

## **Estudos integrados em ecossistema. Estação Ecológica de Jataí**

**Organizado por:**

José Eduardo dos Santos, José Salatiel Rodrigues Pires, Luiz Eduardo Moschini.

São Carlos : EdUFSCar, 2006. 4 volume.

**ISBN:** 85-7600-083-0

**Palavras Chave:** 1. Ecossistema. 2. Estação Ecológica de Jataí (SP). I. Título.

# Simulação da ciclagem de *Scirpus cubensis* em uma lagoa marginal tropical (Lagoa do Infernã, São Paulo, Brasil)

Bianchini Jr., I.<sup>1</sup> & Rocha, M. G. B.<sup>2</sup>

---

**Abstract – Simulation of *Scirpus cubensis* detritus cycling in a tropical oxbow lake (Infernã Lake, São Paulo, Brazil)** – A mathematical model was developed to describe the detritus cycling of an aquatic macrophyte specie (*Scirpus cubensis* Poepp & Kunth) from an oxbow lake in the Mogi-Guaçu River (the Infernã Lake, 21°35'S and 47°51'W). The model includes the following force functions: limnological variables (temperature, decay coefficients), hydraulic characteristics of the river and the oxbow lake (topography, flow rate) and the temporal function of the *S. cubensis* detritus input in the Infernã Lake. In this simulation program, the detritus decay follows a first order kinetics and comprises the leaching and mineralization (oxidation). Rates related to the decay processes were driven by temperature whereas the rate associated with the output of dissolved organic matter was driven by the hydraulic residence time of the lagoon. From the procedures to validate the model, it was possible to observe that the Infernã Lake has attained equilibrium as far as the balance of *S. cubensis* detritus is concerned. This steady state takes about 2.5 years to be reached. It was also possible to estimate a time lag of 2.7 months between the highest values of detritus input and the particulate detritus amount.

**Keywords:** *Scirpus cubensis*; decay coefficients; detritus cycling; Infernã Lake.

**Resumo** – Um modelo matemático foi desenvolvido para descrever a ciclagem de detritos de uma espécie de macrófita aquática (*Scirpus cubensis* Poepp & Kunth) em uma lagoa marginal do Rio Mogi-Guaçu (Lagoa do Infernã, 21°35'S e 47°51'W). O modelo inclui as seguintes funções de força: variáveis limnológicas (temperatura, coeficientes de decomposição), características hidráulicas do rio e da lagoa marginal (topografia, vazões) e função temporal de adução dos detritos de *S. cubensis* na Lagoa do Infernã. No programa de simulação, a decomposição dos detritos seguiu uma cinética de primeira ordem e inclui processos de lixiviação e mineralização (oxidação). Os coeficientes relacionados aos processos de decaimento foram influenciados pela temperatura, enquanto os coeficientes associados à exportação da matéria orgânica dissolvida foram influenciados pelo tempo de residência hidráulica da lagoa. Pelos procedimentos empregados na validação do modelo, foi possível observar que a Lagoa

---

1 Departamento de Hidrobiologia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Ecologia e Recursos Naturais. e-mail: <irineu@power.ufscar.br>.

2 Departamento de Computação. Universidade Federal de São Carlos. e-mail: <tata@dc.ufscar.br>.

do InfernãO atingiu equilíbrio em relação ao balanço de detritos de *S. cubensis* em 2,5 anos. Também foi possível calcular um atraso de 2,7 meses entre os valores mais altos do aporte de detritos e a quantidade acumulada de detritos particulados.

**Palavras-chave:** *Scirpus cubensis*; coeficientes de decomposição; ciclagem de detritos; Lagoa do InfernãO.

## Introdução

O desenvolvimento simultâneo de inventários de campo, experimentos (de campo e de laboratório) e estudos de modelagem matemática configura-se como um procedimento eficaz na descrição da dinâmica dos ciclos biogeoquímicos. Nos sistemas de lagoas marginais, é esperado que as contribuições das macrófitas aquáticas para o conjunto de matéria orgânica detrital gerem alterações nas características físicas, químicas e biológicas das águas e dos sedimentos, bem como que possam influir no funcionamento de outros processos, tais como as produções primária e secundária. Esses efeitos, obviamente, dependem da magnitude e da forma como se processam os aportes dos detritos. Em relação aos processos de degradação, supõe-se que as alterações nos sistemas aquáticos ocorram por causa: 1) da liberação de nutrientes e compostos orgânicos; 2) do acúmulo de compostos húmicos; 3) do aumento da demanda por oxigênio dissolvido; e 4) do acúmulo de detritos particulados nos sedimentos.

As equações exponenciais são freqüentemente empregadas para descrever os processos de decomposição e mineralização (CUNHA-SANTINO & BIANCHINI JR., 2000; ANTONIO & BIANCHINI JR., 2002; BIANCHINI JR. et al., 2002). No entanto, essas equações nem sempre podem ser aplicadas para o substrato como um todo, por causa da heterogeneidade da composição química dos detritos. Nesse contexto, Minderman (1968) verificou que as equações cinéticas de primeira ordem são adequadas para representar a perda de massa de cada elemento estrutural do recurso. Assim, sempre que possível, o processo global de decomposição deve ser retratado por um conjunto de equações, correspondendo ao somatório de diversas funções exponenciais.

Convém assinalar ainda que as lagoas marginais estão submetidas a inundações periódicas. Essa característica constitui-se com um dos principais fatores que condicionam a dinâmica de adução e consumo de detritos das comunidades vegetais. Estudos desenvolvidos nos lagos de várzea amazônicos mostraram que na estação de seca, quando o nível d'água é consideravelmente baixo, é possível a ocorrência da mortalidade de 90% da vegetação aquática (JUNK, 1980).

A Lagoa do InfernãO, situada a 21°35'S e 47°51'W, possui, na época de seca, cerca de 1 km de comprimento e profundidade máxima de 4 m. Pertence ao sistema de lagoas marginais da bacia do Rio Mogi-Guaçu, situada na região central do Estado de São Paulo, Brasil. É uma das 14 lagoas que recebem proteção oficial da Estação Ecológica de Jataí (MOZETO & ESTEVES, 1986). Essa lagoa une-se ao rio apenas nos períodos de cheia. Atualmente sua superfície está ocupada por vegetação aquática. A região litorânea é dominada, em geral, por macrófitas flutuantes, algumas das quais com talos estendidos descendentemente até as raízes, fixas nos sedimentos. Desde a região litorânea (1 a 2 m de profundidade) até as zonas mais profundas (2 a 4 m), *Scirpus cubensis* constitui-se como a espécie mais abundante. Nessas regiões encontram-se, ainda, bancos de: *Hymenachne* sp e *Eichhornia azurea*. Nos pequenos espaços entre essas espécies,

encontram-se flutuando, quase na superfície: *Utricularia gibba*, *Utricularia breviscapa* e *Cabomba caroliniana*. Entre as pequenas espécies flutuantes, as mais comuns são: *Salvinia auriculata* e *Ricciocarpus natans* (HOWARD-WILLIAMS et al., 1989). Uma das características da vegetação litorânea é a elevada população microbiana epífita, dominada por cianobactérias e clorofíceas (SANTOS & MOZETO, 1992). Em geral, os sedimentos possuem uma camada orgânica de aproximadamente 30 cm e, abaixo desta, outra mais compacta, composta por substrato argilo-mineral (HOWARD-WILLIAMS et al., 1989).

Este trabalho insere-se em um programa interdisciplinar de estudo da Reserva Ecológica de Jataí (Estado de São Paulo, Brasil) e teve por objetivo descrever, por simulação matemática, a ciclagem dos detritos de *Scirpus cubensis* Poepp & Kunth na Lagoa do Infernã. Visou, também, discutir alguns efeitos da ciclagem dessa planta aquática sobre o metabolismo dessa lagoa marginal.

## Materiais e Métodos

### Características hidráulicas do Rio Mogi-Guaçu

As variações das vazões médias de longo período do Rio Mogi-Guaçu (1986 a 1991) foram obtidas no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE). Para descrever tais variações, o modelo senoidal (Equação 1) foi selecionado.

$$Q_t = Q_M + \left[ Q_A \times \cos W_Q \times (t - t_{\text{máx}}) \right] \quad (1)$$

em que:  $Q_t$  = variação temporal da vazão média de longo período ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );  $Q_M$  = vazão média de longo período ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );  $Q_A$  = amplitude média de variação das vazões ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );  $W_Q$  = coeficiente que determina o número de picos de vazão. Nesse caso, admitiu-se somente um pico por ano; assim,  $W_Q = 2\pi/365$ ;  $t$  = tempo (dia);  $t_{\text{máx}}$  = dia do ano em que ocorre a vazão máxima.

Vários tipos de equações foram testados para descrever a variação da profundidade do Rio Mogi-Guaçu, em função de sua vazão ( $Q_t$ ). A equação potencial (parametrizada por meio de regressão linear) foi o modelo matemático que melhor se ajustou (Equação 2). Os dados de vazão e profundidade do Rio Mogi-Guaçu foram fornecidos pelo DAEE (Estação Hidrológica de Porto Cunha Bueno).

$$H_R = a \times Q_t^b \quad (2)$$

em que:  $H_R$  = profundidade do rio (m);  $\ln a$  = coeficiente linear da reta transformada;  $b$  = coeficiente angular da reta transformada.

### Características físicas e hidráulicas da Lagoa do Infernã

A variação da profundidade da lagoa ( $Z_L$ ) em função da altura do Rio Mogi-Guaçu ( $H_R$ ) foi obtida de Nogueira (1989) e Albuquerque (1992), considerando o período de 1987 a 1992. A equação da reta foi o modelo que melhor se ajustou (Equação 3); na adoção do modelo linear, admitiu-se que os processos de troca de água entre o rio e a Lagoa do Infernã seguem o princípio dos vasos comunicantes; esse fato caracteriza esse sistema como uma lagoa de infiltração.

$$Z_L = f(H_R) \quad (3)$$

O levantamento batimétrico realizado por Nogueira (1989) foi utilizado para obter as áreas em diferentes profundidades. Os volumes correspondentes a essas áreas foram obtidos por integração da função de área, em relação à profundidade. Os volumes foram relacionados à profundidade da lagoa de acordo com a Equação 4.

$$VOL_L = a \times Z_L^b \quad (4)$$

em que:  $VOL_L$  = volume da lagoa ( $m^3$ );  $a$  = coeficiente linear da reta transformada;  $b$  = coeficiente angular da reta transformada.

Até o momento não há levantamentos da variação temporal das vazões afluentes da lagoa ( $Q_{IN}$ ). Com base na simulação do balanço de massa de eletrólitos para essa lagoa, propôs-se uma equação empírica para essa descrição (Equação 5). Para tanto, considerou-se o rio como a única fonte de água para esse sistema, além de  $Q_{IN}$  variando entre 0,04% e 0,003% de  $Q_t$  nas épocas de chuva e seca, respectivamente.

$$Q_{IN} = Q_t \times \left[ \exp^{-9.2 + (1.3 \cos W_Q (t - 244))} \right] \quad (5)$$

em que:  $Q_{IN}$  = vazão afluente ( $m^3 s^{-1}$ ).

Utilizando as Equações 1, 4 e 5, as variações do tempo de residência ( $T_{RES}$ ) e do fluxo hidráulico ( $\phi_H$ ) para a lagoa foram calculadas pelas Equações 6 e 7, respectivamente.

$$T_{RES} = \frac{VOL_L}{Q_{IN}} \times 86400 \quad (6)$$

$$\phi_H = \frac{1}{T_{RES}} \quad (7)$$

em que: 86.400 = fator de conversão da vazão afluente para base diária ( $m^3 dia^{-1}$ ).

De acordo com o usualmente sugerido na literatura (por exemplo, STRAŠKRABA & GNAUCK, 1985), a função senoidal (Equação 8) foi a mais adequada para descrever a variação sazonal da temperatura da água da lagoa; para tanto, foram utilizados os levantamentos realizados por Nogueira (1989) e Esteves (1991).

$$T_t = T_M + \left[ T_A \times \cos W_T \times (t - t_{m\acute{a}x}) \right] \quad (8)$$

em que:  $T_t$  = variação temporal da temperatura média da lagoa ( $^{\circ}C$ );  $T_M$  = temperatura média ( $^{\circ}C$ );  $T_A$  = amplitude média de variação das temperatura ( $^{\circ}C$ );  $W_T$  = coeficiente do número de picos de temperatura no período  $W_T = 2\pi/365$ ;  $t$  = tempo (dia);  $t_{m\acute{a}x}$  = dia do ano em que ocorre a temperatura máxima.

## Aporte e ciclagem de detritos de *Scirpus cubensis*

Em geral, as quantificações de detritos realizadas *in situ* resultam do balanço compreendido por dois processos: a senescência do recurso (adução) e sua degradação. Uma vez que até o momento, para essa lagoa, não se dispõe de levantamentos específicos de produção primária

e senescência de *S. cubensis*, para representar o processo temporal de aporte de detrito, propôs-se uma função periódica (senoidal). Essa função (Equação 9) foi sugerida com base no balanço de massa dos detritos particulados; esse balanço foi realizado comparando os valores de matéria orgânica particulada, gerados a partir do modelo, com a variação da quantidade de detritos estimada dos levantamentos de campo (NOGUEIRA, 1989).

$$D_t = D_M + \left[ D_A \times \cos W_D \times (t - t_{\text{máx}}) \right] \quad (9)$$

em que:  $D_t$  = variação temporal das taxas de aporte de detritos de *S. cubensis* ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $D_M$  = taxa média de aporte de detritos ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $D_A$  = amplitude de variação da taxa de aporte de detritos ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $W_D$  = coeficiente que determina o número de picos no período  $W_Q = 2\pi/365$ ;  $t$  = tempo (dia);  $t_{\text{máx}}$  = dia do ano em que ocorre o valor máximo de aporte de detritos.

De acordo com o modelo desenvolvido para descrever a ciclagem dos detritos de *Nymphoides indica* (BIANCHINI JR. et al., 1988), no cálculo da ciclagem de detritos de *S. cubensis* considerou-se que a degradação ocorre pelos seguintes processos simultâneos: 1) lixiviação e oxidação das frações particuladas de matéria orgânica (MOP), representados pelos coeficientes  $k_1$  e  $k_2$ , respectivamente; 2) oxidação e exportação de matéria orgânica dissolvida (MOD) originada do processo de lixiviação, representados por  $k_3$ . Esse coeficiente, por sua vez, é resultante da adição de  $k'_3$  e  $\phi_{H^+}$ , em que  $k'_3$  refere-se ao coeficiente de oxidação, e  $\phi_{H^+}$  ao coeficiente de exportação da matéria orgânica dissolvida. As estimativas das frações solúveis (MOP<sub>1</sub>) e refratárias (MOP<sub>2</sub>) dos detritos de *S. cubensis* e seus respectivos coeficientes de perda de massa foram obtidos de experimento de degradação efetuado *in situ* (NOGUEIRA, 1989). O coeficiente de oxidação da MOD,  $k'_3$ , foi obtido de ensaio de laboratório (BIANCHINI JR. & ANTONIO, 2003). Esses processos foram representados a partir do seguinte conjunto de equações:

$$\frac{dMOP_1}{dt} = -k_1 y_1 \sum_{i=1}^n D_i \quad (10)$$

$$\frac{dMOP_2}{dt} = -k_2 y_2 \sum_{i=1}^n D_i \quad (11)$$

$$\frac{dMOD}{dt} = k_1 y_1 \sum_{i=1}^n D_i - k_3 MOD \quad (12)$$

$$\frac{dMOC}{dt} = k_2 y_2 \sum_{i=1}^n D_i + k_3 MOD \quad (13)$$

em que: MOP<sub>1</sub> = material a ser lixiviado da MOP ( $\text{g m}^{-2}$ ); MOP<sub>2</sub> = teor de compostos refratários da MOP ( $\text{g m}^{-2}$ ); MOD = matéria orgânica dissolvida proveniente da lixiviação ( $\text{mg m}^{-3}$ ); MOC = matéria orgânica consumida e/ou exportada ( $\text{g m}^{-2}$ );  $k_1$  = coeficiente de lixiviação ( $\text{dia}^{-1}$ );  $k_2$  = coeficiente de oxidação dos detritos particulados ( $\text{dia}^{-1}$ );  $k_3$  = coeficiente de decaimento global da MOD (oxidação + exportação),  $\text{dia}^{-1}$ ;  $y_1$  = coeficiente de rendimento do processo de lixiviação (%);  $y_2$  = coeficiente de rendimento do processo de oxidação da MOP (%);  $n$  = número máximo de dias de simulação.

Admitiu-se, também, que os processos cinéticos fossem de primeira ordem e que sofressem o efeito da temperatura (USEPA, 1985; THOMANN & MÜELLER, 1987; BIANCHINI JR. et

al., 1988; BREZONIK, 1994; JØRGENSEN, 1994). Para a estimativa do coeficiente que relaciona as taxas de reação com a temperatura ( $\theta$ ), foram utilizados os resultados do experimento de decomposição de *S. cubensis* (NOGUEIRA, 1989) e os dados dos experimentos de lixiviação e consumo da MOD (ANTONIO & BIANCHINI JR., 2002). As Equações 10, 11, 12 e 13 foram integradas numericamente pelo método iterativo direto (PRESS et al., 1993).

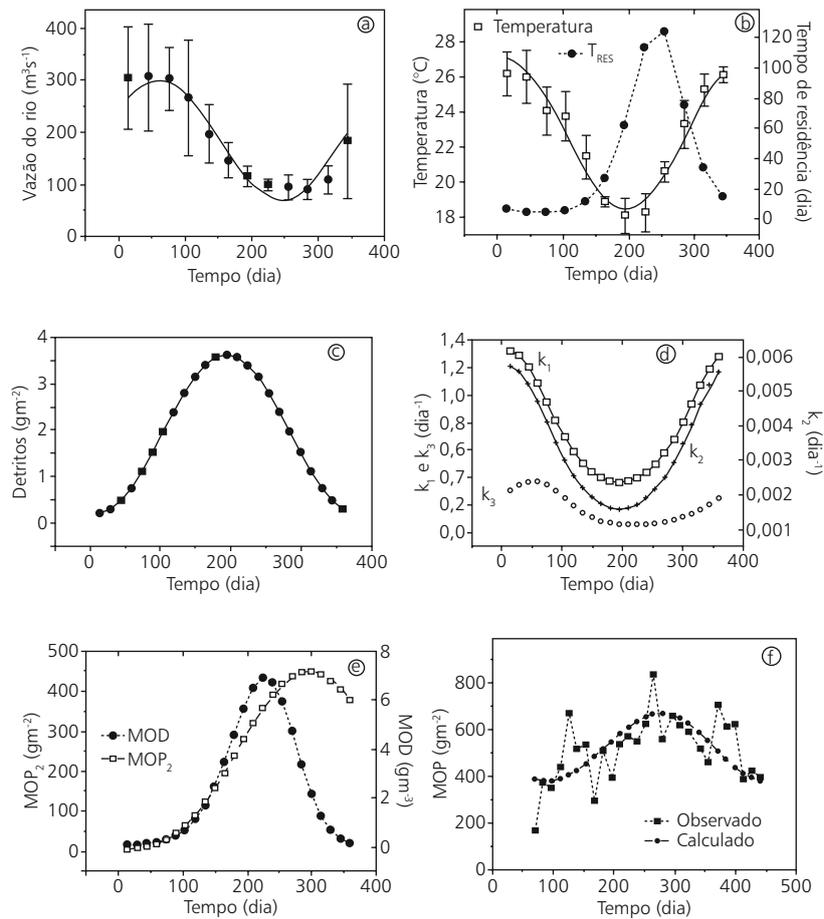
## Resultados e Discussão

Deve ser acentuado que os resultados das simulações apresentados aqui serão considerados como estimativas de longo prazo, em que variações abruptas, típicas de efeitos de curto prazo, não foram consideradas. A princípio, foi desenvolvido um modelo capaz de descrever as características gerais do sistema de lagoas marginais, em que só as mudanças nas vazões, nas temperaturas da água e nas taxas de adução de detritos foram consideradas. A Figura 1a apresenta a variação sazonal das vazões médias do Rio Mogi-Guaçu e o ajuste desses valores à função senoidal proposta. As vazões mais altas acontecem entre janeiro e o início de abril (do 1º ao 100º dia); as oscilações maiores referentes às vazões acontecem de dezembro a abril. As inundações acontecem predominantemente de janeiro a março, especialmente em fevereiro (ESTEVES, 1991). De abril até julho caracteriza-se o período de transição entre as altas e baixas vazões. As mais baixas vazões incidem de agosto a novembro, quando também ocorrem as flutuações menores. Desses resultados e da variação temporal da temperatura da água (Figura 1b) é possível notar que a Lagoa do Infernã é muito afetada pelas vazões do rio durante a estação chuvosa, do verão até o início do outono. Nesse período, ocorre aumento significativo no tempo de retenção da água, que, em prática, caracteriza um regime em que o rio e a lagoa estão desconectados, finalizando os efeitos diretos do rio na qualidade da água e nos processos físicos, químicos e biológicos (por exemplo, profundidade da zona eufótica, taxas de sedimentação, aeração) da lagoa.

No período das vazões altas e especialmente durante as inundações, a lagoa se comporta como um sistema lótico, em decorrência da magnitude do  $T_{RES}$ . De acordo com esse critério, do outono até a primavera, a Lagoa do Infernã é caracterizada como um sistema lântico. Em geral, esse sistema, quando desconectado do rio, apresenta baixos valores de condutividade elétrica, concentrações baixas de oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo (FERESIN, 1994; ANTONIO, 1996). Por outro lado, quando a lagoa está sob a influência do rio, suas características como condutividade elétrica e turvação da água estão praticamente iguais às do rio (BIANCHINI JR. & ROCHA, dados não publicados).

O ajuste da variação sazonal das temperaturas (médias mensais) da água da Lagoa do Infernã é apresentado na Figura 1b; em geral, esse sistema sofre variação da ordem de 10°C no transcorrer do ano. Por causa das temperaturas elevadas, durante todo o ano são verificadas estratificações térmicas, que se caracterizam por serem superficiais, até aproximadamente 0,5 m (NOGUEIRA, 1989; ESTEVES, 1991; FERESIN, 1991). Seguindo as variações de temperatura, encontram-se alterações significativas entre as concentrações de oxigênio dissolvido na superfície e no fundo. Há evidências (CARLOS, 1991) de que as aduções de detritos de *S. cubensis* sigam o mesmo regime temporal da temperatura da água. Isso ocorre porque na estação seca (inverno) as baixas temperaturas atmosféricas afetam as comunidades das macrófitas emersas, por causa do estresse térmico. A biomassa é então reduzida, conforme previsto pelo modelo (Equação 9), e representada na Figura 1c. Essa função resulta do balan-

ço compreendido por dois processos: a produção primária e a senescência. Os resultados da simulação indicam que as maiores taxas de adução de detritos ocorrem no inverno e variam, anualmente, entre 0,2 e 3,6 g PS m<sup>-2</sup>. No verão, as taxas são bastante reduzidas, por causa da predominância dos processos de produção primária.



**Figura 1** (a) Variações sazonais da vazão do Rio Mogi-Guaçu; e (b) da temperatura da água da Lagoa do Infernã. Simulações das variações anuais: (b) do tempo de residência da lagoa; (c) do aporte de detritos de *S. cubensis*; (d) dos coeficientes de decomposição e de exportação de matéria orgânica; (e) dos teores de MOP<sub>2</sub> e MOD; (f) comparação entre os valores de MOP<sub>2</sub> simulados e observados. As barras verticais representam o desvio-padrão dos valores médio de vazão e temperatura.

Além do provável efeito da temperatura sobre o processo de adução de detritos, ela também afeta as taxas de transformação dos detritos; o coeficiente que a relaciona com as taxas de transformação é equivalente a um Q<sub>10</sub> da ordem de 4.74. Nesse contexto, supõe-se que a temperatura seja o principal fator condicionante dos processos de ciclagem na Lagoa do Infernã. De fato, fica evidente a proporcionalidade entre a variação da temperatura e as variações de k<sub>1</sub> (coeficiente de lixiviação) e k<sub>2</sub> (coeficiente de mineralização da MOP); Figura 1d. A variação anual da taxa global de consumo de MOD (k<sub>3</sub>) incorpora os efeitos de duas

condicionantes primárias: a temperatura e o fluxo hidráulico. Desse modo, o verão caracteriza-se por ser o período mais propício às perdas de massa do material dissolvido, por causa dos valores elevados de temperatura e dos baixos tempos de residência.

Os resultados das simulações das variações dos detritos (particulados e dissolvidos) de *S. cubensis* na Lagoa do Infernã são apresentados na Figura 1e. Infere-se que deva ocorrer uma defasagem de aproximadamente 80 dias entre o valor máximo das taxas de aporte de detritos e o de acúmulo da MOP residual. Em relação à MOD, a simulação indicou que essas frações podem ser rapidamente consumidas nesse sistema. Isso ocorre porque na estação chuvosa a MOD é exportada por causa das elevadas vazões; nessa época, o fluxo hidráulico deve responder por 50% a 70% da taxa global de desaparecimento da MOD ( $k_3$ ). Na época de seca (agosto a outubro), os processos de oxidação predominam, podendo ser responsáveis por até 90% da perda de massa de MOD. Por causa dos elevados coeficientes de lixiviação empregados (NOGUEIRA, 1989; BIANCHINI JR. & ANTONIO, 2003), os resultados da simulação indicam que as concentrações de MOD proveniente dos detritos de *S. cubensis* devam apresentar valores máximos quando as taxas de aporte de detritos forem máximas. Desse modo, as concentrações de MOD podem ser utilizadas para descrever o processo de aporte de detritos. Esses resultados sugerem, ainda, que os compostos húmicos de *S. cubensis* devam ser basicamente originados das frações particuladas. Considerando que os teores de  $MOP_2$  sejam oito vezes maiores que os de MOD e que seus coeficientes de perda de massa sejam menores, é possível inferir que grande parte dos detritos de *S. cubensis* seja humificada e mineralizada dentro da Lagoa Infernã. Nesse contexto, experimentos de decomposição de *S. cubensis* e *Cabomba piahuyensis* têm demonstrado que as frações particuladas são responsáveis por produções elevadas de substâncias húmicas (CUNHA & BIANCHINI JR., 2001).

Os resultados da simulação da MOP foram comparados com os dados experimentais obtidos *in situ* (NOGUEIRA, 1989); Figura 1f. A concordância é satisfatória. Esse fato permite inferir, para a Lagoa do Infernã, que a situação de *steady state* é atingida em 2,5 anos, no que se refere ao aporte e ao consumo de detritos de *S. cubensis*. Essa observação significa que, se houvesse atualmente a instalação dessas macrófitas na Lagoa do Infernã, o sistema levaria 2,5 anos acumulando detritos para apresentar o equilíbrio e a quantidade de detritos atualmente observados. Esses resultados indicam, com certeza, a importância dos esforços de simulação para a predição das mudanças ecológicas causadas pelas interferências antrópicas de um dado sistema.

## Conclusões

No que se refere à ciclagem de *S. cubensis*, na Lagoa do Infernã, os resultados obtidos permitem concluir que: 1) existe uma defasagem de aproximadamente 80 dias entre o processo de aporte de detritos e sua detecção; 2) grande parte dos detritos gerados é processada dentro do próprio sistema; 3) os processos de ciclagem dos detritos de *S. cubensis* são dependentes da temperatura; 4) no período hidrológico deve existir alternância de predomínio dos processos envolvidos com o desaparecimento da MOD; e 5) mantidas as condições, o processo de ciclagem de *S. cubensis* apresenta equilíbrio em aproximadamente 2,5 anos (resiliência).

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento deste trabalho (Processo n. 91/1303-3), ao dr. Oswaldo N. Oliveira Jr. (IFSC-USP) e à dra. Marcela B. Cunha-Santino (DHb-UFSCar) pelas leituras críticas do manuscrito.

## Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, A. L. S. *Composição e fluxo de material particulado transportado pelo rio Mogi-Guaçu, na planície de inundação da Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP*. 1992. 148 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- ANTONIO, R. M. *Estimativa da capacidade heterotrófica do Lago Infernã (Estação Ecológica de Jataí, SP)*. 1996. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- ANTONIO, R. M.; BIANCHINI JR., I. The effect of temperature on the glucose cycling and oxygen uptake rates in the Infernã lagoon water, state of São Paulo, Brazil. *Acta Scientiarum*, v. 24, n. 2, pp. 291-296, 2002.
- BIANCHINI JR., I.; ANTONIO, R. M. The effect of particles size on the leaching of *Scirpus cubensis* Poepp & Kunth. *Braz. J. Biol.*, v. 63, n. 2, pp. 195-205, 2003.
- BIANCHINI JR., I.; PACOBAHYBA, L. D.; CUNHA-SANTINO, M. B. Aerobic and anaerobic decomposition of *Montrichardia arborescens* (L.) Schott. *Acta Limnol. Brasil.*, v. 14, n. 3, pp. 27-34, 2002.
- BIANCHINI JR., I.; ROCHA, M. G. B.; TOLEDO, A. P. P. Estudo do fluxo de detritos a partir da decomposição de macrófitas aquáticas na represa do Lobo (Broa) - *Nymphoides indica*. In: TUNDISI, J. G. (Ed.). *Limnologia e manejo de represas. Série: Monografias em Limnologia*. São Carlos: EESC-USP/CRHEA/ACIESP, 1988. pp. 118-138.
- BREZONIK, P. L. *Chemical kinetics and process dynamics in aquatic systems*. Boca Raton: Lewis, 1994. 754 p.
- CARLOS, V. M. *Aspectos ecológicos da associação vegetal de Scirpus cubensis na Lagoa do Infernã - SP*. 1991. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- CUNHA, M. B.; BIANCHINI JR., I. Formação de compostos húmicos a partir da degradação de *Scirpus cubensis* e *Cabomba piauhyensis*. *Acta Limnol. Brasil*, v. 13, n. 2, pp. 35-43, 2001.
- CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JR., I. Decomposição aeróbia e anaeróbia de *Salvinia auriculata* da lagoa do Infernã. In: SANTOS, J. E.; PIRES, J. S. R. (Eds.). *Estudos integrados em ecossistemas. Estação Ecológica de Jataí*. v. 2. São Carlos: Rima, 2000. pp. 631-643.
- ESTEVES, M. R. *Dinâmica da fixação de nitrogênio pela comunidade perifítica de Eichhornia azurea Kunth em um ecossistema da planície de inundação do rio Mogi-Guaçu (Lagoa do Infernã, SP)*. 1991. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

FERESIN, E. G. *Nitrificação em uma lagoa marginal do rio Mogi-Guaçu (Lagoa do Infernã, Estação Ecológica de Jataí - Luiz Antônio, SP)*. 1991. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

FERESIN, E. G. *Produção de carbono orgânico via fitoplâncton e bacterioplâncton em duas lagoas da planície de inundação do rio Mogi-Guaçu (Estação Ecológica de Jataí, SP)*. 1994. 108. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

HOWARD-WILLIAMS, C.; ESTEVES, F. A.; SANTOS, J. E. dos; DOWNES, M. T. Short term nitrogen dynamics in a small Brazilian wetland (Lago Infernã, São Paulo). *J. Trop. Ecol.*, v. 5, pp. 323-335, 1989.

JØRGENSEN, S. E. *Fundamentals of ecological modelling (developments in environmental modelling, 19)*. Amsterdam: Elsevier, 1994. 628 p.

JUNK, W. J. Áreas inundáveis – um desafio para Limnologia. *Acta Amazon.*, v. 10, pp. 775-795, 1980.

MINDERMAN, G. Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. *J. Ecol.*, v. 56, pp. 355-562, 1968.

MOZETO, A. A.; ESTEVES, F. A. Ecologia de lagoas marginais. *Ciênc. Hoje*, v. 5, 73 p., 1986.

NOGUEIRA, F. M. B. *Importância das macrófitas aquáticas Eichhornia azurea Kunth e Scirpus cubensis Poepp & Kunth na ciclagem de nutrientes e nas principais características limnológicas da Lagoa Infernã (SP)*. 1989. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

PRESS, W. H.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T.; FLANNERY, B. P. *Numerical recipes in C: the art of scientific computing*. New York: Cambridge University Press, 1993. 994 p.

SANTOS, J. E.; MOZETO, A. A. *Programa de análise de ecossistemas e monitoramento ambiental: Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antonio, SP)*. Ecologia de áreas alagáveis da planície de inundação do rio Mogi-Guaçu - Projeto Jataí. 1992. 59 p. (Relatório Técnico.)

STRAŠKRABA, M.; GNAUCK, A. Freshwater ecosystems – modelling and simulation. In: JØRGENSEN, S. E. (Ed.). *Developments in environmental modelling*, 8. Amsterdam: Elsevier, 1985. 309 p.

THOMANN, R. V.; MÜELLER, J. A. *Principles of surface water quality modeling and control*. New York: Harper & Row, 1987. 644 p.

USEPA. *Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling*. EPA 600/3-85/040. United States Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, GA, 1985. 455 p.