

Decomposição de macrófitas aquáticas da Lagoa do Infernã: o estado da arte

Bianchini Jr., I.¹

Abstract – The decay of aquatic macrophytes from Infernã Lagoon – This study describes the degradation of the more frequently aquatic macrophytes species found in the Infernã lagoon (21°35'S and 47°51'W). For that the data of experiments developed since 1987 were used. A kinetic model was proposed and the obtained parameters (derived from the experimental results) were used for the description of the effects from environmental variables on the plants decomposition. The results allowed us to conclude that in this environment: i) the aquatic macrophytes decay is mainly due to refractory fractions, contributing indeed to the accumulation of refractory organic matter of the sediments; ii) the aerobic processes are faster; however, the detritus cycling under anaerobic conditions have shown similar rates; iii) under anaerobic conditions, the detritus composition influences the amount of produced gases and the quality of the gaseous mixture (the high rates of CH₄ formation were obtained from the *Scirpus cubensis* detritus); iv) in the aerobic processes the kind of aquatic plant and the environment trophic state influenced the deoxygenation rates and the amounts of oxygen involved in the decomposition. Among the resources studied, the *Cabomba* detritus was the one that consumed most oxygen.

Key words: *aquatic macrophytes, Infernã Lagoon, decomposition, kinetics, oxygen uptake, aerobic and anaerobic processes.*

Resumo – Este estudo visou descrever a degradação das espécies de macrófitas aquáticas mais frequentemente encontradas na Lagoa do Infernã (21°35'S e 47°51'W). Para tanto, utilizaram-se as informações de experimentos desenvolvidos desde 1987. Foi proposto um modelo cinético e os parâmetros obtidos, a partir dos resultados experimentais, foram utilizados para a descrição dos efeitos das variáveis ambientais sobre a decomposição das plantas. Os resultados permitiram concluir que, nesse ambiente: i) os processos de degradação das macrófitas aquáticas são predominantemente efetuados a partir das frações refratárias, contribuindo efetivamente para os processos de acúmulo de matéria orgânica refratária dos sedimentos; ii) os processos aeróbios são mais rápidos, no entanto, as ciclagens

1. Departamento de Hidrobiologia, Rod. Washington Luiz, km 235, CEP 13565-905, C.P. 676, São Carlos, SP, Brasil, e-mail: irineu@power.ufscar.br.

dos detritos em condição anaeróbia possuem velocidades próximas; iii) sob condição anaeróbia, a composição dos detritos influencia a quantidade de gases produzidos e a qualidade da mistura gasosa (as taxas mais elevadas de formação de CH_4 foram obtidas a partir dos detritos de *Scirpus cubensis*); iv) nos processos aeróbios, o tipo de planta aquática e o estado trófico do ambiente influenciaram as velocidades de desoxigenação e as quantidades de oxigênio envolvidas na decomposição. Dentre os recursos considerados, os detritos de *Cabomba* foram os que mais consumiram oxigênio.

Palavras-chave: *macrófitas aquáticas, Lagoa do Infernã, decomposição, cinética, consumo de oxigênio, processos aeróbios e anaeróbios.*

Introdução

Em virtude da abundância de macrófitas aquáticas na Lagoa do Infernã, os estudos que envolveram esses organismos foram contemplados desde o início das atividades do Projeto Jataí. Tais estudos iniciaram-se com a discussão da importância de *Eichhornia azurea* e *Scirpus cubensis* na ciclagem de nutrientes e nas características límnicas da lagoa (Nogueira, 1989). Em paralelo a este estudo, o papel da *E. azurea* na dinâmica populacional da vegetação aquática desse sistema foi objeto de discussão (Coutinho, 1989). Segundo descrição realizada por Howard-Williams *et al.* (1989) na zona de águas rasas (de 1 a 2 metros de profundidade), a gramínea aquática *Hymenachne* sp. constituía-se na principal espécie, nas regiões mais profundas (de 2 a 3 metros) predominavam os bancos de *E. azurea* e de *S. cubensis*. Nos pequenos espaços entre essas espécies encontravam-se flutuando, quase na superfície: *Utricularia gibba*, *U. breviscapa* e *Cabomba caroliniana*. Dentre as pequenas espécies flutuantes, as mais comuns eram a *Salvinia auriculata* e a *Ricciocarpus natans*. Além dessas espécies, foram também registradas as ocorrências de *Polygonum rubricaulis*, *Ludwigia sericea*, *Habenaria inconspicua*, *Elodea sp.*, *U. foliosa*, *Panicum pernambucensis* (Carlos, 1991). Atualmente, a lagoa apresenta-se praticamente coberta por *S. cubensis*, no entanto, é possível verificar, nos pequenos espaços, a ocorrência de algumas espécies submersas (*Utricularia* spp., *Cabomba piauhyensis*) e flutuantes (*S. auriculata* e *R. natans*). A *E. azurea*, por sua vez, encontra-se restrita a pequenas áreas.

Uma das características da vegetação litoral se constitui na alta população microbiana epífita, dominada por cianobactérias e clorofíceas. Nesse contexto, assinala-se a ocorrência dos gêneros *Anabaena*, *Nostoc*, *Aulosira*, *Hepalosiphon*, *Gloeocapsa* e *Oscillatoria*, sendo os dois últimos os principais componentes dentre as cianobactérias. Tufos filamentosos de *Mougeotia*, *Spirogyra* e *Oedogonium* são, dentre as clorofíceas, as ocorrências mais comuns (dos Santos *et al.*, 1989; dos Santos & Mozeto, 1992).

De modo geral, os trabalhos desenvolvidos na Lagoa do Infernã indicam que os processos ecológicos que aí ocorrem são regidos, basicamente, pelas condições estabelecidas pelo regime hidrológico a que esse ambiente está submetido, ou seja, pelos períodos de cheia e seca, representados por flutuações do nível d'água da lagoa em função, no período de chuvas, do escoamento da precipitação, da elevação do nível do lençol freático e invasão das águas do Rio Mogi-Guaçu (dos Santos & Mozeto, 1992). Além destes aspectos relativos ao regime hídrico, experimentos de mineralização e estudos de modelagem matemática têm apontado a temperatura como outro fator básico que condiciona os processos contidos nas cadeias de detritos desse sistema (Antonio, 1996; Bianchini Jr. & Rocha, em prep.).

Por meio dos vários processos que se desenvolvem durante a decomposição de recursos orgânicos (lixiviação, fragmentação e catabolismo), verifica-se que o conhecimento de suas propriedades se reveste de fundamental importância no entendimento da dinâmica

do carbono e das interações entre as diversas formas desse elemento nos sistemas aquáticos. Nesse contexto, com base nos experimentos de decomposição que envolveram macrófitas aquáticas da Lagoa do Infernã (desenvolvidos *in situ* e em laboratório), neste estudo discute-se o papel desses organismos na ciclagem do carbono detrital desse ambiente. Para tanto, propõe-se um modelo cinético que descreve a degradação das várias espécies envolvidas e que permite a comparação direta dos parâmetros.

Material e Métodos

A Lagoa do Infernã

A Lagoa do Infernã, situada a 21°35'S e 47°51'W, possui cerca de 1 km de comprimento e profundidade máxima, na época de seca, de 4 m (Figura 1). Pertence ao sistema de lagoas marginais da bacia do Rio Mogi-Guaçu, situada na região central do Estado de São Paulo. É uma das 15 lagoas que recebem proteção oficial da Estação Ecológica de Jataí (Mozeto & Esteves, 1986). Une-se ao rio apenas nos períodos de cheia; estudos recentes têm sugerido que a comunicação entre essa lagoa e rio obedeça o princípio dos vasos comunicantes (Bianchini Jr., 1994). Outros têm enfatizado a importância da bacia local na manutenção dos níveis de água (Albuquerque, 1992; Ballester, 1994), contudo, as duas hipóteses convergem na caracterização desse sistema como sendo uma lagoa de infiltração.

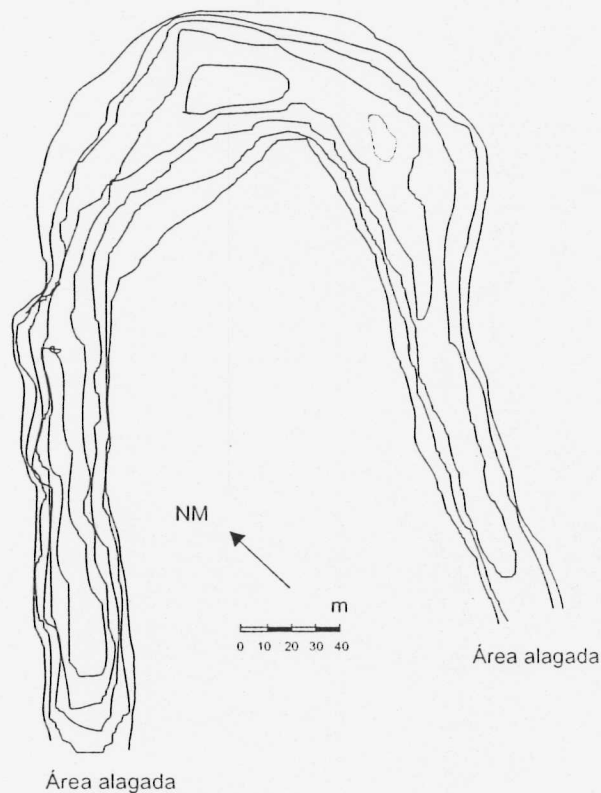


Figura 1 Batimetria da Lagoa do Infernã. Modificado de Nogueira (1989).

De modo geral, os sedimentos são constituídos por uma camada orgânica de, aproximadamente, 30 cm, e, abaixo desta, outra mais compacta, composta por substrato argilo-mineral (Howard-Williams *et al.*, 1989); o sedimento tem sido caracterizado como

o principal compartimento estocador de nutrientes. As baixas concentrações dos elementos nutrientes na coluna d'água, aliadas à extensa cobertura vegetal, e as elevadas taxas de produção primária fitoplanctônica permitem supor que as velocidades de assimilação, de liberação e de consumo dos nutrientes sejam bastante elevadas (Feresin, 1994).

Experimentos *in situ*

Na primavera de 1987 (dezembro) iniciou-se, na lagoa do Infernã, um experimento de decomposição de *S. cubensis*, no qual utilizaram-se *litter bags*. Nesse caso, o processo foi acompanhado por 203 dias e foram comparadas as perdas de massa considerando as estruturas submersas (raízes) e emersas (folhas e pecíolos) dessa macrófita (Nogueira, 1989). Os estudos de decomposição *in situ* foram retomados em 1996. Nessa oportunidade, foram considerados os fragmentos de três espécies de plantas aquáticas: *S. cubensis*, *C. piauhyensis* e *S. auriculata*. Além da inclusão de mais duas espécies, neste estudo considerou-se, ainda, o efeito das mudanças ambientais ligadas à profundidade da coluna d'água sobre a degradação dessas espécies. Nesse caso, os *litter bags* foram alocados na superfície ($\approx 0,5$ m de profundidade) e na região de interface entre a coluna d'água e o sedimento ($\approx 4,0$ m de profundidade). Este experimento iniciou-se em outubro e teve duração de 120 dias (Campos Jr., 1998).

Experimentos em laboratório

Desde 1992, vários estudos de decomposição que utilizaram recursos provenientes da Lagoa do Infernã (amostras de: água, sedimento, compostos húmicos, MOD etc.) têm sido realizados em laboratório, dentre os quais citam-se os desenvolvidos por Antonio (1992; 1996), Bitar (1995), Antonio & Bianchini Jr. (1999) e Cunha (1999). Em particular, envolvendo as macrófitas aquáticas, em 1992 foi executado um experimento sob condições controladas, no qual avaliou-se o efeito do tamanho de partícula dos detritos de *S. cubensis* sobre os coeficientes de decomposição e os produtos formados. Para tanto, foram incubados fragmentos de diferentes tamanhos, desde 100 mm até menores que 0,5 mm. Cada frasco conteve somente fragmentos de um tamanho e água da Lagoa do Infernã. Os frascos foram mantidos durante 4 meses sob condição aeróbia (Bianchini Jr., 1994). Outros experimentos que utilizaram *S. cubensis* foram iniciados em 1992. Nestes, foram avaliados os efeitos das concentrações de nitrogênio e de fósforo dissolvidos sobre os coeficientes de consumo de oxigênio e de decaimento da matéria orgânica particulada (MOP) e dissolvida (MOD). Este estudo foi conduzido sob condição aeróbia (por 60 dias) e os frascos continham amostra de água da Lagoa do Infernã e fragmentos de *S. cubensis* que possuíam tamanho menor que 0,5 mm (Lemos, 1995; Lemos & Bianchini Jr., 1998; Lemos *et al.*, 1998). Tendo em vista a descrição da formação e mineralização de húmus a partir da degradação de *S. cubensis* e *C. piauhyensis*, entre 1993 e 1997 foram montados dois experimentos. A exemplo dos demais, cada frasco conteve fragmentos de planta e alíquota de amostra de água da lagoa. Em geral, nesses estudos, as comparações sempre evidenciaram os efeitos da presença e da ausência de oxigênio sobre os processos. Além da formação e consumo dos ácidos húmicos e fúlvicos, foram acompanhados os decréscimos temporais de frações específicas dos detritos, como: carboidratos, lignina e celulose (Cunha, 1996; Cunha & Bianchini Jr., 1998a, 1998b, 1998c). Incubações que visaram à descrição das cinéticas de consumo de oxigênio de vários recursos orgânicos da Lagoa do Infernã (dentre os quais: *Salvinia* sp., *S. cubensis*, *E. azurea* e *Cabomba* sp.) foram realizadas em 1994. Nesse experimento, os frascos foram mantidos sempre com concentrações de oxigênio dissolvido acima de 2 mg/L (Bitar, 1995). Para a comparação dos processos conduzidos *in*

situ, em 1995 foram montadas câmaras de decomposição contendo amostras de água da Lagoa do Infernã e detritos de *S. cubensis*, *C. piauihyensis* e *S. auriculata*. Nesse estudo, os frascos foram mantidos em anaerobiose a partir do borbulhamento periódico com nitrogênio ou hidrogênio. Esse experimento teve a duração de 4 meses e basicamente contemplou a descrição das taxas de formação de gases e as variações temporais dos polifenóis, carboidratos e compostos húmicos (Campos Jr., 1998; Campos Jr. & Bianchini Jr., 1998). A comparação das velocidades dos processos aeróbios e anaeróbios de mineralização de *S. auriculata* foi objeto de um experimento iniciado em 1997 (Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2000). Em 1997 iniciou-se, também, um experimento que visou, principalmente, descrever a formação de metano a partir da decomposição de macrófitas aquáticas. Foram montadas câmaras contendo amostra de água da Lagoa do Infernã e fragmentos de *S. cubensis*, *C. piauihyensis* e *S. auriculata*. Os frascos foram mantidos em anaerobiose e a mineralização foi acompanhada por 120 dias (Bianchini Jr. *et al.*, 1998).

Modelo cinético da decomposição das macrófitas aquáticas

A exemplo de outros tipos de recursos, a decomposição das macrófitas aquáticas se desenvolve por meio de perdas de matéria e de mudanças na composição química original dos detritos. Esse processo decorre da ação de três mecanismos básicos: a lixiviação, a fragmentação e o catabolismo (Swift *et al.*, 1979). Em adição aos efeitos particulares dos vários tipos de decompositores, nos ambientes aquáticos, as velocidades dos processos envolvidos com a ciclagem dos detritos dependem: i) da temperatura; ii) dos conteúdos de matéria orgânica e de nutrientes dos detritos e do ambiente; iii) do teor das frações refratárias dos detritos; iv) do pH e da salinidade do meio; v) da concentração de oxigênio dissolvido; e vi) do tamanho das partículas (Bianchini Jr., 1999).

Considerando que os processos de decomposição sejam regidos por reações consecutivas, monomoleculares, de primeira ordem do tipo:



em que: A representaria, por exemplo, a composição química original do detrito; R, os compostos intermediários (como: substâncias húmicas, biomassa de microrganismos etc.), e S, os produtos finais (elementos inorgânicos). É possível definir as seguintes equações de velocidade para os três componentes (Bianchini Jr., 1997, 1999):

$$r_A = \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A \quad (\text{Equação 1})$$

$$r_R = \frac{dC_R}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_R \quad (\text{Equação 2})$$

$$r_S = \frac{dC_S}{dt} = k_2 C_R \quad (\text{Equação 3})$$

em que: k_1 e k_2 referem-se aos coeficientes de decaimento de A e R, respectivamente.

As Equações 1, 2 e 3 são freqüentemente utilizadas para descrever os processos de decomposição de macrófitas aquáticas (Bianchini Jr. *et al.*, 1988; Bianchini Jr. & Toledo,

1996, 1998). Entretanto, devido à composição heterogênea dos tecidos desses organismos, em geral, essas equações não devem ser aplicadas para o detrito como um todo. Nesse contexto, análises da composição dos vegetais têm indicado que esses tecidos são constituídos por compostos de difícil degradação (Goldstein, 1981). A lignina é o elemento mais resistente e responde por cerca de 10% a 30% da biomassa. No outro extremo, os açúcares (carboidratos: 1% a 5%; hemiceluloses: 10% a 28%; celulosas: 20% a 50%), as proteínas (10% a 15%), os amidos (1% a 5%), os lipídios, as graxas e os taninos (1% a 8%) se decompõem rapidamente. Em particular, para as macrófitas aquáticas, análises realizadas em diversas espécies revelaram que esses organismos possuem: de 8,5% a 31,3% de proteínas; 1,6% a 8,1% de "extrato de éter" (ácidos graxos, triglicérides e lipídios); de 10% a 40,9% de celulose; de 6,1% a 40,6% de elementos inorgânicos (Boyd, 1978). Desse modo, de acordo com hipóteses desenvolvidas por Mindermann (1968), admite-se que os processos cinéticos de primeira ordem sejam adequados para representar o decaimento particular de cada elemento estrutural do detrito e que o processo global da decomposição não deve ser representado por uma simples função exponencial, mas uma forma correspondente ao somatório de diversas funções exponenciais, conforme os modelos propostos por Lousier & Parkinson (1976) e Jenkinson (1977).

Assim, devido à heterogeneidade estrutural dos substratos, para cada elemento de interesse (por exemplo, celulose, carbono, nitrogênio, fósforo etc.) e/ou tipo de estrutura (por exemplo, folhas, talos, raízes, frações lábeis, frações refratárias etc.), as equações de velocidade devem ser estruturadas, para a representação dos diferentes mecanismos envolvidos na decomposição: o catabolismo, a lixiviação e a fragmentação.

Considerando a heterogeneidade estrutural dos detritos e os preceitos cinéticos explícitos nas Equações 1, 2 e 3, os processos de mineralização das macrófitas aquáticas têm sido descritos, em geral, de acordo com três caminhos distintos (Bianchini Jr., 1999). No primeiro admite-se que os compostos lábeis (carboidratos, glicosídeos, polifenóis etc.) sejam rapidamente oxidados, em paralelo à ocorrência da lixiviação (solubilização). Esse processo ocorre segundo o coeficiente global de perda de massa k_1 , resultante da soma dos coeficientes de oxidação das frações lábeis " k_1 " e de lixiviação " k_2 " ($k_1 = k_1 + k_2$). O segundo caminho compreende os processos consecutivos de lixiviação e consumo (catabolismo) das frações dissolvidas de matéria orgânica (MOD). A formação da MOD ocorre segundo k_1 (embora experimentalmente se determine k_1); devido às alterações estruturais a que esses compostos solúveis são expostos (por exemplo formação de compostos húmicos), essa fração decai de acordo com um coeficiente de mineralização específico, " k_3 ". Esses compostos envolvidos nos caminhos 1 e 2 constituem as frações lábeis e/ou solúveis da matéria orgânica particulada (MOPL). Na terceira rota, as perdas de massa ocorrem devido à oxidação das frações refratárias dos detritos (MOPR), segundo o coeficiente de mineralização " k_4 ". Essas considerações levam ao seguinte conjunto de equações:

$$\frac{dMOP}{dt} = -k_T MOPL - k_4 MOPR \quad (\text{Equação 4})$$

$$\frac{dMOD}{dt} = k_T \left(\frac{k_2}{k_T} MOPL \right) - k_3 MOD \quad (\text{Equação 5})$$

$$\frac{dMOC}{dt} = k_T \left(\frac{k_1}{k_T} MOPL \right) + k_3 MOD + k_4 MOPR \quad (\text{Equação 6})$$

Resultados e Discussão

Por meio da Tabela 1 apresentam-se as variações dos parâmetros: k_1 (coeficiente global de decaimento devido à lixiviação dos compostos solúveis e ao consumo dos lábeis) e k_4 (coeficiente de decaimento devido à mineralização das frações refratárias), obtidos para algumas espécies de macrófitas aquáticas, a partir de experimentos de decomposição realizados na Lagoa do Infernã (Nogueira, 1989; Campos Jr., 1998) e em laboratório (Lemos, 1995; Cunha, 1996; Campos Jr., 1998; Cunha & Bianchini Jr., 1998b). Esses parâmetros foram calculados a partir de ajustes dos resultados experimentais ao modelo matemático, proposto por meio das Equações 4, 5 e 6. Os ajustes foram realizados por meio de regressões não-lineares, aplicando-se o método numérico que utiliza o algoritmo de Levenberg-Marquardt.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que sempre foi possível observar a heterogeneidade estrutural dos detritos. Nesse contexto, a matéria orgânica particulada lábil variou entre 11,1% e 30,9% e, conseqüentemente, a MOPR variou entre 88,9% e 69,1%. Considerando todos os ajustes, os valores médios de MOPL e de MOPR foram de 17,9% e 82,1%, respectivamente. No entanto, é possível verificar alta variabilidade nos valores de tais parâmetros. No geral, notou-se que, independente do tipo de detrito, sempre houve uma grande contribuição dos processos de lixiviação/oxidação de compostos solúveis/lábeis para a ocorrência das perdas de massa dos detritos nos estádios iniciais da decomposição. Na comparação entre k_1 e k_4 nota-se que o valor médio do coeficiente de perda de massa devido aos processos mais rápidos (lixiviação/oxidação da MOPL) foi cerca de 205 vezes maior que o médio de mineralização da MOPR. Com base nos valores médios de k_1 e k_4 , estima-se que a MOPL e a MOPR apresentem tempos de meia vida de 0,76 e 155 dias, respectivamente. Como verificado para os demais parâmetros, ressalta-se que os coeficientes de decaimento (k_1 e k_4) também apresentaram grande variabilidade em função do tipo de recurso e dos fatores ambientais associados.

A partir dos resultados obtidos (Tabela 1), verifica-se que tanto os teores de MOPL e de MOPR quanto os coeficientes de decomposição (k_1 e k_4) apresentaram variações elevadas, em função dos diferentes tipos de detritos. Nesse contexto, em média, a *S. cubensis* apresentou os maiores conteúdos de frações refratárias (87,2%), a *S. auriculata* apresentou um valor intermediário (82,0%), cabendo a *C. piauihyensis* os menores teores de MOPR (69,9%). Em média, os valores de k_1 foram mais elevados para *S. cubensis* (1,08 dia⁻¹), seguidos dos valores apresentados por *C. piauihyensis* (0,98 dia⁻¹) e por *S. auriculata* (0,24 dia⁻¹). O valor médio dos coeficientes de mineralização das frações refratárias (k_4) da *C. piauihyensis* foi o mais elevado (0,0064 dia⁻¹), seguido dos valores médios obtidos para *S. cubensis* e *S. auriculata*: 0,0042 e 0,0022 dia⁻¹, respectivamente. Supõe-se que as variações de k_4 basicamente decorreram da contribuição proporcional de lignina e celulose da fração particulada de cada espécie (Cunha & Bianchini Jr., 1998c); contudo, outros condicionantes (como: espécies dos microrganismos associados e proporções C/N e C/P (Lemos, 1995; Lemos *et al.*, 1998)) devem ser considerados.

Os parâmetros variaram, ainda, durante a decomposição de estruturas distintas da mesma espécie (estruturas emersas e submersas de *S. cubensis*; Tabela 1). Supõe-se que tais resultados decorram das diferenças de composição química entre os vários tipos de detritos (espécies diferentes, partes estruturais diferentes etc.) e entre os detritos do mesmo tipo (mesmas estruturas, mas com estágios fenológicos distintos, mesmas espécies e estruturas, mas de locais diferentes etc.). Têm-se verificado que tais variações decorrem

também das mudanças das condições ambientais impostas aos processos de decomposição (ambientes aeróbios, anaeróbios, com e sem nutrientes, temperaturas distintas, tipos de microrganismos etc.) e das variações/limitações metodológicas.

Tabela 1 Parâmetros da decomposição de três espécies de macrófitas aquáticas da Lagoa do Infernã, sob diferentes condições: conteúdos de frações lábeis/solúveis (MOPL) e refratárias (MOPR) dos detritos e coeficientes de decomposição (k_1 e k_4). Em que: k_1 = coeficiente de decaimento da MOPL (mineralização+solubilização) e k_4 = coeficiente de mineralização da MOPR. Valores calculados a partir de ajustes dos resultados apresentados nas referências ao modelo descrito nas Equações 4, 5 e 6.

Espécies de macrófitas e condições experimentais	MOPL (%)	k_1 (dia ⁻¹)	MOPR (%)	k_4 (dia ⁻¹)	Referências
<i>Scirpus cubensis</i> Poepp & Kunth					
estruturas emersas, <i>in situ</i>	11,18	1,08	88,82	0,00342	Nogueira (1989)
estruturas submersas, <i>in situ</i>	15,00	0,09	85,00	0,00206	Nogueira (1989)
processo aeróbio, N = 0 µg/L	11,10	0,72	88,90	0,00154	Lemos (1995)
processo aeróbio, N = 750 µg/L	14,09	0,48	85,91	0,00251	Lemos (1995)
processo aeróbio, N = 3000 µg/L	12,68	0,86	87,32	0,00218	Lemos (1995)
processo aeróbio, P = 0 µg/L	13,30	1,98	86,70	0,00078	Lemos (1995)
processo aeróbio, P = 75 µg/L	12,80	1,33	87,20	0,00166	Lemos (1995)
processo aeróbio, P = 300 µg/L	11,10	1,50	88,90	0,00125	Lemos (1995)
processo aeróbio	14,66	1,74	85,34	0,00302	Cunha & Bianchini Jr.(1998b)
processo anaeróbio	14,66	1,74	85,34	0,00256	Cunha, 1996
superfície, <i>in situ</i>	11,98	1,38	88,02	0,002	Campos Jr. (1998)
fundo, <i>in situ</i>	11,98	1,96	88,02	0,004	Campos Jr. (1998)
processo anaeróbio, hidrogênio	11,98	0,19	88,02	0,030	Campos Jr. (1998)
processo anaeróbio, nitrogênio	11,98	0,07	88,02	0,003	Campos Jr.(1998)
<i>Cabomba piauhyensis</i> Gradi					
processo aeróbio	28,50	1,13	71,50	0,00630	Cunha & Bianchini Jr.(1998b)
processo anaeróbio	28,50	1,13	71,50	0,00193	Cunha, (1996)
superfície, <i>in situ</i>	30,88	1,17	69,12	0,010	Campos Jr. (1998)
fundo, <i>in situ</i>	30,88	1,04	69,12	0,010	Campos Jr. (1998)
processo anaeróbio, hidrogênio	30,88	0,68	69,12	0,005	Campos Jr. (1998)
processo anaeróbio, nitrogênio	30,88	0,76	69,12	0,005	Campos Jr. (1998)
<i>Salvinia auriculata</i> Aubl.					
superfície, <i>in situ</i>	17,65	0,27	82,05	0,006	Campos Jr. (1998)
fundo, <i>in situ</i>	17,65	0,23	82,05	0,001	Campos Jr. (1998)
processo anaeróbio, hidrogênio	17,65	0,22	82,05	0,001	Campos Jr. (1998)
processo anaeróbio, nitrogênio	17,65	0,25	82,05	0,001	Campos Jr. (1998)

De modo geral, esses resultados sugerem que os processos de mineralização de longo prazo (representados pelos coeficientes k_4) sejam principalmente sensíveis às variações temporais de fatores químicos, físicos e biológicos da lagoa, enquanto a lixiviação e os outros processos de perda de massa de curto prazo (representados pelos coeficientes k_1) dependam, basicamente, da qualidade dos detritos. No entanto, esses processos rápidos geram as substâncias de importância imediata para as alterações da qualidade da água. A

qualidade do detrito (composição química), por sua vez, depende das condições locais em que o organismo vive, do tipo de recurso, da estrutura considerada e de seu estado fenológico (Hutchinson, 1975).

Dada a relevância atual da *S. cubensis* para a Lagoa do Infernã, os resultados apresentados na Tabela 1 indicam, também, que, neste ambiente, a maior parte ($\approx 87\%$) da principal fonte autóctone de matéria orgânica tende a ser mineralizada lentamente no interior do sistema, contribuindo de forma efetiva para os processos de colmatação, por meio da deposição de matéria orgânica particulada refratária nos sedimentos. A esse respeito, simulações do fluxo de detritos de *S. cubensis* desse ambiente sugerem que 10 anos seja o tempo de resiliência desse processo (Bianchini Jr. & Rocha, em prep.). Ou seja, no caso da remoção da camada orgânica superficial do sedimento, em 10 anos os teores de detritos seriam equivalentes ao observado atualmente. Essas simulações, de certa forma, corroboram os estudos de datação do perfil do sedimento da Lagoa do Infernã que indicaram que as camadas superficiais do sedimento (10 cm) são mais ricas em carbono orgânico e possuem aproximadamente 10 anos (Gatti, 1997). A composição isotópica de ^{15}N também sugere a efetiva contribuição das macrófitas aquáticas na composição da matéria orgânica desse sedimento (Lobo, 1997).

Comparando-se os coeficientes k_d , em relação à presença de oxigênio foi possível verificar que, em média, os processos aeróbios de oxidação tenderam a ser mais rápidos que os anaeróbios. No caso da degradação de *S. cubensis*, os valores médios de k_d foram 0,00185 e 0,00118 dia^{-1} sob condições aeróbias e anaeróbias, respectivamente. Na decomposição de *C. piauhyensis* os valores médios de k_d foram: 0,0063 (processo aeróbio) e 0,0040 dia^{-1} (processo anaeróbio). De acordo com esses resultados foi possível estimar que, em média, na degradação de *S. cubensis* a relação k_d aeróbio: k_d anaeróbio foi 1,56 e na decomposição de *C. piauhyensis* o valor dessa relação foi 1,58. Embora registrado com frequência (e confirmado nesses experimentos, por meio dos valores médios de k_d) que os processos aeróbios de ciclagem sejam mais rápidos (Wetzel, 1983; Antonio, 1992), um estudo desenvolvido nessa lagoa, no qual utilizou-se um substrato artificial (glicose), sugeriu que para ambientes com baixas concentrações de oxigênio dissolvido é possível que haja similaridade nas velocidades de decaimento sob condições aeróbias e anaeróbias (Antonio, 1996). Outros estudos têm demonstrado, ainda, que é possível que os processos anaeróbios sejam mais rápidos (Antonio *et al.*, 1996; Bianchini Jr. *et al.*, 1996, 1997). As proximidades dos valores dos coeficientes de oxidação aeróbios e anaeróbios sugerem que na Lagoa do Infernã as ciclagens dos detritos possuam eficiência similar nessas duas condições e que sejam operadas pela mesma comunidade, tendo em vista que nesse ambiente são constatadas freqüentemente baixas concentrações de oxigênio dissolvido (Nogueira, 1989; Ballester, 1994; Gianotti, 1994; Antonio, 1996). No entanto, estudos mais específicos serão necessários para confirmar essa hipótese.

Comparando-se os processos de emissão/assimilação de gases durante a degradação anaeróbia de macrófitas da Lagoa do Infernã (*S. cubensis*, *Salvinia* sp. e *C. piauhyensis*) foi possível verificar que (Campos Jr., 1998; Campos Jr. & Bianchini Jr., 1998): i) os ambientes redutores (com adição de H_2) favoreceram a ocorrência do processo de assimilação de gases e a elevação das taxas de assimilação e a atmosfera neutra (induzida pelo borbulhamento de N_2) favoreceu a ocorrência da formação de gases e o incremento das taxas de formação; ii) a composição dos detritos influenciou a quantidade de gases produzidos, nesse contexto, os detritos de *S. cubensis* geraram os maiores volumes, seguidos, em ordem decrescente, pelos de *C. piauhyensis* e de *Salvinia* sp.; e iii) o desenvolvimento da

formação de gases foi constituído por 3 fases: etapa de adaptação dos microrganismos (predominância dos processos de imobilização), etapa com elevadas taxas de formação, caracterizada pela predominância dos processos de mineralização e a etapa com baixas taxas de formação (equivalência entre as taxas de mineralização e de imobilização); Figura 2. De acordo com esses resultados e os obtidos por Ballester (1994) e Gianotti (1994), infere-se que na lagoa as emissões devam ser, basicamente, decorrentes dos processos de degradação das estruturas refratárias de *S. cubensis* (que respondem por cerca de 87% da composição dos detritos) que, em geral, tendem a se acumular e reciclar nos sedimentos. No caso de a ciclagem da MOPR induzir a anoxia ou a anaerobiose nos estratos profundos da lagoa, é possível a ocorrência de liberação dos nutrientes contidos nos sedimentos, induzindo a autofertilização do sistema. A exemplo do constatado por Ballester (1994), que nesse ambiente predominam as emissões de CO_2 , estudo cinético da formação de gases a partir da decomposição de *S. cubensis*, *C. piauihyensis* e *S. auriculata* (Bianchini Jr. *et al.*, 1998) permitiu identificar, para essas espécies, a predominância das emissões de CO_2 sobre as de CH_4 ; que os frascos que continham *S. cubensis* foram os que apresentaram as maiores taxas de formação de metano e que essas taxas foram mais afetadas pelas condições de acidez do meio do que pela disponibilidade de matéria orgânica (Figura 3).

Experimentos relativos à mineralização aeróbia de macrófitas aquáticas da lagoa do Infernãõ têm indicado que as cinéticas de consumo de oxigênio variam em função das características qualitativas dos detritos (por exemplo, proporção entre frações lábeis e refratárias), assim como sugerem a ocorrência de diferenciações entre a quantidade de oxigênio consumido por átomo de carbono oxidado (Figura 4). Em termos de mineralização de curto prazo (≈ 2 meses), a da *Cabomba* sp. foi a que mais consumiu oxigênio (342,0 mg de oxigênio/g (PS) de detrito); as mineralizações de *S. cubensis* e de *E. azurea* apresentaram valores de consumo de oxigênio próximos (144,0 e 140,0 mg de oxigênio/g (PS) de detrito, respectivamente). Na mineralização da *Salvinia* sp. foram consumidos 185 mg de oxigênio/g (PS) de detrito. Os maiores coeficientes de consumo foram registrados nos frascos contendo *S. cubensis* e *E. azurea* (0,166 e 0,199 dia^{-1}). Para a mineralização da *Cabomba* sp. registrou-se o valor de 0,093 dia^{-1} e para a da *Salvinia* sp. o de 0,079 dia^{-1} . Comparando-se estes resultados com os obtidos por Cunha & Bianchini Jr. (1998b) e por Lemos & Bianchini Jr. (1998) nota-se que tanto os coeficientes de desoxigenação quanto os valores potencias de consumo apresentaram variações acentuadas, provavelmente em função do lote de detrito (composição química, estrutura etc.), das comunidades de microrganismos presentes, das concentrações de nutrientes e da temperatura. Entretanto, no geral, as diferenças de requerimento de oxigênio (L) entre *Scirpus* e *Cabomba* foram mantidas, cabendo as degradações deste último gênero às gerações das maiores demandas (Tabela 2). Os experimentos que envolveram a adição de nitrogênio e fósforo aos frascos com detritos de *S. cubensis* (Lemos, 1995; Lemos & Bianchini Jr., 1998), mostraram a importância das relações C/N nas definições das velocidades dos processos e nas relações estequiométricas (O/C). Em geral, sugeriram que o aumento da disponibilidade de nutrientes estimulou os processos de mineralização, no entanto, afetaram diferentemente a decomposição das frações particuladas e dissolvidas; sendo a MOP mais facilmente degradada sob concentrações mais elevadas de nutrientes que a MOD.

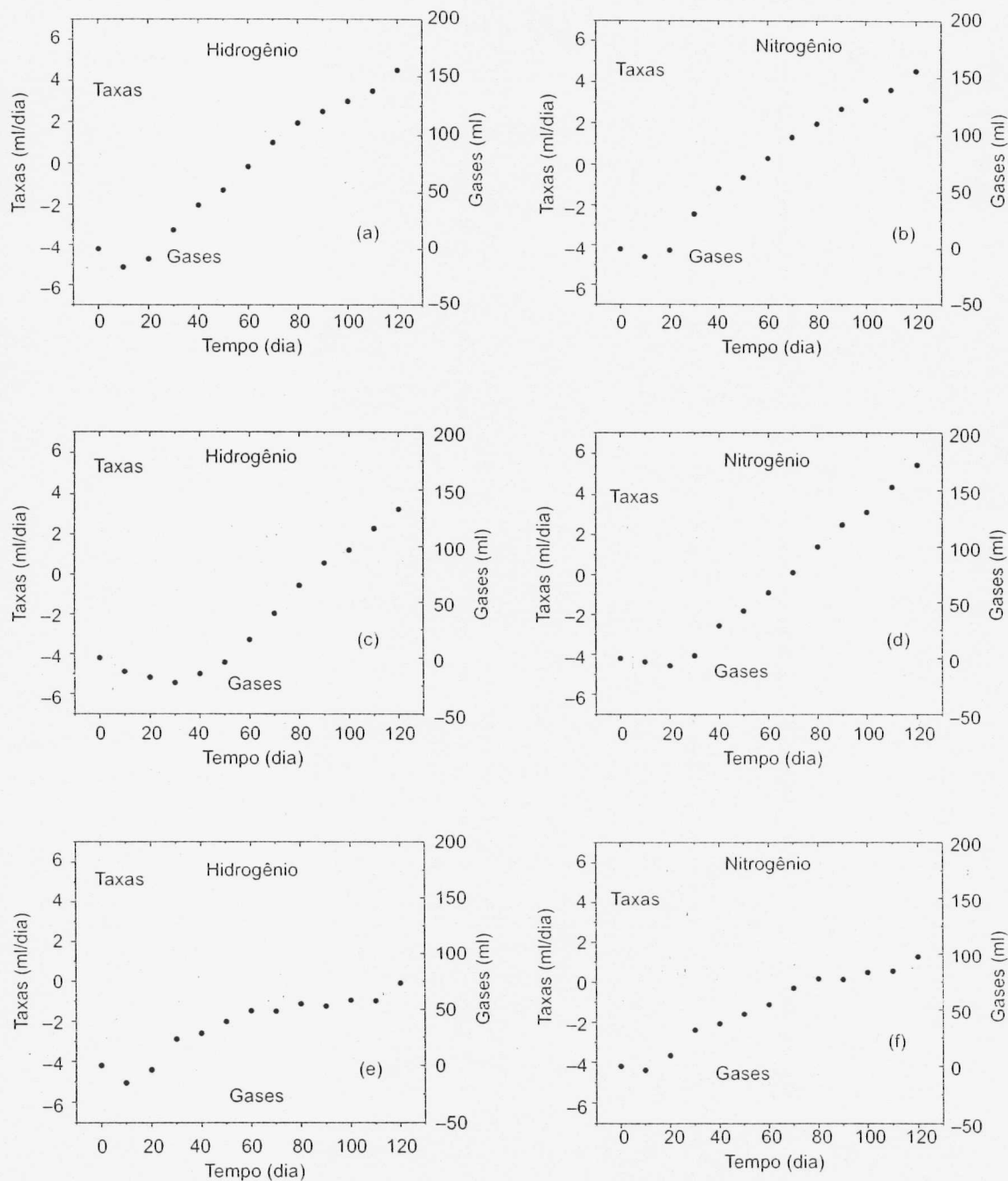


Figura 2 Variações das taxas de formação/consumo e dos volumes acumulados de gases na decomposição anaeróbia de *S. cubensis* (a, b), de *C. pithyensis* (c, d) e de *S. auriculata* (e, f), sob diferentes atmosferas (modificado de Campos Jr., 1998).

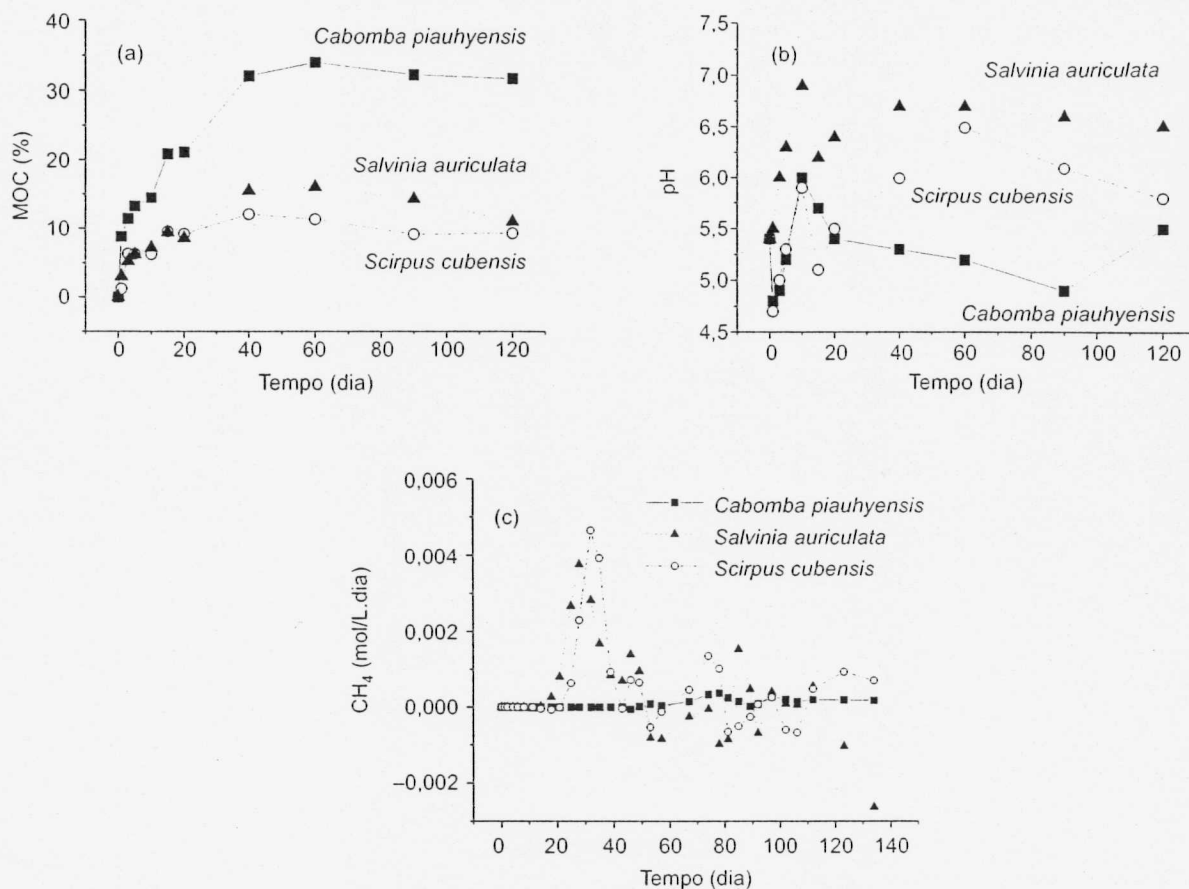


Figura 3 Variações temporais da matéria orgânica consumida (a), do pH (b) e das taxas de formação de metano (c) durante a mineralização anaeróbia de *C. piauhyensis*, *S. cubensis* e *S. auriculata*, em condições de laboratório (Bianchini Jr. *et al.*, 1998).

Tabela 2 Parâmetros cinéticos de consumo de oxigênio a partir da decomposição de macrófitas aquáticas da Lagoa do Infernã. Em que: L = quantidade máxima de oxigênio utilizado durante a decomposição; k_d = coeficiente global de consumo de oxigênio. Valores calculados a partir de ajustes (regressões não-lineares) dos resultados apresentados nas referências a um modelo cinético de 1ª ordem, similar ao representado pela Equação 2.

Recursos	L (mg/g)	k_d (dia ⁻¹)	Referências
<i>Scirpus cubensis</i>	144,0	0,166	Bitar (1995)
Conc. inicial de nitrato = 0 mg/L	160,9	0,011	Lemos & Bianchini Jr. (1998)
Conc. inicial de nitrato = 0,36 mg/L	198,1	0,009	Lemos & Bianchini Jr. (1998)
Conc. inicial de nitrato = 1,82 mg/L	164,9	0,012	Lemos & Bianchini Jr. (1998)
Conc. inicial de nitrato = 6,37 mg/L	184,8	0,011	Lemos & Bianchini Jr. (1998)
Conc. inicial de nitrato = 11,83 mg/L	228,8	0,008	Lemos & Bianchini Jr. (1998)
Conc. inicial de nitrato = 18,20 mg/L	216,6	0,008	Lemos & Bianchini Jr. (1998)
	24,4	2,204	Cunha & Bianchini Jr. (1998b)
<i>Cabomba</i> sp.	342,0	0,093	Bitar (1995)
<i>Cabomba piauhyensis</i>	339,0	0,097	Cunha & Bianchini Jr. (1998b)
<i>Salvinia</i> sp.	185,0	0,079	Bitar (1995)
<i>Eichornia azurea</i>	140,0	0,199	Bitar (1995)

Com base na abundância e ocorrência das espécies de macrófitas na Lagoa do Infernã, esses resultados sugerem que: i) a degradação da espécie mais freqüente e abundante (*S. cubensis*) gera pressões sobre o estoque de oxigênio dissolvido de modo e magnitude diferenciados. No primeiro deve contribuir para os déficits de oxigênio dissolvido da lagoa na época em que as taxas de senescência predominam sobre as de produção primária (provavelmente no outono e inverno). O segundo modo refere-se às demandas por oxigênio geradas pelos seus detritos nos sedimentos. Nesse caso, presume-se que as pressões sobre o estoque de oxigênio sejam sempre intensas ao longo do ano; ii) em comparação com o aporte de detritos gerados por *S. cubensis*, supõe-se que os das demais espécies devam possuir importância secundária, embora possam gerar maiores demandas de oxigênio em termos absolutos (oxigênio consumido/grama de detrito).

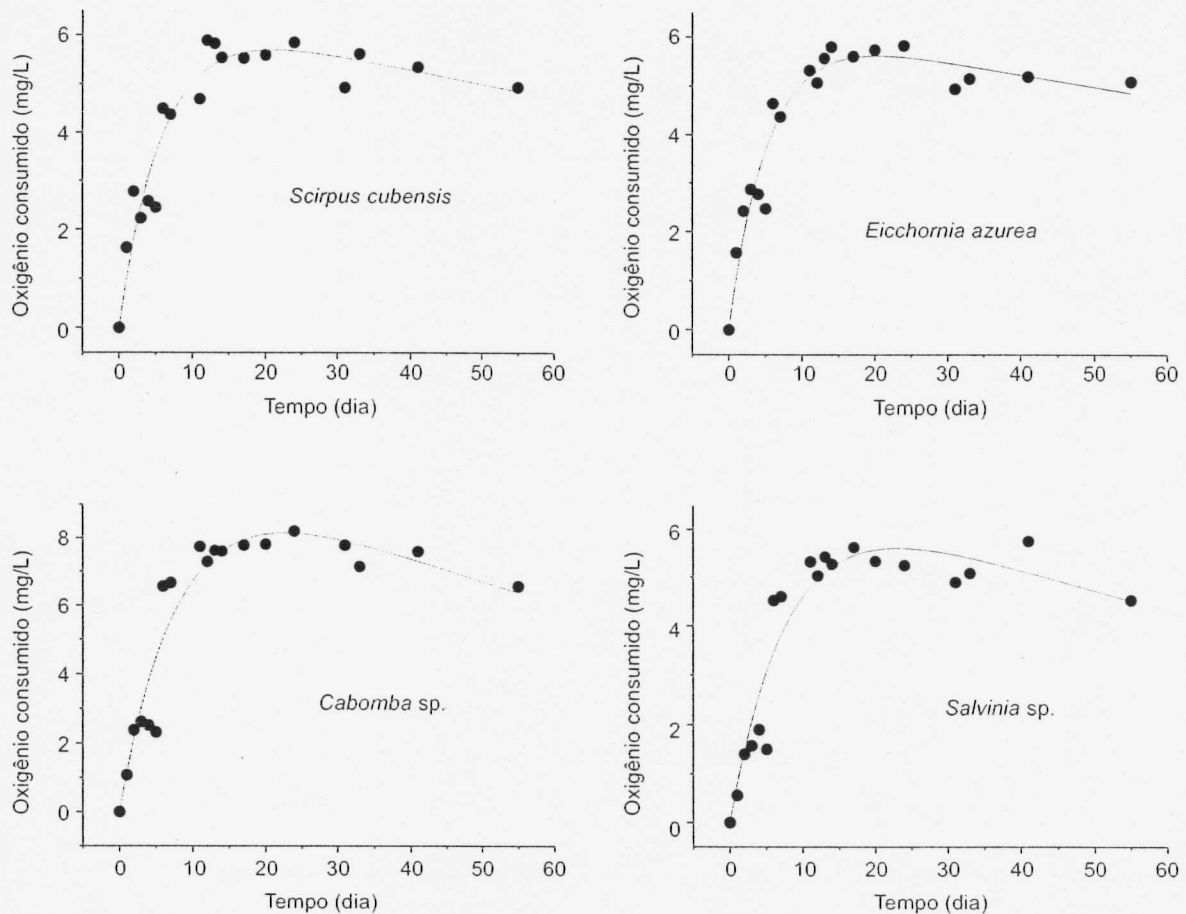


Figura 4 Consumo de oxigênio durante a mineralização de *S. cubensis*, *E. azurea*, *Cabomba* sp. e *Salvinia* sp. da Lagoa do Infernã (modificado de Bitar, 1995).

De modo geral, os experimentos desenvolvidos apontam para o desenvolvimento das seguintes atividades: i) intensificar os inventários taxonômicos das espécies de macrófitas; ii) descrever as variações das populações em função do tempo e do espaço; iii) identificar as variáveis responsáveis pelos processos de senescência (aporte de detritos) e descrevê-las temporalmente para as espécies mais abundantes; iv) incrementar os estudos *in situ* de degradação das plantas aquáticas e identificar os principais fatores condicionantes

envolvidos na ciclagem do carbono na Lagoa do Infernã; v) intensificar o desenvolvimento dos estudos de modelagem que envolvam o crescimento e senescência das plantas aquáticas. A partir da parametrização do modelo, do conhecimento das interações entre as taxas de reação com os fatores abióticos (temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, teores de nutrientes etc.) e das funções de força do ambiente (como: variações temporais de aporte de detritos, das vazões, da temperatura, dos teores de oxigênio dissolvido e de nutrientes) será possível avaliar com precisão e simular os processos de mineralização das plantas aquáticas. Será possível, ainda, quantificar o efeito da degradação desses organismos sobre algumas características químicas da água (por exemplo, balanço de oxigênio dissolvido) e dos sedimentos. Tomando a Lagoa do Infernã como modelo, com base nesses conhecimentos, será possível a otimização das atividades que visam os usos múltiplos de ambientes similares, sem que ocorram alterações drásticas nos ciclos biogeoquímicos em curso.

Conclusões

De modo geral, com base nos estudos desenvolvidos foi possível concluir que na Lagoa do Infernã: i) os processos de degradação das macrófitas aquáticas são predominantemente efetuados a partir das frações refratárias, contribuindo de forma efetiva para os processos de acúmulo de matéria orgânica particulada refratária nos sedimentos; ii) os processos aeróbios são mais rápidos, no entanto, os valores dos coeficientes de oxidação aeróbios e anaeróbios sugerem que nesse ambiente as ciclagens dos detritos possuam eficiências similares nessas duas condições; iii) sob condição anaeróbia, a composição dos detritos influencia a quantidade de gases produzidos (os detritos de *S. cubensis* geraram os maiores volumes, seguidos, em ordem decrescente, pelos de *C. piauhyensis* e de *Salvinia* sp.) e a qualidade da mistura gasosa (as taxas mais elevadas de formação de CH_4 foram obtidas a partir dos detritos de *S. cubensis*); iv) nos processos aeróbios o tipo de planta aquática (qualidade do detrito) e o estado trófico do ambiente influenciam as velocidades de desoxigenação e a quantidades de oxigênio envolvidas na decomposição. Entre os recursos em estudo, os detritos de *Cabomba* foram os que mais consumiram oxigênio.

Agradecimentos

O autor agradece à Fapesp pelo suporte financeiro dos estudos desenvolvidos no Laboratório de Bioensaios e Modelagem Matemática (processos nº 91/1303-3; 95/0119-8; 99/05170-2). Agradece também à Capes e ao CNPq, pelas bolsas de estudo concedidas.

Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, A. L. S., 1992, *Composição e Dinâmica da Matéria Orgânica na Planície de Inundação do Rio Mogi-Guaçu, Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 148p.
- ANTONIO, R. M., 1992, *Estimativa da Capacidade Heterotrófica de Ecossistemas Aquáticos*. Monografia, UFSCar, São Carlos, 30p.
- ANTONIO, R. M., 1996, *Estimativa da Capacidade Heterotrófica do Lago Infernã (Estação Ecológica de Jataí, SP)*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 82p.
- ANTONIO, R. M., BIANCHINI Jr., I. & de MOURA, L. E., 1996, Utilização de método manométrico para a estimativa da mineralização anaeróbia em ecossistemas aquáticos: I – Aspectos metodológicos. *Anais XI Simp. Nac. Fermentações*. UFSCar/SBM/ABEQ, São Carlos, SP, v. II, pp. 692-697.

- ANTONIO, R. M. & BIANCHINI Jr., I., 1999, Utilização de manométrico para a estimativa da mineralização anaeróbia em ecossistemas aquáticos: III Teste da quantidade inicial de sedimentos. *Acta Limnol. Brasil.*, 11(1).
- BALLESTER, M. V. R., 1994, *Dinâmica de Gases Biogênicos (CH_4 , O_2 e CO_2) em Ecossistemas Aquáticos da Planície de Inundação do Rio Mogi-Guaçu (Estação Ecológica de Jataí, São Paulo)*. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos, 169p.
- BIANCHINI Jr., I., ROCHA, M. G. B. & TOLEDO, A. P. P., 1988, Estudo do fluxo de detritos a partir da decomposição de macrófitas aquáticas na Represa do Lobo (BROA) – *Nymphoides indica*. Limnologia e Manejo de Represas. Série: *Monografias em Limnologia*. Ed. J. G. Tundisi. EESC-USP/CRHEA/ACIESP, v. I (Tomo 1: 506p.), pp.118-138.
- BIANCHINI Jr., I., 1994, *Estudo da Dinâmica de Detritos do Lago Infernã: Modelo Cinético da Decomposição de Scirpus cubensis*. UFSCar, São Carlos, 92p. (2º Relatório Técnico, Proc. Fapesp nº 91/1301-3).
- BIANCHINI Jr., I., ANTONIO, R. G., MOURA, L. F., 1996, Utilização de método manométrico para estimativa da mineralização anaeróbia em ecossistemas aquáticos: aspectos cinéticos. *Anais XI Simp. Nac. de Fermentações*. UFSCar/SBM/ABEQ, São Carlos, SP, v. I, pp.416-421.
- BIANCHINI Jr., I. & TOLEDO, A. P. P., 1996, Estudo da mineralização de *Eleocharis mutata*. *An. Anais VII Sem. Reg. Ecol.* UFSCar, v. I, pp.57-72, São Carlos, SP.
- BIANCHINI Jr., I., ANTONIO, R. M. & de MOURA L. F., 1997, On the manometric method for estimating the anaerobic mineralization in aquatic ecosystems: kinetic and methodological aspects. *Rev. Microbiol.*, São Paulo, 28 (Suppl.): 83-90.
- BIANCHINI Jr., I., 1997, The degradation process of organic matter in reservoir. *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. L. P. Rosa & M. A. dos Santos (eds.), pp. 6-27. COOPE Report. Tecnologia ed, Rio de Janeiro.
- BIANCHINI Jr., I., GIANOTTI, E. P., CUNHA, M. B. & SILVA, E. L., 1998, Degradação anaeróbia de macrófitas aquáticas: metanogênese. *Anais XII Simp. Nac. de Fermentações*, 1-CDROM, Uberlândia, MG.
- BIANCHINI Jr., I. & TOLEDO, A. P. P., 1998, Estudo da mineralização de *Nymphoides indica*. *Anais VIII Sem. Reg. Ecol.* v. III: 1315-1329 p., UFSCar, São Carlos, SP.
- BIANCHINI Jr., I., 1999, Aspectos do processo de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais. M. L. M. Pompêo (ed.), *Perspectivas da Limnologia no Brasil*. Gráfica e Editora União, São Luís, pp. 21-44.
- BIANCHINI Jr., I. & ROCHA, M. G. B. (em prep.), Simulation of *Scirpus cubensis* detritus cycling in the Lagoa do Infernã (SP, Brazil).
- BITAR, A. L., 1995, *Contribuição para o Estudo dos Processos de Mineralização em Sistemas Aquáticos*. Monografia, UFSCar, São Carlos, 47p.
- BOYD, C. E., 1978, Chemical composition of wetlands plants. *Freshwater wetlands*, Academic Press, New York, pp. 395-468.
- CAMPOS Jr., J. J. F. & BIANCHINI Jr., I., 1998, Liberação de gases durante a decomposição anaeróbia de três espécies de macrófitas aquáticas. *Anais VIII Sem. Reg. Ecol.* v. III, pp. 1289-1300, UFSCar, São Carlos, SP.
- CAMPOS Jr., J. J. F., 1998, *Contribuição ao estudo da decomposição de macrófitas aquáticas da Lagoa do Infernã: processo anaeróbio*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 130p.
- CARLOS, V. M., 1991, *Aspectos Ecológicos da Associação Vegetal de Scirpus cubensis na Lagoa do Infernã – SP*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 125p.
- COUTINHO, M. E., 1989, *Ecologia Populacional de Eichhornia azurea Kunth e sua participação na Dinâmica da Vegetação Aquática da Lagoa do Infernã*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 143p.

- CUNHA, M. B., 1996, *Ensaio de Humificação e Mineralização de Scirpus cubensis e Cabomba piauhyensis*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 68p.
- CUNHA, M. B. & BIANCHINI Jr., I., 1998a, Mineralização de carboidratos dos detritos de duas espécies de macrófitas aquáticas. *Anais VIII Sem. Reg. Ecol.* v. III, pp. 1301-1314, UFSCar, São Carlos, SP.
- CUNHA, M. B. & BIANCHINI Jr., I., 1998b, Mineralização aeróbia de *Cabomba piauhyensis* e *Scirpus cubensis*. *Acta Limnol. Brasil.*, 10(1): 81-91.
- CUNHA, M. B. & BIANCHINI Jr., I., 1998c, Cinéticas de mineralização aeróbia de celulose e lignina durante a degradação de *Cabomba piauhyensis* e *Scirpus cubensis*. *Acta Limnol. Brasil.*, 10(2): 59-69.
- CUNHA, M. B., 1999, *Mineralização de Compostos Húmicos da Lagoa do Infernã (Luiz Antônio, SP)*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 141p.
- CUNHA-SANTINO, M. B. & BIANCHINI Jr., I., 2000, Decomposição aeróbia e anaeróbia de *Salvinia auriculata* Aubl. da Lagoa do Infernã. (Referência do livro.)
- FERESIN, E. G., 1994, *Produção de Carbono Orgânico via Fitoplâncton e Bacterioplâncton em duas lagoas da Planície de Inundação do Rio Mogi-Guaçu (Estação Ecológica de Jataí, SP)*. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos, 108p.
- GATTI, L. V., 1997, *Distribuição de Metais em Testemunhos de Sedimentos de Duas Lagoas Marginais do Rio Mogi-Guaçu (E. E. de Jataí, Luiz Antônio, SP)*. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos, 146p.
- GIANOTTI, E. P., 1994, *Desnitrificação em uma Lagoa Marginal do Rio Mogi-Guaçu, Lagoa do Infernã (Estação Ecológica de Jataí, Município de Luiz Antônio, SP)*. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos, 298p.
- GOLDSTEIN, I. S., 1981, *Organic Chemical from Biomass*. CRC Press, Boca Raton.
- HOWARD-WILLIAMS, C., ESTEVES, F. A., dos SANTOS, J. E. & DOWNES, M. T., 1989, Short term nitrogen dynamics in a small Brazilian wetland (Lago Infernã, São Paulo). *J. of Trop. Ecol.*, 5: 323-335.
- HUTCHINSON, G. E., 1975, *A Treatise on Limnology: Limnological Botany*, v.3. Wiley, New York, 660p.
- JENKINSON, D. S., 1977, Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ^{14}C -labelled ryegrass. *J. Soil Sci.*, 19: 25-39.
- LEMO, R. M. A., 1995, *Ensaio de Decomposição de Nephrocistium lunatum W. West (Chlorophyceae) e de Scirpus cubensis Poepp & Kunth (Cyperaceae) da Lagoa do Infernã*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 169p.
- LEMO, R. M. A. & BIANCHINI Jr., I., 1998, Decomposição de *Scirpus cubensis* Poepp & Kunth da lagoa do Infernã (SP): I Efeito do teor de nitrogênio e da quantidade de matéria orgânica. *Anais VIII Sem. Reg. Ecol.* v. III, pp. 1271-1287, UFSCar, São Carlos, SP.
- LEMO, R. M. A., BIANCHINI Jr., I. & MAURO, J. B. N., 1998, Decomposition kinetics of aquatic macrophyte *Scirpus cubensis* under the influence of dissolved phosphate levels. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*, 51(3): 28-31.
- LOBO, I., 1997, *Uso de Traçadores Químicos e Isotópicos no Estudo Paleoambiental da Lagoa do Infernã: Uma Lagoa Marginal do Rio Mogi-Guaçu, E. E. de Jataí, Luiz Antônio (SP)*. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos, 116p.
- LOUSIER, J. D. & PARKINSON, D., 1976, Litter decomposition in a cool temperate deciduous forest. *Can. J. Bot.*, 54: 419-436.
- MINDERMAN, G., 1968, Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. *J. Ecol.*, 56: 355-562.
- MOZETO, A. A. L. ESTEVES, F. A., 1986, Ecologia de lagoas marginais. *Ciênc. Hoje*, 5:73

- NOGUEIRA, F. M. B., 1989, *Importância das Macrófitas Aquáticas Eichhornia azurea e Scirpus cubensis na Ciclagem de Nutrientes e nas Principais Características Limnológicas da Lagoa do Infernã (SP)*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 147p.
- dos SANTOS, J. E., MOZETO, A. A. & GALETTI Jr., P., 1989, *Caracterização preliminar da Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio) Lagoas marginais do Rio Mogi-Guaçu: Avaliação ambiental e papel ecológico*. UFSCar/FINEP/SEMA(SP)/DPRN/IE, São Carlos, 50p. (Relatório Técnico).
- dos SANTOS J. E. & MOZETO, A. A., 1992, *Programa de análise de ecossistemas e monitoramento ambiental: Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio, SP)*. Ecologia de áreas alagáveis da planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu – Projeto Jataí. UFSCar-PPGERN, São Carlos, 59p. (Relatório Técnico).
- SWIFT, M. J., HEAL, D. W. & ANDERSON, J. M., 1979, *Studies in Ecology-Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell, Oxford, 372p.
- WETZEL, R. G., 1983, *Limnology*. Saunders, Philadelphia, 767p.

Estudos Integrados em Ecossistemas. Estação Ecológica de Jataí (2000). Volume 2.

Santos, J. E. & Pires, J. S. R. (Eds). São Carlos: Rima (ISBN 85-86522-11-9)