

# Monitoramento dos problemas com plantas aquáticas em dez reservatórios dos rios Tietê, Grande, Pardo e Mogi-Guaçu.

E. D. Velini, M. L. B. T. Galo, F. T. Carvalho, D. Martins, M. L. B. Trindade, A. L. Cavenaghi, S. C. Santos, J. L. A. Simionato

**Resumo-** Foram desenvolvidos procedimentos para a avaliação da infestação de plantas aquáticas utilizando-se imagens obtidas pelos satélites Landsat e Iconos, sobrevôos e levantamentos de campo. Os estudos foram realizados em dez reservatórios pertencentes à AES, nas bacias hidrográficas dos rios Tietê, Grande, Pardo e Mogi-Guaçu. Os maiores níveis de infestação com plantas marginais e flutuantes foram encontrados nos reservatórios de Mogi-Guaçu, Barra-Bonita, Ibitinga e Limoeiro. Plantas imersas estiveram presentes em quantidades expressivas somente nos reservatórios de Promissão e Nova Avanhandava. A distribuição das plantas aquáticas não é uniforme em todo o corpo de água de cada reservatório. A presença de plantas marginais e flutuantes normalmente está associada ao processo de sedimentação que ocorre nas áreas de ingresso de tributários nos reservatórios. As espécies predominantes nos levantamentos foram *Brachiaria mutica*, *Brachiaria subquadripata*, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata*, *Polygonum lapathifolium*, *Panicum rivulare*, *Myriophyllum aquaticum*, *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum*.

**Palavras-chave**— Plantas aquáticas, imagens de satélite, qualidade de água, macrófitas, manejo integrado.

## I. INTRODUÇÃO

A ocorrência de plantas aquáticas em reservatórios de hidroelétricas é um problema de importância crescente no Brasil. Algumas hidroelétricas já têm sua eficiência comprometida pela elevada infestação de plantas emersas e imersas. Merece destaque o caso da hidroelétrica de Jupia que, em alguns meses do ano, pode ser praticamente parada em função do entupimento das grades de proteção das turbinas por grandes massas das plantas imersas *Egeria densa* e *Egeria najas* (Tanaka, 1998); há um grande risco de que estas plantas causem grandes problemas também em Porto-Primavera e Itaipú. Na Light, o custo anual com controle mecânico de macrófitas é da ordem de R\$ 3.000.000,00 (Velini, 1998).

<sup>1</sup> Agradecimentos a apoio financeiro da AES.

E. D. Velini, M. L. B. T. Galo, F. T. Carvalho, D. Martins são docentes da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Botucatu, Presidente Prudente, Ilha Solteira e Botucatu, respectivamente (velini@fca.unesp.br).

M. L. B. Trindade é pesquisadora da empresa Criativa – Consultoria em Matologia e Meio Ambiente (criativacmma@uol.com.br)

A. L. Cavenaghi é aluno do curso de doutorado em Proteção de Plantas da FCA / UNESP – Botucatu (alcavenaghi@fca.unesp.br).

S. C. Santos e J. L. A. Simionato trabalham na AES.

Em contraste com a importância já elevada deste tipo de vegetação, destaca-se a ausência, no Brasil, de legislação específica envolvendo o monitoramento e controle de plantas aquáticas. Na literatura nacional, predominam informações sobre a biologia das principais espécies de macrófitas e a caracterização abiótica dos reservatórios em que as mesmas ocorrem ou não. São limitadas as informações disponíveis referentes à viabilidade e limitações dos principais métodos de controle deste tipo de vegetação assim como de projetos de desenvolvimento tecnológico que tenham tido por finalidade a implementação destas técnicas. Com o objetivo de estudar e desenvolver práticas de controle ou elevar os níveis de eficácia das mesmas, destacamos os seguintes trabalhos: Antuniassi (2000), Bronhara (1998), Cardoso (2001), Marcondes et al. (2000), Martins (1998), Martins et al. (2000a), Martins et al. (2000b), Martins et al. (2000c), Mori et al. (2000), Nachtigal (2000), Tanaka (1998), Tanaka (2001), Thomaz (1998), Tofoli (2000), Velini (1998), Velini (2000), Velini et al. (2000a), Velini et al. (2000b) e Velini et al. (2000c).

Em outros países, com destaque para os EUA, a situação é completamente diferente. Em alguns casos, por exemplo no Estado da Flórida, o controle de plantas aquáticas é considerado uma questão de segurança nacional, tendo sido criado um imposto (que incide sobre a comercialização de combustíveis) especificamente para financiar pesquisas (básicas e aplicadas) e ações visando o controle de plantas aquáticas. Os principais métodos de controle (biológico, mecânico e químico) estão plenamente desenvolvidos havendo legislações específicas que regulam seus usos. O conhecimento sobre o assunto encontra-se organizado em uma infinidade de trabalhos de pesquisa, revisões e livros, destacando-se Langeland (1991); Joyce & Ramey (1986); Dressler et al. (1987); Hoyer et al. (1996); Thayer et al. (1996) e Haller (1996).

Este projeto, ainda em andamento, tem os seguintes objetivos: desenvolver um conjunto de técnicas para o levantamento de plantas aquáticas utilizando os reservatórios da AES como modelo; de modo mais específico, viabilizar o uso de imagens obtidas por satélites (Landsat e Iconos) neste tipo de levantamento; caracterizar o ambiente de ocorrência das plantas aquáticas; desenvolver programas de manejo integrado das principais espécies.

## II. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado em reservatórios pertencentes à

AES. Cinco deles, Barra-Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão e Nova-Avanhandava localizam-se na Bacia do Rio Tietê. O reservatório de Água Vermelha faz parte da Bacia do Rio Grande. Os reservatórios de Caconde, Limoeiro e Euclides da Cunha fazem parte da Bacia do Rio Pardo. Finalmente, o Reservatório de Mogi-Guaçu faz parte da bacia do rio de mesmo nome.

O trabalho de levantamento foi iniciado demarcando-se as áreas dos reservatórios a partir de imagens obtidas pelo satélite Landsat-7 ETM+ com resolução de 15m nas imagens pancromáticas e 30m nas imagens multiespectrais. As cenas utilizadas foram obtidas no período de junho de 2.000 a abril de 2.001. A partir da análise das mesmas, foram definidas as rotas de sobrevôo, com helicóptero, dos reservatórios.

Durante o sobrevôo dos reservatórios, foram obtidas 960 fotos com o uso de câmeras digitais registrando-se o horário de aquisição das imagens (com precisão de segundo). Utilizando-se as informações do horário de aquisição e o registro da rota de sobrevôo (obtido com auxílio de GPS com precisão de 5m e com registro das coordenadas a cada 1s) obteve-se a posição de aquisição de cada imagem.

As imagens Landsat foram submetidas a procedimentos de classificação para estimativa da superfície total do reservatório coberta com plantas aquáticas ou por água. Para o processamento das imagens multiespectrais e as áreas geográficas que incluem os reservatórios da AES foram utilizados os aplicativos *Spring* e *Idrisi*. Embora ambos se constituam em Sistemas de Informações Geográficas, esses softwares apresentam funções diferenciadas que os tornam aplicáveis a situações distintas. Cabe ressaltar que, enquanto o *Idrisi* (desenvolvido pela Clark University) é um aplicativo que permite a análise de dados apenas em formato matricial, o *Spring* é um software de domínio público desenvolvido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - que incorpora a funcionalidade de bancos de dados no gerenciamento dos dados.

Foram realizados levantamentos de campo com identificação das principais espécies presentes em 1200 pontos de avaliação distribuídos ao longo dos dez reservatórios. Definiu-se os pontos de amostragem em função das informações prévias obtidas pela análise das imagens Landsat e no sobrevôo. Procurou-se identificar todas as espécies marginais, flutuantes, ancoradas e imersas presentes, estimando-se, visualmente, a participação de cada espécie na composição da biomassa total de cada ponto de avaliação.

Foram selecionados dois polígonos com superfícies de 87,27 e 149,35km<sup>2</sup> sobre os antigos leitos dos rios Piracicaba e Tietê, para aquisição de imagens pancromáticas e multiespectrais obtidas pelo satélite Iconos, com resolução de 1 e 4m, respectivamente. As imagens estão sendo submetidas a rotinas de classificação para avaliar a possibilidade de identificação das espécies de plantas aquáticas predominantes nas áreas avaliadas.

Foram coletadas, no total, 150 amostras de água e 72 amostras de sedimento para caracterização do ambiente de ocorrência das plantas aquáticas e, também, avaliar o efeito das mesmas sobre as características determinadas. Foram determinadas as seguintes características em cada local ou

amostra: localização geográfica, profundidade; temperatura do ar; temperatura da água; teor de Oxigênio dissolvido; transparência com disco de Secchi; acidez; alcalinidade; pH; condutividade elétrica; turbidez; potencial de oxi-redução; teores de sólidos suspensos, dissolvidos e totais; teor de nitrato; teor de nitrito; teor de amônio; teor de Nitrogênio inorgânico, orgânico e total; teor de sulfato; teores de fósforo reativo e total; dureza; demanda química de oxigênio; teores de Na, Ca, Si, K, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Mg, Sn, Pb, Al, B, Ba, Co, Cr, Hg, Li, Mo e Se. Adicionalmente, determinou-se o coeficiente de extinção de luz com comprimentos de onda entre 190 e 900nm para colunas de água com diferentes espessuras.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as informações resultantes da análise das imagens Landsat dos reservatórios. Os maiores níveis de infestação com plantas marginais e flutuantes (porcentagem da superfície coberta com plantas aquáticas) foram encontrados nos reservatórios de Mogi-Guaçu, Barra-Bonita, Ibitinga e Limoeiro.

TABELA I  
ESTIMATIVA DA ÁREA COBERTA POR PLANTAS AQUÁTICAS NOS RESERVATÓRIOS DA AES.

Reservatório	Área em km <sup>2</sup>			% com Plantas
	Água*	Plantas	Total	
Barra-Bonita	257,0	25,0	282,0	8,87
Bariri	51,4	1,4	52,8	2,65
Ibitinga	132,0	8,8	140,8	6,25
Promissão	578,5	9,2	587,7	1,57
Nova Avanhandava	214,2	4,7	218,9	2,15
Água Vermelha	477,5	2,0	479,5	0,42
Caconde	24,07	0,0	24,07	0,00
Limoeiro	3,38	0,21	3,59	5,85
Euclides da Cunha	0,83	0,0	0,83	0,00
Mogi-Guaçu	4,08	2,18	6,26	34,82

\*Superfície de água adicionada área das margens expostas pela redução do nível da água em alguns reservatórios.

A distribuição das plantas aquáticas não é uniforme em todo o corpo de água de cada reservatório. A presença de plantas marginais e flutuantes normalmente está associada ao processo de sedimentação que ocorre nas áreas de ingresso de tributários nos reservatórios. As Figuras 1 a 3 ilustram tal situação, para o reservatório de Barra-Bonita. A Figuras 1 e 2 referem-se aos rios Piracicaba e Tietê, respectivamente. A figura 3 refere-se a um tributário de pequeno porte. Como consequência do processo de sedimentação, a turbidez e quantidade de sólidos em suspensão sofrem grandes reduções quando a água circula pelos locais com densa infestação de plantas aquáticas. Exemplificando, a turbidez das águas do rio Piracicaba foi reduzida de 10,54 para 2,89 em função deste efeito. Em termos de sólidos suspensos, houve a redução de 9,67 para 6,67g/m<sup>3</sup>.



Figura 1 - Infestação com plantas aquáticas no leito represado do rio Piracicaba. Reservatório de Barra-Bonita. Imagem obtida em 24 de junho de 2.000.



Figura 2 - Infestação com plantas aquáticas no leito represado do rio Piracicaba. Reservatório de Barra-Bonita. Imagem obtida em 24 de junho de 2.000.

As espécies predominantes nos levantamentos foram *Brachiaria mutica*, *Brachiaria subquadripara*, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata*, *Polygonum lapathifolium*, *Panicum rivulare*, *Myriophyllum aquaticum*, *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Cerathophyllum demersum*.

Plantas imersas estiveram presentes em quantidades expressivas somente nos reservatórios de Promissão e Nova Avanhandava. Até o momento não têm causado problemas à geração de energia elétrica nas Usinas hidroelétricas de mesmo nome. A principal justificativa para a maior ocorrência destas plantas nestes dois reservatórios refere-se à elevada transparência da água facilitando a penetração de comprimentos de onda fotossinteticamente ativos na coluna de água.



Figura 3 - Infestação com plantas aquáticas no leito represado de um tributário de pequeno porte do reservatório de Barra-Bonita. Imagem obtida em 4 de junho de 2.001.

Nos reservatórios de Barra-Bonita, Ibitinga, limoeiro e Mogi-Guaçú, com maiores níveis de infestação, predominaram plantas aquáticas marginais e flutuantes. Tais plantas não comprometem a geração de energia elétrica mas causam grandes problemas à captação de água, lazer e principalmente à navegação. Tais problemas são exemplificados na Figura 4.



Figura 4 - Vista aérea da Usina Hidroelétrica de Bariri em 4 de junho de 2.001.

Nos reservatórios de Água Vermelha, Caconde e Euclides da Cunha, as plantas aquáticas estiveram praticamente ausentes.

#### IV. CONCLUSÕES

Para as condições em que foram realizados os estudos, são válidas as seguintes conclusões:

- 1) A ocorrência de plantas aquáticas imersas, destacando-se *Egeria najas*, *Egeria densa* e *Cerathophyllum demersum* depende amplamente da transparência da água, havendo maiores infestações nos reservatórios de Promissão e Nova Avanhandava.
- 2) Os reservatórios com maiores níveis de infestação com plantas marginais e flutuantes foram Mogi-Guaçú, Barra-Bonita, Ibitinga e Limoeiro.
- 3) Elevados níveis de infestação de plantas marginais e flutuantes estão associados à sedimentação que ocorre na área de ingresso de tributários nos reservatórios.

- 4) As imagens Landsat, submetidas ou não a procedimentos de classificação, apresentam grande utilidade para a orientação de levantamentos de flora e de qualidade de água e para a estimativa da área ocupada por plantas aquáticas.

## V. LITERATURA CITADA

- ANTUNIASSI U.R.; VELINI E.D.; MARTINS D. Mechanical removal of aquatic weeds: operational and economic analysis. In: **III INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3 2000, Foz do Iguaçu. Anais...**Foz do Iguaçu: IWSC, 2000. P. 219.
- BRONHARA, A. A. Requisitos para o controle de plantas aquáticas. In: **Workshop sobre Controle de Plantas Aquáticas**,1998, IBAMA, Brasília-DF, 3 e 4 de julho. **Anais**, p.22-29.
- CARDOSO, L.R. **Sensibilidade de diferentes acessos de aguapé coletados em reservatórios do Estado de São Paulo a herbicidas**. Botucatu, 2001. 95p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista.
- DRESSLER, R.L.; HALL, D.W.; PERKINS, K.D.; WILLIAMS, N.H. **Identification Manual for Wetland Plant Species of Florida**. University of Florida. Gainesville Florida. 1ª Edição, 1991. 297p.
- HOYER, M.V.; CANFIELD Jr.,D.E.; HORSBURGH, C.A.; BROWN, K. **Florida Freshwater Plants. A Handbook of Common Aquatic Plants in Florida Lakes**. University of Florida. Gainesville Florida. 1ª Edição, 1996. 264p.
- JOYCE, J.C. & RAMEY, V. **Aquatic herbicide residue literature review**. University of Florida. Gainesville Florida. 1ª Edição, 1986. 50p.
- LAGELAND, K.A. **Aquatic pest control. Aplicator training manual**. University of Florida. Gainesville Florida. 1ª Edição, 1991. 107p.
- MARCONDES, D.A.S.; PITELLI, R.A.; MARTINS, D.; TANAKA, R.H.; BRONHARA, A.A.; MUSTAFÁ, A.L.; VELINI, E.D. Recent advances in biology and control of submersed aquatic weeds in Brazil. In: **III INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3 2000, Foz do Iguaçu. Anais...**Foz do Iguaçu: IWSC, 2000a. P. 220.
- MARTINS, D. Controle químico de plantas daninhas aquáticas. In: **Workshop sobre Controle de Plantas Aquáticas**,1998, IBAMA, Brasília-DF, 3 e 4 de julho. **Anais**, p.30-32.
- MARTINS, D.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; TOFOLI, G.R. Controle químico de *Salvinia molesta* com diferentes herbicidas, em condições de caixa d' água. In: **XXII CONGRESSO BARASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz de Iguaçu. Anais...** Foz de Iguaçu:SBCPD, 2000a. p.447.
- MARTINS, D.; VELINI, E.D.; TANAKA, R.H.; BRONHARA, A.A.; TOMAZELLA, M.S. Controle químico de *Egeria densa* e *Egeria najas* em condições de caixa d' água. In: **XXII CONGRESSO BARASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz de Iguaçu. Anais...** Foz de Iguaçu: SBCPD, 2000b. p.448.
- MARTINS,D.; VELINI, E.D.; CAVENAGHI, A.L.; MENDONÇA, C.G.; MENDONÇA, C.G. Controle químico de plantas daninhas aquáticas em condições controladas - caixa d'água. **Planta Daninha**, v.17, n. 2, p. 289-296, 2000c.
- MORI, E.S.; GOUEVA, C.F.; LEITE, S.M.M.; MARINO, C.L.; MARTINS, D.; VELINI, E.D. Caracterização genética de populações de *Egeria Najas* presentes no reservatório de Jupia e rios afluentes. **Planta Daninha**, v.17, n. 2, p. 217-225, 2000.
- TANAKA, R. H. **Eficácia de fluridone para o controle de Egeria spp. em caixas d'água e em represa de pequeno porte sem fluxo de água**. Botucatu, 2001. 51p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Agricultura).
- ra). Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista.
- NACHTIGAL, G. F. **Desenvolvimento de agente de controle biológico microbiano de Egeria densa e Egeria najas**. Jaboticabal, 2.000, 160p. Tese (Doutorado em Agronomia / Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista.
- TANAKA, R. H. Prejuízos provocados por plantas aquáticas. In: **Workshop sobre Controle de Plantas Aquáticas**,1998, IBAMA, Brasília-DF, 3 e 4 de julho. **Anais**, p.36-38.
- THAYER, D.D.; LANGELAND, K.ª; HALLER, W.T.; JOYCE, J.C. **Weed control in aquaculture and farm ponds**. University of Florida. Gainesville Florida. 1ª Edição, 1991. 24p.
- THOMAZ, S.M. Explosões populacionais de plantas aquáticas: sintoma de um problema. In: **Workshop sobre Controle de Plantas Aquáticas**,1998, IBAMA, Brasília-DF, 3 e 4 de julho. **Anais**, p.16-18.
- TOFOLI, G.R.; NEGRISOLI, E.; VELINI, E.D.; MARTINS, D. Controle químico de *Azolla filicoides*. In: **XXII CONGRESSO BARASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz de Iguaçu. Anais...** Foz de Iguaçu:SBCPD, 2000. p.370.
- VELINI, E. D. Controle mecânico de plantas aquáticas no Brasil. In: **Workshop sobre Controle de Plantas Aquáticas**,1998, IBAMA, Brasília-DF, 3 e 4 de julho. **Anais**, p.32-35.
- VELINI, E.D.. Controle de plantas daninhas aquáticas. In: **XXII CONGRESSO BARASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz de Iguaçu. Foz de Iguaçu:SBCPD, 2000. p.137-147.**
- VELINI, E.D.; MARTINS, D.; BRONHARA, A.A.; SILVA, M.A.S.; CAVENAGHI, A.L.;TANAKA, R.H.; TOMAZELLA, M.S. Eficiência do fluridone no controle de *Egeria najas* em uma represa sem fluxo de água. In: **XXII CONGRESSO BARASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000a, Foz de Iguaçu. Anais...** Foz de Iguaçu:SBCPD, 2000. p.371.
- VELINI, E.D.; MARTINS, D.; NEGRISOLI, E. Controle químico de *Eichornia crassipes* com diferentes herbicidas em condições de caixa d' água. In: **XXII CONGRESSO BARASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz de Iguaçu. Anais...** Foz de Iguaçu:SBCPD, 2000b. p.445.
- VELINI, E.D.; MARTINS, D.; NEGRISOLI, E. Controle químico de *Pistia stratiotes* com diferentes herbicidas, em condições de caixa d' água. In: **XXII CONGRESSO BARASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz de Iguaçu. Anais...** Foz de Iguaçu:SBCPD, 2000c. p.446.