

O Aguapé: meios de controle e possibilidades de utilização

MARIA CLAUDIA D. PERAZZA (*)
DENISE NAVAS PEREIRA (*)
MARIA THEREZINHA MARTINS (*)

INTRODUÇÃO

Milhões de anos foram necessários para a evolução da vida atualmente existente na Terra; contudo, o Homem conseguiu alterar drasticamente a natureza neste último século. O ataque ao ambiente poluiu o ar, o solo e a água. A sociedade tecnológica está anulando a capacidade de auto-recuperação da natureza, devido ao estabelecimento de padrões de consumo e de tentativas de correção de problemas que muitas vezes acabam resultando em novos pesadelos ambientais.

A incapacidade de proteger e manejar adequadamente os recursos hídricos perturbou o delicado equilíbrio de ecossistemas aquáticos. A vegetação aquática muitas vezes obstrui rios e lagos, apesar dos meios químicos, mecânicos e físicos tentados para sua erradicação, geralmente com prejuízo para o ambiente. Em geral, são os interesses econômicos que ditam os meios de tratamento da vegetação excessiva, em vez de se proceder a uma investigação dos processos que deveriam ser utilizados para o controle e que trouxessem menor prejuízo ao ambiente.

Existe uma grande controvérsia a respeito da origem do aguapé. Muitos acreditam ser a planta nativa da América do Sul, tendo sido levada em

1884 para New Orleans, como "souvenirs" para uma exposição, e a partir daí se espalhou pelo sul dos Estados Unidos (Gowanlock, 1944, em Anderson, 1971). Dez anos após, o aguapé já se constituía em problema na Austrália; na Índia e na África (rio Congo), em 1902 já havia registros de infestação, sendo que seis anos após vários países da África já o possuíam, por milhares de quilômetros de rios (Poling, 1964, em Anderson, 1971). O aguapé invadiu, portanto, a quase totalidade das regiões paleotropicals, com velocidade espantosa, graças ao seu formidável poder de reprodução por estolhos. Além disso, foi atribuída à planta a capacidade de promover o desenvolvimento de espécies indesejáveis, como mosquitos e outros organismos transmissores de moléstias, motivo pelo qual também seria recomendável a sua remoção.

A interação recíproca entre a vegetação aquática e o homem é um processo contínuo. Ninguém é o vencedor. Pareceria que, do ponto de vista econômico, o controle químico seria o mais viável; contudo, as consequências a longo prazo ainda são pouco previsíveis. A eventual eutroficação dos cursos d'água é o resultado nefasto de qualquer método de controle que mate as plantas, causando o seu afundamento. Além disso, o uso repetido de produtos químicos como o 2,4D pode ser extremamente prejudicial à espécie humana.

O crescimento industrial e a urba-

nização fazem com que cada vez mais se valorize a recreação ao ar livre. Para isso, os ambientes devem ser manejados de tal forma a propiciar paisagens agradáveis e saudáveis para o lazer. Assim, faz-se necessário o estabelecimento de métodos de controle adequados onde se manifestam crescimentos excessivos de vegetação aquática flutuante e, ao mesmo tempo, a procura de meios de aproveitamento desse excesso, a fim de evitar a eutroficação acelerada de tais áreas.

Desta forma, discute-se, no presente trabalho, ambos os aspectos: os métodos de controle que podem ser aplicados quando se manifesta um crescimento excessivo do aguapé e, a seguir, as várias possibilidades de sua utilização para fins diversos.

O AGUAPÉ

O aguapé, *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms, é uma monocotiledônea, pertencente à família das Pontederiaceae. É uma planta suculenta, constituída em cerca de 95% de água, consistindo de raízes, rizomas, estolhos, pecíolos, folhas e inflorescência. Varia em altura desde alguns centímetros até cerca de um metro. As raízes são fibrosas, sem ramificações, com uma coifa conspícua, e podem atingir até quase um metro de comprimento, suspensas livremente na água ou fixas ao fundo em águas rasas, podendo até enraizar em locais secos, neste caso sendo

(*) Biologistas da Diretoria de Tecnologia e Desenvolvimento da CETESB.

a planta reduzida em tamanho. Em plantas pequenas ou isoladas a base do pecíolo se dilata e as células do parênquima de enchimento produzem um flutuador. Em plantas maiores, que geralmente ocorrem em agregados densos, a base do pecíolo não tem bulbo tão distinto. Todas as partes da planta, com exceção da semente, têm gravidade específica inferior a 1, e, conseqüentemente, a planta é flutuante.

O talo vegetativo, ou rizoma, consiste de um eixo com curtos entrenós, e que produz, nos numerosos nós, todas as raízes, folhas, ramos e inflorescências da planta.

A reprodução ocorre primariamente por processos vegetativos: novas plantas são produzidas por estolões, e o crescimento lateral se faz a partir do rizoma. A medida que cada planta produz outras, forma-se uma enorme e espessa camada de plantas interligadas. O tempo médio para duplicação da planta é de cerca de duas semanas, de modo que, sob condições ideais, dez plantas podem cobrir um acre em dez meses. O aguapé tem grande capacidade de regeneração; se quebrado ou triturado, o rizoma pode regenerar uma nova planta, dependendo esta regeneração do tamanho do fragmento (Penfound & Earle, 1948).

O aguapé produz uma espiga, com 2 a 38 flores. De acordo como Penfound & Earle (lit. cit.), parece que ocorre autopolinização, devido ao dobramento e espiralamento, quando a flor murcha. Nesta ocasião, a espiga afunda na água, para dispersar suas sementes. Embora a planta floresça quase o ano todo, não há liberação das sementes até o início da estação fria. Quando a cápsula do fruto maduro se rompe, as sementes são espalhadas pela camada de plantas circundantes ou na água, onde afundam. As sementes permanecem viáveis por um mínimo de sete anos, sendo pré-requisitos para germinação a escarificação por meios físicos, químicos ou biológicos, e a sua exposição ao ar (Penfound & Earle, lit. cit.).

MEIOS DE CONTROLE

Vários fatores determinam a escolha de medidas de controle:

1. o grau de controle desejado

a) completa erradicação: quando a drenagem continental é preponderante e há necessidade de erradicação permanente de todo crescimento vegetal.

b) controle seletivo, isto é, o controle de uma ou mais espécies, deixando outras que não constituem problema.

c) crescimento controlado — remoção do crescimento excessivo, peço menos durante parte do ano,

sem reduzir seriamente a cobertura vegetal.

d) controle ocasional — tratamento periódico necessário para manutenção de peixes e dos habitats naturais.

2. a conveniência das técnicas disponíveis

Existem alguns pontos importantes que devem ser considerados na seleção do método de controle mais adequado. O primeiro ponto a considerar é o grau de controle desejado, o acesso às plantas e a disponibilidade de mão-de-obra, custo de cada operação e eficiência do tratamento.

O risco de efeitos colaterais adversos sobre as funções do corpo d'água sempre deve ser considerado:

a) o efeito sobre a saúde humana e suprimento de água doméstica, isto é, a toxidez de herbicidas sobre operadores e usuários da água, aumento de turbidez devido ao lodo revolvido e também odores e putrefação indesejáveis, resultantes dos herbicidas ou da vegetação em decomposição.

b) a saúde de animais (pecuária), isto é, a toxidez de herbicidas e a possibilidade de aumentar a preferência por plantas venenosas.

c) o perigo para os peixes e outros animais aquáticos, isto é, a toxidez dos herbicidas e, muitas vezes mais frequente, a desoxigenação da água pelo material vegetal em decomposição.

d) o dano possível de plantas adjacentes, através da irrigação com água contendo herbicidas e deriva do material pulverizado durante a aplicação.

e) o risco de distúrbio não intencional da vida natural, ou ruptura de seu habitat removendo as plantas na época da desova de espécies animais.

f) a possibilidade de danificação ou efeito adverso no funcionamento de indústrias, etc, ou seja obstruindo tomadas de água e comportas ou causando corrosão.

Métodos de controle

A — Controle mecânico

A remoção física constitui uma abordagem simples e direta do problema do aguapé.

Sendo totalmente controlada pelo homem, a remoção mecânica permite exercer o máximo controle sobre a quantidade de plantas removidas dentro das limitações da máquina utilizada. Além disso, a remoção do material vegetal tem a vantagem de permitir um aproveitamento do mesmo.

A remoção do material para a margem constitui o método tradicional mais usual nos Estados Unidos. Pode ser realizado manualmente, utilizando ancinhos e forquilhas com cabos

mais longos que o normal, que são ideais para pequenas operações ou manutenção da área após uma operação maior. Os implementos e máquinas utilizados para o controle de aguapé geralmente são desenvolvidos em função de necessidade local pelos próprios operadores, muitas vezes adaptando instrumentos agrícolas. Nos Estados Unidos, foram desenvolvidas duas máquinas para a destruição do aguapé, bastante eficientes e que podem ser usadas regularmente por muitos anos: o "barco-serra" e o "triturador kenny" (Livermore & Wunderlich, 1969). Nesse país, a remoção do material é legalmente obrigatória, para evitar problemas na utilização da água ou desoxigenação. Entretanto, a utilização destas máquinas faz com que o material orgânico seja devolvido para a água, não sendo aconselhável em ambientes onde se deseja evitar desoxigenação e outros efeitos de poluição orgânica. Em função disso, tem-se estimulado projetos de colheita e utilização de plantas aquáticas. Geralmente o material que flutua é concentrado em algum ponto pela corrente ou ação do vento. O material pode ser removido para fora com ancinhos de cabo longo, "dragas", forquilhas, condutores flutuantes ou ancinhos especialmente desenhados, em barcos. O sistema também pode ser hidráulico, semelhante a implementos agrícolas. O "ancinho hidráulico" levanta o material da água e deposita na margem ou no próprio barco.

Existem ainda coletores maiores e mais complexos. Basicamente são barcas grandes nas quais se monta um condutor do tipo esteira.

Em países industrializados a crescente dificuldade de obtenção de mão-de-obra e aumento dos custos tornou a utilização de instrumentos manuais economicamente desfavorável; porém em países em desenvolvimento os métodos manuais de controle persistem e demonstram ser os mais econômicos para pequenos canais, enquanto há disponibilidade de mão-de-obra.

Recentemente tem-se dado atenção especial para a possibilidade de utilizar o aguapé como alimento animal ou adubo (para o que seria necessário efetuar sua remoção), mas muitos aspectos devem ser superados para tornar-se uma proposição prática e viável.

B — Controle biológico

O controle biológico pode ser efetuado por diversas espécies. Há trabalhos que demonstram que a "carpa capim" exerce controle parcial sobre o aguapé; em outros, foram colocados exemplares do peixe "whit-amur" (uma espécie de carpa),

de aproximadamente um ano de idade, em tanques artificiais contendo aguapé, verificando-se que os peixes maiores consumiam as folhas e raízes, enquanto que os menores comiam somente as raízes, tendo havido tanto redução da área coberta como do número de plantas (Ramachandran, 1973 e Sutton & Blackburn, 1971, em Biraghi, 1977).

C — Controle químico

O conceito de controle de plantas aquáticas deve ser considerado diferentemente nos programas de manutenção de lagos e rios. É necessária uma certa quantidade de vegetação aquática em um corpo d'água, para a manutenção de peixes e aves aquáticas, embora não se tenha determinado a quantidade ideal de vegetação.

Os usos múltiplos da água tornam difícil o estabelecimento de regras gerais acerca de procedimentos de controle com herbicidas. Os efeitos diretos e indiretos da aplicação de herbicidas na água devem ser considerados no tratamento de cada corpo d'água.

Quando se considera o uso de herbicidas deve-se ter em mente os efeitos que o tratamento poderá ter sobre as funções do corpo d'água e sobre as próprias plantas. Estes efeitos envolvem não apenas a toxidez direta do produto sobre o homem, seus animais e a fauna natural, como também efeitos indiretos através de alterações causadas no ecossistema.

Para as plantas flutuantes, os herbicidas podem ser aplicados através de pulverização sobre a folhagem, de modo semelhante ao que é recomendado para plantas terrestres. As recomendações das doses corretas para uso são apresentadas na forma de ingrediente ativo do herbicida por acre.

O mais frequentemente utilizado em ambientes aquáticos é o 2,4-D, para controle de muitas plantas submersas, emergentes ou flutuantes. A eficácia do produto pode ser regulada pela formulação apresentada como ácido, sal de sódio, sal amina ou ester (Lawrence, 1962). As fórmulas salinas ou ácidas aumentam a solubilidade do 2,4-D. Plantas aquáticas de folhas largas são bastante suscetíveis ao 2,4-D. É recomendado 1 a 4,5 Kg de 2,4-D amina por hectare para aguapé, ou 2 a 8 lb/ha com uma segunda aplicação após 8 a 12 dias (Matthews & Shearer, 1975).

Quanto às vantagens do uso de herbicidas, verifica-se que nos Estados Unidos, as plantas aquáticas podem ser controladas com herbicidas pela terça ou quarta parte do custo calculado para o método mecânico. Grandes áreas infestadas podem ser tratadas com aplicações aéreas, en-

quanto que as fórmulas granulares ou pulverizações de baixo volume são mais adequadas no tratamento de pequenas áreas.

De acordo com Walker (1963, em Mitchell, 1974), a concentração da maioria dos herbicidas necessária para afetar peixes e outros organismos aquáticos é muito mais alta que a quantidade necessária para controlar plantas aquáticas. Além disso, alguns herbicidas utilizados em ambiente aquático se dissipam rapidamente, não deixando resíduo. Parte da remoção pode envolver biodegradação; esta foi analisada para o 2,4-D por Hemmet & Faust (1969), tendo os autores constatado que em ambientes de clima mais quente a biodegradação pode ocorrer em seis dias, porém há autores que afirmam que apenas uma pequena porção é degradada pela população microbiana.

O aguapé pode ser efetivamente controlado com herbicidas; entretanto, devido aos múltiplos usos do ambiente aquático, os herbicidas a serem utilizados dependerão da área de infestação e do uso imediato da água.

Prevendo-se possíveis consequências do uso dos herbicidas, são fornecidas autorizações específicas para uso de pesticidas em geral no ambiente aquático, nos Estados Unidos, e uma autorização para qualquer outro uso não implica em autorização para controle de plantas aquáticas. Essas permissões são baseadas em dados toxicológicos disponíveis para o uso de herbicidas e numa avaliação do risco de toxidez para o homem (operadores e usuários), animais domésticos, peixes e a vida aquática, quando o produto é introduzido na água.

O herbicida quando entra no ambiente aquático se dissolve na água, e os riscos de efeitos colaterais adversos são maiores do que se fossem utilizados em plantas terrestres ou no solo. Ao invés de permanecer no terreno o herbicida pode ser deslocado pelas correntes de um local para outro, em um lago, ou por consideráveis distâncias, quando aplicado em cursos d'água. A remoção de água da área tratada, pelo homem, pode resultar em contaminação de outras áreas, e isto aumenta o risco de possíveis efeitos colaterais de uma única aplicação de herbicida.

Efeitos do uso dos herbicidas sobre os sistemas aquáticos e o homem

De acordo com Brooker e Edwards (1975) a aplicação de herbicidas em ambiente aquático produz dois grupos de efeitos: os primários ou diretos, que resultam do espectro de ação tóxica do herbicida em si sobre organismos aquáticos e, após consumo, para organismos terrestres; os efeitos indiretos ou secundários re-

sultam da morte das plantas e consequente alteração da natureza física, química e biológica de um corpo d'água tratado, alterações estas que podem interferir no uso da água.

A — Efeitos Diretos

a) Suprimento de água potável

O tratamento da água com relação aos herbicidas está limitado à remoção de frações do herbicida adsorvidas pela matéria particulada, sendo que as frações de herbicida solúveis só podem ser removidas quando houver remoção de matéria orgânica dissolvida, usando, por exemplo, carvão ativado.

Nas doses normalmente recomendadas para o uso em campo, os herbicidas aquáticos não apresentam toxidez aguda para mamíferos. Alguns dados de toxidez crônica para mamíferos são fornecidos pelos fabricantes, na Grã-Bretanha, e em sua maior parte permanecem confidenciais (Brooker & Edwards, 1975).

Quanto a odor ou sabor devido a herbicidas, Sigworth (1965, em Brooker & Edwards, 1975) testou 34 pesticidas quanto ao limiar de odor; a concentração na qual o odor é detectável, para 2,4-D, é de 3,13 mg/l, valor este acima das concentrações normalmente presentes na água após uma aplicação. Entretanto, os derivados fenólicos do 2,4-D com a cloração da água são convertidos a 2,4-diclorofenol, que provoca problemas de gosto e odor em concentração muito baixa (2 a 8 mg/l), e além disso esse composto está presente nas fórmulas comerciais do 2,4-D como impureza, o que também contribui para o problema de gosto na água.

b) Suprimento para irrigação e animais domésticos

Existem 4 elementos principais a serem considerados em relação à segurança da água para irrigação e animais domésticos:

b.1. a dissipação do herbicida por decomposição, absorção ou diluição

A maioria dos herbicidas é suscetível à degradação microbiana, embora a maioria dos estudos estejam restritos a sistemas terrestres.

Os trabalhos de Hemmet & Faust (1969) e De Marco e outros (1967, em Hemmet & Faust, 1969) mostram que a degradação de 2,4-D por microrganismos aquáticos é inibida pela queda de temperatura e oxigênio dissolvido.

A decomposição fotoquímica do 2,4-D em solução aquosa foi descrita, porém, devido às propriedades de absorção de luz U.V. pela água, parece que a fotólise não representa

um processo de degradação importante em sistemas aquáticos.

Na prática os mecanismos físico-químicos e biológicos ocorrem simultaneamente na dissipação do herbicida. O 2,4-D desaparece rapidamente da água tratada inicialmente com 2 mg/l, decrescendo para 0,1 mg/l após 35 dias e no lodo a concentração chega a 0,1 mg/kg após 14 dias.

b.2. O método de aplicação do herbicida

Quando o herbicida é aplicado em plantas marginais ou emergentes, a quantidade de herbicida que entra realmente na água é uma pequena porção do que foi aplicado, o que não ocorre quando se deseja controlar plantas submersas ou flutuantes livres, onde geralmente a concentração final na água após a aplicação se aproxima do máximo teórico (esperado).

b.3. A suscetibilidade dos organismos de interesse

Na revisão de Brooker and Edwards (1975) existem dados de efeitos de água de irrigação contaminada com

herbicidas aquáticos, sobre as plantações. Verificou-se que algumas plantações são particularmente sensíveis a baixas concentrações de um herbicida, como o tomate, que sofre efeito de água contendo 0,1 mg/l de T.B.A. (similar ao 2,4-D).

Os efeitos tóxicos de herbicidas aquáticos sobre animais domésticos dependem da toxidez aguda do produto, da concentração que se apresenta e o volume de água consumido pelo animal.

A assimilação de herbicidas por animais terrestres não está restrita à água bebida, devendo-se considerar os resíduos nas plantas, nos animais e seus produtos (ovos e leite). Vacas alimentadas com dieta contendo 1000 mg de 2,4-D por quilo por 2 semanas, seguida de uma semana com forragem não contaminada, apresentaram resíduo no leite que variou de 0,05 a 0,09 mg/l.

c) Organismos aquáticos

A toxidez aguda de herbicidas aquáticos para peixes e invertebrados está bem documentada (Brooker & Edwards, 1975; Lawrence, 1962; Matthews & Shearer, 1975; Robson

e outros, em Mitchell, 1974, entre outros).

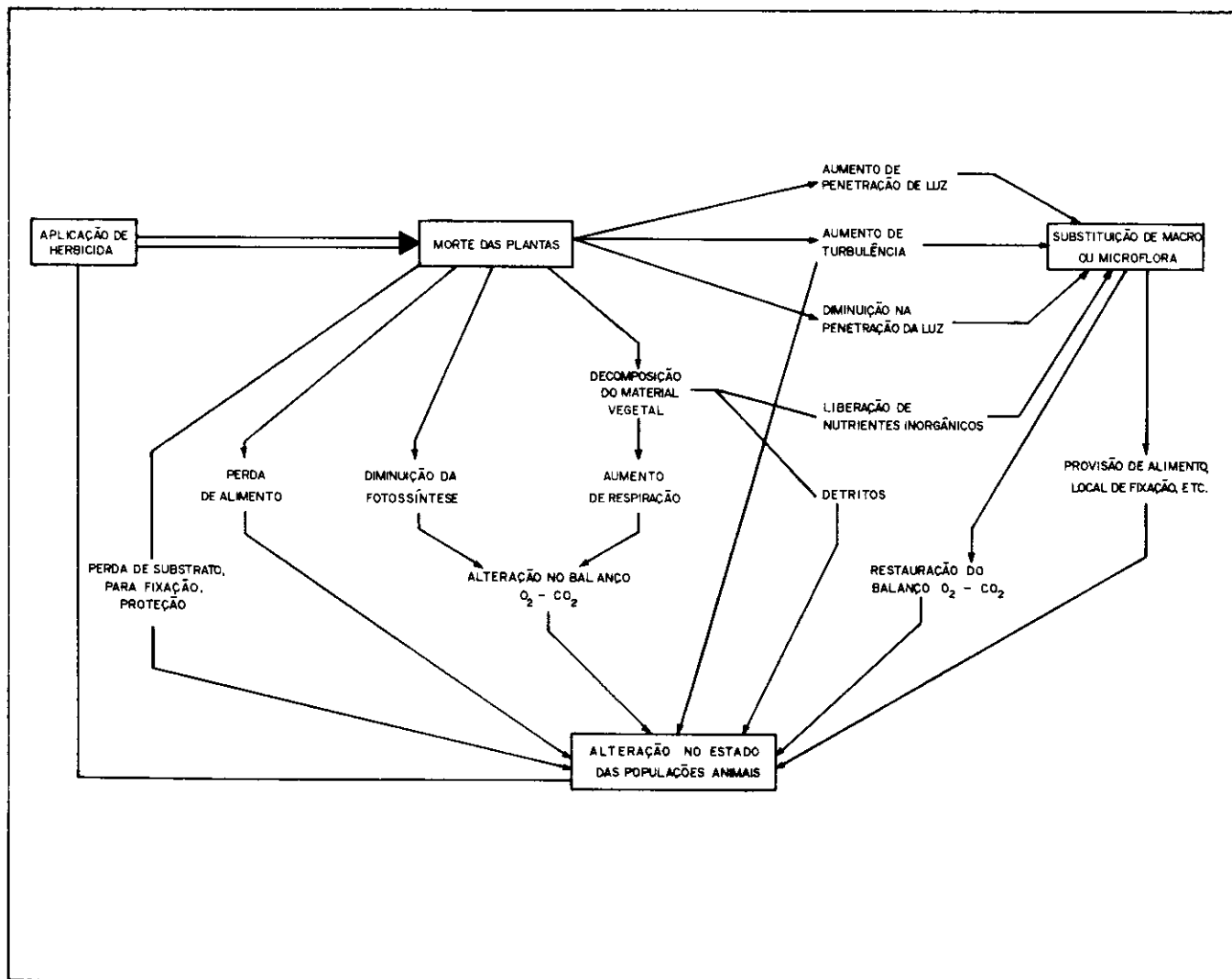
Geralmente as concentrações do herbicida usado para controle de plantas aquáticas, estão longe de criar um dano agudo à fauna aquática.

Concentrações de 2,4-D amina acima de 25 mg/l não apresentaram efeito sobre ovos e alevinos de "bluegill" (Hiltbran, 1967, em Brooker & Edwards, 1975) e a concentração de 200 ppm do mesmo produto provocou 15% de mortalidade em adultos dessa espécie (Lawrence, 1962).

Resultados de testes efetuados com *Brachydanio rerio* revelaram uma $CI_{50/96 \text{ horas}}$ de 396 mg/l, enquanto que para a alga *Scenedesmus quadricauda* a $CI_{50/10 \text{ dias}}$ foi de 32,4 mg/l; *Daphnia magna* parece ser a espécie mais sensível ao 2,4-D, tendo sido obtida uma $CI_{50/48 \text{ horas}}$ de 0,48 mg/l (Perazza e outros, não publ.).

B) Efeitos Indiretos

O esquema, que mostramos a seguir, mostra a dinâmica dos efeitos da aplicação do herbicida e destruição de plantas aquáticas, que são determinantes na alteração da fauna aquática (Brooker & Edwards, 1975).



a) Balanço de oxigênio — dióxido de carbono

No controle de plantas submersas, o resultado imediato é a redução da comunidade fotossintetizante. Essa interferência, juntamente com um possível aumento na respiração microbiana, resulta numa redução da utilização líquida de CO₂ e um decréscimo da produção de oxigênio. Um dos efeitos observados é a queda de pH.

Quando grandes massas de material vegetal são tratadas com herbicidas, a demanda de oxigênio para processos de decomposição aeróbica aumenta tanto, que pode ocorrer desoxigenação da água, especialmente quando a morte das plantas é rápida. Muitos autores registraram baixos níveis de oxigênio em lagos e reservatórios após tratamento com herbicidas, e em alguns casos registrou-se morte de peixes.

Os padrões europeus para água potável (World Health Organization, 1970) recomendam um mínimo de 5 mg/l de oxigênio dissolvido, a fim de evitar problemas de gosto e odor causados por substâncias reduzidas associadas com baixas tensões de oxigênio e minimizar as propriedades corrosivas da água.

b) Substituição por outras plantas

A morte e decomposição de macrófitas em um corpo d'água irá ocasionar a liberação de grandes quantidades de nutrientes. Pokornyy et al. (1971), em Brooker & Edwards, (1975) registraram aumentos de nitrogênio amoniacal de valores traços a 0,62 mg/l em 19 dias após tratamento com herbicida, e fosfato de 0,24 a 0,87 mg/l após 15 dias.

Walker (1963, em Brooker & Edwards, 1975) registrou aumento do nitrogênio total e fosfato de 0,50 a 1,05 mg/l e 0,01 a 0,13 mg/l, respectivamente. Em todos os casos ocorreu severa desoxigenação e alteração do potencial redox no lodo.

A liberação de nutrientes da matéria vegetal em decomposição e o aumento da penetração de luz pode estimular o desenvolvimento de algas planctônicas (Pokornyy et al., 1971, em Brooker & Edwards; 1975; Rho & Gunner, 1978), ou mesmo macrófitas resistentes, pois nenhuma herbicida é capaz de controlar todas as espécies vegetais. O desenvolvimento de uma floração de algas planctônicas pode causar severo impacto no ecossistema, além de ter sérias implicações tanto no uso "in situ" da água, como após distribuição. (Brooker & Edwards, 1975; Rho & Gunner, 1978).

O aumento de matéria particulada resultante da decomposição vegetal pode entupir filtros, danificar ou obs-

truir sistemas de transporte e equipamentos de irrigação.

c) Efeitos sobre a fauna aquática

c.1. Invertebrados bênticos

Muitos autores registraram aumentos na densidade de invertebrados bênticos após o uso de herbicidas para controle de plantas submersas, provavelmente devido a um aumento da quantidade de detrito disponível.

c.2. Zooplâncton

Os efeitos de controle por herbicidas sobre o zooplâncton variam; o número total geralmente declina e registrou-se a eliminação de espécies de cladoceras. Por outro lado, pode ocorrer aumento da população de zooplâncton resultante de uma floração de fitoplâncton.

c.3. Invertebrados associados às plantas aquáticas

Os efeitos mais dramáticos da destruição das plantas aquáticas são observados na fauna associada a elas.

Muitos invertebrados (moluscos, larvas de tricópteros, lepidópteros, quironomídeos) são eliminados ou reduzidos (Walker, 1963 em Brooker & Edwards, 1975; Mitchell, 1974). O grau e o período do efeito que pode ter implicações na conservação e pesca, será evidentemente influenciado pelo grau de dependência das espécies de invertebrados a uma espécie macrófita particular, o ajustamento do ciclo de vida das espécies em relação à morte das plantas, alternativas de refúgio, características de dispersão das espécies e taxa de recuperação das plantas.

c.4. Peixes

As alterações na fauna de invertebrados geralmente irão refletir na dieta de peixes carnívoros e onívoros. Peixes com hábitos alimentares mais restritos podem ser adversamente afetados, devendo-se considerar o efeito sobre as espécies que se alimentam das próprias plantas aquáticas. Para os peixes que aderem seus ovos às macrófitas, a destruição destas plantas pode afetar seriamente o sucesso da desova, e a ausência de local de proteção para os alevinos e peixes jovens fornecido pelas macrófitas pode causar um aumento da predação sobre esses organismos. Verifica-se, portanto, que algumas plantas aquáticas são essenciais à manutenção do ambiente natural, não sendo conveniente a sua remoção total, quer pelo tratamento químico ou mesmo mecânico.

c.5. Avifauna

As plantas aquáticas e invertebrados constituem parte da dieta de aves aquáticas e a remoção da vegetação pode restringir o uso da área por parte desses animais.

Os principais efeitos ecológicos previstos como resultados de controle químico do aguapé podem ser resumidos assim (Brooker & Edwards, 1975):

- perda de substrato, alteração do habitat (também com remoção mecânica total);
- aumento na produção de oxigênio na água pela substituição por fitoplâncton e macrófitas submersas;
- efeito sério sobre a fauna terrestre associada às plantas, para local de postura e refúgio (também ocorre com remoção mecânica total).

ASPECTOS LEGAIS NO USO DE HERBICIDAS

No Brasil, a legislação especificou valores máximos permitidos (VMP) em água potável, de três herbicidas: 2,4-D com VMP de 0,02 mg/l; 2,4,5-TP com VMP de 0,03 mg/l e 2,4,5-T com VMP de 0,002 mg/l (Ministério da Saúde, Port. n.º 56 BSB de 14 de março de 1977).

Nos EEUU recomenda-se entrar em contato com o United States Department of Agriculture ou órgãos afins antes de se proceder qualquer aplicação de herbicidas em ambiente aquático, sendo que a literatura cita restrições do uso de herbicidas em água potável, como por exemplo, recomenda-se não usar 2,4-D amina em água para irrigação, uso doméstico, armazenamento ou quando há pesca para consumo humano (Weed Control Manual, 1976). Outras informações podem ser conseguidas por intermédio de Programas específicos em agências como a EPA (Environmental Protection Agency, U.S.A.) (Webb, 1978).

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE CONTROLE

A tabela 1 resume de modo comparativo os aspectos a serem considerados no controle, tanto mecânico como químico, de plantas aquáticas.

São evidenciados os aspectos relativos a possíveis efeitos que sucedem ao controle de plantas aquáticas e preservação da qualidade da água. Nota-se que os efeitos devidos ao controle químico são em maior número e menos previsíveis, sendo portanto de pouco controle pelo homem, em contraste com os possíveis efeitos de um controle mecânico.

Particularmente para sistemas de abastecimento público, a preservação da qualidade da água torna-se o fator

TABELA 1

Aspectos	Controle químico	Controle mecânico
Vantagens operacionais	Baixo custo. Fácil manejo.	Controle direto. Possibilidade de utilização do material removido.
Desvantagens operacionais	Seletividade limitada. Restrições de acordo com o uso imediato da água.	Operações contínuas para plantas fixas. Custos mais altos e maior mão-de-obra.
Controle de efeitos	Resultados finais não previsíveis. Efeitos indiretos e menos definidos pouco controlados pelo homem. Necessidade de tratamentos especiais para remoção de resíduos. Prováveis efeitos sobre o ecossistema.	Resultado final previsível. Máximo controle sobre a quantidade de plantas removidas e sobre possíveis efeitos no ecossistema.
Efeitos diretos da operação	Possibilidade de intoxicação para mamíferos e plantas terrestres na irrigação. Possibilidade de efeitos tóxicos sobre outras formas de vida aquática (peixes e invertebrados).	Nenhum efeito tóxico.
Efeitos indiretos	Aumento da D.B.O. e D.Q.O., desoxigenação da água e desequilíbrio do balanço $CO_2 \leftrightarrow O_2$. Morte de peixes por asfixia; liberação de nutrientes e consequente eutrofização (necessidade de remoção do material vegetal para preservação da qualidade da água). Possibilidade de alteração da composição da comunidade animal pela eliminação de fonte de alimento e abrigo. Floração de outras espécies vegetais devido à disponibilidade de nutrientes.	Nenhum efeito aparente no equilíbrio de $CO_2 \leftrightarrow O_2$ da água. Nenhum efeito aparente relativo à qualidade da água. Possibilidade de alteração da composição faunística pela remoção de fonte de alimento e abrigo. Possibilidade de aparecimento de outras espécies vegetais para ocupar o habitat disponível pela remoção da espécie em questão.
Legislação	Restrições no uso de herbicidas a baixas concentrações finais em água para abastecimento (por exemplo, VMP de 0,02 mg/l de 2,4-D).	Sem restrições legais.

preponderante a ser considerado no momento da seleção do método de controle mais adequado.

Os riscos de desoxigenação da água e eutrofização, devido à decomposição da matéria vegetal morta, tornam necessária a remoção desse material após a aplicação do herbicida. No caso da espécie a ser controlada ser o aguapé, a aplicação de herbicidas é muitas vezes desnecessária, realizando-se apenas a remoção mecânica das massas vegetais.

Segundo o comitê sobre drenagem na Grã-Bretanha (Internal Drainage Boards), 63% dos programas de controle de plantas aquáticas usam métodos mecânicos e químicos, 33% apenas métodos mecânicos e 2% não realizam controle.

A maioria dos autores norte-americanos enfatiza que o controle de vegetação aquática com herbicidas é mais fácil, mais rápido e muitas vezes mais econômico que o controle mecânico. Herbicidas aperfeiçoados para controlar plantas aquáticas possuem baixa toxicidade para o homem e outros animais de sangue quente. Muitos parecem ser inofensivos a peixes e outros organismos aquáticos, nas concentrações necessárias para o controle. Contudo, tem-se restringido o uso de herbicidas em ambientes aquáticos, nos Estados Unidos. O receio público de efeitos colaterais de pesticidas em recursos hídricos tendem a reduzir seu uso na água.

Os múltiplos usos de recursos hídricos complicam muito o uso desses produtos no controle de vegetação aquática, e este conflito de interesses está reconhecido em muitos países.

Em contraposição, a remoção mecânica é vantajosa por vários motivos: o resultado final é previsível enquanto o químico não o é; o perigo de desoxigenação da água e outros efeitos indiretos deixa de existir, com a remoção do material vegetal (Mitchell, 1974; Carpenter & Gasith, 1979).

Perazza e outros (não publ.) demonstraram, em estudo experimental, e acompanhando um tratamento químico efetuado no campo, que a remoção mecânica do aguapé produz menos efeitos nocivos ao ecossistema do que o tratamento químico, além do aguapé removido mecanicamente poder ser utilizado para fins diversos.

Sheffield (1967, em Mitchell, 1974) demonstrou que certas plantas aquáticas podem remover o excesso de nutrientes da água e a "colheita" mecânica destas plantas pode retardar o processo de eutroficação prolongando o tempo de vida de um ambiente aquático.

É necessário, portanto, um controle adequado para assegurar o uso contínuo dos recursos hídricos a níveis presentes e futuros. A aplicação de herbicidas em ambientes aquáticos constitui uma área sensível de inte-

resse público, devendo-se observar todos os procedimentos reguladores e medidas de precaução.

POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO DO AGUAPÉ

Um aspecto positivo do aguapé é servir de abrigo natural, de "micro-habitat" para uma fauna bastante rica, motivo pelo qual os naturalistas sugerem que se efetue um controle adequado por fornecer essa planta suporte à fauna de peixes e elementos de sua cadeia trófica (Hansen e outros, 1971).

Obeid (1975) reuniu várias referências de trabalhos que focalizam possíveis utilizações do aguapé, a partir do aproveitamento de plantas removidas por processos físicos: como adubo (simples, ou em mistura com produtos químicos ou estrume), forragem, matéria prima para indústria (por exemplo, de papel e plástico), fonte de proteínas, e como fonte de gás e álcool combustíveis.

Segundo Biraghi (1977), a presença de extensas populações dessa planta encontradas em ambientes naturais e sua alta taxa de crescimento faz com que atualmente ela seja de fato vista como uma opção na produção de matéria prima para obtenção de combustíveis; a sua utilização como adubo beneficia os solos, principalmente os arenosos, elevando os teores de cálcio, nitrogênio, carbono e magnésio.

Também a NASA demonstrou a fantástica e polivalente utilidade do aguapé, transformando uma praga em um elemento de alto valor na defesa do meio ambiente, quer seja purificando os resíduos poluentes, quer como nova fonte supridora de proteínas ou ainda, como nova fonte produtora de gás combustível. Exemplos de alguns trabalhos desenvolvidos em seus laboratórios constam a seguir.

A — remoção de cádmio e níquel de águas poluídas: Wolverton (1975a) investigou o papel do aguapé na remoção de cádmio e níquel em sistemas estáticos. Essa planta demonstrou a capacidade de remover metais pesados de sistemas aquáticos por absorção pela raiz e concentração, até 0,67 mg Cd e 0,50 mg Ni por grama de matéria vegetal seca quando exposta por um período de 24 horas a águas poluídas com concentrações desses metais variando de 0,578 a 2,00 ppm. Desta forma, um hectare de aguapé tem o potencial de remover 300 g de cádmio ou níquel de 240.000 litros de água poluída por esses metais, num período de 24 horas.

B — remoção de nutrientes: Wolverton (1975b) enfatiza a elevada produtividade do aguapé, podendo produzir mais de 240 kg de matéria vegetal seca por 0,40 hectare por dia, sendo uma das maiores taxas de produção de matéria orgânica. O aguapé de 0,40 ha. (1 acre) tem o potencial de remover a produção média diária de resíduos de nitrogênio e fósforo de cerca de 325 indivíduos, além de remover outras substâncias tóxicas, orgânicas e inorgânicas, de águas residuárias. Dados semelhantes foram obtidos por Rogers (1971), que calculou a remoção dos resíduos anuais de nitrogênio e fósforo de cerca de 550 pessoas por um hectare de aguapé no período de 6 meses.

Sendo altamente eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo, o aguapé, após sua remoção, pode ser utilizado para diversas finalidades. Foi tentada a utilização de polpa de aguapé na fabricação de papel, tendo-se verificado que, embora fosse produzida em quantidade suficiente, sua qualidade era inferior, para a fabricação de papel comercial (Nolan & Kirmse, 1974, em Ostini, 1976). Também foi utilizada a planta em adubações orgânicas de solo (Parra, 1975, em Ostini, 1976).

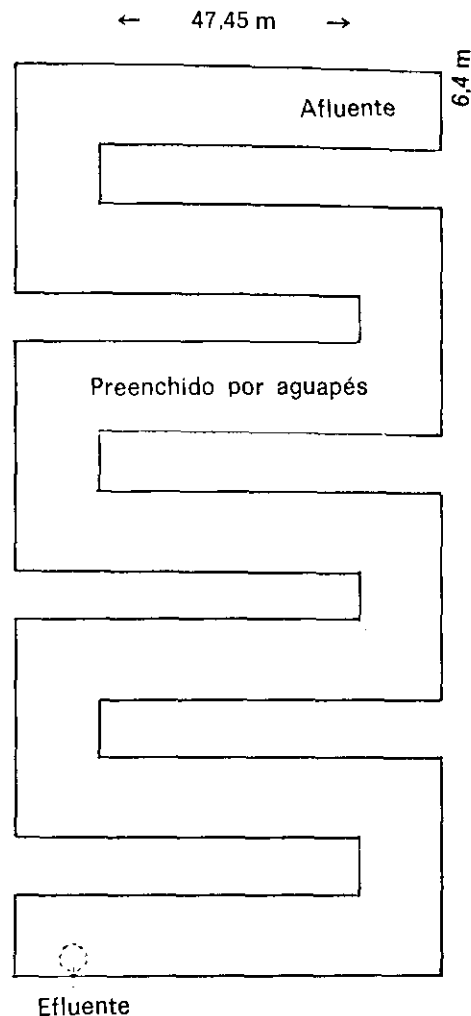
C — remoção de fenóis de águas poluídas: Wolverton (1975b) estudou a remoção de fenol pelo aguapé em sistemas estáticos, sendo que 2,75 g de peso seco da planta demonstraram capacidade de absorver 100 mg de fenol em 72 horas; desta forma, um hectare de aguapé é potencial-

mente capaz de remover 160 kg de fenol em 72 horas, de águas poluídas por esse produto.

D — remoção de chumbo e mercúrio: Wolverton & McDonald (1975a) demonstraram que o aguapé tem capacidade de remover 0,176 mg Pb e 0,150 mg Hg por grama de matéria vegetal seca num período de 24 horas. Assim, um acre de aguapé é potencialmente capaz de remover 105,6 g Pb e 90,0 g Hg por dia. Esta taxa de remoção do metal é baseada na remoção contínua das plantas saturadas.

E — remoção de prata, cobalto e estrôncio: Wolverton & McDonald (1975b) utilizaram o mesmo sistema para avaliar a taxa de remoção desses metais pelo aguapé, sendo que este demonstrou a capacidade de remover 0,439 mg Ag, 0,568 mg Co e 0,544 mg Sr, em forma ionizada, por grama de matéria vegetal seca num período de 24 horas. Portanto, um hectare de aguapé é potencialmente capaz de remover 263,4 g Ag, 340,8 g Co e 326,4 g Sr por dia.

F — remoção de poluentes químicos de águas residuárias: Wolverton & McDonald (1976) efetuaram experimentos para determinar o valor do aguapé como agente filtrador biológico na remoção de metais pesados tóxicos e compostos orgânicos de águas residuárias de laboratórios químicos e fotográficos. Os aguapés foram instalados numa lagoa especialmente desenhada (Fig. 1), na qual os resíduos do laboratório eram despejados. As águas de entrada e saída da lagoa foram analisadas quanto ao teor de metais pesados, vários compostos orgânicos, DBO e DQO. Amostras de aguapé foram também analisadas para detectar a presença de metais pesados e determinar sua distribuição pelas mesmas. Os resultados demonstraram que o aguapé foi eficiente na remoção de metais pesados e de muitas substâncias orgânicas. Os metais pesados concentraram-se em sua maioria nas raízes, mas foram também detectados nos talos e folhas. Após cerca de 8 semanas, o aguapé demonstrou ter sofrido danos pela constante exposição aos metais pesados, e teve de ser removido. As plantas removidas não podem ser utilizadas como alimento ou fertilizante, por conterem elevadas quantidades de poluentes, mas podem ser utilizadas para produção de biogás. O lodo restante deve ser colocado num poço especialmente instalado para eliminar a possibilidade de infiltração de água subterrânea; após um período de alguns anos, os metais pesados nesse depósito podem se acumular a níveis suficientemente altos de modo que a sua extração seja economicamente



Profundidade: 0,78 m
 Volume total: 1.657.000 litros
 Área superfície total: 0,22 ha
 Comprimento: 332 m

Figura 1. Sistema de filtração de águas residuárias por aguapé da NASA (segundo Wolverton & McDonald, 1979). O formato em ziguezague promove a filtração eficiente e aumenta o comprimento da lagoa numa área relativamente pequena; além disso, o esquema facilita o acesso das máquinas removedoras do aguapé.

vantajosa, tornando desta forma o metal reciclável para uso industrial. Este sistema está em operação há três anos, tendo sido incorporado de forma permanente aos processos de tratamento de resíduos dos laboratórios da NASA (Wolverton & McDonald, 1979).

G — remoção de algas e bactérias: Mosse e outros (1979) efetuaram estudos sobre o tratamento biológico de águas residuárias, verificando que o aguapé pode efetuar uma remoção significativa de algas e coliformes (além dos nutrientes), por adsorção em suas raízes, tornando os efluentes límpidos e adequados para serem

lançados sem comprometimento do corpo receptor. Esse tratamento reduz os custos operacionais, constituindo-se num processo mais viável para as pequenas comunidades de países em desenvolvimento.

A exploração do aguapé como fonte de energia revela ser esta uma fonte altamente promissora, apresentando várias características que demonstram as vantagens do seu uso (Sales Luís, 1978):

- por ser flutuante, é facilmente colhida;
- contém bastante água, indispensável para o processamento de obtenção do metano;
- sua cultura é feita em condições que resolvem, paralelamente, outro problema, o do tratamento de esgotos domésticos e agrícolas, pois:

a) em condições nutricionais e de temperatura da água adequadas (entre 20 e 30°C), é possível atingir produções da ordem de 720 kg/dia/ha de planta seca, o que, com 95% de água, corresponde a 14,4 ton./dia/ha. de planta úmida;

b) considerando que por ano há 7 meses adequados para a cultura do aguapé, atinge-se a produção de 154/ton./ano/ha. de matéria seca;

c) assim, o valor obtido de energia corresponde a 3×10^6 Kcal/dia/ha.

A água resultante do tratamento desses esgotos revela-se límpida, incolor e com níveis de DBO < 30 mg/l. Por simples cloração, elimina-se os organismos patogênicos; assim, após tratamento, a água pode ser utilizada para abastecimento doméstico.

A conversão do aguapé em biogás é realizada por digestão anaeróbica, havendo uma eficiência de produção de 63% (Sales Luís, lit. cit.).

Segundo Wolverton & McDonald (1979), a produção é de cerca de 350 a 411 litros de biogás por quilo de matéria seca de aguapé, sob 36°C de temperatura de incubação.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

O vigor e a alta produtividade do aguapé podem ser utilizados sob controle em ambientes de água doce, para remover poluentes químicos de águas residuárias. No processo de absorção de minerais e nutrientes da água, o aguapé produz enormes quantidades de biomassa vegetal que pode ser útil como ração, fertilizante ou biogás. Grandes quantidades de água pura podem ser também obtidas de sistemas com aguapé cobrindo-os em parte com estufas, adaptando equipamentos para capturar o vapor d'água normalmente perdido por evapotranspiração.

É interessante, portanto, que se planeje um sistema integrado, onde as plantas removidas sejam processadas como ração, fertilizantes ou

biogás, numa área adjacente à estação de tratamento de esgotos, a fim de reduzir os custos de produção. Os nutrientes são retirados da água e devolvidos ao ambiente na forma de biomassa vegetal, e a água é recuperada num estado compatível com o dos corpos receptores.

Alguns destes mesmos usos podem também ser propostos para o aguapé que cresce em áreas de fácil acesso para remoção. Onde for viável, a remoção das plantas eliminaria a necessidade de aplicação de herbicidas, além de propiciar abertura de caminho para navegação, recreação e pesca, e evitar deposição de grandes massas de aguapé morto no fundo do corpo d'água. O adubo produzido a partir das plantas mortas poderia ser vendido, para diminuir o custo de sua remoção.

RECOMENDAÇÃO

Sendo a utilização do aguapé na solução de vários problemas ligados ao saneamento básico um fato, deveria ser considerada sua aplicação imediata principalmente em países em desenvolvimento, pois se constitui de tecnologia simples e perfeitamente adequada às nossas condições. É importante que esta aplicação seja feita sob controle absoluto, pois esta vegetação desenvolve-se rapidamente, podendo se transformar numa "praga" se não houver um monitoramento constante das instalações.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, M. e outros. 1971. A report on the characteristics, controls, and uses of the water hyacinth — A student originated study. University of South Florida, 194 pp., mimeogr.
- BIRAGHI, F.L., 1977. Estudo da cobertura de aguapé (*Eichornia crassipes* [Mart.] Solms) sobre as condições físicas, químicas e biológicas da água de tanques de criação de peixes. Trabalho apresentado à Fac. Ciênc. Agr. Vetr. Jaboticabal, para graduação em Zootecnia; 47 pp., mimeogr.
- BROOKER, M.P. & R. W. EDWARDS, 1975. Aquatic herbicides and control of water weeds. Water Res. 9:1-15.
- CARPENTER, S.R. & A. GASITH, 1978. Mechanical cutting of submersed macrophytes. Immediate effects on littoral water chemistry and metabolism. Water Res. 12:55-57.
- HANSEN, K.L., E.G. RUBY & R. L. THOMPSON, 1971. Trophic relationships in the water hyacinth community. Quart. Jour. Florida Acad. Sci. 34(2):107-113.
- HEMMET JR., R.B. & S.D. FAUST, 1969. Biodegradation kinetics of 2,4-D by aquatic microorganisms. Residue Review 29:191-207.
- LAWRENCE, J.M., 1962. Aquatic Herbicide Data. Agriculture Handbook n.º 231. Washington, D.C.
- LIVERMORE, D.F. & W.E. Wunderlich, 1969. Mechanical removal of organic production from waterways. In: Eutrophication: causes, consequences, correctives; 494-519. Washington, Nat. Acad. Sci.
- MATTHEWS, L.J. & A.R. SHEARER, 1975. Weed control by chemical methods. Government Printer, Wellington, New Zealand.

- MINISTÉRIO DA SAÚDE (BRASIL), 1977. Portaria n.º 56 BSB de 14/03/77, relativa à potabilidade da água.
- MITCHELL, D.S., 1974. Aquatic vegetation and its use and control. UNESCO, Paris, 135 pp.
- MOSSE, R.A., J.M. CHAGAS & A.R.S. TERRA, 1979. Utilização de aguapé em lagoas de maturação para remoção de algas e coliformes em efluentes de lagoas de estabilização. 8.º Congresso Latino-americano de Microbiologia, Chile, outubro de 1979 (resumo).
- OBEID, M., 1975. Utilization of water hyacinth — Introduction. In: Obeid, M., ed.: Aquatic weeds in the Sudan, with special reference to water hyacinth. Nat. Council. Res., Agric. Res. Council., Khartoum, Sudan, 150 pp.
- OSTINI, S., 1976. Estudo do teor protéico e do crescimento de algumas das principais plantas daninhas aquáticas do Estado de São Paulo. Trabalho apresentado à Fac. Med. Veter. Agron. Jaboticabal, para graduação em Zootecnia; 34 pp., mimeogr.
- PENFOUND, W. & T.T. EARLE, 1948. The biology of the water hyacinth. Ecol. Mon. 18(4):451.
- PERAZZA, M.C.D., D. NAVAS-PEREIRA & M.T. MARTINS, 1981. Problemática do controle de plantas aquáticas. Anais do 2.º Simpósio Nacional de Ecologia (no prelo).
- RHO, J. & H.B. GUNNER, 1978. Microfloral response to aquatic weed decomposition. Water Res. 12:165-170.
- ROGERS JR., H.H. (1971). Nutrient removal by water hyacinth. Theses submitted to the Graduate Faculty of Auburn University in Partial Fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science; 80 pp., mimeogr.
- SALES LUIS, A.C. de, 1978. Aguapé como fonte de energia. Resumo de trabalho apresentado no Seminário "Energia de Biomassas", realizado na UNICAMP, em outubro de 1978; 5 pp., mimeogr.
- WEBB, R.G., 1978. USDA. Science and Education Administration (comunicação escrita).
- WEED CONTROL MANUAL, 1976. Agri-field-mair.
- WOLVERTON, B.C., 1975a. Water hyacinths for removal of cadmium and nickel from polluted waters. NASA Technical Memorandum TM-X-72721, 9 pp.
- WOLVERTON, B.C., 1975b. Water hyacinths for removal of phenols from polluted waters. NASA Technical Memorandum TM-X-72722, 15 pp.
- WOLVERTON, B.C. & R.C. McDONALD, 1975a. Water hyacinths and alligator weeds for removal of lead and mercury from polluted waters. NASA Technical Memorandum TM-X-72723, 12 pp.
- WOLVERTON, B.C. & R.C. McDONALD, 1975b. Water hyacinths and alligator weeds for removal of silver, cobalt, and strontium from polluted waters. NASA Technical Memorandum TM-X-72727, 11 pp.
- WOLVERTON, B.C. & R.C. McDONALD, 1976. Water hyacinths (*Eichornia crassipes*) for removing chemical and photographic pollutants from laboratory wastewaters. NASA Technical Memorandum TM-X-72731, 10 pp.
- WOLVERTON, B.C. & R.C. McDONALD, 1979. The water hyacinth: from prolific pest to potential provider. Ambio 8(1):2-9.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1970. European Standards for Drinking Water.