

ANAIS DO VIII SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA	Volume VIII	p.	1997
--	-------------	----	------

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais  
UFSCar, São Carlos - SP.

## ESTUDO DA MINERALIZAÇÃO DE *Nymphoides indica* (L.) O. Kuntze.

BIANCHINI Jr., I.<sup>(1)</sup> & TOLEDO, A. P. P.<sup>(2)</sup>

Nesse estudo descreve-se a mineralização de uma espécie de macrófita aquática (*Nymphoides indica*) e discute-se alguns efeitos de sua decomposição na Represa do Lobo (22°15' S, 47°49' W). Para tanto foram realizados experimentos, em laboratório, através da montagem de 10 câmaras de decomposição. Os processos cinéticos da decomposição foram descritos a partir das quantificações de matéria orgânica particulada e dissolvida. A evolução temporal do CO<sub>2</sub> foi estimada através da diferença entre o conteúdo inicial e final de matéria orgânica das amostras. A partir dos resultados obtidos desenvolveu-se modelos cinéticos, através dos quais discute-se aspectos referentes aos fluxos de matéria orgânica no reservatório, decorrentes da decomposição de *N. indica*.

**MINERALIZATION STUDY OF *Nymphoides indica* (L.) O. Kuntze.** A mineralization experiment was carried out in 10 reactors with the aquatic macrophyte *Nymphoides indica*, from Lobo Reservoir (22° 15' S, 47°49' W, in the ratio of 10 g of dried plant for 1 liter of previous filtered reservoir water. The assay was accompanied through particulate and dissolved organic matter measurements. The CO<sub>2</sub>, derived from the oxidations processes, was evaluated by the difference between the initial and final organic matter content of samples. From the results, kinetics models were developed, with allowed to discuss some aspects of *N. indica* mineralization pathways in Lobo Reservoir (Broa).

## INTRODUÇÃO

O crescimento de macrófitas aquáticas, em geral, contribui para o estabelecimento de condições adequadas para a manutenção e desenvolvimento das cadeias tróficas, nos sistemas aquáticos. No entanto, devido a eutrofização artificial, o desenvolvimento e a morte destes organismos tornam-se intensos e podem limitar o potencial de utilização destes ecossistemas (CAMARGO & ESTEVES, 1995; SAIA & BIANCHINI Jr., no prelo). Diante da importância da ciclagem de detritos para o entendimento do metabolismo e para o manejo dos ecossistemas aquáticos vários estudos têm sido realizados para descrição dos processos de degradação e dos seus efeitos. Em relação a contribuição de macrófitas aquáticas para o conjunto de matéria orgânica detrital em reservatórios, é esperado que, dependendo da magnitude e da forma pela qual se processam os aportes de detritos, tais contribuições acabem por gerar alterações significativas nas características físicas e químicas das águas e dos sedimentos; assim como podem influenciar o funcionamento de outros processos

<sup>1</sup> Depto. Hidrobiologia - PPG-ERN, UFSCar, SP.

<sup>2</sup> Depto. Química - PPG-ERN, UFSCar, SP.

do sistema, tais como a produção primária e a produção secundária **BIANCHINI Jr. et al.** (1988).

No que se refere as alterações das características físicas, químicas e biológicas dos reservatórios convém assinalar ainda que o regime hídrico, que é constituído nesse caso por regras operativas que atendem finalidades específicas, constitui-se num dos principais fatores que condicionam os processos, dentre os quais, o aporte e degradação de detritos a partir das comunidades vegetais. Com relação aos processos de degradação, tem-se verificado que interferem nas características dos sistemas aquáticos, basicamente, devido: 1º) a liberação de nutrientes e compostos orgânicos; 2º) ao acúmulo de compostos húmicos; 3º) ao aumento da demanda por oxigênio dissolvido e 4º) ao acúmulo de detritos particulados nos sedimentos (**ANTONIO, 1992; LEMOS, 1995; BIANCHINI Jr. & TOLEDO, 1996; BITAR & BIANCHINI Jr., no prelo**).

A expressão mais simples de mudança de estado de um recurso orgânico a partir dos processos degradativos é verificada a partir de sua perda de massa que, por sua vez, resulta do predomínio dos processos de mineralização sobre os de imobilização. Como imobilização de um dado elemento entende-se como sendo sua incorporação ou manutenção na forma orgânica; por outro lado, a mineralização ocorre quando as formas inorgânicas de um dado elemento são liberadas durante o catabolismo de um recurso (**SWIFT et al., 1979**). De modo geral, a perda de massa dos detritos decorre do efeito de três processos distintos: a lixiviação, o catabolismo e a fragmentação.

A lixiviação (dissolução ou solubilização) constitui-se de um processo abiótico, através do qual, o material solúvel é removido do substrato pela ação da água. Nos ecossistemas, esse processo pode promover a transferência do material solúvel para outro local, no qual os compostos dissolvidos poderão ser submetidos aos demais mecanismos do processo de decomposição (**SWIFT et al., 1979**). O catabolismo é o processo no qual são efetuadas as transformações de compostos orgânicos complexos a moléculas pequenas e simples. Sob um dado período, no entanto, o catabolismo pode ser incompleto gerando compostos intermediários, tais como as substâncias húmicas (**TOLEDO, 1973; WETZEL, 1983; BIANCHINI Jr. et al., 1984; THURMAN, 1985**). Através do processo de fragmentação realiza-se a redução do tamanho original do detrito. Esse processo difere do catabolismo por ser de natureza física, no entanto, muitas vezes está relacionado com as atividades de alimentação dos decompositores (**SWIFT et al., 1979**). Independente da ação dos organismos, os detritos podem ser fragmentados através das intempéries climáticas e das turbulências da água e do vento (**LUSH & HYNES, 1973**).

Esses três processos atuam em conjunto sobre o mesmo recurso orgânico, o que torna, as vezes, muito difícil de distingui-los. Nesse sentido, nesse trabalho propõe-se descrever a mineralização de uma espécie de macrófita aquática (*Nymphoides indica*) e discutir aspectos deste processo dentro da dinâmica de ciclagem da matéria orgânica detrital da Represa do Lobo (Broa). Para tanto, possui os seguintes objetivos específicos: 1º. Acompanhar o destino das diferentes frações componentes dos detritos; 2º. Estruturar modelos

cinéticos que descrevam os fluxos que ocorrem durante o processo de degradação/mineralização dessa espécie de macrófita e 3°. Descrever as alterações de algumas variáveis físicas e químicas envolvidas com o processo de mineralização.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 1. Procedimentos Experimentais

As amostras de água e as de *Nymphoides indica* utilizadas foram provenientes da Represa do Lobo (Broa), situada na divisa dos municípios de Brotas e Itirapina (22° 15' S e 47° 40' W), no Estado de São Paulo. Após colhidas, as plantas foram lavadas com a água do próprio reservatório e levadas ao laboratório, onde foram selecionadas, lavadas com água corrente e em seguida, com água destilada (ALLEN *et al.*, 1974). Na seqüência, foram secas em estufa de circulação forçada (a 60 °C), até peso constante.

Para a realização do experimento foram montadas 10 câmaras de mineralização. A montagem das câmaras consistiu da adição de 5,0 g de planta (previamente secas e moídas) a 500,0 ml de amostra de água da represa (pré-filtrada em papel de filtro), seguindo dessa maneira as proporções sugeridas por BIANCHINI Jr. (1982; 1985). Durante o transcorrer do ensaio, os frascos foram mantidos sob aeração e a cada dia de amostragem (dias: 1, 3, 5, 10, 15, 21, 30, 60, 90 e 120) desmontou-se uma das câmaras para a coleta e quantificação das frações de matéria orgânica.

As frações de matéria orgânica particulada foram quantificadas por gravimetria, a partir do material retido em rede de "nylon" de 0,4 mm de tamanho de malha (MOP>0,4). Após separados, esses resíduos foram secos (a 60 °C) até peso constante e submetidos a calcinação (a 450 °C por 2 horas), para ter descontado seu peso de cinzas. As frações de matéria orgânica particulada menores que 0,4 mm (MOP<0,4) foram separadas dos compostos dissolvidos por centrifugação da mistura previamente filtrada (4.225 g por 2 horas). Em seguida, foram secas (até peso constante) e calcinadas. Os teores totais de matéria orgânica particulada (MOP<sub>T</sub>) foram estimados a partir da adição das frações de MOP>0,4 e MOP<0,4 mm.

Para a quantificação gravimétrica do resíduo seco da água evaporou-se (a 60 °C), até peso constante, alíquotas do sobrenadante. Os teores de matéria orgânica dissolvida (MOD) foram estimados após a calcinação das amostras de resíduo seco. Antes da quantificação da MOD estimou-se no sobrenadante: o pH e a densidade óptica (430, 465 e 665 nm). O pH foi determinado potenciometricamente e a densidade óptica através de espectrofotômetro.

Uma vez que cada frasco se constituía em um sistema fechado de decomposição, as frações de matéria orgânica consumidas (MOC) pelas oxidações, isto é, as frações mineralizadas, foram estimadas através da seguinte igualdade:

$$MOT = MOP_T + MOD + MOC \dots\dots\dots(\text{Equação 1})$$

onde:

- MOT = quantidade inicial de matéria orgânica;  
 MOP<sub>T</sub> = matéria orgânica particulada total (MOP>0,4 + MOP<0,4);  
 MOD = matéria orgânica dissolvida;  
 MOC = matéria orgânica consumida (p. ex.: convertida em CO<sub>2</sub>).

## 2. Equacionamento

De acordo com **BIANCHINI Jr. & TOLEDO (1996)**, para a formulação do modelo cinético assumiu-se, como hipótese geral, que a mineralização de *N. indica* constituiu-se da combinação de 3 processos simultâneos (oxidação da MOP e formação e mineralização da MOD) e que tais eventos foram regidos por reações irreversíveis de 1ª ordem (Figura 1). De acordo com esta hipótese, os processos envolvidos na mineralização de *N. indica* podem ser descritos a partir das seguintes etapas:

### 2.1. Solubilização das frações lábeis e refratárias dos detritos (Formação da MOD)

$$\frac{d C_{MOP1}}{d t} = - k_{L1} C_{MOP1} - k_{L2} C_{MOP1} \dots \text{(Equação 2)}$$

onde:

- MOP<sub>1</sub> = potencial de solubilização dos detritos de *N. indica* (≈ frações protoplasmáticas e outros compostos solúveis), mg;  
 k<sub>L1</sub> = taxa de lixiviação dos compostos lábeis, dia<sup>-1</sup>;  
 k<sub>L2</sub> = taxa de lixiviação dos compostos refratários, dia<sup>-1</sup>.

### 2.2. Mineralização das frações lábeis e refratárias de MOD

$$\frac{d C_{MODL}}{d t} = k_1 C_{MOP1} - k_2 C_{MODL} \text{ . (Equação 3)}$$

$$\frac{d C_{MODR}}{d t} = k_1 C_{MOP1} - k_3 C_{MODR} \text{ (Equação 4)}$$

onde:

- MOD<sub>L</sub> = teor de matéria orgânica dissolvida lábil, mg;  
 MOD<sub>R</sub> = teor de matéria orgânica dissolvida refratária, mg;  
 k<sub>1</sub> = taxa global de lixiviação (= k<sub>L1</sub> + k<sub>L2</sub>), dia<sup>-1</sup>;  
 k<sub>2</sub> = taxa de mineralização dos compostos dissolvidos lábeis, dia<sup>-1</sup>;  
 k<sub>3</sub> = taxa de mineralização dos compostos dissolvidos refratários, dia<sup>-1</sup>.

### 2.3. Formação de compostos inorgânicos (tais como CO<sub>2</sub>) a partir da mineralização das frações (lábeis e refratárias) de MOD

$$\frac{d C_{CO_2}}{d t} = k_2 C_{MODL} + k_3 C_{MODR} \quad \text{(Equação 5)}$$

#### 2.4. Mineralização dos detritos particulados (MOP)

$$\frac{d C_{MOP2}}{d t} = - k_4 C_{MOP2} \dots\dots\dots \text{(Equação 6)}$$

onde:

- MOP<sub>2</sub> = teor de matéria orgânica refratária dos detritos particulados de *N. indica* (≈ celulose, lignina, etc.), mg;  
 k<sub>4</sub> = taxa de mineralização dos compostos refratários do detrito, dia<sup>-1</sup>.

#### 2.5. Formação de compostos inorgânicos (tais como CO<sub>2</sub>) a partir da mineralização das frações refratárias dos detritos particulados

$$\frac{d C_{CO_2}}{d t} = k_4 C_{MOP2} \dots\dots\dots \text{(Equação 7)}$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da Figura 2 (A e B) apresentam-se os resultados referentes as variações temporais da MOP>0,4, MOP<0,4, MOD e MOC ocorridas durante a decomposição de *N. indica*. Com base nesses resultados observa-se que, no 1º dia da decomposição houve intensa perda de massa nos detritos particulados maiores que 0,4 mm (≈ 30% do conteúdo inicial). Após, os detritos particulados passaram a perder massa de modo mais lento, até o final do experimento (Figura 2A). O intenso decaimento verificado no primeiro dia decorre, principalmente, da lixiviação das frações protoplasmáticas e de outros compostos estruturais com alta solubilidade (BIANCHINI Jr., 1982; 1985; BIANCHINI Jr. & TOLEDO, 1996). A lenta perda de massa ocorrida após a lixiviação dos detritos, reflete o caráter refratário das frações particuladas remanescentes. Nesse sentido, estudo desenvolvido por BIANCHINI Jr. (1985) mostra que tais remanescentes são constituídos, predominantemente, por celulose, lignina, substâncias húmicas e compostos ricos em nitrogênio orgânico.

De modo similar ao verificado para MOP>0,4, através da Figura 3A é possível notar que no primeiro dia de experimento, houve intensa liberação de compostos inorgânicos por parte dos detritos particulados. Neste caso, o processo de lixiviação teve duração aproximada de 20 dias e a partir deste período, a quantidade de compostos inorgânicos contidos nos detritos remanescentes, praticamente, manteve-se estável (≈ 0,1g).

Em contrapartida ao decaimento da MOP>0,4, é possível observar que incrementaram-se os teores de MOP<0,4, da MOD e da MOC (Figura 2 A e B). Os teores dos detritos particulados pequenos (MOP<0,4) foram incrementados até o

30° dia e em seguida, passaram a decair continuamente até o 120° dia. Uma vez que no experimento não foram induzidos os processos de fragmentação, supõe-se que a fração de MOP < 0,4 seja principalmente constituída por microrganismos não aderidos aos detritos particulados. Considerando essa suposição verdadeira, verifica-se que até o final do primeiro mês as condições experimentais privilegiaram o crescimento destes organismos, provavelmente, devido aos altos teores de compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos. Neste sentido, através das Figuras 2B e 3A, é possível observar que os altos teores de compostos dissolvidos podem ser considerados típicos desta fase do experimento, principalmente no que se refere aos compostos orgânicos (Figura 2B). Neste contexto, a partir da estimativa dos coeficientes de transformação de detritos para microrganismos ( $Y_i$ ), sugerida por GAUDY & GAUDY (1980), verifica-se que, em média, 14,3% dos detritos foram convertidos em biomassa de microrganismos (Figura 4A). É possível verificar, ainda, que os coeficientes de rendimento microbiano foram alterados em função do tempo. No início do processo de mineralização (até o 10° dia) o rendimento foi da ordem de 5%, a partir do 10° até o 30° dia a conversão para microrganismos foi otimizada para 36%. Com base nesses resultados supõe-se que os baixos rendimentos microbianos obtidos no início do processo reflitam a fase de adaptação das comunidades, a partir da qual, estabeleceu-se a fase de crescimento exponencial, até o 30° dia. Comparando-se os resultados apresentados através da Figura 4 (A e B), verifica-se que no início do processo de mineralização, as frações de MOD foram as principais responsáveis pela manutenção das comunidades microbianas. A partir do 10° dia, o decaimento dos detritos particulados passou a contribuir efetivamente para a formação de biomassa de microrganismos.

Em decorrência dos processos de lixiviação, no início do experimento é possível verificar, através da Figura 1B, intensos incrementos dos teores MOD. Após o 1° dia verifica-se que também as frações de matéria orgânica dissolvidas passaram a decair expressivamente, processo este que se manteve até, aproximadamente, o 30° dia. Em seguida, os teores de MOD decaíram continuamente até o final do experimento, no entanto, de modo mais lento. Estes resultados sugerem que até o final do primeiro mês os processos de mineralização tenham sido intensificados devido o consumo das frações lábeis (carboidratos, glicosídeos, polifenóis, lipídios, amino ácidos, etc.) e no decorrer do tempo, tenha havido o predomínio gradual do consumo das formas resistentes de MOD (melanóides, glicosídeos, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, etc.). Sugerem, ainda, que a partir do 30° dia possa ter ocorrido certa equivalência entre as taxas de oxidação (mineralização) e de formação de MOD (imobilização). Outra possibilidade refere-se a ressíntese da MOD em compostos húmicos, através da qual parte das moléculas de compostos lábeis tenderiam se tornar mais refratárias (BIANCHINI Jr. *et al.*, 1984).

Até o 15° dia é possível notar, também, o acúmulo de MOC decorrente dos processos de consumo das frações de MOP e de MOD. De modo geral, verifica-se que até aproximadamente, o 15° dia do experimento houve intensa mineralização de matéria orgânica. A partir deste período os processos

continuaram, entretanto de modo mais lento. De acordo com o anteriormente exposto, supõe-se que a etapa em que os processos de mineralização foram mais expressivos decorra da oxidação das frações lábeis de MOD e a fase lenta reflita o consumo das frações refratárias (particuladas e dissolvidas).

Com relação a variação temporal da densidade óptica (Figura 2C) verifica-se que até o 3º dia os valores de densidade óptica aumentaram, após este período, decresceram até o 15º dia. Em seguida, sofreram novo incremento, até o 21º e a partir deste estágio passaram a ser incrementados e/ou mantiveram-se oscilando com baixas velocidades. De modo geral, às variações temporais da densidade óptica atribuem-se a dois processos: dissolução da matéria orgânica pigmentada (clorofilas, feopigmentos, alcalóides, flavonóides, etc.) e formação de substâncias húmicas (BIANCHINI Jr., 1985). Neste sentido, no início do experimento (até aproximadamente o 3º dia) os valores de densidade óptica devem refletir, principalmente, a dissolução das frações coloridas de MOD e a formação de compostos precursores das substâncias húmicas (por exemplo: os melanóides e ácidos fúlvicos). O decaimento de cor verificado a partir do 3º dia provavelmente seja devido ao consumo e/ou ressíntese dos compostos coloridos e o posterior incremento da densidade óptica das amostras devem refletir, principalmente, a formação e o acúmulo dos compostos húmicos (principalmente os ácidos húmicos).

A relação entre as absorvâncias a 465 e 665 nm, denominada como relação  $E_4/E_6$ , têm sido largamente utilizada com propósito de caracterização dos compostos húmicos. Esta relação decresce com o incremento do peso molecular e grau de condensação, desse modo admite-se que sirva como índice do processo de humificação (STEVENSON, 1982). Nesse sentido, a descrição temporal da relação  $E_4/E_6$  (Figura 1D) indica que no 1º dia de experimento, os compostos húmicos apresentavam: altos teores de oxigênio e de grupos carboxílicos, baixa porcentagem de carbono, moléculas com baixa massa molecular e alta acidez total. A partir do primeiro dia, até o 15º, os compostos húmicos foram intensivamente: 1) perdendo a capacidade de troca iônica devido a perdas de oxigênio, de grupos carboxílicos e de acidez total; 2) sendo enriquecidos em carbono e 3) incrementando seu grau de condensação (SCHNITZER & KHAN, 1972). A partir do 15º dia até o final do experimento, a variação da relação  $E_4/E_6$  indica que, gradualmente, as que as moléculas dos compostos húmicos perderam átomos de carbono e massa molecular. Por outro lado, tiveram gradualmente aumentada sua capacidade de troca iônica pelo enriquecimentos com átomos de oxigênio, com grupos carboxílicos. Ressalta-se a natureza refratária destes compostos traduzidas nas baixas taxas de mineralização ( $k_3$ ) registradas para a MOD<sub>R</sub> (Figura 5).

Os intensos processos oxidativos, ocorridos no início do ensaio, provavelmente sejam os responsáveis pelas reduções nos valores de pH, devido a formação de CO<sub>2</sub> (Figura 1E). Outros fatores que são citados como responsáveis pela acidificação dos meios, nos quais os processos de degradação predominem, referem-se a formação da amônia e a lixiviação de compostos reduzidos (BIANCHINI Jr. & TOLEDO, 1988; LEMOS, 1995). Com o decorrer do tempo, supõe-se que a formação dos compostos húmicos (reações

de oxidação), as perdas atmosféricas e as assimilações das formas inorgânicas de carbono sejam responsáveis pelos tamponamentos das câmaras de decomposição. A este respeito, há que ser considerada, ainda, a capacidade quelante das substâncias húmicas formadas.

A temperatura média na qual os experimentos foram desenvolvidos foi de 24,1 °C, com variação de 1,7 °C (desvio padrão), Figura 1D. Comparando-se tais variações de temperatura com as usualmente encontradas na represa do Lobo (TUNDISI, 1995) verifica-se que a mineralização desenvolvida *in vitro* desenvolveu-se dentro de um intervalo similar ao verificado na represa. Portanto, no que se refere a esta variável, os processos desenvolvidos em laboratório podem ser considerados similares aos que se realizam no reservatório.

A partir dos ajustes dos resultados aos modelos cinéticos (Figura 5), verifica-se que no processo de decomposição da *N. indica*, houve, até o 1º dia, intenso decaimento de massa na MOT (33%). Este decaimento resultou de dois processos de lixiviação ocorridos em paralelo: o das frações lábeis e o das frações refratárias ( $k_1 = 1,87 \text{ dia}^{-1}$ ). Nesse sentido, a lixiviação das frações lábeis responderam por 18,3% da MOT e a das frações resistentes por 14,7%. As frações lábeis de matéria orgânica dissolvida foram mineralizadas rapidamente ( $k_2 = 0,69 \text{ dia}^{-1}$ ), por outro lado, a mineralização da  $\text{MOD}_R$  apresentou-se lenta ( $k_3 = 0,0086 \text{ dia}^{-1}$ ). Comparando-se as taxas de mineralização destes compostos dissolvidos verifica-se que o processo rápido apresentou uma meia vida da ordem de 1 e o lento de 81 dias. Com base neste modelo supõe-se que mineralização dos detritos particulados tenha sido responsável pelo decaimento de 67% da MOT. A taxa global de mineralização da  $\text{MOP}_T$  foi estimada em  $0,0079 \text{ dia}^{-1}$ , que corresponde a um tempo de meia-vida de 88 dias. Com referência aos compostos inorgânicos (Figura 3B), verifica-se que a lixiviação rápida ( $k_{s1} = 1,1 \text{ dia}^{-1}$ ), respondeu por 74% da perda de massa. A equivalência entre os valores de  $k_{s1}$  e  $k_1$  sugere a ação simultânea dos processos de lixiviação sobre os compostos orgânicos e inorgânicos. A partir do 10º dia, os compostos inorgânicos passaram a ser liberados de modo mais lento, provavelmente, refletindo a interação entre os elementos inorgânicos com a matriz ligno-celulósica dos detritos. Uma vez que a taxa de solubilização do processo lento ( $k_{s2}$ ) é menor que  $k_4$  (mineralização da  $\text{MOP}_T$ ), supõe-se que, a longo prazo, a tendência seja o predomínio gradual de compostos inorgânicos na constituição dos detritos. De modo geral, no que se refere aos modelos cinéticos desenvolvidos, verifica-se que os resultados simulados representaram de modo satisfatório os obtidos em laboratório.

Em termos de metabolismo do reservatório do Lobo os resultados obtidos sugerem que grande parte dos detritos de *N. indica* sejam mineralizados dentro do próprio sistema. Neste sentido, 67% dos detritos desta espécie de macrófita aquática constituem-se de estruturas refratárias (celulose, lignina, etc.), que naturalmente devem ser acumulados e mineralizados nos sedimentos reservatório. Com base nas baixas taxas de mineralização estimadas, ressalta-se a importância destes detritos para os processos de consumo de oxigênio de longo prazo, de colmatação, de humogénese e de formação do sedimento permanente deste sistema.

No que se refere a MOD há que se comparar suas taxas de lixiviação e mineralização com o fluxo hidráulico deste reservatório. Neste sentido, admitindo-se que o tempo de residência situe-se em 20 dias (fluxo hidráulico =  $0,05 \text{ dia}^{-1}$ ) é provável que grande parte dos compostos lixiviados dos detritos de *N. indica* ( $\approx 18\%$  do total dos detritos) sejam ciclados dentro do próprio reservatório, uma vez que, a taxa de mineralização apresentou-se cerca de 14 vezes maior que a de exportação. Desse modo, a mineralização destes compostos poderia estar gerando demandas expressivas de oxigênio dissolvido para o reservatório. Por outro lado, as frações dissolvidas com caráter refratário devem ser preferencialmente exportadas e se constituir em uma das principais fontes de matéria orgânica dissolvida do reservatório, uma vez que, as taxas de oxidação apresentaram-se cerca de 6 vezes menor que o fluxo hidráulico.

## CONCLUSÕES

De modo geral, com base nas condições experimentais adotadas, verifica-se que: 1º) A perda de massa das frações orgânicas de *N. indica* (que correspondem por cerca de 89% dos detritos) decorre de dois processos distintos e simultâneos: a solubilização de compostos (cerca de 33%) e a oxidação direta das frações particuladas (aproximadamente 67%); 2º) O processo de solubilização de compostos inorgânicos se mostrou bastante rápido. Só não influi mais na perda de massa dos detritos de *N. indica* devido a baixa proporção de inorgânicos na composição dos detritos (11%). Neste sentido, cerca de 75% dos elementos inorgânicos foram solubilizados durante os 5 primeiros dias de decomposição; 3º) Enquanto a mineralização da MOP está restrita aos processos oxidativos que se desenvolvem nos sedimentos, a solubilização constitui-se num mecanismo de transferência, através do qual, dependendo das condições hidrodinâmicas do reservatório, cerca de 15% da biomassa dos detritos de *N. indica* pode ser mineralizada em local distinto daquele em que ocorre sua formação; 4º) Em termos absolutos, na mineralização de *N. indica*, as frações de MOP contribuem para a maioria do  $\text{CO}_2$  a ser formado. No entanto, no reservatório, nas etapas iniciais da decomposição desta espécie as frações de  $\text{MOD}_L$  são as que devem gerar as maiores demandas de oxigênio dissolvido, uma vez que, apresentaram uma taxa de mineralização 87 vezes maior que a estimada para MOP; 5º) A baixa taxa de mineralização estimada para  $\text{MOD}_R$  provavelmente decorra da humificação destas frações. Por este motivo supõe-se que tais compostos sejam os que mais interajam (química e biologicamente) e que sejam preferencialmente exportados do reservatório, pois a taxa de fluxo hidráulico é cerca de 6 vezes maior que a de sua oxidação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIO, R. M. Estimativa da capacidade heterotrófica de ecossistemas aquáticos. São Carlos: UFSCar. 1992, 30p. (Monografia de Graduação)

- ALLEN, S. E., GRIMSHAW, H. M., PARKINSON, J. A., QUARMBY, G. Chemical analysis of ecological materials. Oxford: Blackwell, 1974. 565p.
- BIANCHINI Jr., I. Contribuição ao estudo da decomposição de plantas aquáticas. São Carlos: UFSCar, 1982. 178 p. (dissertação)
- BIANCHINI Jr., I. Estudo da humificação de *Nymphoides indica* (L.) O. Kuntze. São Carlos: UFSCar, 1985. 285 p. (tese)
- BIANCHINI Jr., I., TOLEDO, A. P. P., TOLEDO, S. H. P. P. Influência do tempo na variedade e quantidade de polifenóis dissolvidos, originados da decomposição de plantas aquáticas. An. Sem. Reg. Ecol. IV São Carlos: UFSCar, 1985. 520 p. 41-57.
- BIANCHINI Jr., I., TOLEDO, A. P. P. Decomposição de macrófitas aquáticas: estudo da variação do pH e densidade óptica, sob diferentes condições de atmosfera e luminosidade. An. Sem. Reg. Ecol. V São Carlos: UFSCar, 1988. 364 p. 167-181
- 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*. Limnologia e Manejo de Represas. Série: Monografias em Limnologia. Ed. J. G. Tundisi. EESC-USP/CRHEA/ACIESP. Vol. I (Tomo 1: 506 p.) p.118-138. 1988
- BIANCHINI Jr., I., TOLEDO, A. P. P., Estudo da mineralização de *Eleocharis mutata*. Anais VII Sem. Reg. Ecol. São Carlos: UFSCar, 1996. 353p. 57-72
- BITAR, A. L., BIANCHINI Jr., I. Efeito do teor de matéria orgânica dissolvida sobre as taxas de seu processo de mineralização. An. I Sem.: Qualidade de Águas Continentais no Mercosul. Porto Alegre: UFRGS, 1995. (no prelo)
- CAMARGO, A. F. M., ESTEVES, F. A. Biomass and productivity of aquatic macrophytes in brasilian lacustrine ecosystems. Eds. J. G. Tundisi, C. E. M. Bicudo, T. Matsumura-Tundisi. Rio de Janeiro: ABC/SBL. p. 137-150. 1995
- GAUDY, A. F. Jr., GAUDY, E. T. Microbiology for environmental scientistis and engineers. New York: McGraw Hill, 1980. 736p.
- LEMONS, R. M. A. Ensaio de decomposição de *Nephrocistium lunatum* (Chlorophyceae) e de *Scirpus cubensis* Poepp e Kunth (Cyperaceae) da Lagoa do Infernã (São Paulo - SP). São Carlos, UFSCar: 1995. 169p. (dissertação)
- LUSH, D. L., HYNES, H. B. N. The formation of particles in freshwater lecheates of dead leaves. Limnol. Oceanog. v. 18, p.968 -977, 1973

STEVENSON, F. J. Humus Chemistry. New York: Willey, 1982. 443p.

SAIA, F. T., BIANCHINI Jr., I., Modelo do crescimento e senescência de *Salvinia auriculata* em condições de laboratório. An. Sem. Reg. Ecol. VIII São Carlos: UFSCar, 1996. (no prelo)

SCHNITZER, M., KHAN, S. U. Humic substances in the environment. New York: Marcell Dekker, 1992. 327p.

SWIFT, M. J., HEAL, D. W., ANDERSON, J. M. Studies in ecology - decomposition in terrestrial ecosystems. Oxford: Blackwell, 1979. 371p.

THURMAN, E. M. Organic geochemistry of natural waters. Dordrecht: Nijhoff/Junk, 1985. 497p.

TOLEDO, A. P. P. Contribuição ao estudo físico-químico de ácido húmico extraído de sedimento. São Paulo: USP, 1973. 137p. (dissertação)

WETZEL, R. G. Limnology. Philadelphia: Saunders, 1983. 767p.

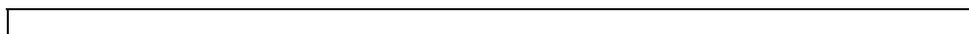
---

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento desse estudo (Proc. n.º 86/1636-4).

#### **ENDEREÇO DOS AUTORES**

Universidade Federal de São Carlos, Via Washington Luiz, km 235, Cx. Postal 676, São Carlos, SP. 13565-905  
email: irineu@power.ufscar.br



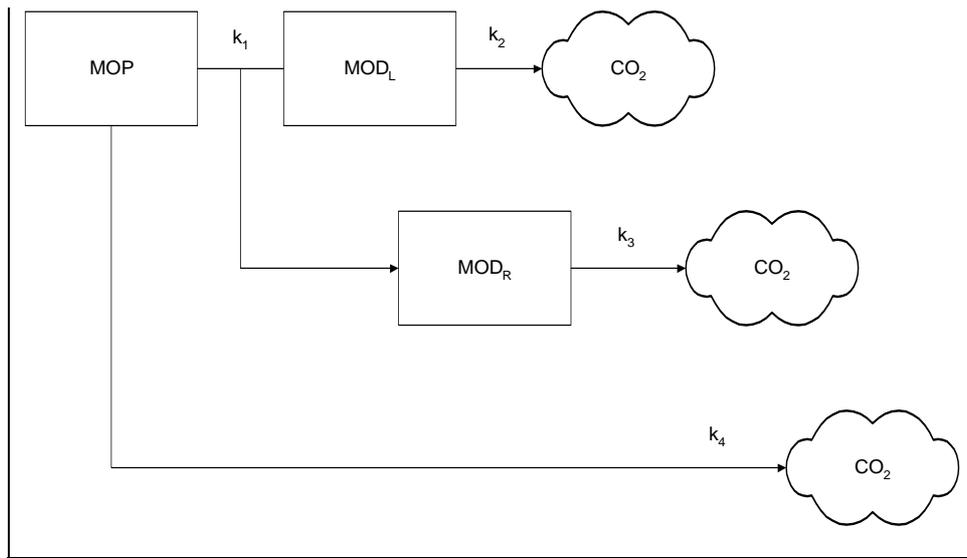


Figura 1 - Diagrama esquemático do processo de mineralização de *Nymphoides indica*, onde: MOP = matéria orgânica particulada; MOD<sub>L</sub> = matéria orgânica dissolvida lábil; MOD<sub>R</sub> = matéria orgânica dissolvida refratária;  $k_1$  = taxa global de lixiviação das frações dissolvidas ( $k_{L1}+k_{L2}$ );  $k_{L1}$  = taxa de lixiviação das frações dissolvidas lábeis;  $k_{L2}$  = taxa de lixiviação das frações dissolvidas refratárias;  $k_2$  = taxa de mineralização das frações lábeis de MOD;  $k_3$  = taxa de mineralização das frações refratárias de MOD;  $k_4$  = taxa de mineralização da MOP; CO<sub>2</sub> representa o compartimento dos compostos inorgânicos voláteis.

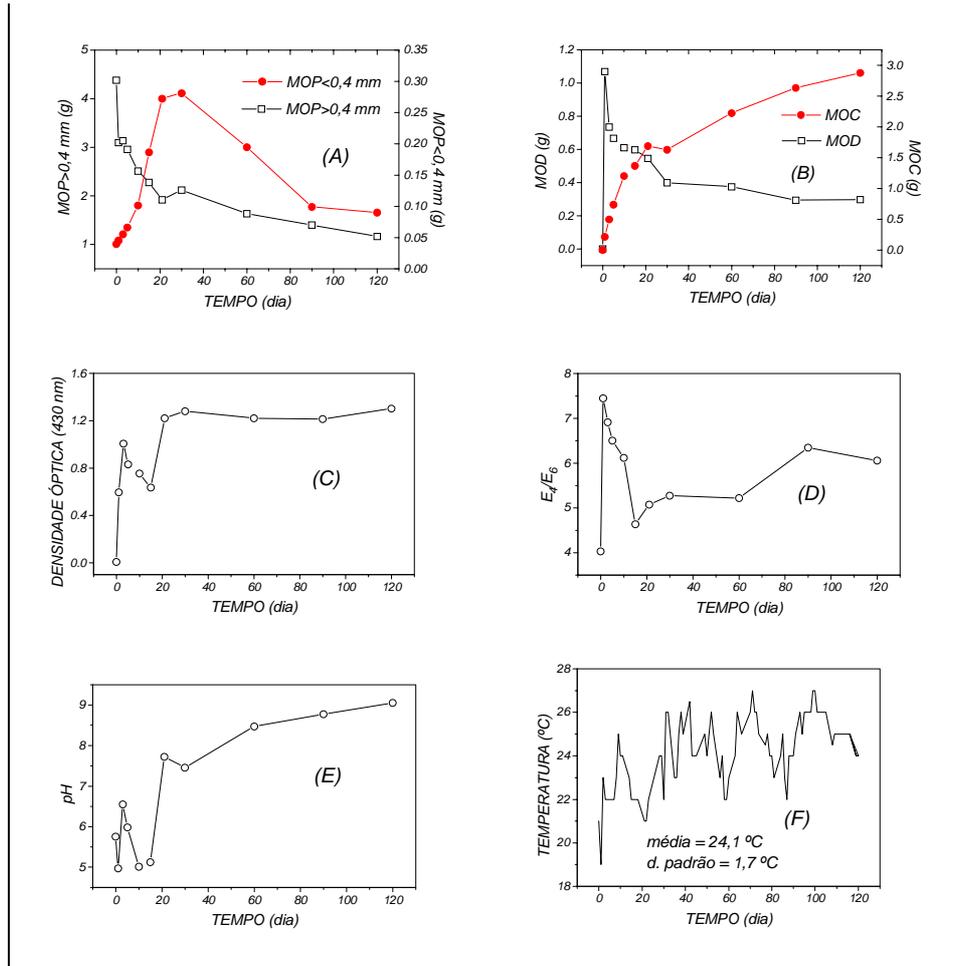


Figura 2 - Variações temporais das frações particuladas maiores e menores que 0,4 mm (A), da MOD e da MOC (B), da densidade óptica (C), da relação  $E_4/E_6$  (D), do pH (E) e da temperatura (F) durante a mineralização aeróbia de *Nymphoides indica*, em condições de laboratório.

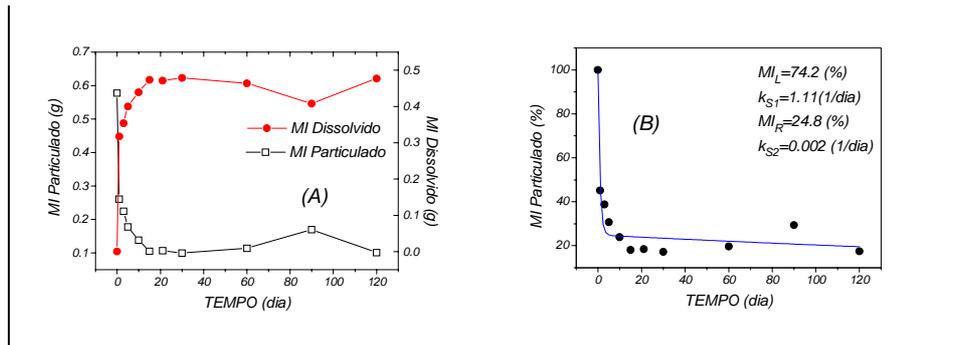


Figura 3 - Variações temporais dos teores de compostos inorgânicos (MI) nas frações particuladas e dissolvidas (A), durante a mineralização aeróbia de *Nymphoides indica*. Ajuste da variação temporal do MI particulado ao modelo cinético proposto (B); onde: MI<sub>L</sub> = matéria inorgânica lábil; MI<sub>R</sub> = matéria inorgânica refratária; k<sub>S1</sub> = taxa de solubilização de MI<sub>L</sub>; k<sub>S2</sub> = taxa de solubilização de MI<sub>R</sub>.

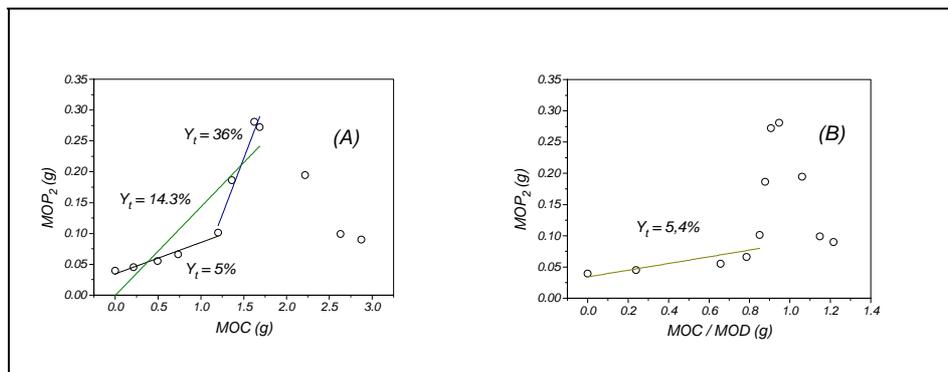


Figura 4 - Estimativa dos coeficientes de transformação de detritos para microrganismos (rendimentos microbianos, Y<sub>t</sub>), em função da MOC total (A) e da MOC originada dos decaimentos das frações de MOD (B), durante o processo de mineralização aeróbia de *Nymphoides indica*.

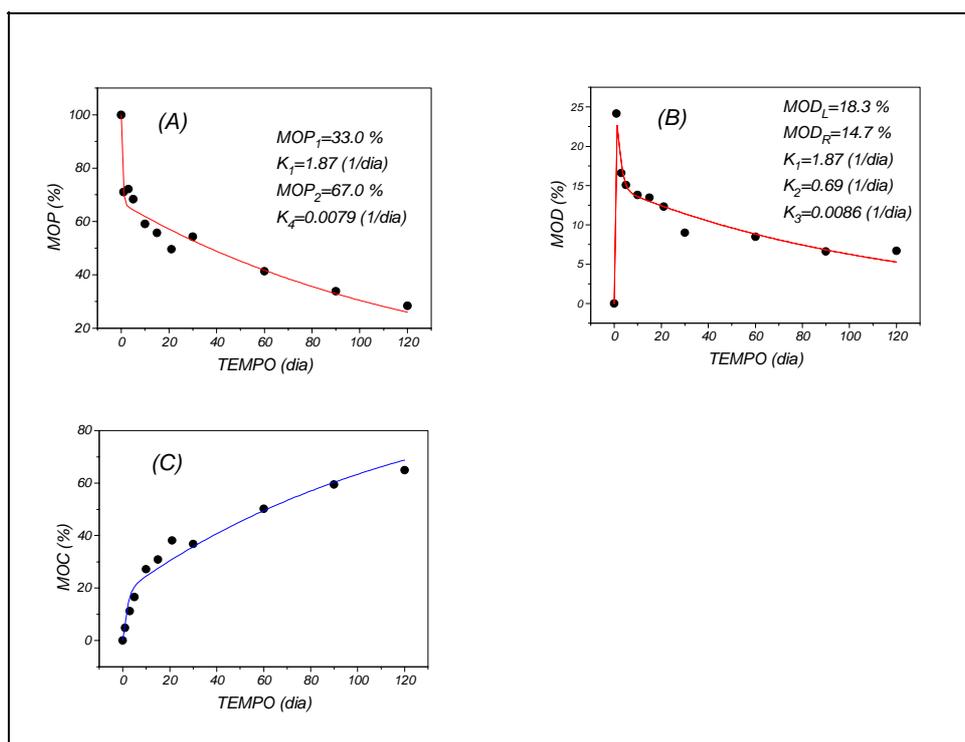


Figura 5 - Ajustes das variações temporais da MOP (A), da MOD (B) e da MOC (D) ao modelo cinético proposto.