O CAEDYM consiste em uma série de equações representativas dos principais processos biogeoquímicos que influenciam a qualidade da água (Hipsey *et al.* 2006, Hipsey & Hamilton 2008). É um modelo ecológico que permite ao usuário a flexibilidade de simular o processo de interesse em cada caso.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a viabilidade de aplicação do modelo tridimensional ELCOM-CAEDYM sobre a variação temporal de uma comunidade do fitoplâncton do reservatório de Aproveitamento Múltiplo de Manso (APM-Manso), estudando o padrão de sucessão fitoplanctônica para diferentes cenários de carga de nutrientes, verificando a sensibilidade do sistema à redução nessas cargas e analisando as possíveis estratégias adaptativas utilizadas para suportar essa limitação.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no estado do Mato Grosso, região centro-oeste do Brasil (Figura 1). É uma área rica em cursos d'água, constituindo uma

importante reserva hídrica. Abriga a maior parte da área alagada do país, com regime hídrico diferenciado em períodos bem definidos de seca e de chuva. O reservatório de APM-Manso está estabelecido no rio Manso, principal afluente do Rio Cuiabá. A bacia do rio Cuiabá é uma das sub-bacias que compõe o alto Paraguai.

Segundo Silva & Braga (2001), a barragem foi originalmente construída em 1975, pelo o extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), como uma obra específica para redução de cheias em Cuiabá. Seu principal motivo foi a grande enchente ocorrida em março de 1974 nas cidades de Cuiabá, Várzea Grande, Nobres, Rosário Oeste, Acorizal, Guia, Santo Antônio do Leventer e Barão de Melgaço, afetando diretamente 12.000 pessoas. A geração de energia era considerada, na época, um objetivo secundário, a ser implantado numa segunda etapa.

Com a crescente demanda de energia elétrica na região, o projeto teve sua concepção alterada, passando a incluir a geração de energia em suas finalidades. A mudança feita, no entanto, não prejudicou em nada os benefícios obtidos com o projeto original do DNOS. Para conseguir manter o mesmo nível de redução de cheias, o projeto atual prevê a existência de um volume de espera no reservatório de, aproximadamente, 450 milhões de m³, alocado acima do nível d'água máximo operacional. Este volume, equivalente a 15% do volume útil do reservatório, deverá estar sempre disponível, só sendo ocupado quando da ocorrência de grandes cheias (Silva & Braga 2001).

A hidrelétrica de Manso começou a operar, então, em outubro de 1999. Segundo Figueiredo (2007), com relação ao uso da água o reservatório de APM-Manso vem sendo destinado principalmente à eletricidade, à balneabilidade, aos esportes náuticos, à pesca amadora, ao abastecimento de comunidades rurais e de empreendimentos de lazer, ao turismo e à dessedentação animal, o que justifica o prenome de Aproveitamento Múltiplo ao reservatório.

Esses usos são permitidos em corpos d'água classe 2, a qual pertence o reservatório, de acordo com o estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais. Especificamente o artigo 42 diz que “enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos,

as águas doces superficiais serão consideradas classe 2”.

A barragem do reservatório de APM-Manso está implantada à jusante das confluências dos rios Casca e Manso a 90Km de Cuiabá, no

município de Chapada dos Guimarães (Figura 1). O lago cobre uma área aproximada de 428Km². As características morfométricas do reservatório de APM-Manso estão representadas na Tabela 1.

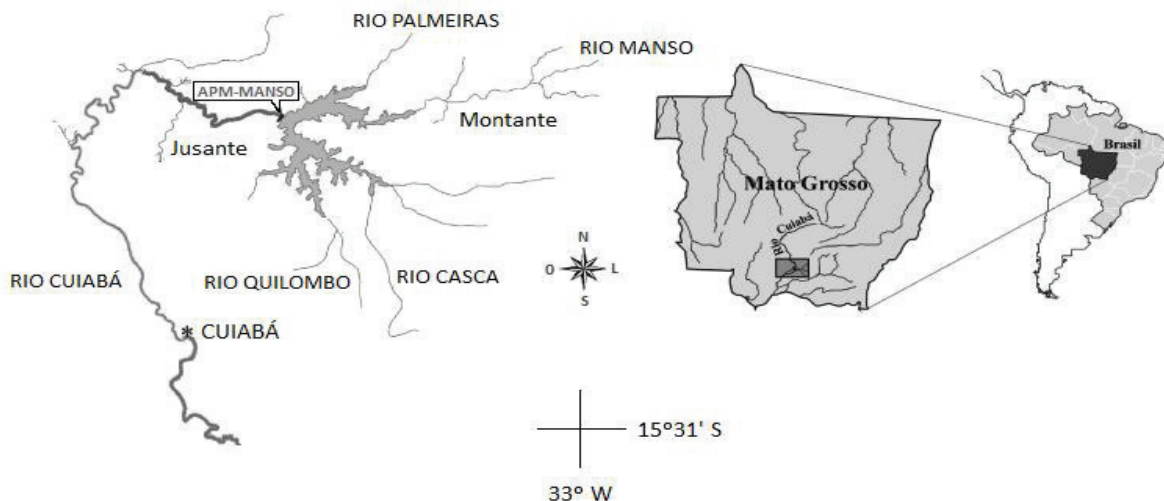


Figura 1. Representação esquemática da localização do Reservatório de Aproveitamento Múltiplo de Manso (APM-Manso), estado do Mato Grosso do Sul, Brasil.

Figure 1. Schematic representation of the location of the Multipurpose Reservoir of Manso (APM-Manso), Mato Grosso state, Brazil.

Tabela 1. Características gerais do Reservatório de Aproveitamento Múltiplo de Manso (APM-Manso).

Table 1. General characteristics of the Multipurpose Reservoir of Manso (APM-Manso).

Nível normal de operação	Cota 287,00m
Área inundada	427Km ²
Volume total	7,4 bilhões de m ³
Profundidade média	19m
Tempo de residência	490 dias
Potencialidade instalada	212MW

SIMULAÇÃO 3D COMPUTACIONAL

O modelo CAEDYM foi acoplado ao ELCOM para simular os processos biogeoquímicos do reservatório. A simulação da qualidade da água do reservatório de APM-Manso consistiu em duas etapas: uma simulação hidrodinâmica e outra ecológica (bioquímica). O ELCOM modela a temperatura passando os resultados para o CAEDYM, que modela os dados ecológicos e devolve os resultados para o ELCOM, para que sejam calculados os processos advectivos e dispersivos.

Para conduzir as simulações foi necessária uma preparação dos dados iniciais que o modelo demanda para o seu funcionamento. Esta etapa incluiu a coleta, tratamento e adequação dos dados referentes à: batimetria, meteorologia, vazões de entrada, parâmetros químicos, parâmetros biológicos e parâmetros de inicialização. Estes dados são lidos pelo modelo em formato de arquivos de texto, e sua descrição detalhada pode ser encontrada nos manuais do usuário do ELCOM (Hodges & Dallimore 2001a) e do CAEDYM (Hipsey *et al.* 2006).

Escolheu-se o período de cinco meses, entre 1º de setembro de 2005 a 1º de fevereiro de 2006. Tal escolha se justifica pela maior quantidade de dados disponíveis. Os dados de campo foram cedidos pela empresa Eletrobrás Furnas, concessionária responsável pela implantação e operação do reservatório de APM-Manso.

Um trabalho detalhado da dinâmica da comunidade fitoplânctonica do reservatório de APM-Manso realizado por Figueiredo (2007) serviu de base para a retirada dos dados biológicos. Foram simuladas quatro classes de fitoplâncton: Cholophyceae, Bacillariophyceae, Cyanophyceae e Cryptophyceae.

CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

No presente trabalho a construção de cenários não teve a intenção de prever o futuro, nem ser qualificado pela sua probabilidade. O propósito desta etapa foi estabelecer uma imagem plausível de um possível futuro, que pudesse elucidar as questões referentes às dinâmicas fitoplanctônicas.

Foram construídos dois cenários. Com base no trabalho de Van de Bund *et al.* (2004), que sugere que a biomassa fitoplanctônica é mais influenciada pela disponibilidade de nutrientes do que pela densidade de peixes planctívoros, o presente trabalho focou-se em enfatizar a influência dos teores de nutrientes disponíveis, em detrimento da conhecida ação reguladora proveniente dos níveis tróficos superiores. Foram consideradas variáveis as concentrações de amônia (NH_4), nitrato (NO_3) e fosfato (PO_4). Os valores de carbono e sílica foram mantidos fixos, para ambas as simulações.

Para o Cenário 1, foram considerados os valores reais medidos em campo nas estações de coleta do reservatório. O objetivo desse cenário foi gerar discussão sobre os mecanismos de competição entre os organismos e, assim, contribuir para a análise das dinâmicas locais que controlam e influenciam as flutuações e as taxas de crescimento durante o processo de sucessão temporal do fitoplâncton, além de criar uma situação base para ser comparada com o Cenário 2.

O Cenário 2 foi fundamentado na tendência observada por Valério *et al.* (2009), que estimaram uma grande substituição de áreas de Cerrado por áreas de pastagem no estado do Mato Grosso. Os valores nas cargas de nutrientes foram reduzidos, apresentando uma diminuição de 50% na carga de PO_4 e 30% dos teores de NH_4 e NO_3 , dos principais rios contribuintes, seguindo o estudo de Andrade *et al.* (2007). Estes pesquisadores, ao determinarem os níveis de fósforo e nitrogênio no lençol freático de diversas áreas do Mato Grosso, verificaram que os teores de nutrientes são consideravelmente maiores nas áreas florestadas do que nas áreas de pastagem, como indicativo da função da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes.

O objetivo desse cenário foi verificar a sensibilidade do sistema a essa redução de carga, avaliando o impacto desta redução sobre a comunidade fitoplanctônica do reservatório e elucidando os mecanismos adaptativos utilizados para suportar os possíveis impactos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos estão expressos nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6.

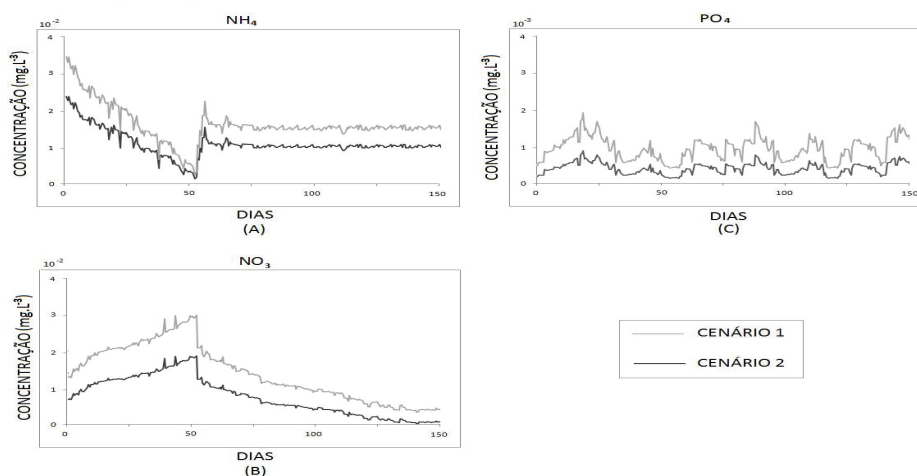


Figura 2. Comparação entre os resultados obtidos no Cenário 1 e no Cenário 2. (A) Variação da concentração de NH_4 . (B) Variação da concentração de NO_3 . (C) Variação da concentração de PO_4 .

Figure 2. Comparison between the results obtained in Scenario 1 and Scenario 2. (A) Variation of the concentration of NH_4 . (B) Variation of the concentration of NO_3 . (C) Variation of the concentration of PO_4 .

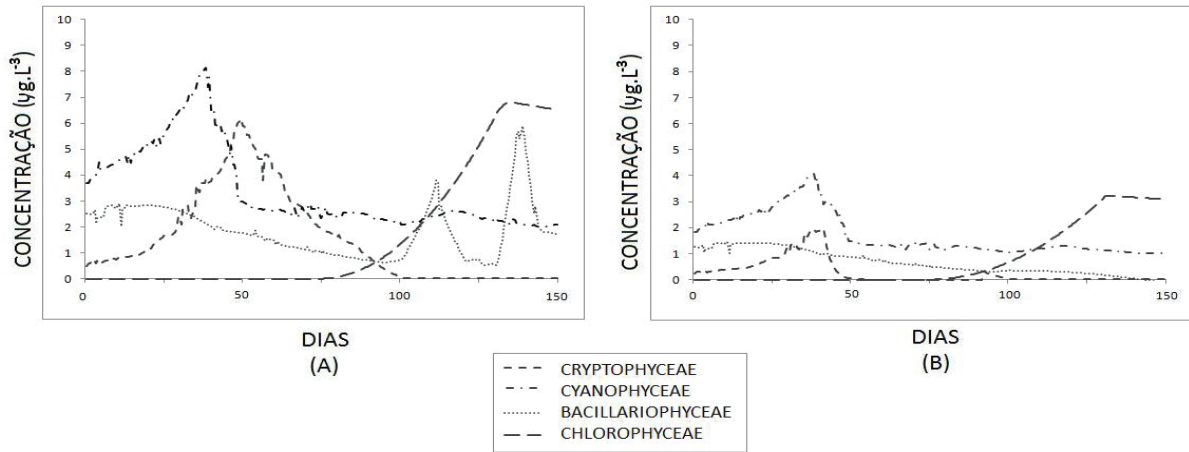


Figura 3. Comparação entre os resultados obtidos para a variação temporal da comunidade de fitoplâncton em ambos os cenários simulados, em clorofila-a. (A) Cenário 1. (B) Cenário 2.

Figure 3. Comparison between the results obtained for temporal variation of the phytoplankton community in both simulated scenarios, on chlorophyll-a. (A) Scenario 1. (B) Scenario 2.

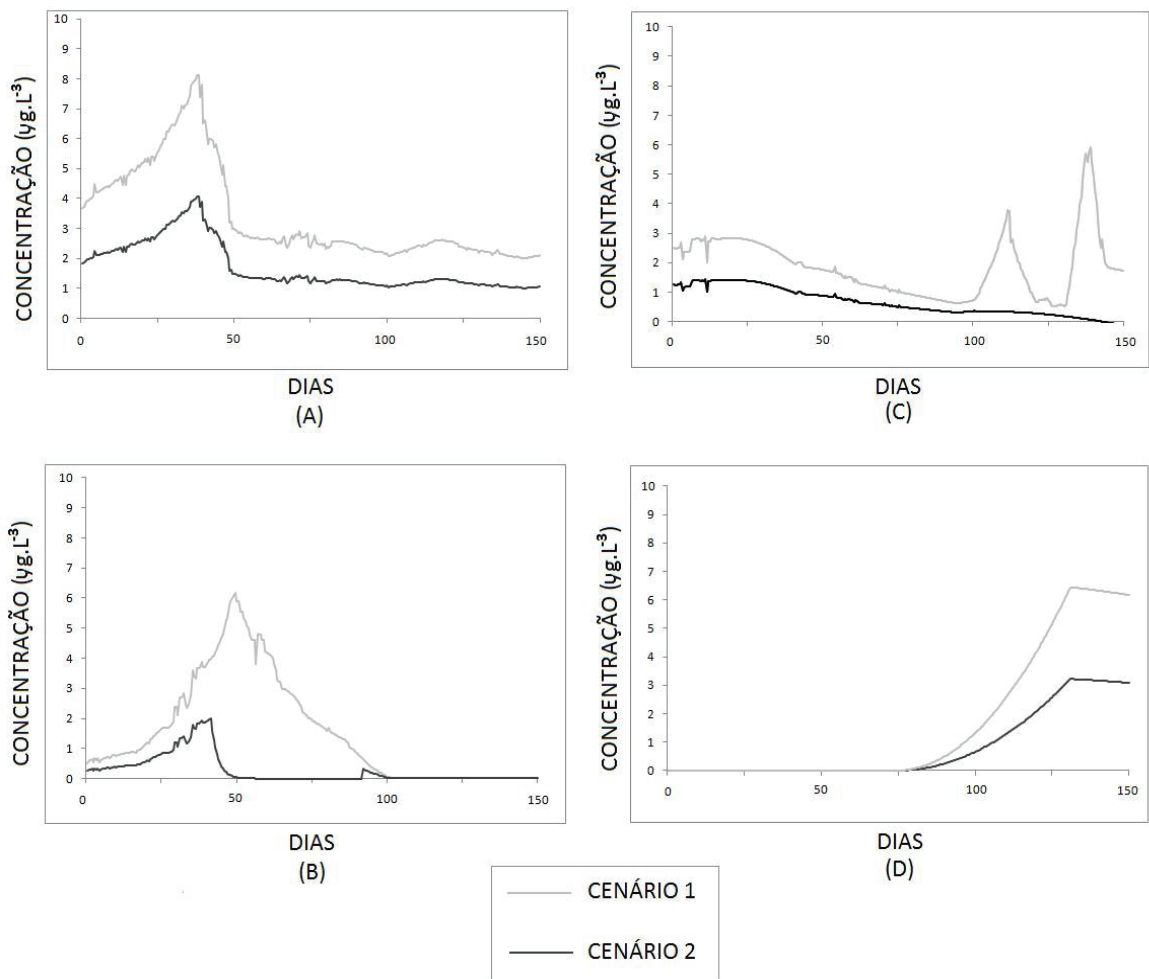


Figura 4. Comparação entre os resultados obtidos para a variação temporal da comunidade fitoplancônica em ambos os cenários simulados. (A) Cyanophyceae. (B) Cryptophyceae. (C) Bacillariophyceae. (D) Chlorophyceae.

Figure 4. Comparison between the results obtained for temporal variation of the phytoplankton community in both simulated scenarios. (A) Cyanophyceae. (B) Cryptophyceae. (C) Bacillariophyceae. (D) Chlorophyceae.

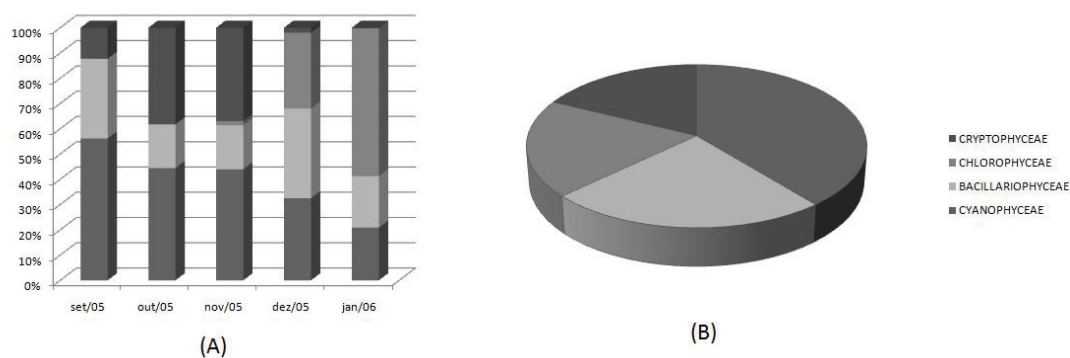


Figura 5. Resultados obtidos para o Cenário 1. (A) Variação temporal da contribuição percentual das classes fitoplanctônicas na densidade total. (B) Contribuição percentual das classes fitoplanctônicas na biomassa total.

Figure 5. Results obtained for Scenario 1. (A) Temporal variation in the percentage contribution of phytoplankton classes in total density. (B) Percentage contribution of phytoplankton classes in total biomass.

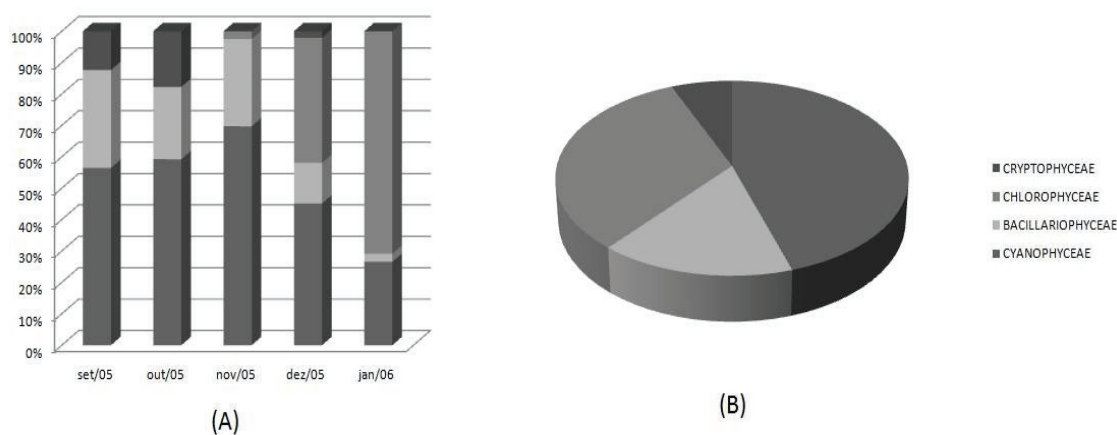


Figura 6. Resultados obtidos para o Cenário 2. (A) Variação temporal da contribuição percentual das classes fitoplanctônicas da densidade total. (B) Contribuição percentual das classes fitoplanctônicas na biomassa total.

Figure 6. Results obtained for Scenario 2. (A) Temporal variation in the percentage contribution of phytoplankton classes in total density. (B) Percentage contribution of phytoplankton classes in total biomass.

Os resultados do Cenário 1 ilustram uma interação entre o fitoplâncton e diferentes requerimentos nutricionais. Observou-se que nos primeiros 50 dias de simulação houve um consumo prioritário de NH_4 como fonte de nitrogênio pelas Cyanophyceae, visto que com o crescimento da biomassa deste grupo a concentração de amônia tendeu a diminuir, ao contrário da concentração de nitrato, que tendeu a aumentar.

Os resultados apresentados pelo modelo corroboram os resultados de Goldman & Horne (1983) que, ao medirem a resposta do fitoplâncton à disponibilidade de nutrientes, observaram um consistente padrão de preferência de amônia sobre o

nitrato. Supostamente, as algas economizam energia com essa estratégia, pois ao utilizarem o nitrato este ainda precisa ser convertido em amônia no interior da célula algal, através de reações enzimáticas (Darley 1982).

A dominância de Cyanophyceae nos primeiros 50 dias de simulação, com uma redução brusca após esse período, e a substituição por Cryptophyceae em conjunto com a redução de nitrato, pode ser explicada com base na literatura como resultado da competição entre as espécies pertencentes a estas classes. Seria plausível se a utilização de amônia como fonte de nitrogênio por parte das Cyanophyceae tivesse favorecido o uso de nitrato pelas Cryptophyceae, fato

que se enquadraria na teoria de co-existência (Kilham & Kilham 1980).

Fosfato foi registrado em baixas concentrações ao longo de todo o período de simulação. Isto pode ser explicado pela rápida assimilação desse íon pelo fitoplâncton. Resultados semelhantes foram encontrados por Huszar *et al.* (1990) e por Araújo *et al.* (2000).

A partir do 100º dia de simulação, nota-se dois momentos de floração de Bacillariophyceae, o que coincidiu com os picos de pluviosidade do período simulado. O aumento da carga d'água tende a diminuir momentaneamente a estratificação térmica do reservatório, e há evidências de que os padrões de estratificação exerçam influência sobre o aparecimento sazonal de espécies desta classe. As Bacillariophyceae estão sujeitas a contínuas perdas de biomassa através da sedimentação (Reynolds 1984). O rompimento da estrutura vertical estratificada aumenta a viscosidade da água alterando a relação peso específico das Bacillariophyceae com o meio, diminuindo sua sedimentação (Boney 1975, Reynolds 1984, Tundisi 1990).

No Cenário 2, com a redução de carga de nutrientes, as classes Cryptophyceae e Bacillariophyceae foram as que sofreram as maiores alterações na dinâmica, para o período simulado. Ambas as classes tiveram suas biomassas extremamente reduzidas em decorrência da diminuição dos teores dos nutrientes fixados como fatores limitantes no modelo.

Entretanto, essa redução de carga exerceu menor influência sobre a biomassa de Cyanophyceae e de Chlorophyceae. Apesar de terem suas biomassas absolutas diminuídas, estas classes apresentaram uma maior densidade relativa após as reduções. Podemos explicar esse resultado com base no processo conhecido como *luxury consumption*, que é a capacidade que certas espécies de fitoplâncton possuem de assimilar fósforo em quantidades maiores do que a demandada e armazená-los, numa clara estratégia adaptativa à limitação de nutrientes (Darley 1982).

Segundo Scheffer *et al.* (2003), o tempo parece ser um fator importante na manutenção da diversidade e da dinâmica da comunidade algal e pode-se pensar que a ausência de qualquer perturbação externa permita que seja atingido um estado estável na sucessão de algas.

O trabalho de Hutchinson (1961) inova o conceito de paradoxo do plâncton, indo de encontro ao princípio da exclusão competitiva e à teoria do nicho, uma vez que não se pode assumir que comunidades em que as espécies estão perto de sua densidade máxima, e que têm como regra geral a exclusão competitiva, possam apresentar de 50 a 100 espécies fitoplanctônicas coexistindo em poucos milímetros cúbicos de água nos ecossistemas aquáticos. Então a concepção de equilíbrio assume que as espécies mais bem adaptadas podem ser eventualmente selecionadas por competição (e coexistindo em situação de limitação de recursos), excluindo todas as demais (Hardin 1960). Um destaque do estudo de Grime (1979) é que a competição pode ser o fator causal mais relevante na manutenção da baixa diversidade, apesar da baixa incidência de espécies competitivas em habitats floristicamente ricos. Hutchinson (1961) sugere que a biodiversidade inesperada no plâncton provavelmente está relacionada ao fato de que as comunidades nunca estão em equilíbrio.

CONCLUSÕES

Este trabalho constatou a viabilidade de utilização de modelos matemáticos tridimensionais para a simulação da sucessão fitoplanctônica em reservatórios. Embora modelos matemáticos sejam utilizados a muito na ecologia, os modelos mais sofisticados, como o ELCOM-CAEDYM, ainda são um desafio.

A comunidade fitoplanctônica simulada apresentou rápidas respostas à disponibilidade de nutrientes, e os resultados obtidos em ambas as simulações corroboraram com diversas teorias ecológicas a respeito das dinâmicas do fitoplâncton, bem como a competição e as estratégias adaptativas utilizadas para a limitação de nutrientes.

O trabalho sugere que o reservatório APM-Manso esteja em processo de oligotrofização. Entretanto a redução das cargas de nutrientes no reservatório apresentou maior influência sobre as classes Bacillariophyceae e Cryptophyceae. Chlorophyceae e Cyanophyceae, apesar de terem suas biomassas totais reduzidas com a diminuição da disponibilidade de nutrientes, tiveram suas biomassas percentuais aumentadas, o que pode ser indicativo de uma maior capacidade adaptativa.

O aumento da pluviosidade exerceu aparente influência sobre as Bacillariophyceae, aumentando momentaneamente suas taxas de crescimento, em dois picos alternados. Porém esse influxo foi observado apenas no Cenário 1. Os resultados do Cenário 2 sugeriram que a diminuição na carga de nutrientes foi mais decisiva na dinâmica desta classe, que se demonstrou sensível à limitação por nutrientes.

Pôde-se observar uma tendência de substituição das Cyanophyceae pelas Chlorophyceae, em ambos os cenários simulados. Entretanto, sugerem-se campanhas de monitoramento específico no intuito de melhor compreender as dinâmicas fitoplanctônicas dentro do reservatório.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, N.L.R.; SANCHES, L.; PINTO JÚNIOR, O.B.; DIAS, C.A.A. & NOGUEIRA, J.S. 2007. Determinação de fósforo e nitrogênio no lençol freático em áreas de floresta de transição, floresta de manejo e pastagem no norte de Mato Grosso. Pp: 1-11. *In*: I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Cento Oeste. Cuiabá, Brasil.
- ARAÚJO, M.F.F.; COSTA, I.A.S. & CHELLAPPA, N.T. 2000. Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais na Lagoa de Extremoz, Natal – RN, Brasil. *Acta Limnologica Brasílica*, 12: 127-140.
- BONEY, A.D. 1975. *Phytoplankton. Studies in Biology n. 52*. The Camelot Press Ltda, London. 116p.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2005. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF.
- DARLEY, W.M. 1982. *Algal biology: a physiological approach*. Blackwell, London. 168p.
- DOS SANTOS, A.C.A. & CALIJURI, M.C. 1998. Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia*, 367: 139-152.
- FERREIRA, R.A.R.; CAVENAGUI, A.L.; VELINE, E.D.; CORRÊA, M.R.; NEGRISOLI, E.; BRAVIN, L.F.N.; TRINDADE, M.L.B. & PADILHA, F.S. 2005. Monitoramento de fitoplâncton e microscistina no reservatório da UHE Americana. *Planta Daninha*, 23: 203-214.
- FIGUEIREDO, D.M. 2007. Padrões limnológicos e do fitoplâncton nas fases de enchimento e de estabilização dos reservatórios do APM Manso e AHE Jauru (Estado de Mato Grosso). *Tese de doutorado*. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil. 270p.
- GOLDMAN, C.R. & HORNE, A.J. 1983. *Limnology*. McGraw-Hill, London. 646p.
- GRIME, J.P. 1979. *Plant strategies and vegetation processes*. John Wiley & Sons, Chichester. 222p.
- HARDIN, G. 1960. The competitive exclusion theory. *Science*, 131: 1292-1297.
- HIPSEY, M.R. & HAMILTON, D.P. 2008. *Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model: CAEDYM*. Science manual. V. 3.3. Perth: Center for Water Research / University of Western Australia. 140p.
- HIPSEY, M.R.; ROMERO, J.R.; ANTENUCCI, J.P. & HAMILTON, D.P. 2006. *Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model: CAEDYM. User manual. V. 2.3*. Center for Water Research/University of Western Australia. 62p.
- HODGES, B.R. & DALLIMORE, C. 2001a. *Estuary and lake model: ELCOM. User manual*. Center for Water Research/University of Western Australia. 100p.
- HODGES, B.R. & DALLIMORE, C. 2001b. *Estuary and lake model: ELCOM. Science manual*. Center for Water Research/University of Western Australia. 100p.
- HODGES, B.R.; IMBERGER, J.; SAGGIO, A. & WINTERS, K.B. 2000. Modeling basing scale waves in a stratified lake. *Limnology and Oceanography*, 45: 1603-1620.
- HUSZAR, V.L.M.; SILVA, L.H.S. & ESTEVES, F.A. 1990. Estudo das comunidades fitoplanctônicas de 18 lagoas da região do Baixo Doce, Linhares, ES, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, 50: 585-598.
- HUTCHINSON, G.E. 1961. The paradox of the plankton. *The American Naturalist*, 95: 137-147.
- KILHAM, S.S. & KILHAM, P. 1990. Tropical limnology: do African lakes violate the ‘firth law’ of limnology? *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnology*, 24: 68-72.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnologia*. Omega, Barcelona. 1010p.
- REYNOLDS, C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge. 384p.

- REYNOLDS, C.S. 1997. *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Germany Ecological Institute, Oldendorf. 371p.
- ROMERO, J.R. & IMBERGER, J. 2003. Effect of a flood underflow on a reservoir water quality: data and three-dimensional modeling. *Archiv für Hydrobiologie*, 157: 1-25
- SCHEFFER, M.; RINALDI, S.; HUISMAN, J. & WEISSING, F.J. 2003. Why plankton communities have no equilibrium: solutions to the paradox. *Hydrobiologia*, 491: 9-18.
- SILVA, D.L.M. & BRAGA, R.S. 2001. Sistema de monitoramento hidrológico durante a fase de enchimento do reservatório do APM Manso. Pp: 1-23. *In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste*. Brasília, Brasil.
- TUNDISI, J.G. 1985. Represas artificiais: perspectivas para o controle e o manejo da qualidade da água para usos múltiplos. Pp: 38-59. *In: Anais do VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos*. São Paulo, Brasil.
- TUNDISI, J.G. 1986. The Lobo (Broa) ecosystem. *Ciência Interamericana*, 25: 18-31.
- TUNDISI, J.G. 1990. Distribuição espacial, sequência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. *Revista Brasileira de Biologia*, 50: 937-955.
- TUNDISI, J.G. 1999. Reservatórios como sistemas complexos. Pp: 19-38. *In: R. Henry (ed.). Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. FUNDBIO/FAPESP, Botucatu, SP. 800p.
- VALÉRIO, A.M.; SILVA, G.B.S.; KAMPEL, M.; STECH, J.L. & ASSIREU, A.T. 2009. Avaliação multitemporal do uso do solo da bacia do reservatório de Manso. Pp: 6345-6351. *In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil.
- VAN DE BUND, W.J.; ROMO, S.; VILLENA, M.J.; VALENTÍN, M.; VAN DONK, E.; VICENTE, E.; VAKKILAINEN, K.; SVENSSON, M.; STEPHEN, D.; STAHL-DELBANCO, A.; RUEDA, J.; MOSS, B.; MIRACLE, M.R.; KAIRESALO, T.; HANSSON, L.A.; HIETALA, J.; GYLLSTRÖM, M.; GOMA, J.; GARCÍA, P.; FERNÁNDEZ-ALÁEZ, M.; FERNÁNDEZ-ALÁEZ, C.; FERRIOL, C.; COLLINGS, S.E.; BÉCARES, E.; BALAYA, D.M. & ALFONSO, T. 2004. Responses of phytoplankton to fish predation and nutrient loading in shallow lakes: a pan-european mesocosm experiment. *Freshwater Biology*, 49: 1608-1616.
- VON BERTALANFFY, L. 1977. *Teoria geral dos sistemas*. Vozes, Rio de Janeiro, RJ. 351p.
- WETZEL. R.G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3rd ed. Elsevier Academic Press, New York. 1100p.

Submetido em 12/03/2011

Aceito em 21/07/2011