

DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DE *CABOMBA PIAUHYENSIS* E *SCIRPUS CUBENSIS*: CINÉTICAS DE FORMAÇÃO DE GASES

CUNHA, M.B.* & BIANCHINI-JÚNIOR, I.**

* Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Universidade Federal de São Carlos - Via Washington Luiz, km 235
13565-905 São Carlos, SP, Brasil.

** Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Hidrobiologia
Via Washington Luiz, km 235 - 13565-905 - São Carlos, SP, Brasil.

RESUMO: Degradação anaeróbica de *Cabomba piauhyensis* e *Scirpus cubensis*: cinéticas de formação de gases. Comparam-se as cinéticas de formação de gases durante a degradação anaeróbica de duas espécies de macrófitas aquáticas: *Scirpus cubensis* e *Cabomba piauhyensis*. Para cada espécie, montou-se uma câmara de decomposição constituída de fragmentos de planta e amostra de água da Lagoa do Infernã, na proporção de 3g PS de planta para cada litro de água. Para estimativa da liberação de gases, utilizou-se o método manométrico. Os resultados permitiram observar que houve maior liberação de gases durante a decomposição anaeróbica da *C. piauhyensis* (213,1ml), com relação à observada para a *S. cubensis* (36,9ml). No entanto, verificou-se que os coeficientes de formação de gases foram praticamente iguais para as duas espécies.

Palavras-chave: gases, *Cabomba piauhyensis*, *Scirpus cubensis*, decomposição anaeróbica, mineralização, macrófitas aquáticas.

ABSTRACT: Anaerobic decay of *Cabomba piauhyensis* and *Scirpus cubensis*: kinetics of gas formation. Paper describes the anaerobic gas formation derived from degradation of two species of aquatic macrophytes: *Cabomba piauhyensis* and *Scirpus cubensis*. For each species, one decomposition chamber was prepared. Each flask had 3g of dried plant and one liter of water from Infernã Lagoon. Gas formation rates were measured using manometric method. Results shown that in the *C. piauhyensis* (213.1ml) chamber, volume of released gas was higher than in the *S. cubensis* (36.9ml). It was also noticed that gas formation rates were similar during decomposition of both species.

Key-words: gas formation, *Cabomba piauhyensis*, *Scirpus cubensis*, anaerobic decomposition, aquatic macrophytes.

INTRODUÇÃO

Sob condições aeróbias, nas reações bioquímicas dos microrganismos, o oxigênio atua como receptor universal de hidrogênio. Por outro lado, sob condições anaeróbias, este processo torna-se mais complexo, pois várias outras substâncias, inclusive compostos do metabolismo intermediário, transformam-se em receptores de hidrogênio. Desta forma, freqüentemente, o mesmo composto atua como receptor ou doador de hidrogênio dependendo das condições ambientais (Wetzel, 1983).

Os principais produtos da mineralização aeróbia dos detritos orgânicos são: dióxido de carbono, água, biomassa microbiana (células) e compostos húmicos. Na ausência de oxigênio, o carbono não é metabolizado por completo, acumulando-se na forma de compostos intermediários. Nesta condição são, em geral, produzidas grandes quantidades de metano e pequenas de hidrogênio (Alexander, 1977). É comum, ainda, formação de nitrogênio molecular, gás sulfídrico e mercaptanos (Sorokin & Kadota, 1972; Davis & Cornwell, 1991).

Os substratos para os organismos anaeróbios são mais restritos do que para os aeróbios. A completa oxidação destes substratos requer uma série de etapas e combinação de atividades de uma variedade de bactérias, dentre as quais incluem-se as fermentadoras, as nitrato redutoras, as sulfato redutoras e as metanogênicas (Capone & Bauer, 1992).

As bactérias produtoras de metano são estritamente anaeróbias e distribuem-se em quatro gêneros principais: *Methanococcus*, *Methanobacillus*, *Methanobacterium* e *Methanosarcina*. Sob condições anaeróbias, a degradação de grande parte da matéria orgânica detrital pode ocorrer através da metanogênese. Neste processo, a matéria orgânica é convertida em metano e dióxido de carbono em dois estágios dos quais, no primeiro, atuam vários tipos heterogêneos de bactérias anaeróbias (facultativas e obrigatórias), que são agrupadas sob a denominação de bactérias formadoras de ácidos. Por hidrólise enzimática, estas bactérias convertem as proteínas em polipeptídeos e depois em aminoácidos simples, os carboidratos em açúcares e as gorduras em glicerol. Aminoácidos, açúcares e glicerol formados por hidrólise são solúveis em água e transformados em ácidos orgânicos através da fermentação. Assim, as bactérias metanogênicas utilizam estes ácidos orgânicos convertendo-os em dióxido de carbono e metano. Alguns álcoois derivados da fermentação de carboidratos podem ser convertidos em metano e dióxido de carbono por meio das bactérias metanogênicas (Alexander, 1977; Winter & Wolfe, 1979; Wetzel, 1983).

De modo geral, no primeiro estágio, o dióxido de carbono atua como receptor de hidrogênio, sendo reduzido a metano por adição do hidrogênio derivado dos ácidos orgânicos. No segundo estágio, o ácido acético, que é o principal produto intermediário produzido pela fermentação, é convertido em dióxido de carbono e metano.

O metano é, do ponto de vista biológico, único entre os hidrocarbonetos gasosos, por ser o único gás produzido em larga escala através da ação microbiológica; e também por ser metabolizado por microrganismos que não de-

gradam grandes moléculas de hidrocarbonetos (Alexander, 1977).

Assim sendo, este trabalho tem por meta quantificar os processos de formação de gases decorrentes da degradação anaeróbia de duas espécies de macrófitas aquáticas, além de descrever e discutir aspectos de suas cinéticas de formação. O trabalho faz parte de um programa (Projeto Jataí) que visa, dentre outros objetivos, descrever a estrutura e função das lagoas marginais da planície de inundação do rio Moji Guaçu, no estado de São Paulo.

MATERIAIS E MÉTODOS

As macrófitas aquáticas utilizadas neste estudo foram *Scirpus cubensis* Poepp & Kunth e *Cabomba piauiensis* Gardn. coletadas em uma lagoa marginal do rio Moji Guaçu, a Lagoa do Infernã, estado de São Paulo (21° 35' S e 47° 51' W). Após coleta, para remoção do perifíton, das partículas de sedimentos e dos detritos aderidos, as plantas foram lavadas no local com água da própria lagoa. Foram levadas ao laboratório onde foram novamente lavadas com água corrente e, em seguida, secas em estufa (45°C) até peso constante.

Para acompanhamento dos processos de formação de gases durante a degradação anaeróbia das plantas foi montada, para cada espécie, uma câmara de decomposição. Estas câmaras foram feitas pela adição de fragmentos de *Scirpus cubensis* e *Cabomba piauiensis* em amostra de água da Lagoa do Infernã previamente filtrada em lâ de vidro. As adições foram providenciadas na proporção de 3g PS de planta para cada litro de água. Durante quatro meses foram quantificados, diariamente, os volumes de gases e a temperatura. Para estimativa da liberação de gases, utilizou-se o método manométrico sugerido por Sorokin & Kadota (1972), Antonio *et al.* (1996) e Bianchini-Júnior *et al.* (1996). A temperatura foi determinada através de termômetro de mercúrio.

Ao final do experimento, as câmaras foram desmontadas e a matéria orgânica particulada (MOP) separada da matéria dissolvida (MOD) por filtração em rede de 'nylon' (0,4mm de diâmetro de poro) e, posteriormente, por centrifugação (1h e 978,2g). As amostras de MOP (fragmentos de planta e detritos) foram secas em estufa (45°C) até obtenção de peso constante, sendo a massa final determinada por gravimetria. As composições elementares (C, N e H) das amostras de MOP foram determinadas por cromatografia gasosa (EAGER - 1108) em coluna empacotada e detetor de condutividade térmica.

Para estimar os volumes de gases formados, utilizou-se o modelo sigmoidal (equação 1), isso é, um modelo cinético de primeira ordem. Este modelo é normalmente empregado para descrever o crescimento de populações em ambientes confinados (Krebs, 1972; Wetzel, 1983). Em termos cinéticos, tal modelo admite que as taxas de reação dependem das concentrações dos reagentes e dos produtos.

A fig. 1C-D permite observar as taxas diárias da evolução (formação ou assimilação) dos gases gerados durante os processos de decomposição das macrófitas aquáticas. De modo geral, estas variações sugerem que os processos foram compostos por três etapas distintas, conforme foi observado por Bianchini-Júnior *et al.*

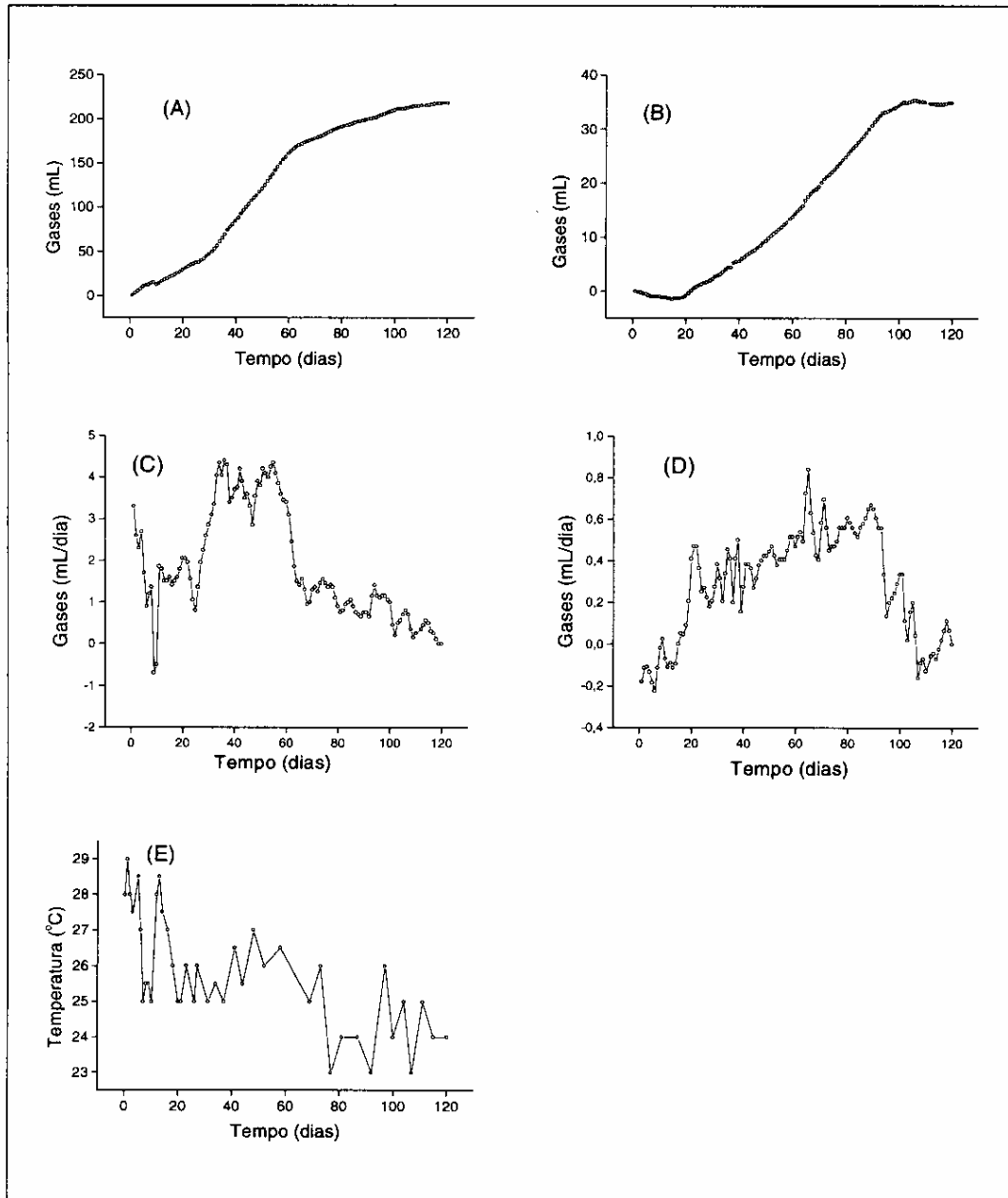


Figura 1. Volumes acumulados de gases (ml) e variações temporais das taxas de formação (ml.dia⁻¹) no decorrer da degradação anaeróbica de *Cabomba piauhyensis* (A e C) e *Scirpus cubensis* (B e D) em condições de laboratório. Variação da temperatura

(1996) em experimentos semelhantes. No início do processo de degradação de *C. piauhyensis* (dias 0 a 31), observou-se decréscimo gradual das taxas sugerindo uma provável adaptação dos microrganismos, na qual os processos de mineralização predominaram sob a ação intensa dos processos de assimilação. No entanto, em duas ocasiões foi possível observar que os processos de assimilação biológica dos gases (imobilização) e solubilização foram maiores do que os de formação (expressos como valores negativos das taxas). Na segunda etapa (dias 31 a 55), foi possível observar a ocorrência de um patamar de taxas máximas de formação de gases decorrentes, provavelmente, do forte predomínio dos processos de mineralização. Na terceira etapa (dias 55 a 120), observou-se tendência à diminuição contínua das taxas de mineralização até o final do experimento, período no qual as taxas de consumo de gases (solubilização + assimilação biológica) foram equivalentes ou excederam as de formação (Fig. 1C).

Observou-se em *S. cubensis*, no início do experimento, ocorrência de taxas negativas de formação de gases, ou seja, predomínio dos processos de assimilação de gases sobre os de formação. Assim como para a *C. piauhyensis*, a segunda etapa caracterizou-se pelo amplo predomínio dos processos de formação de gases. As taxas máximas foram observadas entre, aproximadamente, o 30º e 70º dia. Na terceira etapa, o processo de formação de gases apresentou diminuição contínua de suas taxas até o final do experimento (Fig. 1D).

Independente do tipo de detrito, supõe-se que a ocorrência da diminuição das taxas de formação de gases (3ª etapa) se relacione, principalmente, com a exaustão dos compostos lábeis (particulados e dissolvidos) restando, assim, nesta fase, somente remanescentes refratários de difícil degradação. Outra possibilidade poderia decorrer da equivalência entre as taxas de mineralização e as de imobilização.

Conforme constatado, as formações dos vários gases liberados pelos organismos que atuaram no processo de degradação da matéria orgânica predominaram durante a segunda etapa do processo. Segundo Ballester (1994), em condições anaeróbias os principais gases formados são: (1) dióxido de carbono, decorrente dos processos de desnitrificação e de redução de sulfatos; (2) metano, formado através da metanogênese; e (3) nitrogênio molecular, decorrente da desnitrificação. Segundo Bianchini-Júnior *et al.* (1996), ocorrência de descontinuidades durante o processo de acúmulo de gases sugere que, em termos cinéticos, houve sucessão na formação de gases predominando, portanto, as cinéticas de reações simultâneas e consecutivas em detrimento das de reações paralelas.

A fig. 2 apresenta os modelos cinéticos globais dos processos de decomposição anaeróbia de *C. piauhyensis* e *S. cubensis*, respectivamente. Para tanto, admitiu-se que os processos de degradação destas espécies ocorram segundo reações cinéticas de primeira ordem, a exemplo dos mecanismos sugeridos por Bianchini-Júnior (1985) e Bianchini-Júnior & Toledo (1996). Com base em experimentos de decomposição aeróbia destes mesmas espécies de macrófitas aquáticas realizados por Cunha (1996), admitiu-se que o coeficiente de perda de massa

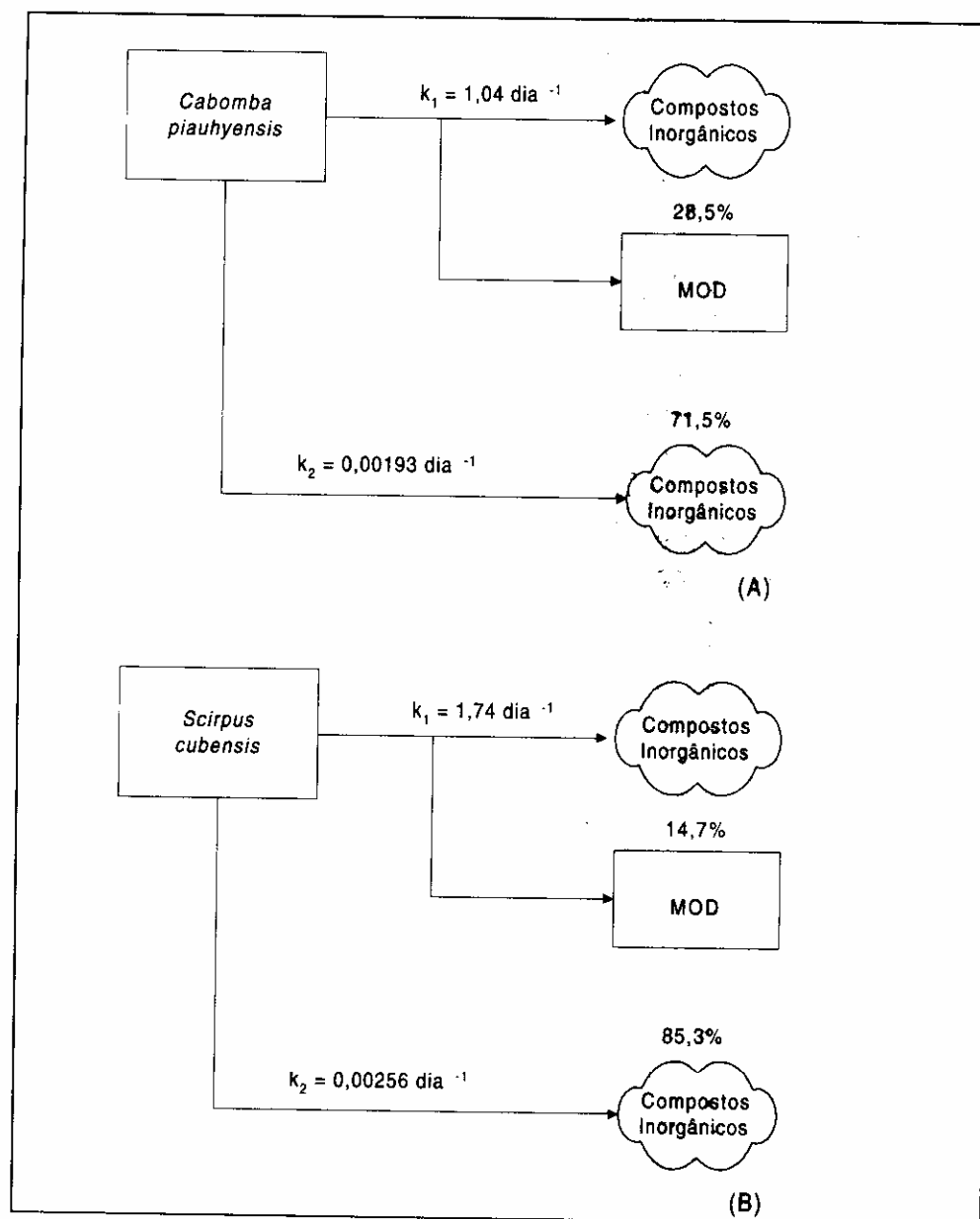


Figura 2. Cinéticas dos processos de decomposição anaeróbica de *Cabomba piauhyensis* (A) e *Scirpus cubensis* (B), onde k_1 = coeficiente global de decaimento das frações lábeis/solúveis (processo de mineralização dos compostos lábeis + processo de lixiviação) e k_2 = coeficiente de mineralização das frações refratárias.

devido à lixiviação/oxidação das frações protoplasmáticas de *C. piauhyensis* foi $1,04\text{dia}^{-1}$, ou seja, cerca de 60% menor do que ocorreu na decomposição de *S. cubensis* ($1,74\text{dia}^{-1}$).

Uma vez que o conteúdo de frações solúveis/lábeis dos detritos decorre, basicamente, da composição química do recurso, a exemplo do ocorrido em con-

dições aeróbias (Cunha, 1996), admite-se que a lixiviação/oxidação das frações lábeis tenha sido responsável pelo rápido decaimento de 28,5% da MOP de *C. piauihyensis*, os quais foram rapidamente mineralizados e/ou lixiviados formando MOD. Com base nas mesmas premissas, supõe-se que na degradação de *S. cubensis* 14,7% da massa do detrito tenha sido rapidamente perdida por lixiviação e mineralização das frações lábeis. Neste caso, comparando-se os processos de perda de massa presume-se que a fase rápida do decaimento de *C. piauihyensis* envolveu uma quantidade de detritos correspondente ao dobro da apresentada por *S. cubensis*, sugerindo maior refratibilidade dos componentes estruturais dos tecidos desta última. Assim, admitiu-se que as frações refratárias de MOP referentes a *C. piauihyensis* e *S. cubensis* correspondem, respectivamente, à 71,5% e 85,3%. Ajustando-se os resultados de perda de massa das frações refratárias dos detritos, é possível inferir que estas espécies de macrófitas aquáticas apresentaram coeficientes de mineralização similares ($k_2 \gg 0,002\text{dia}^{-1}$), que corresponderia a um período de meia vida da ordem de 346 dias. Tal similaridade talvez tenha influenciado na ocorrência de coeficientes de formação de gases similares, ao mesmo tempo que é provável que o teor de compostos lábeis tenha influenciado no volume final dos gases (produção).

A Figura 3 apresenta as variações dos teores de hidrogênio (A), carbono (B) e nitrogênio (C) remanescentes e consumidos nos detritos particulados (dia 120) de *S. cubensis* e *C. piauihyensis*. No início do experimento, os fragmentos de *C. piauihyensis* continham $H = 5,7\text{mg.g}^{-1}$, $C = 41,7\text{mg.g}^{-1}$ e $N = 1,25\text{mg.g}^{-1}$; e os de *S. cubensis* $H = 5,4\text{mg.g}^{-1}$, $C = 39,7\text{mg.g}^{-1}$ e $N = 1,21\text{mg.g}^{-1}$. Com base nestes resultados, observou-se que durante o processo de degradação anaeróbia a quantidade de hidrogênio consumida (lixiviada + formação de gases) por *S. cubensis* e *C. piauihyensis* equívalem-se (aproximadamente 35%). O teor de carbono consumido por *C. piauihyensis* (37,8%) foi 1,5 vez maior em relação ao consumido por *S. cubensis* (25%). As diferenças observadas no consumo de carbono resultaram, provavelmente, das características estruturais dos tecidos, tais como os maiores teores de lignina e celulose na biomassa de *S. cubensis* (Cunha & Bianchini-Júnior, 1998).

Nos detritos de *S. cubensis*, o teor de nitrogênio remanescente constituiu 32% do inicial. Em contrapartida, no final do experimento, os detritos de *C. piauihyensis* apresentaram um incremento de 49% deste elemento. Estes resultados sugerem que nos detritos de *S. cubensis* as taxas de perda de nitrogênio (transferências para microrganismos, formação de gases e dissolução) excederam as de fixação por meio das comunidades agregadas. Nos detritos de *C. piauihyensis* ocorreu, provavelmente, o processo inverso.

Com base nos pressupostos cinéticos anteriormente admitidos, de que os coeficientes de decaimento dos processos rápidos (k_1) e os teores das frações lábeis e refratárias independem da presença de oxigênio, mas dependem das características químicas dos detritos, foi possível estimar, para *C. piauihyensis*, os

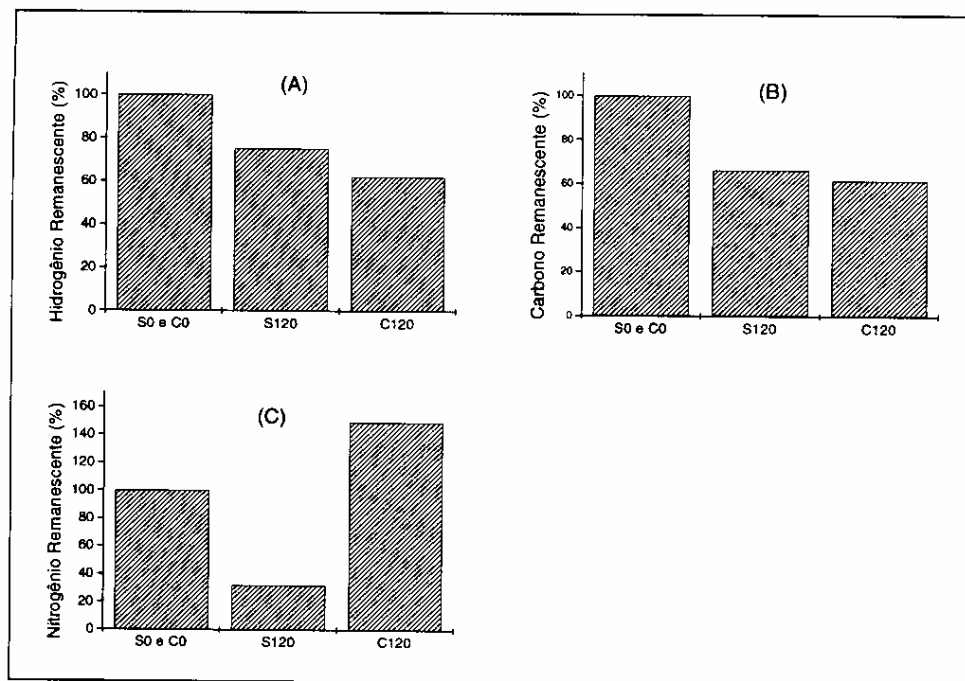


Figura 3. Teores iniciais e finais de hidrogênio (A), carbono (B) e nitrogênio (C) dos detritos particulados de *S. cubensis* e *C. piauhyensis*, onde S_0 e C_0 = teor inicial do elemento em *S. cubensis* e *C. piauhyensis*, respectivamente; S_{120} e C_{120} = teor do elemento no final do experimento em *S. cubensis* e *C. piauhyensis*, respectivamente (dia 120).

seguintes coeficientes de decaimento: carbono = $0,0026\text{dia}^{-1}$, hidrogênio = $0,0029\text{dia}^{-1}$ e nitrogênio = $-0,012\text{dia}^{-1}$; e para *S. cubensis* os seguintes valores: carbono = $-0,0004\text{dia}^{-1}$, hidrogênio = $0,0006\text{dia}^{-1}$ e nitrogênio = $0,0067\text{dia}^{-1}$. Verificou-se que durante a degradação anaeróbia as frações refratárias dos detritos de *C. piauhyensis* perderam carbono e hidrogênio, no entanto, enriqueceram-se de nitrogênio. O material refratário dos detritos de *S. cubensis* tendeu a enriquecer em carbono e perdeu nitrogênio e hidrogênio, contudo, sob taxas bastante reduzidas. Estes resultados indicam que embora os detritos refratários tenham apresentado coeficientes de decaimento próximos, as perdas de massa destes detritos ocorreram por caminhos diferentes.

CONCLUSÕES

Com base nos procedimentos experimentais adotados, concluiu-se que: (1) houve maior liberação de gases durante a decomposição anaeróbia de *C. piauhyensis* (213,1ml) em relação à observada para *S. cubensis* (36,9ml); (2) na decomposição das duas espécies de macrófitas aquáticas, houve semelhança nos coeficientes de

formação de gases ($\approx 0,07 \text{ dia}^{-1}$) e nos coeficientes globais de mineralização das frações refratárias dos detritos ($\approx 0,002 \text{ dia}^{-1}$). No entanto, tomando como base o carbono, o hidrogênio e o nitrogênio, notou-se que os processos envolvidos com as perdas de massa de cada tipo de detrito podem ser distintos; e (3) os processos de formação de gases a partir da decomposição de *S. cubensis* foram mais sensíveis às alterações da temperatura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Proc. n°: 95/0119-8), pelo financiamento parcial deste estudo; ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa de estudo (PIBIC-UFSCar); e ao Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos, pela realização das análises elementares.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Alexander, M. 1977. Introduction of soil microbiology. John Wiley & Sons, New York. 467p.
- Antonio, R.M. 1996. Estimativa da capacidade heterotrófica do lago Infernã (Estação Ecológica de Jataí, SP). São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 82p (Dissertação).
- Antonio, R.M., Bianchini Júnior, I. & de Moura, L.F. 1996. Utilização de método manométrico para estimativa da mineralização anaeróbia em ecossistemas aquáticos: 1. aspectos metodológicos. In: Anais do XI Simpósio Nacional Ferm., 2: 692-697.
- 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). São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 169p (Tese)
- Bianchini Júnior, I. 1985. Estudos dos processos de humificação de *Nymphoides indica* (L.) O. Kuntze. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 285p (Tese)
- Bianchini Júnior, I. & Toledo, A.P.P. 1996. Estudo da mineralização de *Eleocharis mutata*. In: Anais VII Seminário Regional de Ecologia de São Carlos. p. 57-72.
- Bianchini Júnior, I., Antonio, R.M. & de Moura, L.F. 1996. Utilização de método manométrico para estimativa da mineralização anaeróbia em ecossistemas aquáticos: 2, aspectos cinéticos. In: An. XI, Simp. Nac. Ferm. 1: 416-421.
- Campos Jr., J.J.F. & Bianchini Júnior, I. 1998. Liberação de gases durante a decomposição anaeróbia de três espécies de macrófitas aquáticas. In: Anais VIII Seminário Regional de Ecologia de São Carlos. p. 1289-1300.
- Capone, D.G. & Bauer, J.E. 1992. Microbial processes in coastal pollution. In: Mitchell, R. (ed.) Environmental Microbiology. Wiley-Liss, New York. p. 191-236.

- Characklis, W.G. 1990. Kinetics of microbial transformations. In: Characklis, W.G. & Marshall, K.C. (eds.) Biofilms. John Wiley & Sons, New York. p. 233-264.
- Cunha, M.B. 1996. Ensaio de humificação e mineralização de *Scirpus cubensis* e *Cabomba piauhyensis*. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 68p (Monografia de Conclusão de Curso)
- Cunha, M.B. & Bianchini Júnior, I. 1998. Cinéticas de mineralização aeróbia de celulose e lignina durante a degradação de *Cabomba piauhyensis* e *Scirpus cubensis*. Acta Limnol. Bras., 10: 59-69.
- Davis, M.L. & Cornwell, D.A. 1991. Introduction to environmental engineering. McGraw-Hill, New York. 822p.
- Dias Júnior, C. 1990. Ciclo anual do fitoplâncton e algumas variáveis ambientais na Lagoa do Infernã (SP). São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 108p (Dissertação)
- Feresin, E.G. 1991. Nitrificação em uma lagoa marginal do rio Mogi-Guaçu (Lagoa do Infernã, Estação Ecológica do Jataí - Luiz Antônio, SP). São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 69p (Dissertação)
- Gianotti, E.P. 1994. Desnitrificação em uma lagoa marginal do rio Mogi-Guaçu, Lagoa do Infernã (Estação Ecológica do Jataí - Município de Luiz Antônio - SP). São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 298p (Tese).
- Krebs, C. J. 1972. Ecology: the Experimental Analysis of Distribution and Abundance. Harper Intertn, Harper & Row Po. 694p.
- Sorokin, Y. I. & Kadota, H. 1972. Techniques for the assessment of microbial production and decomposition in fresh water. Blackwell, Oxford. 112p. (IBP n° 23).
- Swift, M. J., Heal, D. W., Anderson, J. M. 1979. Studies in Ecology. Decompositions in Terrestrial Ecosystems. Blackwell, Oxford. 371p.
- Winter J. & Wolf, R.S. 1979. Complete degradation of carbohydrate to carbon dioxide and methane by syntrophic cultures of *Acetobacterium woodii* and *Methanosarcina barkeri*. Arch. Microbiol., 121: 97-102.
- Wetzel, R.G. 1983. Limnology. Saunders, Philadelphia. 767p.