

# MONITORAMENTO E MANEJO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Marcelo Pompêo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>USP, Instituto de Biociências, Depto. de Ecologia, Rua do Matão, Travessa 14, 321, Butantã, São Paulo, SP - Brasil - 05508-900.  
E-mail: mpompeo@ib.usp.br

## RESUMO

Macrófitas aquáticas são vegetais visíveis a olho nu com partes fotossinteticamente ativas, permanentemente, total ou parcialmente submersa em água doce ou salobra, por diversos meses, todos os anos, ou ainda flutuante sobre a água. Entre suas principais características destacam-se: acumular biomassa; acelerar a ciclagem de nutrientes; influenciar a química da água; atuar como substrato para algas; e sustentar a cadeia de detritos e de herbivoria. São importantes componentes estruturais e do metabolismo dos ecossistemas aquáticos tropicais sul-americanos apresentando crescimento durante todo o ano, pois há regime térmico e luminoso favoráveis. No entanto, podem apresentar intenso crescimento, tornando-se potencialmente prejudiciais aos usos múltiplos de reservatórios, tais como para a geração de energia e água para abastecimento público. Assim, as macrófitas aquáticas têm reconhecida importância na estruturação e na dinâmica dos ecossistemas aquáticos e os estudos dessa comunidade não podem ser negligenciados e devem contemplar aspectos teóricos e aplicados (monitoramento e manejo). Neste manuscrito será dada ênfase na discussão sobre o manejo das macrófitas aquáticas, como os métodos de controle do crescimento, as formas de descarte, o aproveitamento da biomassa removida e a utilização do crescimento controlado das macrófitas aquáticas, particularmente em reservatórios empregados para o abastecimento público.

**Palavras-chave:** macrófita aquática, monitoramento, manejo, reservatório.

## ABSTRACT

**MONITORING AND MANAGEMENT OF AQUATIC MACROPHYTES.** Aquatic macrophytes are macroscopic plants with active photosynthetic parts that remain totally or partially submerged in fresh or salty water for several months per year. They can also occur floating freely on water surface. Their main biological traits are: tendency to accumulate biomass, acceleration of nutrient cycling, marked influence on water chemistry, act as substrate to other algae, support detritus and herbivorous food chains. They are also important structural components participants of metabolism in South American aquatic ecosystems, where they growing continuous throughout the year, as thermal and light conditions are favorable. However, their growth is potentially harmful in water reservoirs of diverse utility, such as energy generation and water supply. Therefore, aquatic macrophytes are important in structuring and setting the dynamics of aquatic ecosystems, and studies of their communities are therefore important and ought to consider both theoretical and practical approaches (monitoring and management). The present paper focused on on aquatic macrophyte management, regarding methods to control their growth, ways of disposing of plants, uses to removed biomass, and how to use controlled growth of aquatic macrophytes in water reservoirs, especially of public use.

**Keywords:** aquatic macrophyte, monitoring, management, water reservoir.

## INTRODUÇÃO

Visando satisfazer a crescente demanda por água, inúmeras represas foram construídas no século passado. Considerada como símbolo de modernização e da habilidade humana em controlar e utilizar recursos da natureza, a construção de grandes represas cresceu consideravelmente entre as décadas de 30 e 70 (CMR

2000). Esta tendência foi mantida até seu apogeu na década de 70.

Em reservatórios urbanos, como nas represas Billings e Guarapiranga (São Paulo, SP), o processo de eutrofização tem sido acelerado mediante interferência humana, podendo afetar a dinâmica das comunidades aquáticas (Cetesb 1996, Beyruth 1996, Pompêo *et al.* 2005). Entre os inúmeros efeitos

negativos que ocasiona nos corpos d'água pode-se destacar: o desenvolvimento intenso e descontrolado do fitoplâncton; degradação da qualidade da água com alterações de composição, cor, turbidez, transparência, aumento da decomposição orgânica, causando, conseqüentemente, maior consumo de oxigênio dissolvido até anoxia; liberação de gases e produção de maus odores; produção de substâncias tóxicas; prejuízos consideráveis para o uso da água em abastecimento, irrigação, aproveitamentos hidrelétricos, recreação, turismo e paisagismo, entre outros (Azevedo-Neto 1988). As macrófitas aquáticas também podem apresentar crescimento intenso com a potencialidade de alterar a qualidade da água e interferir nos usos múltiplos do sistema.

Macrófitas aquáticas são vegetais visíveis a olho nu com partes fotossinteticamente ativas, permanentemente, total ou parcialmente submersa em água doce ou salobra, por diversos meses, todos os anos, ou ainda flutuante na mesma (Irgang & Gastal Jr. 1996).

Os estudos sobre ecologia de macrófitas aquáticas no Brasil são relativamente escassos (Thomas & Bini 2003). As justificativas para a necessidade atual do aumento do número de estudos podem ser resumidas considerando-se os seguintes aspectos: a) existe uma grande quantidade de ecossistemas que abrigam várias espécies de macrófitas aquáticas; b) as macrófitas aquáticas desempenham diferentes funções ecológicas; c) as macrófitas aquáticas constituem um grupo de organismos especialmente adequado, devido à alta biodiversidade e ao rápido crescimento para o teste de hipóteses ecológicas e para os estudos experimentais; e d) em ambientes alterados por atividades humanas, as macrófitas aquáticas podem ocasionar efeitos indesejáveis. Portanto, nos estudos dessa importante comunidade aquática não só ampliará o conhecimento sobre diversos aspectos de sua ecologia, como constituirá base para aplicações em programas de monitoramento e manejo.

Entre as principais características das macrófitas aquáticas destacam-se a habilidade de acumular e acelerar a ciclagem de nutrientes (Caines 1965, Boyd 1969, Riemer & Toth 1969, Brock *et al.* 1983). Também exercem papel de destaque nos ecossistemas aquáticos rasos, influenciando a química da água, atuando como substrato para algas, sustentando a cadeia de detritos e de herbivoria (Wetzel 1981). São importantes componentes estruturais e

do metabolismo dos ecossistemas aquáticos tropicais sul-americanos. Por volta de 95% da biomassa total está concentrada nas plantas aquáticas, determinando que as redes tróficas iniciem no detrito (Juan J. Neiff, Centro de Ecología Aplicada del Litoral, Corrientes, Argentina, comunicação pessoal).

Segundo Esteves & Camargo (1986), as macrófitas aquáticas de região tropical têm crescimento durante todo o ano, pois há regimes térmico e luminoso favoráveis. Os estudos a campo também sugerem que o desenvolvimento se processa em distintas taxas, isto é, há períodos de maior crescimento ativo ao longo do ano. De modo a minimizar a competição por espaço, nutrientes, luz, etc., esse crescimento não ocorre no mesmo período para as diversas plantas que coexistem no ecossistema aquático. Desta forma, ocorre um crescimento diferencial, com espécies crescendo durante períodos mais amplos e outras se desenvolvendo por períodos menores, minimizando os efeitos da competição, como observado por Neiff (1990).

As macrófitas aquáticas podem apresentar intenso crescimento, tornando-se potencialmente prejudiciais à geração de energia. No sistema Pirai - Paraíba do Sul, a Light disponibilizou cerca de US\$ 3.000.000,00 ao ano com a retirada de cerca de 40 caminhões diários de macrófitas aquáticas. A CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco), no sistema Moxotó-Paulo Afonso (BA), retirou das grades de proteção de entrada de água das turbinas grande quantidade de *Egeria densa*. Os prejuízos são maiores quando somados aos custos envolvidos na interrupção temporária da geração de energia elétrica pela paralisação das turbinas. O conhecimento sobre a ecologia de macrófitas aquáticas tropicais fornecerá subsídios para auxiliar no manejo dessas plantas, colaborando no gerenciamento ambiental (Pompêo 1999). O intenso crescimento também poderá causar transtornos aos outros usos do reservatório, como o abastecimento público.

Desta forma, as macrófitas aquáticas têm reconhecida importância na estruturação e na dinâmica dos ecossistemas aquáticos. Os estudos dessa comunidade não podem ser negligenciados e devem contemplar aspectos teóricos e aplicados (monitoramento e manejo).

Neste manuscrito será dada ênfase na discussão do manejo das macrófitas aquáticas, como os métodos de controle do crescimento, as formas de descarte e o

aproveitamento da biomassa removida e a utilização do crescimento controlado das macrófitas aquáticas, particularmente em reservatórios empregados no abastecimento público.

### CONTROLE DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Com relação ao controle do crescimento de macrófitas aquáticas e a redução dos impactos negativos desse intenso crescimento, diversos procedimentos podem ser empregados (Tabela I). Neste manuscrito aspectos relativos aos métodos de controle físicos, mecânicos e biológicos foram retirados de Department of Ecology (Gibbons *et al.* 1994, Aquatic Plant Management) (Washington State, USA).

Para a seleção do método de controle, para cada procedimento empregado, é importante conhecer suas vantagens e desvantagens para o ecossistema aquático e aos usos múltiplos do sistema (Gibbons *et al.* 1994). Considerar o tipo ecológico da macrófita aquática problema e conhecer a biologia da planta aquática corrobora na tomada de decisão (Nichols 1991).

Os procedimentos de controle podem ser aplicados em situações extremas, quando o reservatório encontra-se infestado (gerenciamento corretivo, Straškraba & Tundisi 2000). No médio prazo, estes autores discutem que o gerenciamento preventivo tem o enfoque de criar situações que não permitam o aparecimento de problemas de qualidade da água, em particular do crescimento descontrolado de macrófitas aquáticas. No maior horizonte temporal possível, deve-se vislumbrar a disponibilidade dos recursos para as gerações futuras, incorporando procedimentos que permitam o gerenciamento auto-sustentado (Straškraba & Tundisi, *op cit.*). Neste

manuscrito serão discutidos preferencialmente procedimentos corretivos e preventivos. No caso da efetiva infestação, o procedimento de controle é corretivo e é conveniente que seus princípios sejam norteados por um amplo programa de gestão ambiental, incorporando propostas de monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. Desta forma, corretivamente são tomadas medidas baseadas em critérios pré-estabelecidos pelo programa de monitoramento (acompanhamento realizado através de observações de parâmetros ambientais, indicadores da dinâmica de um ecossistema) e manejo, que visam não só controlar o crescimento, mas solucionar os problemas secundários originados desse intenso crescimento de macrófitas aquáticas.

### PROCEDIMENTOS DE CONTROLE

Entre os procedimentos de controle aplicados, o método mais simples é semelhante à remoção manual de ervas daninhas no jardim, com emprego de pás, facas e bolsas vazadas para retirar e armazenar as porções vegetais removidas, toda a planta (tais como frações aéreas, aquáticas e sob o sedimento). Em ambientes rasos não há necessidade de equipamentos sofisticados, mas em águas profundas é necessária experiência e equipamento de mergulho autônomo. Este método é recomendado para lagos pequenos e ligeiramente infestado. Sua vantagem é ser específica, com remoção unicamente das espécies desejadas, com mínimo impacto sobre as demais plantas presentes no lago.

Outro procedimento implica no corte das macrófitas enraizadas, mas sem remoção de suas raízes. Para esta finalidade pode ser empregado instrumento em forma de “V” com lâminas cortantes na parte externa (Figura 1a). Este instrumento é lançado na água

Tabela I. Métodos empregados no controle de plantas aquáticas. Segundo o Department of Ecology (Washington, Estados Unidos da América - EUA).  
Table I. Methods employed in controlling aquatic plants, according with the Department of Ecology of Washington, United States of America (USA).

Métodos físicos	Métodos mecânicos	Métodos biológicos	Métodos químicos
Poda e coleta manual	Poda e coleta	Carpa capim	Fluridone
Aplicação de barreira / cobertura do sedimento	“rotovation”	Fungos	Glyphosate
Alterações no nível de água	Dragagem		Endothall
Controle da bacia hidrografia			Compostos de cobre
Tingir a coluna de água			Diquat

e puxado sobre o sedimento cortando a macrófita aquática, posteriormente removida. Também é útil para aplicação em pequenos corpos de água com a desvantagem de não ser seletivo e permitir a rebrota dos fragmentos.

Um ancinho robusto também é um instrumento útil para remover as macrófitas aquáticas enraizadas, permitindo inclusive a remoção de raízes (Figura 1b). O ancinho é lançado à curta distância e puxado em direção a margem, com a posterior retirada da vegetação. Sua aplicação é recomendável na fase inicial de colonização. Sua desvantagem é não ser específico, removendo qualquer planta aquática, além de revolver o sedimento, com impacto sobre os organismos bentônicos e na qualidade da água.

Outro procedimento é o uso de tela para cobrir o sedimento (Figura 1c). Seu objetivo é reduzir ou bloquear a luz disponível impedindo o crescimento de macrófitas aquáticas enraizadas. A tela de fundo deve ser durável e pesada, para não flutuar e de fato reduzir a disponibilidade da luz, impedindo o desenvolvimento de plantas abaixo da tela. Além do mais, deve permitir a passagem de gases, evitando que seu acúmulo sob a manta arraste a estrutura para a superfície. As telas de fundo podem ser instaladas em volta de docas e em áreas de recreação. Como materiais, podem ser empregados telas de mosquiteiro, facilmente encontrados e instalados pelos proprietários ou por mergulhadores contratados. Como vantagem, a instalação da tela de fundo cria uma área aberta no espelho de água. Como desvantagem de sua instalação há redução da área para organismos bentônicos e também pode ser prejudicial para outros animais que revolvem o sedimento ou constroem ninhos, como algumas espécies de peixes; as telas e seus fixadores podem apresentar riscos de segurança a barqueiros e nadadores; em ambientes rasos com luz até o fundo as macrófitas aquáticas podem rapidamente colonizar a porção superior da tela. O período de permanência da cobertura depende da macrófita aquática problema, da taxa de sedimentação e da durabilidade do material empregado. A manutenção regular é essencial para estender a vida útil da barreira de fundo.

Também podem ser empregados cortadores mecânicos para poda abaixo da lâmina de água (Figura 1d). Este é constituído de um conjunto de lâminas que se movimentam uma sobre a outra enquanto é passada na profundidade escolhida para poda. Após o corte,

a vegetação é removida por coleta manual. Também não é um instrumento específico, cortando qualquer macrófita aquática e não é adequado à aplicação nas plantas flutuantes.

A alteração do nível de água também é procedimento empregado no controle do crescimento de plantas aquáticas (Figura 1e). Consiste em alterar a altura da lâmina de água, permitindo acúmulo ou redução de água no lago. Este procedimento modifica o regime de luminosidade, para as plantas submersas, e diminui a cota da lâmina de água reduzindo a área potencial para colonização no sedimento tanto para as emersas como para as submersas. Como ponto negativo a modificação da altura da lâmina de água interfere na hidrodinâmica de todo sistema, alterando o padrão de estratificação e de luminosidade, com reflexo em toda biota. Além disso, a rápida liberação da água pelo abaixamento de todas as comportas de um reservatório pode ser utilizada como procedimento para remoção das macrófitas aquáticas do sistema.

A dragagem, mediante o uso de mangueira e bomba, permite sugar o sedimento e todas as partes da macrófita aquática, inclusive as raízes. Com esse procedimento é possível remover a espécie problema, deixando as demais intactas, mas poderá ser prejudicial aos organismos bentônicos. É considerada técnica muito cara. Além disso, revolve e levanta o sedimento, com potencial de liberar nutrientes, metais ou outras substâncias tóxicas para a coluna de água.

Há o “rotovator” (Tabela I), que se constitui numa grande máquina com lâminas giratórias que revolvem o sedimento removendo a vegetação enraizada. É composto de uma máquina de elevado custo financeiro e requer manutenção permanente. Ao revolver e levantar o sedimento a água fica temporariamente turbida e nutrientes e metais pesados podem ser lançados na coluna de água, além de prejudicar a fauna bentônica.

Pode-se também tingir a água, reduzindo a penetração da luz disponível para as macrófitas aquáticas (Tabela I).

Marchi *et al.* (2005b) conduziram estudos com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de chama no controle de *Eichhornia crassipes*, *Brachiaria subquadriflora*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia auriculata*. No primeiro experimento utilizaram diferentes doses de chama, representadas pela quantidade de gás consumida durante a aplicação, e, no segundo experi-

mento, usaram duas aplicações de chama em intervalo de 14 dias, uma aplicação seqüencial (intervalo de sete dias) e aplicação única, comparadas com plantas que não receberam nenhum tratamento térmico. Os autores observaram no primeiro experimento, reduções significativas na produção da biomassa seca das espécies *E. crassipes*, *B. subquadripara* e *P. stratiotes* tratadas com as maiores doses referentes aos consumos de gás. Doses menores não diferiram estatisticamente da testemunha quanto à produção de biomassa seca, exceção feita para a espécie *P. stratiotes*. Todas as aplicações seqüenciais (segundo experimento) proporcionaram redução acima de 90% na produção da biomassa seca de *E. crassipes* e *B. subquadripara*. As aplicações seqüenciais e únicas proporcionaram reduções abaixo de 37% na produção da biomassa seca de *S. auriculata*. Concluem que há possibilidade no uso do controle físico através da aplicação de chama como alternativa no manejo de macrófitas aquáticas emersas.

Além desses procedimentos físicos manuais há o emprego de sofisticadas máquinas de grande porte.

Ceifadeiras mecânicas são grandes máquinas que além de cortar recolhem as macrófitas aquáticas (Figura 1g). As porções cortadas são removidas por um sistema de esteira e depositadas num compartimento no próprio equipamento. Junto com as plantas, as ceifadeiras também removem pequenos peixes e invertebrados. Há referência da remoção de animais anfíbios e tartarugas marinhas. É conveniente inspecionar e limpar o equipamento antes de lançá-lo em outro corpo de água, necessário para evitar infestar o próximo lago com espécies nocivas ou exóticas. A aplicação do equipamento permite a rápida abertura de áreas antes infestadas. Previamente ao uso deste equipamento também é necessário definir áreas para descarte da vegetação, preferencialmente próximo ao local de corte, reduzindo os custos de operação. Segundo Velini *et al.* (2005), a ida e vinda do equipamento a área de descarte reduz o número de horas trabalhadas, ampliando os custos financeiros de operação e manutenção do equipamento. O emprego de compartimento reserva intercambiável reduz esse problema. Troca-se o compartimento cheio por um vazio e o primeiro é levado à margem por um pequeno barco enquanto a ceifadeira continua a cortar. Posteriormente, deve-se dar destino adequado à biomassa removida, discutido em outro momento neste manus-

crito. O uso das ceifadeiras permite a liberação de inúmeros propágulos, com grande potencial de colonização em áreas não infestadas. Seu emprego é recomendável para lagos com grandes áreas colonizadas, com poucas obstruções, tais como tocos ou paliteiros, e relativamente profundos para não permitir o revolvimento do sedimento. No Brasil foram realizados experimentos visando desenvolver e avaliar o rendimento operacional de um equipamento para controle de plantas aquáticas, uma esteira com 3,0 m de largura x 10,0 m de comprimento, instalada na margem para captação e condução das plantas até um picador, além de estabelecer procedimentos que permitisse aperfeiçoar essa prática na Usina Hidroelétrica de Americana-SP (Bravin *et al.* 2005). Também foi desenvolvido um conjunto de equipamentos visando mapear as áreas infestadas por macrófitas aquáticas, auxiliando operações de manejo mecânico com colhedora desenvolvida para essa finalidade (Corrêa *et al.* 2005).

Complementando os métodos físicos manuais e mecânicos descritos acima, há procedimentos de controle biológico e químico.

O controle biológico de plantas aquáticas é uma técnica que utiliza organismos vivos para controlar ou reduzir populações de espécies de plantas indesejáveis.

A carpa capim, peixe exótico de origem asiática, por alimenta-se da vegetação aquática submersa, é alternativa de controle biológico (Figura 1f). É considerado um método barato, em comparação com outros procedimentos de controle. Dependendo da densidade de plantas o controle no crescimento de macrófitas aquáticas pode ser lento, mas de longa duração. O maior cuidado é com as entradas e saídas dos lagos. Estas devem ser protegidas para evitar a liberação dos peixes para o entorno. Há referência que o emprego de peixes aumenta as possibilidades do florescimento de algas. O pacu mostrou-se com potencial como agente de controle biológico de diversas macrófitas aquáticas no Brasil (Miyazaki & Pitelli 2003).

Já a estratégia de biocontrole de plantas invasoras, denominada bioerbicida, envolve o aumento da efetividade do organismo candidato, por meio de aplicações de esporos ou outros propágulos com a finalidade de gerar um alto nível de desenvolvimento de doença, com conseqüente morte ou supressão de populações da planta daninha em questão (Van Den Bosh *et al.* 1987 e Charudattan 2001 *apud* Borges

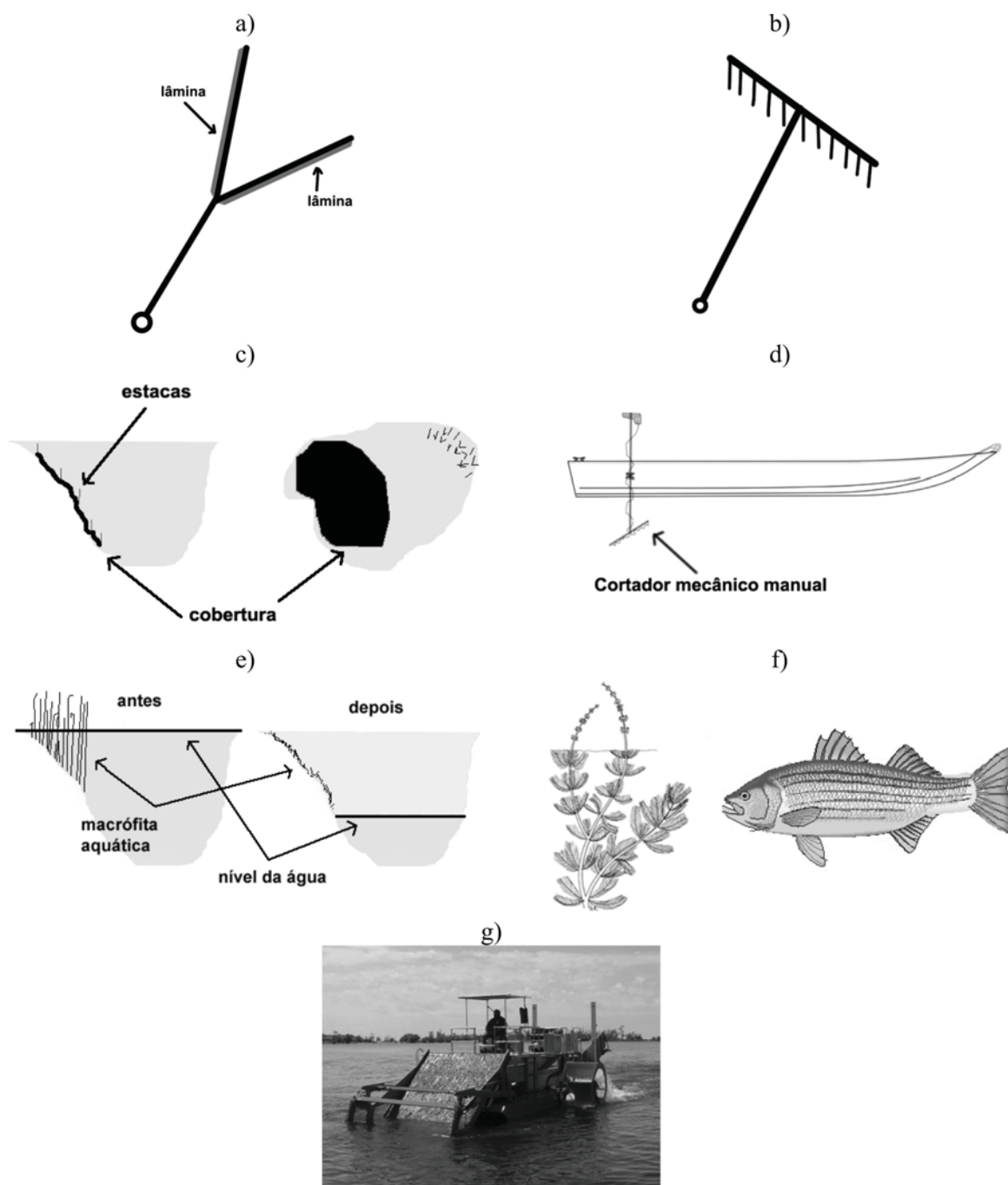


Figura 1. Procedimentos empregados na remoção de macrófitas aquáticas: a) instrumento cortante em forma de “V” e b) ancinho, c) cobertura do fundo, d) cortador mecânico manual, e) alteração do nível da água, f) herbivoria, g) ceifadeira mecânica - modificado de <http://www.alphaboats.com/>.

Figure 1. Procedures employed in removing aquatic macrophytes. a) V-shaped slashing tool, b) rake, c) covering the bottom of the reservoir, d) hand mechanical slashing tool, e) varying water level, f) grazing, g) reaping machine (adapted from <http://www.alphaboats.com/>)

Neto & Pitelli 2004). Borges Neto & Pitelli (2004) e Borges Neto *et al.* (2004) estudaram diversos efeitos da adição de adjuvantes e herbicidas na infectividade do fungo dentro do patossistema *Fusarium graminearum* x *Egeria* spp, demonstrando a efetividade deste procedimento no controle do crescimento das plantas. Outros estudos sugerem a viabilidade da aplicação conjunta de herbicidas, como glyphosate e diquat, por exemplo, e *Fusarium* (Mendes *et al.* 2004), já que

as concentrações testadas não apresentaram efeito inibitório sobre os fungos. Desta forma, a aplicação conjunta potencializaria a ação do fungo, controlando mais rapidamente o crescimento das plantas aquáticas, provavelmente com menor aplicação de defensivo e de inóculo de fungo. Há também estudo que visa desenvolver os procedimentos para produzir em larga escala o inóculo virulento de *Cercospora piaropi*, agente de biocontrole da *Eichhornia crassipes*

(Ávila & Pitelli 2004). Um dos impedimentos da aplicação desta técnica é a dificuldade de cultivar em larga escala estes organismos. Além do mais, são necessários estudos visando determinar a efetividade da aplicação em grandes bancos de macrófitas aquáticas em condições de campo, qual o melhor período e a periodicidade na aplicação além de estudos que permitam detectar a especificidade do patógeno a determinada macrófita aquática. Também é importante desenvolver procedimentos de segurança garantindo proteção à saúde dos aplicadores.

O controle químico consiste em usar produtos que intoxicam a planta, matando-a, controlando a planta considerada praga. Marcondes *et al.* (2003) concluíram que a exposição contínua a concentrações de fluridone reduziu significativamente a biomassa e permitiu atingir níveis de controle de *Egeria densa* e *Egeria najas* na lagoa Flórida (reservatório de Jupia, SP). Na lagoa Barrenta os níveis de controle foram menores. No entanto, os autores concluíram que o fluridone não possibilitou o controle da *Ceratophyllum demersum* e nem produziu efeito adverso sobre populações de espécies não-alvo, como *Salvinia auriculata*, *Ipomoea fistulosa*, *Merremia* sp., *Typha latifolia* e *Cyperus* spp. Já para *Polygonum lapathifolium* tratada com 2,4-D amina, diquat, glyphosate e imazapyr, a diferentes concentrações, apenas o glyphosate, independentemente da dose utilizada, controlou as plantas de *P. lapathifolium*, atingindo 100% de controle aos 46 dias após a aplicação (Terra *et al.* 2003). Para os demais herbicidas testados ocorreram injúrias, entretanto, no decorrer do período de avaliações, elas se dissiparam e as plantas rebrotaram. Cardoso *et al.* (2003), em condições controladas, avaliaram o efeito de herbicidas (imazapyr, glyphosate, diquat e 2,4-D) sobre *Eichhornia crassipes*. Concluíram que todos os herbicidas e doses testados proporcionaram controle eficiente. Negrisoli *et al.* (2003), em condições de caixa d'água, avaliaram o controle químico de *Myriophyllum aquaticum* através de herbicidas (diquat, diquat + agral, glyphosate + aterbane e imazapyr) em diferentes doses aplicados em pós-emergência. Estes autores observaram que inicialmente, o herbicida diquat proporcionou os sintomas mais severos de intoxicação nos ramos, porém ocorreram rebrotas a partir do vigésimo terceiro dia após a aplicação. 2,4-D proporcionou 100% de controle, não ocorrendo rebrotas, mas para as doses de 335 e 167g.ha<sup>-1</sup> o

controle não foi eficiente. Já glyphosate e imazapyr não foram eficientes no controle desta espécie. Foloni & Pitelli (2005) avaliaram a sensibilidade de diversas espécies de plantas aquáticas (*Eichhornia crassipes*, *Salvinia auriculata*, *Pistia stratiotes*, *Myriophyllum aquaticum*, *Brachiaria arrecta*, *Hydrocotyle umbellata*, *Typha* sp. e *Echinochloa polystachya*) ao carfentrazone-ethyl. Outros trabalhos foram desenvolvidos por Santos *et al.* (2001), Carbonari *et al.* (2004), Costa *et al.* (2005a) e Silva & Martins (2004). Este conjunto de observações sugere que nem todo herbicida e/ou na dose testada tem atuação efetiva no controle de dada macrófita aquática. Provavelmente a diversidade morfológica da superfície foliar existente entre as espécies de plantas aquáticas e a presença de estruturas foliares, tais como tricomas, estômatos, cutícula e ceras, pode exercer grande influência na aderência e deposição das gotas de pulverização, assim como na absorção do herbicida, potencializando ou reduzindo sua efetividade (Costa *et al.* 2005b). O próprio processo de aplicação e a presença de adjuvantes também modificam a efetividade do herbicida (Marchi *et al.* 2005a, Martins *et al.* 2005). Além do mais, provavelmente há certa especificidade entre a macrófita aquática problema, devido à atividade, uso, modo de ação e grupo químico do herbicida.

Apesar de comprovadamente eficientes para matar e, em consequência, reduzir a biomassa viva das macrófitas aquáticas, o emprego de herbicidas na vegetação aquática é muito contestado, cabendo algumas considerações. Mesmo visando seu emprego em casos específicos, ainda se fazem necessários inúmeros estudos para comprovar efetividade e a propriedade no uso. Deve-se avaliar o melhor momento para aplicação e qual o estágio fenológico mais suscetível; qual a dose para a efetividade do controle; se a aplicação será em dose única ou não; se a aplicação de diferentes herbicidas ocorrerá de maneira isolada ou combinada, potencializando o efeito de controle; qual o melhor procedimento de aplicação para os diferentes tipos ecológicos de macrófitas aquáticas; qual o produto mais efetivo para determinada espécie (especificidade). Também não se pode descuidar dos efeitos adversos ao meio ambiente proporcionado exclusivamente pelo composto químico (herbicida) aplicado. Assim, devem ser conduzidos experimentos visando avaliar

o potencial de intoxicação e/ou comprometimento de toda biota e para os usos múltiplos do ecossistema (abastecimento público e contato primário, por exemplo), após a aplicação de determinado herbicida. Relativo à permanência e degradação do herbicida no meio aquático, foi desenvolvido estudo com diquat. Em condição de caixas com água + planta + solo, Negrisoli *et al.* (2003b) determinaram a meia-vida do diquat em 29 dias após a aplicação do herbicida. Utilizando caixas com água + solo, a meia-vida do diquat foi de 23 dias após a aplicação do herbicida. No experimento controle, caixas contendo apenas água, a meia-vida foi de 18 dias. Mesmo após 112 dias havia ainda 7,2% do produto em água, enquanto que nos EUA o período de degradação foi de 27 dias (Grzenda *et al.* 1966 *apud* Negrisoli *et al.* 2003b). Portanto, o herbicida persiste no meio aquático após vários dias da aplicação o que demanda esforços em estudos que avaliem sua persistência e efeitos no ecossistema aquático e sua biota. Além do mais, o controle químico não é considerado adequado para locais de captação de água para abastecimento público. Seu emprego indiscriminado também poderá levar ao aparecimento de resistência, necessitando a ampliação das doses e a redução do período de aplicações com a potencialidade de comprometer sobremaneira os usos múltiplos de lagos e reservatórios. Também não devem ser esquecidos aspectos de segurança de trabalho durante a aplicação do herbicida (Machado Neto *et al.* 2006). Devido a toda essa problemática e incertezas, o emprego de herbicidas deve ser a última opção como método de controle.

### CONSIDERAÇÕES SOBRE A REMOÇÃO DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Relativo aos procedimentos de controle descritos acima cabem algumas considerações.

A remoção manual das macrófitas aquáticas é procedimento adequado para pequenos bancos. Para grandes coberturas a remoção mecânica é mais indicada. Mas, tanto para a remoção mecânica e manual das macrófitas aquáticas há obrigatoriedade na definição de área de descarte da vegetação removida. Inicialmente a planta colhida é depositada na margem, mas não é conveniente o seu descarte final às margens da represa. Sua proximidade com o corpo de água propiciará o retorno de partes da

planta, com potencialidade de tornarem-se inóculos do vegetal problema, recolonizando o reservatório. Além do mais, a decomposição da massa vegetal rapidamente libera grande quantidade de nutrientes retidos na biomassa viva, tal como fósforo (Pompêo & Henry 1998) que também retorna ao corpo de água reduzindo o efeito de controle dos nutrientes preso na biomassa das macrófitas aquáticas.

Além de constituir solução para os diversos problemas oriundos do intenso crescimento, a remoção das macrófitas aquáticas também é alternativa no controle da eutrofização. Segundo Carpenter & Adams (1977), pode-se retirar aproximadamente 16 e 34%, dos teores de nitrogênio e fósforo que entram no lago Wingra, respectivamente, por intermédio da remoção de macrófitas aquáticas. Pompêo *et al.* (1999) calcularam que a retirada de 67ha do estande de *Echinochloa polystachya* representa aproximadamente a mesma quantidade de nitrogênio e fósforo que entra no sistema rio Paranapanema - represa de Jurumirim (SP) durante o período de um ano. Assim, a remoção das macrófitas aquáticas pode-se não só controlar os problemas secundários originados pelo intenso crescimento, mas simultaneamente contribuir com a redução dos teores de nutrientes do sistema.

Segundo Bianchini Jr & Cunha-Santino (2006), a análise de programas de monitoramento permite classificar o manejo em duas categorias: a) ações no meio, que resultem na atenuação do crescimento das plantas aquáticas, tal como na redução do aporte de nutrientes, e b) ações direta sobre as macrófitas aquáticas, com o controle do crescimento através de métodos químicos, físicos e biológicos. Os autores complementam que, tendo em vista evitar os efeitos indesejáveis da decomposição das macrófitas aquáticas, na implementação de um programa de manejo de macrófitas aquáticas devem ser considerados: a) o controle de entrada de nutrientes; b) a retirada mecânica dos detritos (método físico), evitando que a eutrofização e a anaerobiose atuem ou neutralizem os objetivos pretendidos; c) o método químico como sendo um procedimento de risco, pois, no curto prazo, gera quantidades excessivas de detritos, que por sua vez, induzem a autofertilização do sistema aquático (liberação do fósforo imobilizado nos sedimentos, devido à redução do potencial de oxi-redução, decorrente do estabelecimento da anaerobiose), intensificando o processo de eutrofização; d) o controle



biológico pode gerar, dependendo dos procedimentos adotados, aduções lentas de detritos, que se constitui num evento favorável por não induzir pressões acentuadas no estoque de oxigênio do sistema.

A poda da macrófita aquática e principalmente sua posterior trituração, somente deverá ser efetivada após a definição do procedimento de remoção da massa vegetal do reservatório. A manutenção dessa massa vegetal triturada e morta, além de ser inóculo potencial para rebrota, interferirá na qualidade da água pela introdução de nutrientes provenientes da vegetação em decomposição, já citado, e pelo maior consumo de oxigênio dissolvido durante o processo de decomposição, podendo atingir níveis de anoxia (Antonio *et al.* 1999, Bianchini Jr. 1999, Farjalla *et al.* 1999).

Particularmente para o Brasil, na maioria das vezes os procedimentos de manejo são aplicados quando a infestação de macrófitas aquáticas já atingiu elevados níveis, sendo unicamente corretivos visando remover a planta e solucionar os problemas secundários originados desse intenso crescimento. Não têm como princípio solucionar as causas do crescimento. Neste aspecto, é adequado atacar o problema na raiz, com investimento em coletores e estações de tratamento de esgoto, já que no Brasil o esgoto doméstico é o principal responsável pela entrada de nutrientes agravando o processo de eutrofização e, como consequência, a possibilidade do excessivo crescimento de macrófitas aquáticas. Conjuntamente é indicado implementar programa de monitoramento com ênfase nas macrófitas aquáticas permitindo identificar os sinais de descontrole dessa comunidade além de incorporar um conjunto de procedimento que permita ações corretivas e o descarte ou uso adequado dessa biomassa removida.

#### ALGUMAS EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS

Há algumas experiências de remoção de macrófitas aquáticas no Brasil. De maneira geral, restringem-se a procedimentos corretivos (Straškraba & Tundisi 2000).

No Lago das Garças (Instituto de Botânica, São Paulo), nos anos de 1997 e 1998 a macrófita aquática *Eichhornia crassipes* cresceu de forma descontrolada, ocupando substancial parcela do espelho de água. Sua remoção foi manual, pelo emprego de ganchos que

foram lançados sobre os bancos e posteriormente puxados até a margem. Através desse procedimento, com base na biomassa viva, foram removidos cerca de 100 caminhões de 5 m<sup>3</sup> cada.

No final da década de 90, no sistema Moxotó-Paulo Afonso (BA), a CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco) utilizou a alteração do nível da água como procedimento de manejo visando remover substancial biomassa da macrófita aquática submersa *Egeria densa*. Após acumular água, em dada cota as comportas foram abertas permitindo a rápida saída de grande volume de água do reservatório, com a água também foi eliminada substancial biomassa de *E. densa*. No entanto, um curto período após o estabelecimento das condições normais de operação do reservatório, a *E. densa* voltou a crescer de forma intensa, novamente preocupando os gestores do sistema.

Em 2004, na represa Billings, em particular no braço Rio Grande, a macrófita aquática livre flutuante *Salvinia auriculata* também apresentou intenso crescimento, no entanto sem cobrir substancial parcela do reservatório. Além do efeito estético negativo, por ser este um reservatório empregado para o abastecimento de cerca de 1,5 milhões de pessoas, o acúmulo dessa vegetação próximo ao ponto de captação de água bruta trouxe preocupação aos gestores do sistema com ênfase na qualidade da água. Como forma de manejo, os bancos dessa macrófita aquática localizados próximo ao ponto de captação, foram levados por barcos até a margem e manualmente removidos, posteriormente foram encaminhados a aterro sanitário. Para facilitar o trabalho, foi desenvolvida pela equipe da Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) uma esteira rolante instalada na margem que encaminhava a massa vegetal removida diretamente às caçambas dos caminhões.

Em 2005, na represa Guarapiranga, o problema de intenso crescimento foi com *Polygonum* sp, uma macrófita aquática enraizada, crescendo na zona da barragem e em torno do ponto de captação de água bruta. A Sabesp removeu a vegetação com auxílio de guindaste tipo tadano. Em 2007 novamente ocorreu problema de crescimento de macrófitas aquáticas na represa Guarapiranga, desta vez foi com *Pistia stratiotes* e *Salvinia* sp, removidas manualmente e encaminhada a aterro sanitário.

### DESCARTE E APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Os procedimentos discutidos nos itens anteriores discorrem sobre as iniciativas que visam controlar e remover substancial parcela da biomassa de macrófitas aquáticas. Quando a remoção atinge grandes quantidades ou é corriqueiramente efetuada, são necessários procedimentos que permitam o adequado descarte ou o uso apropriado dessa biomassa removida. Relativo ao descarte, não é aconselhável considerá-lo como deitar fora alguma coisa que não tem mais serventia ou não se deseja mais. O descarte deve ser compreendido como um conjunto de procedimentos e princípios que visam dispor o material vegetal removido em locais adequados ou o seu uso para determinadas finalidades, respeitando-se a legislação vigente.

Neste manuscrito, o descarte em aterro sanitário e os empregos da biomassa removida como ração animal, fertilizante orgânico e na produção de biogás serão considerados.

O descarte em aterro sanitário, que é uma obra de engenharia, que tem como finalidade a recepção, no solo, dos resíduos sólidos produzidos pela sociedade (Guimarães 2000), no caso em questão a planta aquática removida. Tal obra comporta um sistema de captação e tratamento dos líquidos e gases produzidos na decomposição do resíduo. Sua construção e operação devem ser projetadas para minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente provenientes desta atividade. Os projetos de aterros de resíduos têm seus princípios estabelecidos pela Geotecnia Ambiental que trata da proteção ambiental contra impactos causados por atividades antrópicas ou catástrofes naturais. O descarte em aterro é regulado pela Resolução CONAMA 308/2002 (Licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte) e para o estado de São Paulo, pela Lei Estadual nº 12.300/2006 (Institui a Política Estadual de resíduos sólidos e define princípios e diretrizes, objetivos, instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e à recuperação da qualidade do meio ambiente, e à promoção da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais em São Paulo, revogando a Lei n. 11.387,

de 27.05.03) (<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/residuos/base1.pdf>, 4 de junho de 2007). No entanto, não é necessária a construção de aterro específico para o descarte das macrófitas aquáticas, podem ser empregados aterros já existentes. Em Calijuri *et al.* (2002) são apresentados procedimentos e critérios para a definição de áreas para implantação de aterros sanitários.

Também tem sido discutido o emprego das macrófitas aquáticas como ração animal. Em experimento desenvolvido por Oliveira *et al.* (2004), o menor teor de fibra em detergente neutro e a maior quantidade de carboidratos não fibrosos da *Egeria densa* contribuíram para a melhor digestibilidade da matéria orgânica, dos carboidratos totais e das frações fibra das rações. Estes autores também observaram que a baixa digestibilidade da proteína da *E. densa* reduz sua utilização pelos animais e que em níveis inferiores ou iguais a 25%, em substituição ao feno de tifton (*Cynodon* sp), podem ser utilizados na alimentação de caprino. Não obstante, a presença de cádmio, manganês e ferro em alta quantidade na biomassa de *E. densa* podem representar riscos à saúde dos animais e do homem. De maneira geral, a literatura comenta que a macrófita aquática não pode ser servida como dieta única, pois seu elevado teor de água normalmente causa diarreia nos animais, mas podem ser servidas como um dos componentes da dieta alimentar, complementando a ração diária. O valor nutritivo de plantas aquáticas, para o uso como ração animal também foi estudado por Esteves (1981) e Thomas & Esteves (1985).

O emprego da macrófita aquática como fertilizante é possível através da compostagem. A compostagem é um processo de reutilização dos resíduos orgânicos, como a biomassa vegetal das macrófitas aquáticas. Através de processos biológicos e sob condições físicas e químicas adequadas, a decomposição do resíduo orgânico fornece como produto final o fertilizante orgânico (Guimarães 2000). Além de reduzir à metade a massa vegetal processada, obtém-se no curto prazo um produto final bioestabilizado (composto orgânico) que pode ser empregado na agricultura ou lançado no solo, segundo o autor, sem risco ambiental significativo. De acordo com Guimarães (*op cit.*), o processo se constitui basicamente de duas etapas: 1) física, onde se dá o preparo dos resíduos, fazendo-se uma separação entre a matéria a ser compostada

e outros materiais (potencialmente recicláveis e/ou rejeitos), e em seguida uma homogeneização; 2) biológica, que consiste da fermentação e da digestão do material, realizadas sob condições controladas, num período que varia, geralmente, de 60 a 120 dias. Na compostagem em sistema aberto, esta etapa é feita em pátios especialmente preparados, sendo o material orgânico disposto em montes que operam por reviramento ou por aeração forçada, caso em que se necessitam equipamentos especiais. Já na compostagem em sistema fechado, a matéria orgânica é colocada em biodigestores onde o processo ocorre mais aceleradamente, não dispensando o emprego de plataforma para a maturação do composto. Os sistemas operados aerobicamente apresentam maior rendimento e não produzem odor desagradável. A compostagem apresenta como desvantagens a extensão da área onde o material deverá ser trabalhado, que deve ser suficientemente grande para a disposição das leiras, e o material orgânico deverá estar isento de contaminação, pois há relatos de composto com alto percentual de metais pesados. Neste último caso, elevados teores de metais pesados inviabilizariam o uso do composto. Gomes *et al.* (1987) demonstraram que é possível transformar o aguapé em compostos orgânicos através do processo de fermentação ao ar livre. A reciclagem da vegetação removida e posteriormente empregada como adubo agrícola, é regulada pelo Decreto Federal nº 4954/2004 – Aprova o Regulamento da Lei 6894, de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências, pela Portaria nº 49/2005 – Submete à consulta pública o Projeto de Instrução Normativa que aprova os limites máximos de agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes e pela Resolução SMA nº 51/1997 – dispõe sobre a exigência ou dispensa do RAP para aterros e usinas de reciclagem e compostagem (<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/residuos/base1.pdf>, 4 de junho de 2007).

Outro emprego da biomassa de macrófitas aquáticas é para a produção de gases em biodigestor. O biodigestor anaeróbico é um equipamento usado para a produção de biogás, uma mistura de gases –

principalmente metano - produzida por bactérias que digerem a matéria orgânica da macrófita aquática em condições anaeróbicas. O biodigestor de batelada ou de fluxo não contínuo, é indicado para pequenas produções de biogás. Sua alimentação é descontínua e a produção de gás não é constante. A matéria orgânica é adicionada no biodigestor, e fica armazenada até o fim da produção do gás. Após o término da produção de gás o digestor é aberto, a biomassa restante é retirada, podendo ser utilizada como fertilizante natural, e novamente é adicionada a matéria, repetindo-se o processo. Segundo Da Silva *et al.* (2005), o gás gerado no biodigestor, apesar do menor poder calorífico, da baixa pressão de serviço dos biodigestores e da baixa velocidade de combustão do biogás, é adequado como alternativa para aquecer água para múltiplas utilidades. Além do mais, o biogás pode ser empregado em cozinhas de residências rurais, localizadas próximas ao local de produção, economizando outras fontes de energia, como lenha ou gás de cozinha (GLP). Pode também ser utilizado no aquecimento de instalações para animais muito sensíveis ao frio, como leitões, por exemplo, ou no aquecimento de estufas de produção vegetal ([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), capturado em 28/06/07). Hardoin & Gonçalves (2000) sugerem que o biogás gerado pode ser empregado em inúmeras atividades rurais, atendendo com energia elétrica a demanda de inúmeros equipamentos. Também há estudo sobre o aproveitamento dos gases gerados em aterro sanitário (Braz & Silva 2001). Segundo Alvarado & Fasanaro (1980), o aguapé, é excelente fonte de energia alternativa (biogás). Müller (1995) discute que apesar dos inúmeros benefícios dos projetos que viabilizem a utilização de macrófitas aquáticas, há pouca divulgação de sua utilização no Brasil. Segundo esse autor, a ausência de resultados não deve inviabilizar as iniciativas para tirar proveito dessa vegetação. Comenta que a remoção de 14 mil t/dia, com base no peso fresco, dos reservatórios de Americana, Bariri, Billings e Barra Bonita, permitiria produzir metano em quantidade suficiente para abastecer 10 mil veículos, com autonomia de 300 km/dia cada um, o que por si só demonstrando o potencial de uso das macrófitas aquáticas.

Schneider & Rubio (2003) verificaram o aproveitamento da biomassa seca de plantas aquáticas como adsorventes naturais para o controle da poluição da água. Após a coleta e secagem, a biomassa

adsorve metais pesados, óleos e outros compostos orgânicos a baixo custo e eficiência superior que muitos biossorbentes importados empregados comercialmente. Assim, concluíram que a biomassa seca de plantas aquáticas é excelente alternativa para o controle da poluição hídrica em águas superficiais, melhorando substancialmente a qualidade da água.

#### EMPREGO DO CRESCIMENTO CONTROLADO DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Apesar dos inconvenientes gerados pelo intenso crescimento de macrófitas aquáticas, não é pertinente considerar unicamente os aspectos negativos originados do descontrole no crescimento dessa vegetação. Este elevado potencial de crescimento pode ser empregado de modo a vislumbrar o cultivo controlado das macrófitas aquáticas com o intuito de potencializar a remoção de nutrientes e o controle da eutrofização ou gerar mais biomassa para uma das finalidades propostas neste manuscrito.

O emprego de plantas aquáticas como agente purificador em sistemas de hidroponia, lagoas construídas com a finalidade de manter as macrófitas aquáticas em intenso crescimento, justifica-se pela sua intensa absorção de nutrientes e pelo seu rápido crescimento, como também por oferecer facilidades de sua retirada das lagoas e ainda pelas amplas possibilidades de aproveitamento da biomassa removida (Romitelli 1983, Granato 1995).

Plantas aquáticas, tais como *Lemna* (Harvey & Fox 1973), *Eichhornia* (Romitelli 1983) e *Phragmites*, *Typha*, *Juncus* e *Bambus* (Wolverton *et al.* 1983), têm sido utilizadas visando à melhoria da qualidade do efluente, principalmente no que diz respeito à redução das concentrações de nitrogênio e fósforo. Estas plantas exercem importante papel na remoção de substâncias dissolvidas, assimilando-as e incorporando-as à sua biomassa. O aguapé é capaz de retirar quantidades consideráveis de fenóis, metais pesados e outras substâncias tais como 0,7mg de Cd/PS (peso seco) e 0,5mg de Ni/g de peso seco (PS) (Azevedo Neto, 1988). Segundo Camargo (1991), *Eichhornia azurea* absorve ortofosfatos na ordem de 14,56 a 58,58 mg/g/h e de 60,65 a 239,92mg/g/h de nitrogênio. Segundo Boyd & Vickers (1971), pode-se considerar uma boa estimativa 1,33 a 3,33% PS (peso seco) de nitrogênio, 0,14 a 0,80% PS de fósforo e de

1,60 a 6,70% PS de potássio presentes na biomassa de *E. crassipes*. Como em uma unidade de fitodepuração de 1500m<sup>2</sup> é provável uma retirada mensal de biomassa do aguapé da ordem de 0,45 a 0,65tPS (Rodrigues 1985), utilizando-se dos valores estimados por Boyd & Vickers (1971), é possível estimar uma remoção de 0,6 a 5,2kg de fósforo, 0,6 a 216,4kg de nitrogênio de 7,2 a 43,5kg de potássio. Pode-se também viabilizar a utilização de plantas aquáticas visando à depuração de efluentes contendo herbicidas como atrazine, 2,4-D, trifluralin e glyphosate (Santos 1994). Apesar de não ter obtido uma solução apta para o descarte, Granato (1995) comenta que o aguapé pode ser empregado no tratamento de efluentes contendo cianetos. Espinoza-Quñones *et al.* (2005) sugere que o uso de *Salvinia* sp é método alternativo na remoção de metais da água, apesar dos estudos demonstrarem que possui diferentes afinidades na incorporação de metais na biomassa. Montardo *et al.* (2006) avaliaram que a macrófita aquática *E. crassipes* é eficiente na remoção de cobre e zinco encontrado em biofertilizante de origem suína, sendo as maiores concentrações encontradas no sistema radicular do que na parte aérea da macrófita aquática.

Os poluentes são removidos numa lagoa com *E. crassipes* por vários mecanismos físicos químicos e biológicos característicos do sistema. A sedimentação que ocorre na lagoa é mais eficiente pela proteção ao movimento das águas oferecida pela cobertura compacta de aguapé. Já a filtração dos sólidos suspensos pelas raízes de *E. crassipes*, é importante processo para o polimento da lagoa. Deve-se evitar que as raízes se agarrem ao fundo, de tal forma que o fluxo da lagoa seja filtrado através de toda zona radicular. Outro fator que favorece a remoção de poluentes em lagoas de *E. crassipes* decorre da existência de abrigo e condições para o crescimento de uma abundante biota fixa (perifíton) às suas raízes e folhas, tendo um papel importante na degradação, assimilação e remoção dos poluentes (Romitelli 1983).

A eficiência da *E. crassipes* no tratamento terciário de efluentes de lagoas de estabilização foi demonstrada por Mosse *et al.* (1980). Segundo estes autores, a utilização do aguapé em conjunto com lagoas de estabilização, proporcionam uma maneira não só econômica como ecológica para tratamento de esgotos de pequenas comunidades, com alto padrão de qualidade dos efluentes, sem prejuízos aos corpos

receptores. Expressivas reduções de DBO, nitrogênio e fósforo, sólidos suspensos, alcalinidade, amônia, dureza, carbono orgânico dissolvido e coliforme, foram observadas em condições de laboratório, no tratamento de esgoto doméstico e industrial, através de um tanque com aguapé seguido por um de alga e finalmente por um terceiro tanque novamente com aguapé (Tripathi & Shukla 1991). Romitelli (1983) obteve alta remoção de fosfatos em efluentes secundários com o emprego de aguapé, em sistemas fechado em laboratório. Vários outros trabalhos demonstram a potencialidade de plantas aquáticas como alternativa para o tratamento de efluentes domésticos ou industriais (Alvarado & Fasanaro 1980, Kawai & Grieco 1983, Kumar & Garde 1989, Manfrinato 1989, Ribeiro *et al.* 1986, Salati 1991).

Uma crítica que se faz em relação à utilização de plantas aquáticas para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, diz respeito à potencialidade do sistema para se tornar um criadouro de pernilongos bem como vários organismos patogênicos, além de produzir odores desagradáveis. Outra crítica refere-se ao fato de assimilarem metais pesados e outras substâncias tóxicas, transferindo o problema da contaminação para a planta. Talvez a crítica mais contundente diga respeito ao destino da grande quantidade de biomassa formada, já que periodicamente há necessidade da colheita parcial da planta, necessária para a retirada dos poluentes do sistema na forma de biomassa viva, além de permitir que as restantes continuem em intenso crescimento ativo. Mas como vimos, há inúmeras possibilidades de uso da biomassa gerada.

Não é pertinente deixar a macrófita aquática crescendo sem controle, há necessidade de planejamento e manejo adequados para um eficiente sistema de tratamento. Como já discutido, há também necessidade de se dar destino à grande quantidade de biomassa produzida. Desta forma, é essencial que ao se planejar um sistema de tratamento, também seja levada em consideração unidades de beneficiamento e de armazenamento de biomassa. Rodrigues (1985) sugere Unidades Hidro-Agrícolas, isto é, um sistema fitodepurador através da utilização do aguapé, promovendo a melhoria da qualidade da água, que posteriormente seria utilizada para atividades aquícolas (criação de peixes, rãs, etc.) e para agricultura intensiva. Devido à elevada produção de biomassa,

atividades relativas às várias formas de utilização do aguapé também são sugeridas. Segundo o autor, além das características despoluentes e geradoras de rendimento, estas Unidades poderiam propiciar a fixação do homem no campo.

As macrófitas aquáticas também podem ser empregadas como biofiltro de efluentes de tanques de piscicultura (Henry-Silva & Camargo 2006, Sipaúba-Tavares *et al.* 2002).

Há também os leitos cultivados de macrófitas aquáticas, conhecidos por “*wetland*” construído - sistemas artificialmente projetados para utilizar plantas aquáticas em substratos como areia, cascalhos ou outro material inerte, simulando sistemas naturais de áreas alagadas, tratando águas residuárias por meio de processos biológicos, químicos e físicos (Sousa *et al.* 2000, Sousa *et al.* 2004, Barreto 2005). As áreas alagadas são áreas de solo inundadas por águas superficiais ou subterrâneas onde estão presentes em grande quantidade as macrófitas aquáticas que assimilam os nutrientes presentes nesta água. Os leitos de macrófitas são classificados de acordo com o tipo de fluxo: a) superficial adotado (o líquido flui sobre uma área definida com uma lâmina que geralmente varia de 10 a 30cm de altura); b) vertical (sistema muito semelhante a um filtro de vazão vertical, preenchido com material filtrante – brita - operado por batelada e nível d’água abaixo da altura da camada filtrante) ou c) subsuperficial (semelhante a um filtro lento horizontal, o meio filtrante é o local onde se forma e desenvolve o biofilme e onde as plantas se apóiam - o nível d’água sempre está abaixo da superfície do meio filtrante, fator que reduz a proliferação de insetos). A remoção dos nutrientes é influenciada pelo tipo de planta empregada, pelo fluxo do efluente no leito de macrófitas aquáticas, pelo meio suporte (meio filtrante) e principalmente, pelas características físicas e químicas do efluente que será tratado. Para definir qual o tipo de fluxo empregado, é conveniente adequar o procedimento ao objetivo do tratamento, se secundário ou terciário, e as condições locais de topografia, infraestrutura e as macrófitas aquáticas disponíveis na área de instalação do empreendimento. Cada um destes processos tem seu limitador. No caso da nitrificação a disponibilidade de oxigênio é o fator limitante, já na desnitrificação a disponibilidade de carbono é considerada o fator limitante. Quando o resíduo líquido a ser tratado no leito cultivado possui uma carga de DBO

elevada, espera-se uma baixa eficiência na remoção de nutrientes, tendo em vista a baixa disponibilidade de oxigênio, limitando o desenvolvimento do processo de nitrificação. A combinação de diferentes ambientes dentro do leito de macrófitas (aeróbios, anaeróbios e anóxicos) contribui para que se possa ter uma melhoria nas remoções de carga orgânica (DBO) e de nutrientes melhorando a qualidade do efluente final. Os leitos são componentes eficientes para o tratamento de efluentes que visam o reuso com custo baixo de manutenção e implantação (Reed 1996 *apud* Barreto *op cit.*). Sezerino (2006) avaliou a potencialidade dos “constructed wetlands” no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A European Water Framework Directive de 2000 estabelece que não só a massa de água deve ser monitorada, mas também o fitoplâncton, as macrófitas aquáticas, o fitobentos, os invertebrados bentônicos e a fauna piscícola (Meilinger *et al.* 2005), no entanto, não há legislação específica que discipline o monitoramento de macrófitas aquáticas no Brasil. Na região tropical, com condições favoráveis de luz e nutrientes, as macrófitas aquáticas têm a potencialidade de crescer o ano todo, até cerca de 5% ao dia (em experimentos em escala de laboratório constatou-se que crescem até 10%, Irineu Bianchini Jr, UFSCar, São Paulo, SP, comunicação pessoal). Portanto, a percepção tardia do seu crescimento e a falta de procedimentos que agilizem a tomada de decisão reflete no aumento da área de ocupação dessas plantas comprometendo ainda mais os usos do sistema. Isto implica na elevação dos custos financeiros decorrentes da impossibilidade dos usos múltiplos do reservatório e da maior área de colonização para manejo.

Na atualidade, o crescimento descontrolado de macrófitas aquáticas em ecossistemas aquáticos construídos pelo homem e os prejuízos nos usos múltiplos do sistema decorrentes desse intenso crescimento, não é um fato isolado. Os expressivos prejuízos financeiros e políticos ocasionados por esse crescimento podem ser substancialmente reduzidos com a implementação de amplo programa de monitoramento com ênfase na detecção do crescimento e no manejo de macrófitas aquáticas, subsidiando a tomada de decisão.

Uma proposta de programa de monitoramento visa construir um conjunto de princípios e normas de procedimentos que contribua para proteger a integridade do meio físico e biótico, garantindo água de qualidade para abastecimento público. Portanto, visa evitar o crescimento descontrolado e, na necessidade, controlar os efeitos a posteriori.

Para elaborar tal programa, é conveniente balizar as decisões em estudos preliminares (dados primários). A análise de banco de dados pré-existentes (dados secundários) também é importante. Cabe lembrar que qualquer programa não pode ser estático e a sua importância está em ser dinâmico, incorporando mudanças à luz do conhecimento adquirido. As informações levantadas devem ser empregadas para redimensionar e redirecionar o programa, equacionando possíveis distorções.

Não é recomendável a total eliminação das macrófitas aquáticas. Estas plantas têm importante papel na regulação do metabolismo de lagos e reservatórios, podem ser empregadas na restauração de ecossistemas eutrofizados, contribui na redução da turbidez e há também maior abundância de pássaros e riqueza de diversos grupos animais em lagos vegetados (Van Nes *et al.* 1999). Há benefícios associados às macrófitas aquáticas como o aumento de habitats para invertebrados e fontes de alimentos para pássaros e peixes. Assim, o programa de monitoramento e manejo deve incorporar a manutenção do reservatório vegetado, no entanto, evitando os efeitos negativos associados ao intenso e descontrolado crescimento das macrófitas aquáticas.

Visando controlar o crescimento de macrófitas aquáticas os gestores de reservatórios também devem ter mecanismos que discipline os usos e ocupações da bacia hidrográfica. Essas ações de controle externo ao corpo de água permitiriam reduzir a carga de nutrientes que potencializa o crescimento das macrófitas aquáticas. A carga interna do sistema, também deveria ser controlada. A redução dessas cargas (interna e externa) passa pela discussão e elaboração de políticas públicas, contemplando inúmeras intervenções no meio, com substancial aporte de recursos financeiros e desenvolvimento de tecnologias. Por exemplo, como medida prática, a coleta e tratamento de todo esgoto doméstico ou industrial lançado nos corpos de água, é uma das primeiras iniciativas.

Devido aos múltiplos interesses, o controle dos usos e ocupações do entorno, requer ampla negociação com todos os setores envolvidos. Exemplo disso é o histórico de eutrofização da represa Billings, culminando com a construção da barragem Anchieta (braço Rio Grande) e a assinatura da Resolução Conjunta SMA/SES n° 3, de 04/09/92, que disciplinou o aporte das águas poluídas provenientes dos rios Pinheiros e Tietê lançado no compartimento Pedreira.

Na discussão e implantação do programa de monitoramento, o recomendável é que todos os interessados, incluindo prefeituras, estado, união, representantes de empresas (esportes náuticos, praias para natação, transporte, turismo, pousadas, restaurantes, etc.), associações de moradores e pescadores, ONGs e escolas, tenham acento nos fóruns de discussões, cada qual trazendo suas preocupações e interesses. Neste caso, lembrando que a bacia hidrográfica é a unidade básica de estudo, mas incorporando as áreas de transposições de água bruta e tratada.

Também não devemos esquecer que os diferentes usos do reservatório, tais como natação, pesca esportiva, esportes náuticos, fins paisagísticos, abastecimento público e geração de hidroeletricidade, sob o ponto de vista do manejo das macrófitas aquáticas, podem ser conflitantes. Num reservatório com diversos trechos de praias públicas, devido a menor profundidade na região marginal, as plantas aquáticas emergentes podem se desenvolver, comprometendo seu uso pelos banhistas, no entanto, pode ter pouco ou nenhum impacto do ponto de vista do abastecimento público. Os pontos de monitoramento e os procedimentos de manejo de macrófitas aquáticas devem refletir múltiplos objetivos, compatíveis com os usos do sistema.

Devemos levar em consideração que, da mesma forma que são criadas áreas de preservação nas porções terrestres, o mesmo princípio deveria ser aplicado para os reservatórios, lagos e outros corpos de água brasileiros. Os princípios e critérios utilizados para selecionar o corpo de água e sua área de influência para a criação de parques, reservas e outras áreas de proteção, relativo à porção continental, principalmente em reservatórios já estabilizados, deveriam priorizar as áreas de proteção de sua fauna e flora, garantindo a manutenção da integridade do corpo de água. Isto implica que, do ponto de vista das macrófitas aquáticas, haveria a possibilidade de que este grupamento vegetal e sua área de colonização

fossem objetos prioritários de preservação, ao menos temporário, e os programas de gestão (monitoramento e manejo) garantiriam procedimentos para a sua manutenção no corpo de água. Como já comentado em várias passagens deste manuscrito, as macrófitas aquáticas desempenham inúmeras funções e grande parte da biodiversidade aquática pode ser explicada pela sua presença. As macrófitas aquáticas não são vilãs e por isso não devem ser extirpadas do reservatório como pragas, pelo contrário. A manutenção dessas plantas garante ao corpo de água maior diversidade e a possibilidade de auxiliar como amortecedor de eventuais impactos conferindo melhor qualidade ao ecossistema como um todo e sem dúvida refletindo na melhoria da qualidade da água para múltiplas finalidades. Portanto, em reservatórios onde as macrófitas aquáticas são importantes componentes de sua estrutura e função, devem ser despendidos esforços para que permaneçam no ecossistema, que tenham seu crescimento controlado, evitando os efeitos danosos do crescimento explosivo e que não haja abruptas reduções de sua área de colonização e biomassa.

**AGRADECIMENTOS:** Ao grupo de estudos de macrófitas aquáticas do Laboratório de Limnologia (USP, IB, Depto. de Ecologia), à Fapesp (proc. 02/13376-4, 06/51705-0), ao CNPq (proc. 471184/2006-3) e ao SOS Guarapiranga e à Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) pelas facilidades oferecidas.

## REFERÊNCIAS

- ALVARADO, G.R.P. & FASANARO, R. 1980. Aguapés: Sua aplicação no tratamento biológico dos esgotos e na produção de energia alternativa. *Engenharia Sanitária*, 19(1): 68-69.
- ANTONIO, R.M.; BITAR, A.L. & BIANCHINI JR, I. 1999. Consumo de oxigênio na mineralização de folhas, galhos, cascas e serrapilheira. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 11(2): 65- 78.
- AQUATIC PLANT MANAGEMENT, Department of Ecology, Washington State, USA, <http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/management/index.html>, capturado em 30/11/2007.
- AVILA, Z.R. & PITELLI, R.A. 2004. Crescimento, esporulação e virulência do inóculo de *Cercospora piaropi*, agente de biocontrole do aguapé. *Fitopatologia Brasileira*, 29(2): 189-192.
- AZEVEDO NETO, J.M. 1988. Novos conceitos sobre eutrofização. *Revista DAE*, 48(151): 22-28.

- BARRETO, C.O. 2005. *Eficiência de leito de macrófitas como unidade de polimento de efluente de indústria de aditivos para ração*. Campinas, SP, Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 53p.
- BEYRUTH, Z. 1996. *Comunidade fitoplanctônica da represa de Guarapiranga: 1991-92. Aspectos ecológicos, sanitários e subsídios para reabilitação ambiental*. USP: Programa de Pós-Graduação em Saúde Ambiental, Faculdade de Saúde Pública, 191 p e anexos.
- BIANCHINI JR., I. 1999. Aspectos do processo de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais. pg. 21-43. In: M.L.M. Pompêo (ed.) *Perspectivas da Limnologia no Brasil*, São Luís: Gráfica e Editora União, 191 p.
- BIANCHINI JR., I. & CUNHA-SANTINO, M.B. 2006. A decomposição de macrófitas aquáticas, *Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*, 35 (1): 15-17.
- BORGES NETO, C.R.; GORGATI, C.Q. & PITELLI, R.A. 2004. Influência da concentração de inóculo e da idade da planta na intensidade de doença causada por *Fusarium graminearum* em *Egeria densa* e *E. najas*. *Fitopatologia Brasileira*, 29(3): 282-288.
- BORGES NETO, C.R. & PITELLI, R.A. 2004. Adjuvantes e herbicidas e a infectividade de *Fusarium graminearum*, agente potencial de biocontrole de *Egeria densa* e *Egeria najas*. *Planta Daninha*, 22(1): 77-83.
- BOYD, C.E. 1969. Production, mineral absorption and biochemical assimilation by *Justicia americana* and *Alternanthera philoxeroides*. *Archiv fur Hydrobiologie*, 66(2): 139-160.
- BOYD, C.E. & VICKERS, D.H. 1971. Variation in the elemental content of *Eichhornia crassipes*, *Hydrobiologia*, 38(¾): 409-414.
- BRAVIN, L.F.N.; VELINI, E.D.; REIGOTTA, C.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M.R. & CARBONARI, C.A. 2005. Desenvolvimento de equipamento para controle mecânico de plantas aquáticas na UHE de Americana-SP. *Planta Daninha*, 23(2): 263-267.
- BRAZ, J.A. & SILVA, C.L. 2001. Avaliação do potencial energético do biogás de aterro sanitário gerado pelos resíduos sólidos domésticos do município de Rio Claro. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. *Saneamento ambiental: desafio para o século 21*. Rio de Janeiro, ABES, 2001. p.1-11, Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 4<sup>o</sup> Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, João Pessoa, 16-21 set. 2001.
- BROCK, TH.C.M.; ARTS, G.H.P.; GOOSEN, I.L.M. & RUTENFRANS, A.W.M. 1983. Nitrogen and phosphorus accumulation and cycling by *Nymphaoides peltata* (GMEL.) O. Kuntze (Menyanthaceae). *Aquatic Botany*, 17: 189-214.
- CAINES, L.A. 1965. The phosphorus content of some aquatic macrophytes with special reference to seasonal fluctuations and applications of phosphate fertilizers. *Hydrobiologia*, 24(1/2): 289-301.
- CALIJURI, M.L.; MELO, A.L.O. & LORENTZ, J.L. 2002. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. *Informática Pública*, 4(2): 231-250.
- CAMARGO, A.F.M. 1991. *Dinâmica do nitrogênio e do fosfato em uma lagoa marginal do Rio Mogi – Guaçu (Lagoa do Mato, SP)*. São Carlos, SP. UFSCar, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, 204 p. (Tese)
- CARBONARI, C.A.; MARTINS, D.; TERRA, M.A. & MARCHI, S.R. 2002. Controle químico de *Panicum repens* e *Paspalum repens*. *Planta Daninha*, 22(3): 453-460.
- CARDOSO, L.R.; MARTINS, D. & TERRA, M.A. 2003. Sensibilidade a herbicidas de acessos de aguapé coletados em reservatórios do Estado de São Paulo. *Planta Daninha*, 21: 61-67.
- CARPENTER, S.R. & ADAMS, M.S. 1977. The macrophyte tissue nutrient pool of a hardwater eutrophic lake: implication for macrophyte harvesting. *Aquatic Botany*, 3: 239-255.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1996. *Avaliação do Complexo Billings: comunidades aquáticas – (Out/92 a Out/93)*, DAH. (relatório)
- CMR, Comisión Mundial de Represas. 2000. *Represas y desarrollo: un nuevo marco para la toma de decisiones*. Reporte Final, novembro, 404p.
- CORRÊA, M.R.; BRAVIN, L.F.N.; VELINI, E.D.; BAILO, F.H.R. & GALO, M.L.B.T. 2005. Desenvolvimento de equipamentos para o mapeamento de áreas infestadas por macrófitas aquáticas imersas. *Planta Daninha*, 23(2): 269-275.
- COSTA, N.V.; CARDOSO, L.A.; MARCHI, S.R.; DOMINGOS, V.D. & MARTINS, D. 2005a. Controle químico de plantas daninhas aquáticas: *Alternanthera philoxeroides*, *Enhydra anagallis* e *Pycurus decumbens*. *Planta Daninha*, 23(2): 335-342.
- COSTA, N.V.; MARTINS, D.; RODELLA, R.A. & COSTA, L.D.N.C. 2005b. pH foliar e deposição de gotas de pulverização em plantas daninhas aquáticas: *Brachiaria mutica*, *Brachiaria subquadripara* e *Panicum repens*. *Planta Daninha*, 23(2): 295-304.
- DA SILVA, F.M.; LUCAS JUNIOR, J.; BENINCASA, M. & OLIVEIRA, E. 2005. Desempenho de um aquecedor de água a biogás. *Engenharia Agrícola*, 25(3): 608-614.



- DEPARTAMENT OF ECOLOGY, Washington State, USA, <http://www.ecy.wa.gov/>, capturado em 22/07/2007.
- ESPINOZA-QUIÑONES, F.R.; ZACARKIM, C.E.; PALACIO, S.M.; OBREGÓN, C.L.; ZENATTI, D.C.; GALANTE, R.M.; ROSSI, N.; ROSSI, F.L.; PEREIRA, I.R.A.; WELTER, R.A. & RIZZUTTO, M.A. 2005. Removal of heavy metal from polluted river water using Aquatic macrophytes *Salvinia* sp. *Brazilian Journal of Physics*, 35(3B): 743-746.
- ESTEVES, F.A. & CAMARGO, A.F.M. 1986. Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1: 273-298.
- ESTEVES, F.A. 1981. Valor nutritivo de algumas espécies de macrófitas aquáticas tropicais. In: Reunião sobre ecologia e proteção de águas continentais, 1981, São Paulo. Anais... São Paulo, p. 229-244.
- FARJALLA, V.E.; MARINHO, C.C. & ESTEVES, F.A. 1999. Uptake of oxygen in the initial stages of decomposition of aquatic macrophytes and detritus from terrestrial vegetation in a tropical coastal lagoon. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11(2): 185-193.
- FOLONI, L.L. & PITELLI, R.A. 2005. Avaliação da sensibilidade de diversas espécies de plantas daninhas aquáticas ao carfentrazone-ethyl, em ambiente controlado. *Planta Daninha*, 23(2): 329-334.
- GIBBONS, M.V.; GIBBONS, H.L. & SYTSMAN, M.D. 1994. *A citizens manual for developing integrated aquatic vegetation management plans*, Washington Department of Ecology, Water Quality Financial Assistance Program.
- GOMES, J.A.; KAWAI, H. & JAHNEL, M.C. 1987. Estudo piloto sobre obtenção de composto orgânico a partir de aguapé. *Ambiente*, 1(1): 12-17
- GRANATO, M. 1995. *Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, Série Tecnologia Ambiental, n. 5 p. 1-39.
- GUIMARÃES, L.T. 2000. *Utilização do sistema de informação geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na bacia do Paquequer, município de Teresópolis – RJ*, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COOPE), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 172p.
- HARDOIM, P.C. & GONÇALVES, A.D. Avaliação do potencial do emprego do biogás nos equipamentos utilizados em sistemas de produção de leite. III Encontro de Energia no Meio Rural, 2000, Campinas. [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC00000002200000100053&lng=es&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC00000002200000100053&lng=es&nrm=abn). Acesso em: 25 Jun. 2007.
- HARVEY, R.M. & FOX, J.L. 1973. Nutrient removal using *Lemna minor*. *Journal Water Pollution Control Federation*, 45(9): 1928-1938.
- HENRY-SILVA, G.G. & CAMARGO, A.F.M. 2006. Composição química de macrófitas aquáticas flutuantes utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura. *Planta Daninha*, 24(1): 21-28.
- IRGANG, B.E. & GASTAL JR, C.V.S. 1996. *Macrófitas aquáticas da planície costeira do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Botânica/UFRGS, 290 pg.
- KAWAI, H. & GRIECO, V.M. 1983. Utilização do Aguapé para tratamentos de esgoto doméstico. Estabelecimento de Critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais. *Revista DAE*, 135: 79-90.
- KUMAR, P. & GARDE, R.J. 1989. Potentials of water hyacinth for sewage treatment. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*, 61(11/12): 1702-1706.
- MACHADO NETO, J.G.; VELINI, E.D.; ANTUNIASSI, U.R.; BRAVIN, L.F. & NERY, M.S. 2006. Segurança das condições de aplicação de herbicidas com aerobarco em plantas daninhas aquáticas no lago da hidrelétrica de Jupia. *Planta Daninha*, 24(2): 399-405.
- MANFRINATO, E.S. 1989. *Avaliação do método edafofitodepuração para tratamento preliminar de águas*. Piracicaba, SP, USP, 100 p. (Dissertação)
- MARCHI, S.R.; MARTINS, D.; COSTA, N.V.; CARBONARI, C.A. & TERRA, M.A. 2005a. Depósitos de calda de pulverização nas faces adaxial e abaxial de folhas de *Eichhornia crassipes* dispostas em diferentes ângulos. *Planta Daninha*, 23(2): 321-328.
- MARCHI, S.R.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E. & CORRÊA, M.R. 2005b. Utilização de chama para controle de plantas daninhas emersas em ambiente aquático. *Planta Daninha*, 23(2): 311-319.
- MARCONDES, D.A.S.; VELINI, E.D.; MARTINS, D.; TANAKA, R.H.; CARVALHO, F.T.; CAVENAGHI, A.L. & BRONHARA, A.A. 2003. Eficiência de fluridone no controle de plantas aquáticas submersas no reservatório de Jupia. *Planta Daninha*, 21: 69-77. Edição Especial
- MARTINS, D.; TERRA, M.A.; CARBONARI, C.A.; NEGRISOLI, E.; CARDOSO, L.R. & TOFOLI, G.R. 2005. Efeito de diferentes concentrações de aterbane na deposição de calda em plantas de *Pistia stratiotes*. *Planta Daninha*, 23(2): 343-348.
- MEILINGER, P.; SCHNEIDER, S. & MELZER, A. 2005. The Reference Index Method for the macrophyte-based assessment of rivers – a contribution to the implementation of the European Water Framework Directive in Germany. *International Review of Hydrobiology*, 90(3): 322-342
- MENDES, D.; PITELLI, R.A. & COELHO, L. 2004. de concentrações de herbicidas sobre aspectos biológicos

- de *Fusarium* sp. (isolado FCAV#940). *Planta Daninha*, 22(1): 85-93.
- MIYAZAKI, D.M.Y. & PITELLI, R.A. 2003. Estudo do potencial do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) como agente de controle biológico de *Egeria densa*, *E. najas* e *Ceratophyllum demersum*. *Planta Daninha*, 21: 53-59. Edição especial
- MONDARDO, E.; GONÇALVES JUNIOR, A.C. & SACON, E. 2006. Uso da macrófita aquática (*Eichhornia crassipes*) na remoção de cobre e zinco em biofertilizante de origem suína, Revista PUBLICATIO UEPG - Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Estadual de Ponta Grossa, 12 (2): 13-20.
- MOSSE, R.A.; CHAGAS, J.M. & TERRA, A.R.S. 1980. Utilização de lagoas de maturação com aguapé (*Eichhornia crassipes*) na remoção de algas e coliformes em efluentes de lagoas de estabilização. *Engenharia Sanitária*, 19(1): 72-76.
- MÜLLER, A.C. 1995. *Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: Makron Books, pg. 421.
- NEGRISOLI, E.; TOFOLI, G.R.; VELINI, E.D.; MARTINS, D. & CAVENAGHI, A.L. 2003a. Uso de diferentes herbicidas no controle de *Myriophyllum aquaticum*, *Planta Daninha*, 21: 89-92. Edição Especial.
- NEGRISOLI, E.; MARTINS, D.; VELINI, D.E. & FERRERA, W.L.B. 2003b. Degradação de diquat em condições de caixa d'água com e sem plantas de egéria. *Planta Daninha*, 21: 93-98. Edição Especial
- NEIFF, J.J. 1990. Aspects of primary productivity in the lower Parana and Paraguay riverine system. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 3: 77-113.
- NICHOLS, S.A. 1991. The interaction between biology and the management of aquatic macrophytes, *Aquatic Botany*, 41: 225-252.
- OLIVEIRA, R.J.F.; CARVALHO, F.F.R.; BATISTA, A.M.V.; ANDRADE, M.F.; SILVA FILHA, O.L. & MEDEIROS, S.J.S. 2004. Efeito da adição de *Egeria densa* sobre a digestibilidade e balanço de nitrogênio em caprinos. *Archivos de Zootecnia*, 53: 175-184.
- POMPÊO, M.L.M. 1999. As macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais: aspectos ecológicos e propostas de monitoramento. In: M.L.M. Pompêo Perspectivas da limnologia no Brasil. São Luís: Gráfica e Editora União, 191 p.
- POMPÊO, M.L.M.; HENRY, R. & MOSCHINI-CARLOS, V. 1999. Chemical composition of tropical macrophyte *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia*, 411: 1-11.
- POMPÊO, M.L.M. & HENRY, R. 1998. Decomposition of *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock, macrophyte in Jurumirim Reservoir (São Paulo - Brazil). *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 26: 1871-1875.
- POMPÊO, M.L.; SILVA, S.C. & MOSCHINI-CARLOS, V. 2005. A deterioração da qualidade das águas continentais brasileiras: o processo de eutrofização. *Saneas*, 21(2): 24-28.
- RIBEIRO, M.D.; KAWAI, H.; TINEL, P.R. & ROSSETO, R. 1986. Experimento-piloto da lagoa de aguapé para tratamento de esgoto bruto. *Revista DAE*, 46(144): 82-86.
- RIEMER, D.N. & TOTH, S.J. 1969. A survey of the chemical composition of *Potamogeton* and *Myriophyllum* in New Jersey. *Weed Science*, 17: 219-223.
- RODRIGUES, N.S. 1985. Aguapé uma alternativa no tratamento de esgotos. *Pau-Brasil*, 5: 9-16.
- ROMITELLI, M.S. 1983. Remoção de fósforo em efluentes secundários com emprego de macrófitas aquáticas do gênero *Eichhornia*. *Revista DAE*, 133: 66-68.
- SALATI, E. 1991. *Aguapé: uma experiência na Flórida*. In: Problemas Ambientais Brasileiros, Fundação Salim Farah Maluf, p. 113-115.
- SANTOS, D.M.M. 1994. Estimativa da concentração letal (CL50) de cinco herbicidas na macrófita aquática *Salvinia minima* Baker. In: Anais do II Congresso de Ecologia do Brasil, 1994, Londrina: UEL.
- SANTOS, D.M.M.; PITELLI, R.A. & BANZATTO, D.A. 2001. Efeito de herbicidas em *Spirodela punctata* (G.F.W.Meyer) Thompson (Lemnaceae) cultivada em diferentes soluções nutritivas. *Ecossistema*, 26(1): 58-65.
- SCHNEIDER, I.A.H. & RUBIO, J. 2003. *Plantas Aquáticas: adsorventes naturais para a melhoria da qualidade das águas*. XIX Prêmio Jovem Cientista - 2003 – Água: Fonte de Vida, 16p.
- SEZERINO, P.H. 2006. *Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical*. Florianópolis, SC, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. 171p.
- SILVA, J.R.V. & MARTINS, D. 2004. Controle químico de *Typha subulata* em dois estádios de desenvolvimento, *Planta Daninha*, 22(3): 437-443.
- SIPAÚBA-TAVARES, L.H.; FÁVERO, E.G.P. & BRAGA, F.M.S. 2002. Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquaculture: I Floatin Plant.. *Brazilian Journal of Biology*, 62(3): 1-11.
- SOUSA, J.T.; VAN HAANDEL, A.C.; COSENTINO, P.R.S. & GUIMARÃES, A.V.A. 2000. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas "wetlands" construídos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(1): 87-91.

- SOUSA, J.T.; VAN HAANDEL, A.; LIMA, E.P.C. & HENRIQUE I.N. 2004. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 9(4): 285-290.
- STRAŠKRABA, M. & TUNDISI, J.G. 2000. *Gerenciamento da qualidade da água de represas*, São Carlos, SP: ILEC, IIE, 280p.
- TERRA, M.A.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C.A.; CARDOSO, L.R. & MARTINS, D. 2003. Controle químico de plantas aquáticas: *Polygonum lapathifolium*. *Planta Daninha*, 21: 85-88. Edição Especial
- THOMAS, S.M. & BINI, L.M. 2003. Análise crítica dos estudos sobre macrófitas aquáticas desenvolvidos no Brasil. In: S.M. Thomas & L.M. Bini Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Maringá: EDUEM, 341 p.
- THOMAS, S.M. & ESTEVES, F.A. 1985. Estudo de biomassa de algumas espécies de macrófitas aquáticas tropicais quanto ao seu valor nutritivo. In: Anais do IV Seminário Regional de Ecologia, 1985, São Carlos, Anais... São Carlos: UFSCar, p. 439-467.
- TRIPATHI, B.D. & SHUKLA, S.C. 1991. Biological treatment of wastewater by selected aquatic plants. *Environmental Pollution*, 69: 69-78.
- VAN NES, E.H.; VAN DER BERG, M.; CLAYTON, J.S.; COOPS, H.; SCHEFFER, M. & VAN IERLAND, E. 1999. A simple model for evaluating the cost and benefits of aquatic macrophytes, *Hydrobiologia*, 415: 335-339.
- VELINI, E.D.; CORRÊA, M.R.; TANAKA, R.H.; BRAVIN, L.F.; ANTUNIASSI, U.R.; CARVALHO, F.T. & GALO, M.L.B.T. 2005. Avaliação operacional do controle mecânico de plantas aquáticas imersas no reservatório de Jupia, *Planta Daninha*, 23(2): 277-285.
- WETZEL, R.G. 1981. *Limnologia*. Barcelona: Ediciones Omega, 679p.
- WOLVERTON, B.C.; MCDONALD, R.C. & DUER, W.R. 1983. Microorganisms and higher plants for waste water treatment. *Journal of Environmental Quality*, 12: 236-242.

*Submetido em 15/03/2008.*

*Aceito em 16/07/2008.*