

SOBRE O PAPEL DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA ESTOCAGEM E
CICLAGEM DE NUTRIENTES

ESTEVES, F.A.* e CAMARGO, A.F.M.**

RESUMO

Neste trabalho, que se propõe a fazer uma síntese sobre os principais aspectos do papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes, é apresentado de maneira sucinta a evolução dos estudos sobre o assunto. Ênfase foi dada aos estudos realizados em regiões de clima tropical e alguns exemplos comparativos sobre a estocagem de nutrientes em diferentes espécies de macrófitas aquáticas de regiões tropicais e temperadas foram incluídas para evidenciar as diferenças e semelhanças existentes. Além disso, é apresentada uma análise crítica sobre os principais métodos utilizados em estudos de decomposição de macrófitas aquáticas. O papel destes vegetais em reservatórios artificiais também é discutido.

* Departamento de Ciências Biológicas, UFSCar

** Departamento de Ecologia, UNESP/Rio Claro

ABSTRACT - ON THE ROLE OF AQUATIC MACROPHYTES IN THE STORAGE AND CYCLING OF NUTRIENTS

A review of the main role of the aquatic macrophytes on the stocking and cycling of nutrients as well as a brief account of the research progress on this subject are presented in this paper.

Although emphasis is given to the studies carried out in the tropics, some comparative examples about the stocking of nutrients by different species of aquatic macrophytes from tropical and temperate regions are included.

A critical analysis of the main methods used on decomposition of aquatic macrophytes and a discussion of the role of these plants in reservoirs are given.

INTRODUÇÃO

A grande maioria dos lagos naturais e daqueles construídos pelo homem, são pequenos e rasos, com características morfométricas que propiciam o desenvolvimento de extensas comunidades de macrófitas aquáticas na região litorânea, que desempenham importante papel no metabolismo de todo o ecossistema.

Apesar disso, os estudos sobre a produção primária e sobre as características limnológicas em geral, durante vários anos se centralizaram na região pelágica dos lagos. No início do século, antigos limnologistas, tais como, RUTTNER (1914), THIENEMANN (1925) e BIRGE et al (1928) destacavam somente o fitoplâncton e o sedimento como os compartimentos mais importantes no ciclo de nutrientes em lagos, sem, no entanto, considerar as comunidades de macrófitas aquáticas. Pesquisas sobre a região litorânea, enfocando seu papel no metabolismo de ecossistemas lacustres eram muito escassas nesta época. Somente com a criação do Programa Biológico Internacional se intensificaram as pesquisas sobre o papel das

macrófitas aquáticas nos diferentes aspectos da dinâmica de ecossistemas lacustres. Recentemente, vários autores tem destacado a importância da região litoral de lagos quanto a produção primária (HOWARD-WILLIAMS, 1978; ESTEVES, 1979a; MENESES, 1984) a ciclagem de nutrientes (WESTLAKE, 1965b; WETZEL, 1964, 1975; DAVIES, 1970; DYKYJOVÁ & HRADECKÁ, 1973; ESTEVES, 1979b; BARBIERI, 1984) e a organização especial do ambiente (PIECZYŃSKA, 1976). Através destas pesquisas, ficou evidenciado que conceitos antigos, tais como, o de ARBER (1920), de que as raízes das plantas aquáticas, tem apenas a função de fixação do vegetal ao substrato, e de SUTCLIFFE (1958) de que a absorção de sais pelas plantas aquáticas ocorre normalmente pelas folhas, estão ultrapassados. Estudos realizados com isótopos radioativos ^{15}N e ^{32}P (GRUBE, 1953; HAYNES & PHILLIPS, 1958; McROY & BARSDATE, 1970; McROY et al, 1972) contribuíram decisivamente para o entendimento do papel das macrófitas aquáticas no ecossistema lacustre. Os estudos sobre a composição química das macrófitas aquáticas (ALLEN & PEARSALL, 1963; GERLOFF & KROMBOLZ, 1966; RIEMER & TOTH, 1968, 1969, 1970) evidenciaram o importante papel destas comunidades na estocagem de nutrientes. As pesquisas sobre o processo de decomposição de macrófitas aquáticas (BOYD, 1970, 1971; DE LA CRUZ & GABRIEL, 1974; ESTEVES, 1979b; ESTEVES & BARBIERI, 1983) demonstraram a importância destas comunidades na ciclagem de nutrientes em ecossistemas aquáticos continentais.

Neste trabalho, portanto, serão discutidos alguns aspectos da importância das macrófitas aquáticas na ciclagem de nutrientes, considerando principalmente, os trabalhos realizados em regiões tropicais, especialmente no Brasil.

ESTOCAGEM DE NUTRIENTES NA BIOMASSA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Os trabalhos pioneiros sobre a composição química de macrófitas aquáticas foram realizados por SCHUETTE & HOFFMAN

(1921) e SCHUETTE & ALDER (1928), no lago Mendota e SCHUETTE & ALDER (1929) no lago Green (EUA). Posteriormente, com o objetivo de se utilizar macrófitas aquáticas como forragem para gado ou para a fertilização de solos, foram realizados alguns trabalhos sobre a composição química destes vegetais (por exemplo: GORTNER, 1934; NELSON & PALMER, 1938; SCULTHORPE, 1967; LITTLE, 1968; THOMAS & ESTEVES, 1984).

Vários trabalhos sobre a composição química inorgânica de macrófitas aquáticas tem sido realizados, podendo-se destacar o trabalho de ALLEN & PEARSALL (1963) que demonstrou o acúmulo de vários elementos no tecido foliar e a relação entre o aumento do conteúdo mineral com o crescimento vegetal. GERLOFF & KROMBOLZ (1966), também analisaram o conteúdo mineral do tecido de macrófitas aquáticas, utilizando-o como uma medida da disponibilidade de nutrientes para o seu crescimento.

Mais recentemente as pesquisas sobre a composição química das macrófitas aquáticas já manifestam uma preocupação com a ciclagem de nutrientes, pois nota-se em vários trabalhos suposições a respeito da relação entre a concentração de elementos químicos na biomassa das macrófitas e na água circundante. RIEMER & TOTH (1968, 1969, 1970), realizaram um amplo estudo sobre a composição química de plantas aquáticas em New Jersey (EUA) e sugeriram uma relação entre o conteúdo dos elementos analisados na planta com os mesmos elementos na água do estande. CAINES (1965) observou a variação sazonal das concentrações de fósforo na biomassa das macrófitas aquáticas e também o aumento da concentração deste elemento nestes vegetais quando fertilizava a água dos estandes com fosfato. Por outro lado, ALLEMBY (1967, 1968), em um estudo sobre as concentrações de nutrientes na biomassa de macrófitas aquáticas e na água dos estandes observou não existir relação entre eles.

A partir destas pesquisas, os trabalhos passaram a centralizar-se principalmente nos problemas de absorção e excreção de nutrientes pelas macrófitas aquáticas, visando

o entendimento do seu papel nos ciclos bioquímicos em ecossistemas lacustres.

Pesquisas sobre a composição química de macrófitas aquáticas em regiões tropicais são mais recentes. Uma das mais completas pesquisas sobre a composição química de macrófitas aquáticas tropicais foi realizada por HOWARD-WILLIAMS & JUNK (1977). Os autores determinaram os teores de Na, K, Ca, Mg, Si, N.P, matéria seca, polifenóis, teor calórico e fração de parede celular em 23 espécies de macrófitas aquáticas da Amazônia Central, coletadas em 11 diferentes lagos nas proximidades de Manaus. As macrófitas aquáticas apresentaram altos teores de fósforo e potássio em relação aos teores observados no solo e água da região. Os teores de cálcio, quando comparados com macrófitas de outras regiões apresentaram-se baixos e as macrófitas flutuantes apresentaram teores de cinzas, cálcio e magnésio mais elevados do que as espécies de macrófitas emersas. Os autores (HOWARD-WILLIAMS & JUNK, 1977) sugerem que as macrófitas atuam como um reservatório de nutrientes dos corpos d'água, particularmente dos lagos de várzea. O uso potencial das macrófitas como fertilizante em solos também é discutido.

BARBIERI et al (1984), realizaram um estudo sobre a composição química orgânica e inorgânica de *Nymphoides indica* e *Pontederia cordata*, duas das principais espécies de macrófitas do reservatório do Lobo (Estado de São Paulo - Brasil). Os autores apresentam os resultados de análises mensais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, proteínas, amido e carboidratos solúveis na biomassa das duas espécies de macrófitas e destacam o papel destes vegetais na estocagem de nitrogênio e fósforo. *Nymphoides indica* apresenta teores de nitrogênio e fósforo 6 e 13 vezes maiores do que na água da represa e *Pontederia cordata*, 3 vezes mais nitrogênio e 10 vezes mais fósforo do que na água. Além disso, BARBIERI et al (1984) apresentam dados sobre a contribuição de material orgânico e nutrientes das duas espécies de macrófitas aquáticas para o ecossistema na ocasião da di

minuição do nível de água do reservatório em agosto de 1980.

A comparação destes trabalhos com aqueles de região temperada, evidenciam diferenças da concentração de nutrientes na biomassa das macrófitas destas duas regiões. Em regiões tropicais a ausência de estações bem definidas, promove crescimento e morte constante dos indivíduos. Em regiões temperadas, no entanto, os indivíduos apresentam crescimento intenso na primavera e morte no outono. Este fenômeno se reflete na dinâmica total de nutrientes em um lago.

Em regiões temperadas na primavera (abril-maio), inicia-se a formação de novos indivíduos a partir dos rizomas. Estes indivíduos apresentam metabolismo intenso e tem suas necessidades nutricionais garantidas pelas reservas estocadas nos rizomas. Em macrófitas aquáticas de regiões tropicais, por outro lado, observa-se crescimento contínuo dos novos indivíduos o que provoca um equilíbrio de perda e ganho de nutrientes da comunidade durante todo o ano. A Fig. 1 mostra a variação mensal da concentração de fósforo em uma espécie de macrófita aquática de região temperada (*Lysimachia thyrsoiflora*) e de outra tropical (*Nymphoides indica*), segundo ESTEVES (1979b) e BARBIERI (1984) respectivamente.

A grande capacidade das macrófitas aquáticas em estocar nutrientes em sua biomassa, pode ser observada através dos dados obtidos por ESTEVES (1979b) no lago Schoeh (norte da Alemanha). Este autor observou que de todo o fósforo do sistema, excluindo o sedimento, 57% estava estocado na biomassa das macrófitas aquáticas, 42% na biomassa do fitoplâncton e 1% na água. Quanto ao nitrogênio os valores foram: 59% nas macrófitas aquáticas, 31% no fitoplâncton e 2% na água. Deve-se ressaltar que apenas 1,4% da área total do lago Schoeh é coberta por macrófitas aquáticas.

A Tab. 1 mostra alguns resultados obtidos por diferentes autores sobre os teores de nutrientes na biomassa de macrófitas aquáticas e na água dos estandes destes vegetais, onde se pode observar a capacidade de estocagem de íons na biomassa.

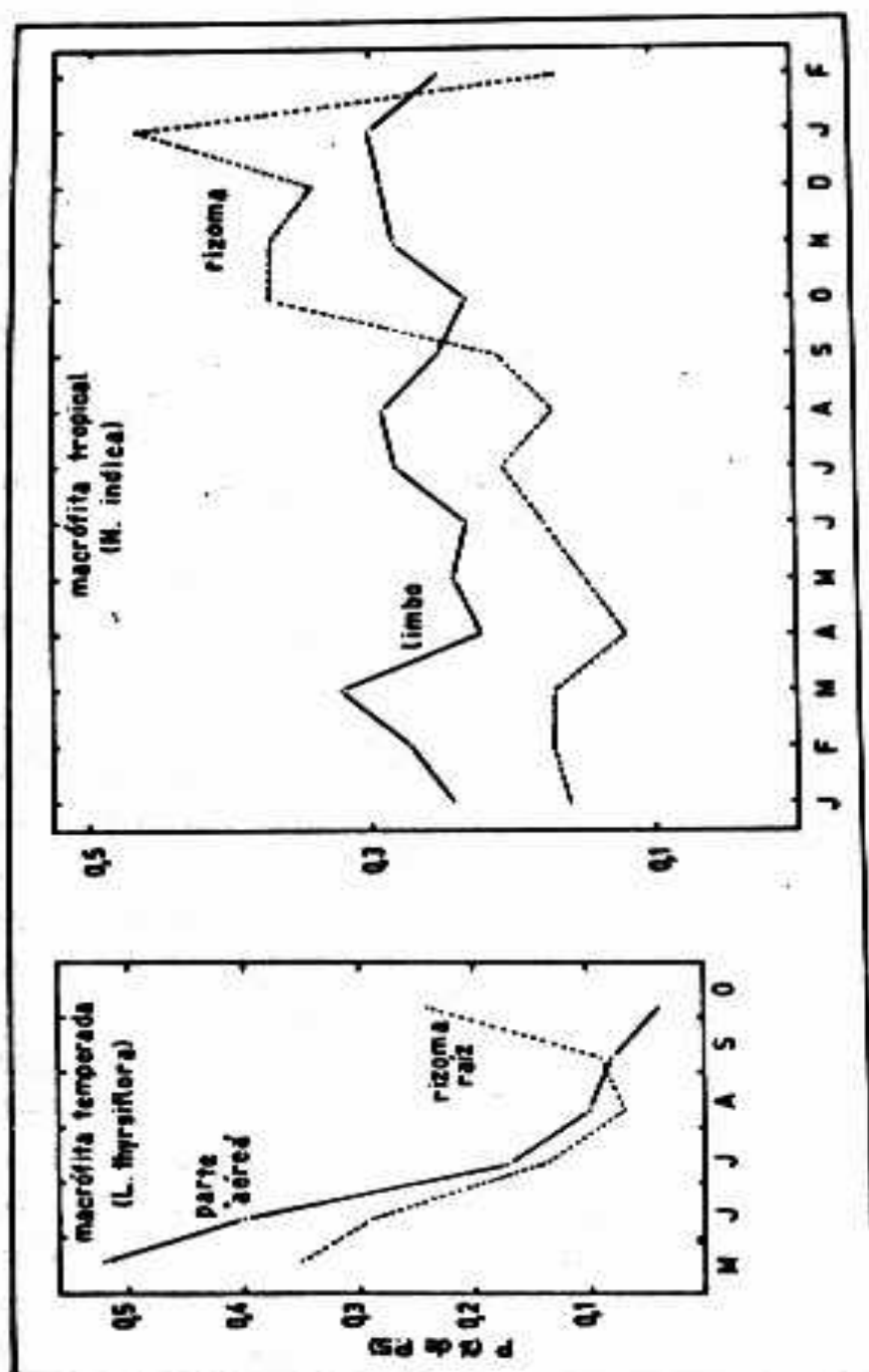


Figura 1 - Variação mensal da concentração de fósforo em uma macrófita aquática de região temperada (*Lysimachia thyrsoiflora*) e tropical (*Nymphoides indica*). Segundo ESTEVES (1979b) e BARBIERI (1984).

Tabela 1 - Concentração de N e P em diferentes espécies de macrófitas aquáticas e na água (g.m^{-2}).

ESPÉCIE	MACRÓFITA AQUÁTICA		ÁGUA		AUTOR
	N	P	N	P	
<i>Nymphoides peltata</i>	4,67	1,75	0,38	0,07	BROCK et al (1983)
<i>Nymphoides indica</i>	3,10	0,40	0,33	0,01	BARBIERI (1984)
<i>Pontederia cordata</i>	3,50	0,50	0,36	0,03	BARBIERI (1984)
<i>Typha</i> sp	22,70	2,10	0,10	0,60	HOWARD-WILLIAMS & LENTON (1975)
Macrófitas aquáticas da Amazônia Central	19,60	1,90	0,03	0,03	HOWARD-WILLIAMS & JUNK (1977)

ABSORÇÃO E EXCREÇÃO DE NUTRIENTES PELAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS

A partir do final da década de 60, pode-se observar, que o interesse sobre o papel das macrófitas na ciclagem de nutrientes passa a ser um dos aspectos mais importantes das pesquisas limnológicas. Já em 1970 POMEROY afirma: "Spartina é, de fato, uma bomba de nutrientes, movimentando fósforo e outros elementos para cima, a partir dos sedimentos profundos, e para a água via degradação bacteriana do vegetal e subsequente aproveitamento pelos detritívoros. A bomba de nutrientes 'Spartina' contribui para a alta concentração de nutrientes em água salgada". Este modelo, no entanto, não foi aceito inicialmente pelos limnólogos. Estes, acreditavam que as folhas eram as principais estruturas de absorção de nutrientes, visto que comparativamente às plantas terrestres, as macrófitas aquáticas apresentam pouco desenvolvimento de raízes e do sistema vascular e pequena quantidade de cutícula nas paredes celulares. Os trabalhos realizados principalmente com nitrogênio (^{15}N) e fósforo (^{32}P) comprovaram, contudo, o importante papel das raízes das macrófi-

tas aquáticas na absorção de nutrientes.

McROY & GOERING (1974), em estudos com *Spartina*, mostraram que a alta produtividade deste vegetal é mantida principalmente pelo estoque de nutrientes do sedimento, além disso, a produtividade do perifíton associado à esta comunidade, também é mantida pelo fluxo de nutrientes à partir desta macrófita aquática.

NICHOLS & KEENEY (1976) a partir de estudo em laboratório com *Myriophyllum spicatum* verificaram, através do uso de ^{15}N , que esta espécie pode absorver nitrogênio tanto pelas raízes como pelas folhas. Contudo, a necessidade de nitrogênio para o vegetal parece ser suprida apenas com a absorção através das raízes. Estes pesquisadores demonstraram, que somente quando a concentração de nitrogênio sob a forma de amônia atinge $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$, a absorção foliar parece ser mais intensa do que a das raízes. Além disso, ficou evidenciado que apenas 1% do nitrogênio absorvido pelas raízes foi liberado para a água através das folhas.

Estudos detalhados sobre a dinâmica do fósforo foram realizados por McROY & BARSDATE (1970). Estes autores estudaram a absorção de fosfato por *Zostera marina* usando ^{32}P , em condições de laboratório. Os resultados mostraram que o fósforo é absorvido tanto pelas folhas como pelas raízes e que após sua absorção é translocado para todas as partes da planta. Além disso, o fósforo pode também retornar à coluna d'água através de processos de excreção, mostrando desta maneira, que *Zostera marina* pode, tanto funcionar como uma captadora como uma fornecedora de fósforo para a água.

Além dos trabalhos realizados com isótopos radioativos, outros trabalhos que observaram a concentração de N e P nas diferentes partes das plantas, no sedimento e na coluna d'água, também mostraram o papel das macrófitas aquáticas na ciclagem destes elementos. BARKO & SMART (1980) observaram a mobilização de fósforo do sedimento por macrófitas submersas em condições ambientais controladas. As espécies estudadas [*Egeria densa*, *Hydrilla verticillata* e *Myriophyllum spicatum*] tem um sistema de raízes reduzido mas demonstra-

ram ser capazes de realizar sua nutrição de fósforo exclusivamente a partir do sedimento. A absorção e a translocação de fósforo pelas raízes (mobilização) foi substancial e em alguns casos sugeriu um "turnover" maior que 1.000 vezes a concentração de fosfato da água intersticial, num período de 3 meses. A mobilização de fósforo do sedimento diferiu consideravelmente de espécie para espécie. Estes autores afirmam ainda, que a mobilização de fósforo do sedimento pelas macrófitas submersas representa um importante segmento no ciclo do fósforo em ecossistemas lacustres, pois estas vegetais podem, através do retorno do fósforo para a coluna d'água, proporcionar um aumento da produtividade do fitoplâncton.

BROCK et al (1983), também observaram o importante papel da macrófita aquática com folhas flutuantes, *Nymphoides peltata*, na regeneração de nutrientes do sedimento (bomba de nitrogênio e fósforo) em um lago marginal do rio Wall (Holanda). Através de estudos baseados no estoque de nitrogênio e fósforo na água, no seston, no sedimento e nas macrófitas aquáticas a cada mês, os autores (BROCK et al, 1983) estimaram um fluxo anual de 16,8 g de nitrogênio e de 5,1 g de fósforo por m² de *Nymphoides peltata* para a cadeia de detritos. Estes autores mostram claramente a variação sazonal no estoque de nitrogênio e fósforo na biomassa de *Nymphoides peltata* onde as maiores concentrações foram observadas no verão (julho) e as menores no inverno (dezembro/fevereiro).

Uma das pesquisas mais completas sobre a absorção e translocação de fósforo em macrófitas aquáticas foi realizada por BRINSON & DAVIES (1976). Estes autores trabalhando com *Nuphar luteum*, mostraram que existe grande variação sazonal quanto a absorção e transporte de fósforo na planta, que está diretamente relacionada com a temperatura do meio. Deste modo, as maiores taxas de absorção e transporte de fósforo foram observadas no verão.

Em regiões tropicais, poucos são os trabalhos realizados sobre a composição química de macrófitas aquáticas,

especialmente aqueles objetivando verificar variações sazonais. Destaca-se porém o trabalho realizado por BARBIERI (1984) com quatro espécies de macrófitas aquáticas do reservatório o Lobo (Estado de São Paulo - Brasil). Este autor estudou a composição química orgânica e inorgânica de *Nymphoides indica*, *Pontederia cordata*, *Andropogon bicornis* e *Utricularia breviscapa* mensalmente, de fevereiro de 1980 a fevereiro de 1981, não tendo observado variação sazonal da composição química, mas apenas variações mensais. A inexistência de variação sazonal da composição química destas espécies de macrófitas aquáticas do reservatório do Lobo, se deve às altas temperaturas observadas ao longo de todo o ano, o que propicia crescimento e senescência constantes. Desta maneira, o autor (BARBIERI, 1984) infere que a absorção e a translocação de nutrientes nestes vegetais é semelhante tanto no verão como no inverno.

Outro aspecto relacionado à absorção de nutrientes pelas macrófitas aquáticas de grande importância para o metabolismo dos ecossistemas lacustres, refere-se especialmente ao fósforo. As macrófitas aquáticas submersas, emersas e com folhas flutuantes tem suas raízes localizadas na zona reduzida do sedimento. Nesta zona, o fósforo encontra-se excluído do metabolismo do ecossistema lacustre quando ocorre uma camada oxidada na região superficial do sedimento. As macrófitas enraizadas absorvem, portanto, o fósforo da camada reduzida do sedimento e o incorporam à sua biomassa, devolvendo-o por excreção e decomposição à coluna d'água. A capacidade que as macrófitas aquáticas possuem de absorver o fosfato da zona reduzida do sedimento, onde sua concentração é muitas vezes superior a da água, faz com que este elemento raramente atue como um fator limitante na produção primária destas plantas, ao contrário do que ocorre com o fitoplâncton.

DECOMPOSIÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Vários trabalhos, tem investigado a decomposição de diferentes espécies de macrófitas aquáticas e destacado a importância da liberação de nutrientes para a coluna d'água durante o processo de decomposição (BOYD, 1970a; KAUSHIK & HAYNES, 1971; BASTARDO, 1979; ESTEVES & BARBIERI, 1983).

Em ambientes aquáticos a decomposição do material vegetal é geralmente mais rápida do que no terrestre e apresenta duas fases bem distintas, ou seja, uma fase inicial rápida e uma segunda fase mais lenta. Na fase inicial rápida imperam os processos físicos e na segunda os processos biológicos (HOWARD-WILLIAMS & HOWARD-WILLIAMS, 1978; MANN, 1972; OLÁH, 1972; ULEHLOWÁ, 1978).

A grande maioria dos estudos sobre a decomposição de macrófitas aquáticas utiliza, de maneira geral, a técnica dos sacos de "litter". Nesta técnica, as macrófitas são coletadas no campo, transportadas ao laboratório onde são lavadas e submetidas a secagem até peso constante. Após o peso seco ser conhecido, as amostras são colocadas em sacos de tela de nylon que são posteriormente submersas no ambiente. A intervalos de tempo determinados, os sacos são retirados para análise da quantidade de material restante e da composição química. Baseando-se em estudos utilizando esta técnica, a maioria dos autores tem descrito as duas fases de decomposição acima mencionadas. No entanto, o estudo da decomposição utilizando esta técnica não reproduz fielmente o processo de decomposição que ocorre na natureza. O processo de secagem provoca a eliminação dos microrganismos e da fauna associada às macrófitas aquáticas. Este detrito, portanto, depois de seco passa primeiramente por um processo de rehidratação e posteriormente de recolonização por microrganismos, e pela fauna quando colocado na água.

Em condições naturais as macrófitas aquáticas já estão colonizadas por microrganismos e animais associados, observando-se um aumento gradativo destes, com o início da

fase de senescência. CAMARGO (1984) em um estudo sobre a fauna associada a três espécies de macrófitas aquáticas e ao seu detrito, observou grande quantidade de macroinvertebrados associados a folhas e caules vivos, notando a presença de vários indivíduos da família Chironomidae minando os pecíolos vivos de *Pontederia cordata*. No entanto, este autor somente observou efetiva instalação de macroinvertebrados no detrito, que foram estudados utilizando a técnica dos sacos de "litter", aproximadamente após três meses de decomposição. Os resultados obtidos por CAMARGO (1984) mostraram a ineficiência desta técnica para estudos de decomposição de macrófitas aquáticas e que as duas fases de decomposição com predominância dos processos físicos e químicos na primeira fase, pode ser resultante apenas de um efeito da técnica utilizada. Outras técnicas para estudos de decomposição devem, portanto, ser utilizadas para que se possa compreender melhor este processo. VAN DER VELDE et al (1982), por exemplo, utilizaram a técnica de marcação de folhas para estudo dos estágios iniciais da decomposição de *Nymphoides peltata*.

Apesar das ressalvas feitas à técnica dos sacos de "litter" esta, fornece bons resultados comparativos, principalmente quanto a velocidade de decomposição de diferentes espécies de macrófitas aquáticas e da liberação de íons para a coluna d'água.

Os principais fatores que determinam a velocidade de decomposição do detrito são a temperatura, a concentração de nutrientes na água e a composição química inicial do detrito (KAUSHIK & HYNES, 1971). Sendo a temperatura um dos fatores principais na determinação da velocidade de decomposição observa-se, de modo geral, que em regiões tropicais a velocidade de decomposição do detrito de macrófitas é maior. ESTEVES & BARBIERI (1983) trabalhando com duas espécies de macrófitas aquáticas de região tropical obtiveram taxas de decomposição bem mais elevadas do que as obtidas por BOYD (1970a, 1971) e MASON & BRYANT (1975) em região temperada.

A Tab. 2 mostra alguns resultados sobre a decomposição de diferentes espécies de macrófitas aquáticas de regiões tropicais e temperadas, evidenciando as diferentes velocidades de decomposição.

Tabela 2 - Porcentagem de perda de peso seco do detrito de diferentes espécies de macrófitas aquáticas durante o processo de decomposição, de acordo com vários autores.

ESPÉCIE	% DE PERDA DE PESO SECO								AUTOR
	dias		semanas						
	7-14	4	6	8	10	12	15-16	24	
<i>Juncus effusus</i>	5	-	-	-	-	30	60	65	BOYD (1971)
<i>Typha latifolia</i>	5	-	-	-	-	25	30	45	BOYD (1970a)
<i>Spartina alterniflora</i>	2	-	-	-	-	10	30	50	BURKHOLDE & BORN SIDE (1957)
<i>Carex gracilis</i>	-	42	42	55	-	-	-	-	BURKHOLDE & BORN SIDE (1957)
<i>Potamogeton pectinatus</i>	20	45	-	-	-	-	85	-	HOWARD-WILLIAMS & DAVIES (1979)
* <i>Nymphoides indica</i>	50	-	-	-	-	70	-	90	ESTEVES & BARBIE RI (1983)
* <i>Polygonum ferrugineum</i>	30	-	-	-	-	35	-	55	ESTEVES & BARBIE RI (1983)

* espécies de região tropical

Esta maior velocidade de decomposição do detrito das macrófitas aquáticas em regiões tropicais promove também liberação mais intensa de íons para a coluna d'água CAMARGO et al (1983) em um estudo em laboratório com duas espécies de macrófitas aquáticas de região tropical observaram a intensa liberação de nitrogênio e fósforo para a água. Um má-

ximo de 2 mg.l^{-1} de nitrogênio orgânico dissolvido e $5,2 \text{ mg.l}^{-1}$ de fósforo dissolvido foi liberado para a água durante a decomposição de *Pontederia cordata* e um máximo de $1,8 \text{ mg.l}^{-1}$ de nitrogênio orgânico dissolvido e $5,0 \text{ mg.l}^{-1}$ de fósforo dissolvido foi liberado por *Nymphoides indica*. Estes valores reforçam a importância das macrófitas aquáticas na recuperação de nutrientes para o ecossistema através do processo de decomposição.

A Fig. 2 ilustra o papel das macrófitas aquáticas na ciclagem de nutrientes em ecossistemas aquáticos continentais.

MACRÓFITAS AQUÁTICAS E A CICLAGEM DE NUTRIENTES EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS (REPRESAS)

Em ambientes lóticos, de maneira geral, o papel das macrófitas aquáticas, bem como de toda a comunidade autóctone é menos importante para a ciclagem de matéria do que a contribuição alóctone. Em rios, a grande turbulência da água é o principal fator limitante ao desenvolvimento de organismos planctônicos e de comunidades de macrófitas aquáticas, que normalmente se limitam a pequenas áreas de remansos, onde as condições são mais favoráveis ao seu desenvolvimento.

Com a construção de barragens e a transformação de rios em grandes reservatórios, todo o metabolismo do ecossistema aquático se altera (Fig. 3). A turbulência diminui drasticamente, surgindo condições favoráveis ao desenvolvimento de extensas comunidades de macrófitas aquáticas e fitoplanctônicas. Além da redução da turbulência a inundação de áreas cobertas por vegetação terrestre, promove a morte desta vegetação, que ao se decompor libera grandes quantidades de nutrientes e matéria orgânica para a coluna d'água e para o sedimento (MOUCHET, 1984). Na região norte do Brasil (Amazônia), onde grandes barragens tem sido construídas, estes fenômenos são de extrema importância, pois a biomassa

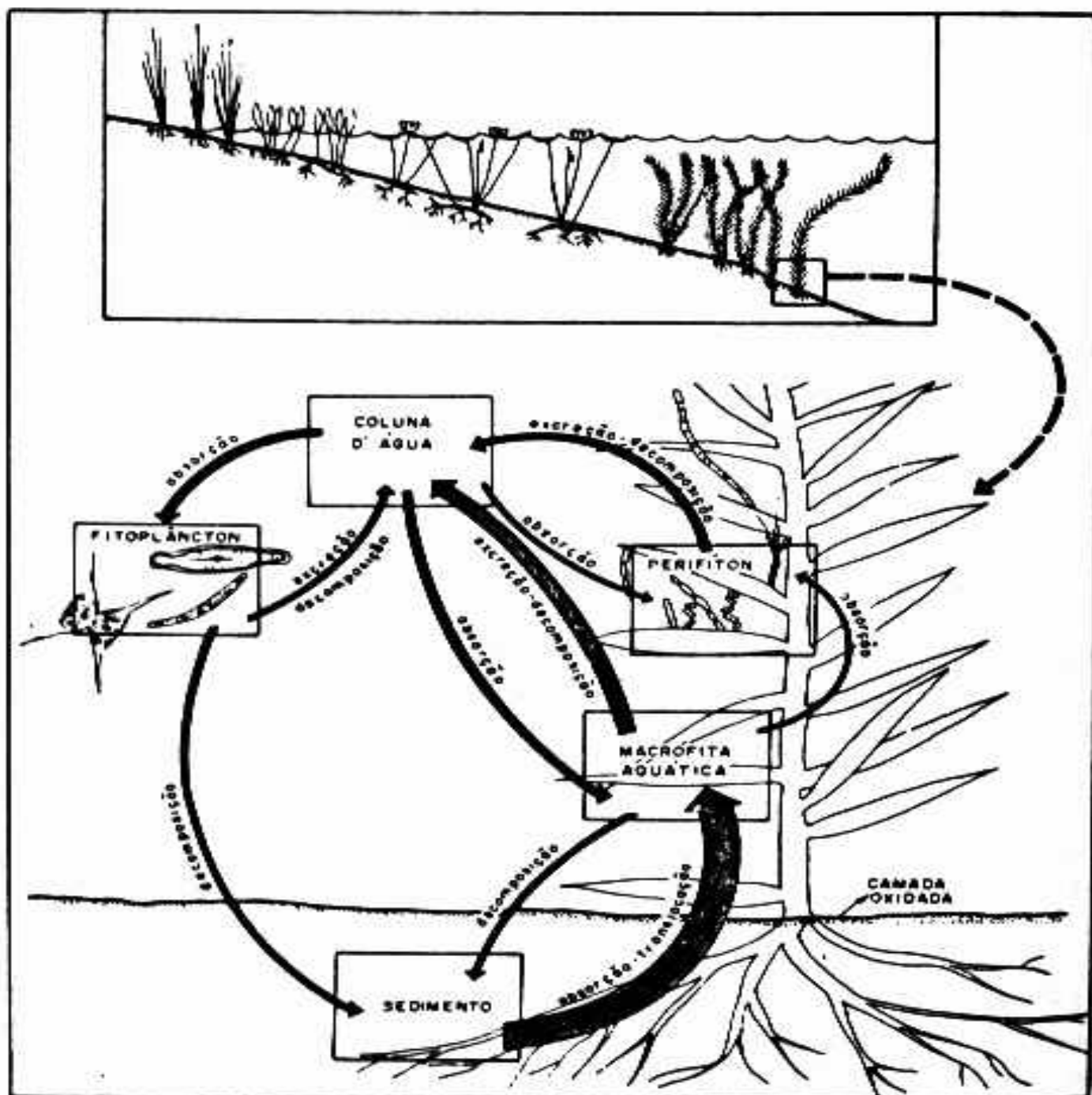


Figura 2 - Principais aspectos das interrelações entre macrófitas aquáticas, meio ambiente e outras comunidades, no que diz respeito a ciclagem de nutrientes na região litorânea. A espessura das setas indica a intensidade do processo.

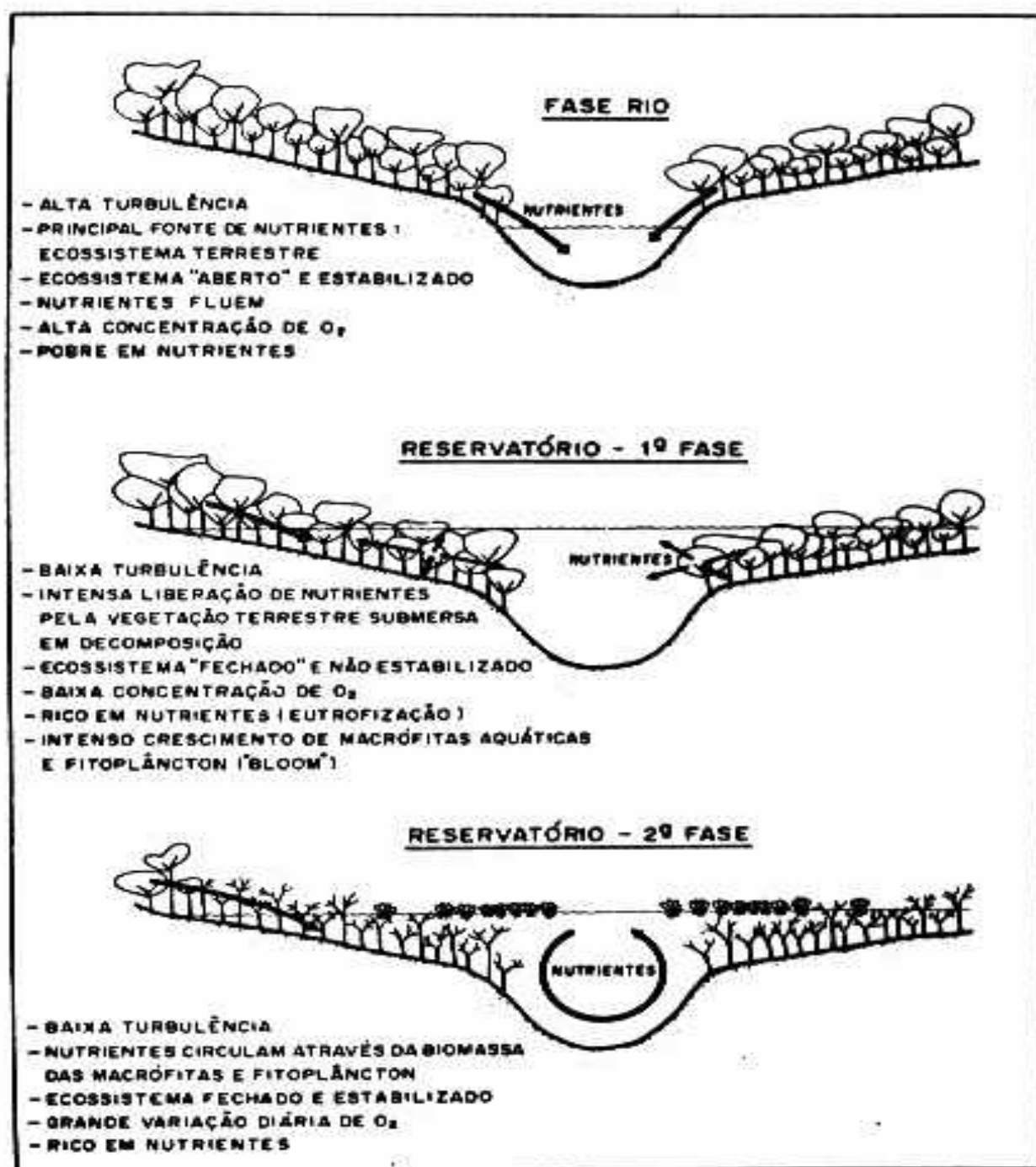


Figura 3 - Seqüência de eventos relacionados com a formação de um ecossistema lacustre (reservatório) em uma área de densas formações florestais e suas implicações sobre o desenvolvimento de macrófitas aquáticas flutuantes.

vegetal inundada atinge valores muito elevados. Desta maneira, a intensa decomposição da vegetação terrestre, devido às altas temperaturas da região, promove uma intensa liberação de nutrientes. Como consequência das altas concentrações de nutrientes na água e no sedimento e da redução da turbulência da água, observa-se o processo de acelerado crescimento de macrófitas aquáticas que se restringiam inicialmente às pequenas áreas de remansos. As espécies de macrófitas flutuantes que retiram os nutrientes da coluna d'água para seu desenvolvimento devolvem-no, através da excreção e da decomposição de sua biomassa para a própria coluna d'água, e as macrófitas enraizadas no sedimento retiram os nutrientes deste compartimento, enriquecendo ainda mais a coluna d'água.

A melhor opção para a diminuição da quantidade de macrófitas aquáticas nos reservatórios é a sua remoção, pois além de diminuir a quantidade dos vegetais, reduz também a quantidade de nutrientes do ecossistema, contribuindo assim para a sua estabilização. No entanto, em reservatórios com superfícies muito grandes este procedimento pode ser prejudicado, não somente pelo custo da operação de retirada, como também pela velocidade de crescimento das macrófitas aquáticas. Desta maneira, os possíveis problemas ecológicos que surjam com a construção de reservatórios de grande porte, devem ser considerados ainda nos estudos de viabilidade destes projetos, podendo inclusive nesta fase ser determinada a sua não realização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, S.E. & PEARSALL, W.H. Leaf analysis and shoot production in *Phragmites*. Oikos, 14: 176-89, 1963.
- ALLENBY, K.G. The manganese and calcium contents of some aquatic plants and the water in which they grow. Hydrobiologia, 29: 239-44, 1967.

- ALLENBY, K.G. Some analysis of aquatic plants and waters. Hydrobiologia, 32: 468-90, 1968.
- ARBER, A. Water plants. A study of aquatic angiosperms; Cambridge, Cambridge University Press, 436p. 1920.
- BARBIERI, R. Estudo da composição química de algumas espécies de macrófitas aquáticas e suas implicações no metabolismo da Represa do Lobo (Broa), SP. São Carlos, UFSCar, 1984. Tese Mestrado.
- BARBIERI, R.; ESTEVES, F.A.; REID, S.W. Contribution of two aquatic macrophytes to the nutrient budget of Lobo Reservoir, São Paulo, Brazil. Ver. Int. Ver. Limnol., 22: 1631-35, 1984.
- BARKO, W.J. & SMART, M.R. Mobilization of sediment phosphorus by submersed freshwater macrophytes. Freshwater Biol., 10: 229-39, 1980.
- BASTARDO, H. Laboratory studies on decomposition of littoral plants. Pol. Arch. Hydrobiol., 26: 267-99, 1979.
- BIRGE, E.A.; JUDAY, C.; MARCH, H.W. The temperature of the botton deposits of lake Mendota. Trans. Wis. Acad. Sci., 23, 1928.
- BOYD, C.E. Amino Acid, protein, and caloric content of vascular aquatic macrophytes. Ecology, 51: 902-6, 1970.
- _____. The dynamics of dry matter and chemical substances in a *juncus effusus* population. Am. Midl. Nat., 86: 28-45, 1971.
- BRINSON, M.M. & DAVIES, G.J. Primary productivity and mineral cycling in aquatic macrophyte communities of the

Chowan River, North Carolina. North Carolina, Water Resources Research Institute of the University of the North Carolina, 1976. n.p. (Report, 120)

- BROCK, Th.C.M.; ARTS, G.H.P.; GOOSEN, I.L.M.; RUTENFRANS, A.W.M. Structure and biomass production of *Nymphoides peltata* (GMEL.) O. Kuntze (Menyanthaceae). Aquat. Bot., 17: 167-88, 1983.
- BURKHOLDER, P.R. & BORNSIDE, G.H. Decomposition of marsh grass by aerobic marine bacteria. B. Torrey Bot. Club, 84: 366-83, 1957.
- CAINES, L.A. The phosphorus content of some aquatic macrophytes with special reference to seasonal fluctuations and applications of phosphate fertilizers. Hydrobiologia, 25: 289-301, 1965.
- CAMARGO, A.F.M. Estudo ecológico de três espécies de macrófitas aquáticas tropicais: macroinvertebrados associados e decomposição da biomassa. São Carlos, UFSCar, 1984. Te se Mestrado.
- CAMARGO, A.F.M.; ISHII, I.H.; ESTEVES, F.A. Liberação de componentes orgânicos e inorgânicos para a coluna d'água durante o processo de decomposição de duas espécies de macrófitas aquáticas tropicais. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 3, São Carlos, UFSCar, 1983. Anais ... São Carlos, UFSCar, 1983. p. 87-99.
- DAVIES, G.S. Productivity of macrophytes in Marion Lake, British Columbia. J. Fish. Res. Bd. Canada, 27: 71-81, 1970.
- DE LA CRUZ, A.A. & GABRIEL, B.C. Caloric, elemental, and nutritive changes in decomposing *Juncus roemerianus* leaves.

Ecology, 55: 882-86, 1974.

- DYKYJOVÁ, D. & HRADECKÁ, D. Productivity of reedbed stands in relation to the ecotype, microclimate and trophic conditions of the habitat. Pol. Arch. Hydrobiol., 20: 11-119, 1973.
- ESTEVEZ, F.A. Die bedeutung der aquatischen makrophyten für den stoffhaushalt des schönsees. I. Die produktion an biomasse. Arch Hydrobiol., 2: 117-43, 1979. Suplemento 57.
- _____. Die bedeutung der aquatischen makrophyten für den stoffhaushalt des schönsees. II. Die organischen Hauptbestandteile und der Energiegehalt der aquatischen Makrophyten. Arch. Hydrobiol., 2: 144-87, 1979. Suplemen to 57.
- ESTEVEZ, F.A. & BARBIERI, R. Dry weight and chemical changes during decomposition of tropical macrophytes in Lobo Reservoir - São Paulo, Brazil. Aquat. Bot., 16: 285-95, 1983.
- GERLOFF, G.C. & KROMBOLZ, P.H. Tissue analysis as a measure of nutrient availability for the growth of angiosperm aquatic plants. Limnol. Oceanogr., 11: 529-37, 1966.
- GORTNER, R.A. Lake vegetation as a possible source of forage. Science, 80: 531-33, 1934.
- GRUBE, K.H. Über den Zusammenhang von phosphathaushalt und photosynthese bei *Helodea densa*. Planta, 42: 279-303, 1953.
- HAYNES, F.R. & PHILLIPS, J.E. Lake water and sediment. IV Radio-phosphorus equilibrium with mud, equilibrium with

mud, plants and bacteria under oxidized and reduced conditions. Limnol. Oceanogr., 3: 459-75, 1958.

HOWARD-WILLIAMS, C. Growth and production of aquatic macrophytes in a south temperature saline lake. Verch. Int. Ver. Limnol., 20: 1153-58, 1978.

HOWARD-WILLIAMS, C. & HOWARD-WILLIAMS, W. Nutrient leaching from swamp vegetation of lake Chilwa, a shallow African lake. Aquat. Bot., 4: 257-67, 1978.

HOWARD-WILLIAMS, C. & DAVIES, B.R. The raters of dry matter and nutrient loss from decomposing *Potamogeton pectinatus* in a brackish south-temperature coastal lake. Freshwater Biol., 9: 13-21, 1979.

HOWARD-WILLIAMS, C. & JUNK, W.J. The chemical composition of Central Amazonian aquatic macrophytes with special reference to their role in the ecosystem. Arch. Hydrobiol., 79: 446-64, 1977.

HOWARD-WILLIAMS, C. & LENTON, G.M. The role of the littoral zone in the functioning of a shallow tropical lake ecosystem. Freshwater Biol., 5: 445-59, 1975.

KAUSHINK, N.K. & HYNES, H.B.N. The fate of dead leaves that fall into streams. Arch. Hydrobiol., 68: 465-515, 1971.

LITTLE, E.C.S. Handbook of utilization of aquatic plants. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1968, 123p.

MANN, K.H. Ecological energetics of the sea-weed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. II. Productivity of the seaweeds. Mar. Biol., 14: 199-200, 1972.

- MASON, C.F. & BRYANT, R.J. Production, nutrient content and decomposition of *Phragmites communis* TRIN. and *Typha angustifolia* L. J. Ecol., 63: 71-95, 1975.
- McROY, C.P. & BARSDATE, R.J. Phosphate absorption in eelgrass. Limnol. Oceanogr., 15: 6-13, 1970.
- McROY, C.P.; BARSDATE, R.J.; NEBERT, M. Phosphorus cycling in an eelgrass (*Zostera Marina*) ecosystem. Limnol. Oceanogr., 17: 58-67, 1972.
- McROY, C.P. & GOERING, J.J. Nutrient transfer between the seagrass *Zostera marina* and its epiphytes. Nature, 248: 173-74, 1974.
- MENESES, C.F.S. Biomassa e produção primária de três espécies de macrófitas aquáticas da represa do Lobo (Broa) Sp. São Carlos, UFSCar, 1984. 253p. Tese Mestrado.
- MOUCHET, P.C. Influence of recently drowned terrestrial vegetation on the quality of water stored in impounding reservoirs. Ver. Int. Ver. Limnol., 22: 1608-19, 1984.
- NELSON, J.W. & PALMER, L.S. Nutritive value and chemical composition of certain freshwater plants of Minnesota. I. Nutritive value and general chemical composition of species of Elodea, Myriophyllum, Valisneria and other aquatic plants. Minnesota, Agricultural Experiment Station, University of Minnesota, 1938. (Minn. Tech. B., 136)
- NICHOLS, D.S. & KEENEY, D.R. Nitrogen of *Myriophyllum spicatum*: uptake and translocation of ^{15}N by shoots and roots. Freshwater Biol., 6: 145-54, 1976.
- OLÁH, J. Leaching, colonization and stabilization during detritus formation. Men. Inst. Ital. Idrobiol., 29: 105-

27, 1972. Suplemento.

- PIECZYŃSKA, E. In selected problems of lake littoral ecology. Warsaw, University of Warsaw, 1976. p. 195-209.
- POMEROY, L.R. The strategy of mineral cycling. An. R. Ecol. Syst., 1: 171-90, 1970.
- RIEMER, D.N. & TOTH, S.J. A survey of the chemical composition of aquatic plants in New Jersey. New Brunswick. New Jersey Agricultural Experiment Station, 1968.
- _____. A survey of the chemical composition of *Potamogeton* and *Myriophyllum* in New Jersey. Weed Sci., 17: 219-23, 1969.
- RUTTNER, F. Die verteilung des planktons im suawasserseeeen. Adberh. Fortschr., 10, 1914.
- SCHUETTE, H.A. & ALDER, H. A note on the chemical composition of *Chara* from Green Lake, Wisconsin. Trans. Wis. Acad. Sci., Arts and Let., 10: 141-45, 1929.
- _____. Notes on the chemical composition of some of the larger aquatic plants of Lake Mendota. II. *Vallisneria* and *Potamogeton*. Trans. Wis. Acad. Sci., Arts and Let., 23: 249-54, 1928.
- SCHUETTE, H.A. & HOFFMAN, A.E. Notes on the chemical composition of some of the larger aquatic plants of Lake Mendota. I. *Cladophora* and *Myriophyllum*. Trans. Wis. Acad. Sci., Arts and Let., 20: 529-31, 1921.
- SCULTHORPE, C.P. The biology of aquatic vascular plants. New York, St. Martins Press, 1967. 610p.

- SUTCLIFFE, J.F. Salt uptake in plants. Biol. R., 34: 159-218, 1958.
- THIENEMANN, A. Der See als Lebensseinheit. D. Naturwissenschaften, 13, 1925.
- THOMAZ, S.M. & ESTEVES, F.A. Estudo da biomassa de algumas espécies de macrófitas aquáticas tropicais quanto ao seu valor nutritivo. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 4, São Carlos, 1984. Anais ... São Carlos, UFSCar, 1984. p. 439-67.
- OLEHLOWÁ, B. In pond littoral ecosystems. Berlin, Springer-Verlag, 1978. p. 341-53. (Structure Functioning Ecological Studies, 28)
- VAN DER VELDE, G.; VAN DER HEIJDEN, L.A.; VAN GRUNSVEN, P. A.J.; BEKKENS, P.M.M. Initial decomposition of *Nymphoides peltata* (GMEL.) O. Kuntze (Menyanthaceae), As studied by the leaf marking method. Hydrobiol. B., 16: 51-60, 1982.
- WESTLAKE, D.F. Comparations of plant productivity. Biol. R., 38: 385-425, 1963.
- _____. Some basic data for investigations of the productivity of aquatic macrophytes. Mem. Inst. Ital. Idrobiol., 18: 229-48, 1965. Suplemento.
- WETZEL, R.G. A comparative study of the primary productivity of higher aquatic plants, periphyton and phytoplankton in a large shallow lake. Int. R. Gesantem Hydrobiol., 49: 1-61, 1964.
- _____. Limnology, W.B. Philadelphia Saunders, Philadelphia, 1975. 743p.

AGRADECIMENTOS

Somos gratos aos Colegas do Laboratório de Limnologia, DCB/UFSCar, pelas valiosas críticas e a Maria Rosa Esteves pela revisão minuciosa do manuscrito.

ENDEREÇO DOS AUTORES

ESTEVES, F.A.

Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Ciências Biológicas
Laboratório de Limnologia
13560 São Carlos - SP

CAMARGO, A.F.M.

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Departamento de Ecologia
13500 Rio Claro - SP