

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS DE BOTUCATU
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA COMUNIDADE DE MACRÓFITAS
AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DE AIMORÉS, COMPOSIÇÃO
QUÍMICA DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES E INFLUÊNCIA DA
INCORPORAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM
SOLO DEGRADADO**

ANGÉLICA MARIA DE CAMPOS MACHADO PITELLI MERENDA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Agricultura)

BOTUCATU – SP
Dezembro – 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS DE BOTUCATU
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA COMUNIDADE DE MACRÓFITAS
AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DE AIMORÉS, COMPOSIÇÃO
QUÍMICA DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES E INFLUÊNCIA DA
INCORPORAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM
SOLO DEGRADADO**

ANGÉLICA MARIA DE CAMPOS MACHADO PITELLI MERENDA

Orientador: Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Agricultura).

BOTUCATU – SP
Dezembro – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M559a Merenda, Angélica Maria de Campos Machado Pitelli, 1979-
Avaliação da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório de Aimorés, composição química das principais espécies e influência da incorporação nas características químicas de um solo degradado / Angélica Maria de Campos Machado Pitelli Merenda. - Botucatu : [s.n.], 2011
xi, 86 f. : il. color., gráfs., tabs., fots.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011
Orientador: Edivaldo Domingues Velini
Inclui bibliografia

1. Degradação ambiental. 2. Plantas aquáticas. 3. Plantas macrófitas. 4. Química do solo. 5. Solos - Degradação. I. Velini, Edivaldo Domingues. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DA COMUNIDADE DE MACRÓFITAS NO RESERVATÓRIO
DE AIMORÊS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES E
INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS
DE UM SOLO DEGRADADO

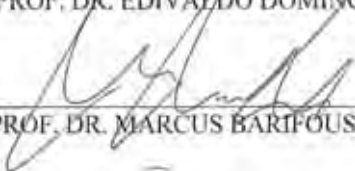
ALUNA: ANGÉLICA MARIA DE CAMPOS MACHADO PITELLI MERENDA

ORIENTADOR: PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI

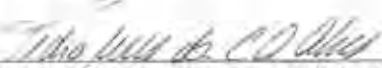
Aprovado pela Comissão Examinadora



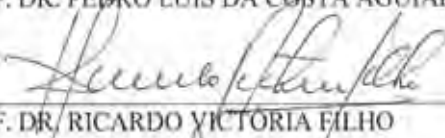
PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI



PROF. DR. MARCUS BARFOUSE MATALHO



PROF. DR. PEDRO LUIS DA COSTA AGUIAR ALVES



PROF. DR. RICARDO VICTÓRIA FILHO



PROF. DR. CLAUDINEI DA CRUZ

Data da Realização: 13 de dezembro de 2011.

AO MEU PAI ROBINSON ANTONIO PITELLI
A MINHA MÃE MARIA ANGELICA DE CAMPOS MACHADO PITELLI
AO MEU IRMÃO ROBINSON LUIZ DE CAMPOS MACHADO PITELLI

Pela compreensão, apoio incondicional e amor

DEDICO

AO MEU MARIDO REGINALDO MENDES MERENDA
A MINHA FILHA LAYSE PITELLI MERENDA

Por ensinarem o que é o verdadeiro amor e por serem a luz da minha vida

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade bendita de Viver

Ao Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini pela orientação do doutorado e apoio na condução deste trabalho

Ao Prof. Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves, Prof. Dr. Ricardo Victória Filho, Prof. Dr. Claudinei da Cruz e Dr. Marcus Matallo por aceitarem fazer parte da banca examinadora e pelas valiosas sugestões contribuição neste trabalho

Ao meu pai Robinson Antonio Pitelli e meu irmão Robinson Luiz de Campos Machado Pitelli pelo apoio incondicional e principalmente por serem meus exemplos de profissionalismo e ética.

Aos amigos Caio Antonio Carbonari, Rosilaine Araldi, Luiz Rodrigo Barberis, Marcelo R. Correa e Eduardo Negrisoni pelos bons momentos de convívio e colaboração durante o período de pós-graduação

Aos amigos e técnicos de campo e laboratório, Luiz Marcelo Siono, José Guilherme Cordeiro e José Roberto Marques Silva pelas preciosas colaborações durante a realização dos experimentos.

A Dana Kátia Meschede e João Gabriel Meschede Apoloni por toda a amizade, carinho e companheirismo.

Às secretárias Vera Lucia Rossi e Ilanir Rosane Rosa Bocetto do Departamento de Produção Vegetal por todo apoio.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia / Agricultura, da Faculdade de Ciências Agrônomicas, pela oportunidade e formação.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida.

À UHE Aimorés pelo apoio no desenvolvimento do projeto de pesquisa. Especialmente aos Drs. Humberto de Oliveira, Lucas de Jesus, Rogério Dolabella e Gisele.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho

Meus sinceros agradecimentos

SUMÁRIO

1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISAO DE LITERATURA.....	7
5 MATERIAL E METODOS.....	15
5.1 Composição específica e colonização da comunidade de macrófitas no reservatório da UHE Eliezer Batista.....	16
5.2 Composição química das principais macrófitas aquáticas presentes no reservatório da UHE Eliezer Batista	18
5.3 Efeitos da incorporação da biomassa de macrófitas aquáticas sobre as propriedades químicas de solo degradado.....	18
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
6.1 Composição específica e colonização da comunidade de macrófitas aquáticas do reservatório de Aimorés.....	22
6.2 Composição química das principais macrófitas aquáticas presentes no reservatório de Aimorés	32
6.3 Efeitos da incorporação da biomassa de macrófitas aquáticas sobre as propriedades químicas de solo degradado	44
7 CONCLUSÕES.....	74
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Colonização de macrófitas aquáticas presentes no reservatório de Aimorés no período de março de 2009 a janeiro de 2010.....	24
Tabela 02 - Áreas de colonização por macrófitas aquáticas no reservatório de Aimorés no ano de 2009.....	30
Tabela 03 - Valores de F obtidos nas análises de variância dos dados referentes às características químicas do solo degradado que receberam incorporações de diferentes quantidades de biomassa de <i>Brachiaria subquadriflora</i> , <i>Oxyscarium cubense</i> e <i>Pistia stratiotes</i> . Experimento 01.....	45
Tabela 04 - Valores de F obtidos nas análises de variância dos dados referentes às características químicas do solo degradado que receberam incorporações de diferentes quantidades de biomassa de <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Paspalum repens</i> , <i>P. lapathifolium</i> , <i>Salvinia molesta</i> . Experimento 02.....	45
Tabela 05 - Valores da concentração de matéria orgânica no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	46
Tabela 06 - Valores da concentração de matéria orgânica no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	46
Tabela 07 - Valores da concentração de fósforo no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	48

Tabela 08 - Valores da concentração de fósforo no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	48
Tabela 09 - Valores médios do pH do solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	51
Tabela 10 - Valores médios do pH no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	51
Tabela 11 - Valores da acidez potencial (H+Al) no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	53
Tabela 12 - Valores da acidez potencial (H+Al) no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	53
Tabela 13 - Valores da concentração de potássio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	55
Tabela 14 - Valores da concentração de potássio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	55
Tabela 15 - Valores da concentração de cálcio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	56
Tabela 16 - Valores da concentração de cálcio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	57
Tabela 17 - Valores da concentração de magnésio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	59

Tabela 18 - Valores da concentração de magnésio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	59
Tabela 19 - Valores da soma de bases no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	62
Tabela 20 - Valores da soma de bases no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	62
Tabela 21 - Valores da capacidade de troca catiônica no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	63
Tabela 22 - Valores da capacidade de troca catiônica no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	64
Tabela 23 - Valores da saturação de bases no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	66
Tabela 24 - Valores da saturação de bases no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	66
Tabela 25 - Valores da concentração de boro no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.....	68
Tabela 26 - Valores da concentração de boro no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.....	68

Tabela 27 - Valores da concentração de zinco no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação.	
Experimento 1.....	69
Tabela 28 - Valores da concentração de zinco no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação.	
Experimento 2.....	70
Tabela 29 - Valores da concentração de ferro no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação.	
Experimento 1.....	70
Tabela 30 - Valores da concentração de ferro no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação.	
Experimento 2.....	71
Tabela 31 - Valores da concentração de manganês no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação.	
Experimento 1.....	72
Tabela 32 - Valores da concentração de manganês no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação.	
Experimento 2.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de influência da Usina Hidrelétrica Eliezer Batista incluindo os municípios de Resplendor, Itueta, Aimorés e Baixo Guandu e o Rio Manhuaçu, principal afluente a jusante do Rio Doce.....	16
Figura 02 – Aspectos dos paliteiros de Ubá (<i>Gynerium sagittatum</i>) favorecendo o crescimento de aguapé no reservatório de Aimorés.....	25
Figura 03 – Aspectos do crescimento epifítico de <i>Oxyscarium cubense</i> sobre banco de <i>Salvinia molesta</i> no reservatório de Aimorés.....	26
Figura 4. Variação da área colonizada por macrófitas aquáticas no canal de adução do reservatório de Aimorés no ano de 2009-10, considerando os valores das lagoas marginais.....	30
Figura 5. Variação da área colonizada por macrófitas aquáticas na porção Rio Doce do reservatório de Aimorés no ano de 2009-10.....	31
Figura 6. Concentrações de nitrogênio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010..	33
Figura 7. Concentrações de fósforo determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.	34
Figura 08. Concentrações de potássio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	35
Figura 09. Concentrações de cálcio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	35

Figura 10. Concentrações de magnésio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	36
Figura 11. Concentrações de enxofre determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	37
Figura 12. Concentrações de boro determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	37
Figura 13. Concentrações de cobre determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	38
Figura 14. Concentrações de ferro determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	39
Figura 15. Concentrações de manganês determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	40
Figura 16. Concentrações de zinco determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	40
Figura 17. Concentrações de cádmio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	41
Figura 18. Concentrações de cromo determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	42
Figura 19. Concentrações de chumbo determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.....	42

1.RESUMO

O reservatório de Aimorés foi construído no Rio Doce próximo da divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e vem sofrendo problemas com o profuso crescimento de plantas aquáticas desde seu enchimento em 2004. O presente trabalho é um dos estudos que compõe um projeto de manejo sustentado de macrófitas aquáticas neste corpo hídrico. Numa primeira parte foi estudada a composição específica e expressão geográfica da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório. Em seguida, foi analisada a composição química das principais espécies presentes no reservatório. As plantas foram coletadas mensalmente durante seis meses e analisadas para macro e micronutrientes. Em uma terceira etapa, sete espécies de macrófitas (as mais expressivas no reservatório) foram selecionadas para estudo sobre os efeitos das incorporações de 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 t.ha⁻¹ sobre as características químicas de solo degradado. Os experimentos de incubação foram conduzidos em sala climatizada pelo período de 35 dias. Em relação à composição específica e colonização das macrófitas, as espécies *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta* se destacaram como as duas populações mais importantes e que a colonização variou entre 39 e 93 ha, dependendo da época do ano e da atividade de retirada mecânica. Na medida em que a colonização de plantas flutuantes se estabilizou houve crescimento epifítico de *Oxyscarium cubense* e *Paspalum repens* sobre *Salvinia* spp e de *Polygonum lapathifolium*, *Brachiaria subquadriflora* e *Hymenachne amplexicaulis* sobre *E. crassipes*. Quanto a composição química das principais macrófitas aquáticas, para alguns elementos como nitrogênio, fósforo e cobre não houve grande variação entre as espécies selecionadas. *P. stratiotes* foi a espécie que apresentou maiores

concentrações de cálcio, potássio, magnésio e boro. *P. repens* destacou-se quanto aos concentrações de enxofre, enquanto *E. crassipes* e *S. molesta* apresentaram os maiores concentrações de micronutrientes e metais pesados, como ferro, manganês, cádmio, zinco, cromo e chumbo. Nenhum dos metais pesados apresentou concentração superior ao limite estabelecido para fertilizantes orgânicos no Brasil. Os resultados da incorporação das macrófitas aquáticas em solo degradado mostraram que, com exceção da concentração de fósforo, todas as características químicas do solo foram afetadas favoravelmente pela adição de macrófitas aquáticas, com destaque para *P. stratiotes*, *P. lapathifolium* e *E. crassipes* que elevaram os concentrações de potássio, cálcio, magnésio, o pH, a soma de bases, a capacidade de troca catiônica e a saturação de bases e reduziram a acidez potencial. *S. molesta* e *O. cubense*, de modo geral, foram as com menor atividade sobre as características do solo, mas com relação aos concentrações de matéria orgânica não houve expressiva diferença entre as espécies avaliadas. Os resultados evidenciam que as macrófitas são efetivas na retirada de expressivas quantidades de nutrientes da água que poderão ser utilizados na melhoria das características químicas de solos degradados, garantindo sustentabilidade ambiental do processo.

Palavras-chave: macrófitas aquáticas, solo degradado, incorporação, nutrientes

EVALUATION OF AQUATIC MACROPHYTE COMMUNITY ON THE AIMORÉS RESERVOIR, CHEMICAL COMPOSITION OF THE MAIN SPECIES AND INFLUENCE OF INCORPORATION ON THE CHEMICAL CHARACTERISTICS OF A DEGRADED SOIL. Botucatu, 2011, xxp. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANGÉLICA MARIA DE CAMPOS MACHADO PITELLI MERENDA

Adviser: EDIVALDO DOMINGUES VELINI

2. SUMMARY

The Aimorés reservoir was built in the Doce River, near the border of the states Minas Gerais and Espírito Santo and have been experiencing problems with the profuse growth of aquatic plants since its filling in 2004. This work is part of the studies of a project for sustainable management of aquatic macrophytes in this water body. In the first part it was studied the specific composition and geographic expression of the community of aquatic macrophytes in the reservoir. Afterwards, the chemical composition of the most important species in the reservoir was analysed. The plants were collected monthly during 6 months and analyzed for macro and micronutrients. In a third part, seven species of aquatic macrophyte were selected (the most important in Aimorés reservoir) to study the effect of the incorporation of 2.5, 5, 7.5

and 10 t/ha in a degraded soil during 35 days. Regarding the specific composition and colonization of aquatic macrophytes, the species *Eichhornia crassipes* and *Salvinia molesta* were the populations more important in the reservoir. The aquatic weed colonization varied from 39 to 93 ha, depending on the season and the mechanical removal activity. As floating plants colonization were stabilized there was a epiphytic growth of *Oxyscarium cubense* and *Paspalum repens* on *Salvinia* spp banks and *Polygonum lapathifolium*, *Brachiaria subquadripa* and *Hymenachne amplexicaulis* on *E. crassipes*, increasing the biomass of macrophytes per unit of area. As for the chemical composition of the plants, some of the elements such as nitrogen, phosphorus and copper was not there was great variation between the selected species. *P. stratiotes* was the species that presented the highest levels of calcium, potassium, magnesium and boron. *P. repens* highlighted in relation to levels of sulfur, while *E. crassipes* and *S. molesta* showed the highest levels of nutrients and heavy metals such as iron, manganese, cadmium, zinc, chromium and lead. No heavy metal content was above the limit concentration for organic fertilizers in Brazil. The results of the incorporation of aquatic macrophytes on a degraded soil showed that, with the exception of the concentration of phosphorus, all the chemical characteristics of the soil were affected favorably by the addition of aquatic macrophytes, with emphasis on *P. stratiotes*, *P. lapathifolium* and *E. crassipes* which increased the levels of potassium, calcium, magnesium, the pH, the sum of bases, cation exchange capacity and the saturation of bases and reduced the potential acidity. *S. molesta* and *O. cubense*, in general, were the ones with lower activity on the characteristics of the soil, but regarding the levels of organic matter there was no significant difference between all the species evaluated. The results show that the macrophytes are effective in the removal of significant amounts of nutrients from the water that can be used to improve the chemical characteristics of degraded soils, ensuring environmental sustainability of the process.

Key Words: Aquatic macrophytes, degraded soil, incorporation, nutrients

3. INTRODUÇÃO

Desde o início das atividades do homem, algumas plantas foram favorecidas pelas alterações ambientais promovidas pela ação antrópica e tiveram incrementos expressivos em suas populações. Com o tempo, foram sofrendo adaptações que as tornavam cada vez mais eficientes nas ocupações de áreas com atividades humanas, suas populações se tornaram mais agressivas e rústicas e passaram a causar uma série de interferências na agricultura, pecuária, áreas de preservação da natureza, corpos hídricos e em áreas urbanas, de modo que passaram a ser consideradas como plantas daninhas.

No ambiente aquático, este processo envolveu desde as algas microscópicas até a macrófitas. Estas últimas assumiram tal importância que o “plano de monitoramento e manejo de macrófitas” constitui uma condicionante essencial imposta pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para Licença de Operação (LO) de toda usina hidroelétrica que utilize um reservatório.

As alterações ambientais que mais diretamente favorecem o profuso crescimento de plantas aquáticas em áreas antropizadas são a eutrofização do corpo hídrico, a introdução de organismos exóticos, a redução da diversidade e da densidade dos predadores destas plantas e alteração do regime de fluxo e da profundidade de corpos hídricos.

As macrófitas ocupam importante nicho ecológico nos vários tipos de corpos hídricos. Este tipo de importância é observado em corpos hídricos naturais ou pouco alterado.

No entanto, em corpos hídricos sob forte influência humana, algumas populações são favorecidas em detrimento das demais e formam extensas e densas

colonizações. Nestas condições, seus efeitos benéficos podem ser suplantados por interferências negativas ao próprio ambiente e às atividades do homem.

Em virtude dos grandes prejuízos provocados por estas plantas aos diversos tipos de corpos hídricos, freqüentemente há a necessidade de controle. As modalidades mais comumente utilizadas são: controle químico, controle biológico, controle físico e remoção mecânica das plantas aquáticas.

No Brasil as únicas modalidades de controle empregadas são: o controle preventivo com o monitoramento freqüente e educação ambiental, e o controle mecânico, especialmente pela remoção das plantas do corpo hídrico.

Esta última modalidade de controle apresenta alguns problemas relacionados ao destino da biomassa vegetal coletada. Normalmente, os volumes são muito grandes e as plantas são provenientes de águas eutrofizadas com diferentes níveis de nutrientes e metais pesados, lixo, organismos patogênicos ou vetores de doença e, em sua decomposição, podem liberar grandes quantidades de substâncias químicas e contaminar solos e águas superficiais localizados em quotas mais baixas. Esse é o problema do simples descarte de biomassa, que é passível de licença ambiental junto às instituições estaduais de defesa do meio ambiente, seguindo os mesmos procedimentos requeridos para o depósito de lixo urbano, embora se conheça que as macrófitas constituem um material muito mais nobre e longe de ser incluído na categoria de resíduo urbano.

É importante que se avaliem destinos mais nobres para esta biomassa, uma vez que não há perspectivas de curto de que o crescimento das macrófitas seja reduzido pela melhoria na qualidade da água ou pela introdução de outro processo de controle destas populações.

Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar as principais espécies presentes no reservatório de Aimorés, sua composição química e o uso da biomassa, obtida pelo processo de remoção mecânica, na recuperação de solos degradados por atividades antrópicas, visando promover a sustentabilidade da retirada mecânica.

4. REVISÃO DE LITERATURA

A opção Brasileira pela hidroeletricidade como matriz energética conduz ao crescente aproveitamento dos rios, fato que tem sido considerado como indispensável ao desenvolvimento do país (CRUZ; SILVA, 2010). No Brasil, essa forma de energia corresponde a 91,08% da eletricidade na produção total consumida (ONS, 2010). Vários rios do território brasileiro foram completamente aproveitados para construção de barragens em cascata, estrutura característica de países com grandes dimensões territoriais e rios extensos (TUNDISI, 1999).

A construção de reservatórios artificiais de água seja para abastecimento público, produção de energia elétrica, irrigação ou regularização de vazão, é uma das mais importantes intervenções humanas nos sistemas hídricos naturais.

Os reservatórios transformam corpos hídricos lóticos em sistemas lênticos e alteram expressivamente as condições químicas, físicas e bióticas em relação às originais, propiciando alterações importantes nas biocenoses com as instalações de novas populações ou drásticos aumentos das densidades populacionais de algumas espécies autóctones (THOMAZ et al., 1997). Dentre as populações favorecidas pela construção de reservatórios destacam-se as de macrófitas aquáticas (PITELLI et al., 2008). Os reservatórios reduzem o fluxo de água e permitem acúmulo de material transportado pelo corpo hídrico e vão paulatinamente alterando as condições de oxi-redução, pH e aumentando as concentrações de nutrientes, os que favorece as populações de plantas aquáticas, desde algas até as macrófitas (THOMAZ et al., 1997). Mesmo nas fases iniciais do reservatório, Junk e Mello,

1990 observaram na região Amazônica que o represamento de um rio conduz a um aumento considerável do teor de nutrientes por causa do estoque de nutrientes do solo inundado e da decomposição da vegetação terrestre afogada, podendo acarretar o crescimento profuso de macrófitas aquáticas, se existirem espécies adequadas a este tipo de ambiente.

Reservatórios são sistemas híbridos entre rios e lagos e fazem parte de um bacia hidrográfica e como tal detectam todos os efeitos das atividades antrópicas em sua área de contribuição (THORNTON et al., 1990). Uma das principais modificações provocadas pelo homem em ambientes aquáticos é a eutrofização, causada pelo aporte excessivo de nutrientes. O enriquecimento de nutrientes eleva suas concentrações médias na coluna d'água e também altera as suas razões de oferta como, por exemplo, a razão N:P. Tais mudanças levam a uma ruptura de equilíbrio entre as espécies ali existentes (THOMAZ et al., 1997).

A eutrofização altera vários atributos da estrutura das comunidades, tais como a riqueza, a equitabilidade e as relações de dominância das populações, podendo levar a exclusão de determinadas espécies e elevado crescimento populacional de outras (WATSON et al., 1997), principalmente determinadas algas e macrófitas aquáticas (VALENTE et al., 1997; VELINI, 2000).

A produtividade primária das macrófitas aquáticas está diretamente relacionada à temperatura, à luminosidade e a disponibilidade de nutrientes, incluindo carbono e oxigênio dissolvido (MADSEN; SAND-JENSEN, 1994; FEIJOÓ et al., 1996; MADSEN et al., 1998, MENENDEZ; SANCHES, 1998). Estas plantas apresentam várias adaptações morfológicas e fisiológicas que as tornam consideravelmente plásticas e capazes de colonizar ambientes com diferentes características físicas e químicas (SCULTHORPE, 1985).

Não há dúvida de que as macrófitas são importantes componentes estruturais dos ecossistemas aquáticos e são fundamentais para a dinâmica das biocenoses desses ambientes. Estas plantas constituem importante fonte de carbono e energia na base da cadeia alimentar, proporcionam habitat de alimentação e de refúgio para várias formas jovens de organismos aquáticos, promovem heterogeneidade espacial e temporal que favorece a biodiversidade dos corpos hídricos, fornecem substrato para colonização e crescimento do perifíton e absorvem o excesso de nutrientes dissolvidos na água (PITELLI, 1998).

Entretanto, quando o equilíbrio do ecossistema aquático é alterado, especialmente por águas antrópicas, pode ocorrer desenvolvimento excessivo de algumas

populações em detrimento de outras, formando colonizações mono-específicas ou pouco diversificadas, acarretando efeitos prejudiciais ao ambiente e ao uso múltiplo da água ou do corpo hídrico (PITELLI et al., 2008).

As extensas e densas colonizações de macrófitas aquáticas em corpos hídricos sob ação antrópica podem: alterar os padrões de qualidade da água, como a concentração de oxigênio dissolvido, metilação do mercúrio, formação de gases tóxicos e outras (MAURO et al, 1999; CARNWALL et al.,2000; PEDRALLI, 2003; GUIMARÃES, 2004, GUIMARÃES et al; MIRANDA et al, 2007); promover condições adequadas para instalação e desenvolvimento de populações de organismos indesejáveis como insetos, moluscos e outros vetores de doenças humanas e animais (FORATTINI, 1962; FORATTINI, 1965; NATAL et al., 1991; VICTOR et al. 1991; Pointier et al. (1991); aumentar as perdas d'água por evapotranspiração no caso de macrófitas emergentes, flutuante ou marginais (LALLANA et al, 1987, VICTOR et al. 1991; MARTINEZ, 2009 e ROSA et al, 2009); afetar a geração de energia elétrica e a dinâmica de trabalho de usina hidrelétrica (MARCONDES; TANAKA, 1997; PRÍNCIPE et al., 1997; VELINI, 1998;; TANAKA, 1998; MUSTAFÁ et al, 2010); reduzir a capacidade de transporte de canais de irrigação e de drenagem. (GOPAL,1987); causar prejuízos à produção de peixes e para a captura e qualidade do pescado, (OLALEYE et al, 1993; EZERI, 2002, ADEKOYA, 2002); alterar as características de navegabilidade e de utilização do corpo hídrico para esportes náuticos, **(viii)** reduzir a capacidade de armazenamento e da durabilidade de represas rurais; interferir na captação de água para irrigação e uso público, proporcionar prejuízos ao transporte fluvial e à edificações no corpo hídrico, especialmente pontes (VELINI, 2005)

As infestações elevadas de macrófitas aquáticas nos reservatórios de usinas hidrelétricas e outros corpos hídricos geram situações em que a necessidade de executar uma medida de controle torna-se indispensável (MARTINS et al., 2003). As estratégias de controle de plantas aquáticas incluem controle biológico, controle químico e controle mecânico.

A aplicação de agentes biológicos no controle e manejo de macrófitas aparece como uma alternativa aos métodos convencionais. Algumas técnicas de controle biológico, utilizando peixes como agente predador destas macrófitas e com resultados satisfatórios, são citadas por Edwards (1974), Catarino et al. (1997) e Myiazaki & Pitelli

(2003), para insetos por Abreu & Semidey (2000) e fungos (PITELLI; PITELLI, 2008). Embora esse método de controle é considerado de baixo impacto ambiental, apresenta problemas relacionados a imprevisibilidade de sucesso da introdução de inimigos naturais e mesmo da técnica inundativa.

O controle químico de macrófitas aquáticas, embora empregado no exterior com resultados satisfatórios, não é utilizado no Brasil, pois não existem herbicidas regulamentados para o uso em ambiente aquático no país (PITELLI et al., 2011).

A única alternativa que vem sendo utilizada no Brasil é o controle mecânico com a retirada das plantas do corpo hídrico e tem sido usado principalmente pelas restrições ambientais à outros métodos e pelo imediatismo dos resultados (VELINI, 2005).

As operações relacionadas ao controle mecânico podem ser divididas em quatro etapas: **(i)** retirada das plantas dos rios, canais ou lagos; **(ii)** transporte das plantas ainda no corpo hídrico; **(iii)** transferência desse material para o ambiente terrestre; e **(iv)** transporte e descarte do material coletado (VELINI, 2000).

Embora o controle mecânico apresente algumas vantagens, como ação de modo pontual nas áreas infestadas e não contaminação do ambiente com compostos químicos e tóxicos existe a preocupação em relação ao material coletado a ser descartado, haja vista a grande quantidade de biomassa envolvida nesse processo (BEZERRA et al., 2007).

O uso da biomassa de macrófitas aquáticas retiradas dos corpos hídricos tem sido visto como solução ideal para o manejo de macrófitas aquáticas principalmente em países em desenvolvimento (MURPHY, 1988). Os principais usos das macrófitas aquáticas são: como fonte de carboidratos ou proteínas para alimentação humana ou animal; utilização na construção de casas ou tapumes, na produção de papel e outros usos industriais variados; utilização de macrófitas aquáticas por outros organismos aquáticos exploráveis, como peixes consumidos pelo homem; utilização destas plantas para remoção de nutrientes e poluentes de águas eutrofizadas e de efluentes; produção de energia (biogás metano ou como substituto de carvão) e uso de macrófitas aquáticas como fertilizante (MURPHY, 1988).

Em pesquisas realizadas nas décadas de 60 e 70, foi confirmado que muitas plantas aquáticas, em especial *Eichhornia crassipes*, removiam poluentes de águas, incluindo nitrogênio, fósforo, metais pesados e fenóis (WOLVERTON, 1975; WOLVERTON;

McDONALD, 1979; KAWAI; GRIECO, 1983; PINTO et al, 1987; LEE; HARDY, 1987). As plantas utilizam estes nutrientes para seu crescimento, atuando, desse modo, como bio-remediadoras de grande parte dos macro e micronutrientes das águas eutrofizadas. Estes nutrientes poderiam ser potencialmente utilizadas por plantas no ambiente terrestre quando estas são dispostas no solo ou processadas como fertilizantes orgânicos

A matéria orgânica destas plantas, quando incorporadas no solo, pode exercer influência sobre numerosas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, as quais acabam por alterar a dinâmica do mesmo e conseqüentemente, sua fertilidade. Nakagawa (1992) afirmou que todo e qualquer resíduo orgânico animal e vegetal, incorporado ou amontoado no solo, é degradado devido a ação de microorganismos que se alimentam das substancias presentes, principalmente o carbono orgânico, e os nutrientes são liberados para a biota terrestre, incluindo raízes de plantas superiores.

Henry-Silva et al (2002) avaliaram o conteúdo de nutrientes em macrófitas aquáticas utilizadas no tratamento de efluentes na aquicultura e constataram que plantas de *Pistia stratiotes* apresentaram concentrações equivalentes a 0,37% de seu peso seco em fósforo. Plantas de *E. crassipes* e *Salvinia molesta* apresentaram valores de 0,24 e 0,26%, respectivamente. Parra e Hortenstine (1974) citam que a completa remoção de aguapé da água com a subseqüente disposição no solo alivia o problema em águas infestadas, reduz a eutrofização e beneficia o solo, especialmente os arenosos, amortizando o custo anual do controle desta planta na Florida.

Nesta linha de pesquisa, vários trabalhos foram conduzidos visando avaliar os efeitos das incorporações de macrófitas aquáticas sobre propriedades físicas, químicas e biológicas de solos e, em especial, solos degradados. Pitelli (2003) sugere que as macrófitas retiradas de corpos hídricos podem constituir importantes materiais para recuperação de áreas degradadas pelas atividades de construção de usinas hidrelétricas

Parra (1975) verificou que a incorporação de aguapé elevou os concentrações de matéria orgânica, nitrogênio, cálcio, magnésio, e manganês em três tipos de solos arenosos dos EUA Também promoveu elevação do pH e capacidade de troca catiônica e a redução do teor de alumínio trocável. No campo, a incorporação de aguapé (15 a 30 t ha⁻¹ de matéria seca) em solo arenoso elevou a produção de *Pennisetum americanum* (capim-elefante) quando comparado com fertilizantes naturais.

Araujo (1982) estudou a incorporação de *E. crassipes* sobre as características químicas de um solo arenoso coletado em cerrado, cuja capacidade produtiva era altamente dependente da matéria orgânica (Cajuru, SP). Houve efeitos da dose para todas as características estudadas e houve elevação das concentrações de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, da capacidade de troca catiônica, pH e redução da acidez potencial do solo.

Poletto (1984) avaliou as incorporações de *E. crassipes* e *Azolla caroliniana* sobre as propriedades de um Latossolo Vermelho Escuro, coletado em área agrícola, com e sem precolação da água de irrigação. *Eichhornia crassipes* teve maior efeito sobre os valores do poder de embebição, soma e saturação de bases, pH, enquanto *A. caroliniana* teve maior influência sobre os concentrações de potássio, fósforo, matéria orgânica e na redução da concentração de H⁺Al. O poder de embebição do solo foi igualmente influenciado por ambas espécies.

Pitelli (2003) comparou as incorporações de *E. crassipes* e *Egeria densa* em solo degradado e verificou que ambas as macrófitas promoveram a atividade microbiana do solo, sendo mais rápida e intensa nas parcelas que receberam a incorporação de *E. densa*. A incorporação desta última em maior grau os concentrações de fósforo, potássio, os valores do pH, da capacidade de troca catiônica, soma de bases, enquanto *E. crassipes* teve maior influencia sobre os concentrações de cálcio e de matéria orgânica e o poder de embebição do solo. O autor ainda observou que foram necessárias doses de 20 e 40 t/ha de biomassa das macrófitas para que houvesse efeito geral de melhoria das características do solo degradado e as melhorias das pp[es do solo foram suficientes para promover o crescimento inicial de plantas de milho.

Macedo (2004) avaliou as incorporações de *Brachiaria subquadriflora* (*Brachiaria arrecta* por ocasião da publicação), *E. densa* e *Sagittaria montevidensis* sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas de solo coletado em pastagem degradada e observou que as três macrófitas aumentaram a atividade microbiana do solo, inferida pela respiração edáfica, sendo mais intensa nos tratamentos incorporados com *E. densa*. Quando comparadas as espécies, a incorporação da Hydrocharitaceae influenciou em maior grau os concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases, CTC, manganês e níquel que as outras duas macrófitas. Os efeitos das incorporações de *B. subquadriflora* e *E. densa* no

solo degradado proporcionou melhores condições para o crescimento inicial da forrageira *Brachiaria decumbens*, podendo ser uma alternativa útil para o descarte da colheita mecânica. Os efeitos mais favoráveis foram observados nas doses de 40 e 60 t ha⁻¹ de biomassa seca.

Rosa (2004) avaliou os efeitos das incorporações de *Brachiaria mutica* e de *E. crassipes* em solo degradado e observou que as duas espécies influenciaram diferencialmente as características do solo estudadas. Considerando a atividade heterotrófica global o período de incubação de 35 dias foi suficiente para a decomposição da biomassa de *E. crassipes*, ao passo que para a decomposição de biomassas de *B. mutica* esse período foi superior (42 dias). De um modo geral, *E. crassipes* influenciou mais evidentemente os concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases, CTC, pH, manganês, cobre e zinco, quando comparado com a gramínea.

Antunes (2004) avaliou a incorporação de *E. crassipes* coletado no reservatório de Salto Grande em Americana, SP, altamente eutrofizado, sobre propriedades físicas, químicas e biológicas de solo degradados e observou que houve efeito positivo nos concentrações de fósforo, matéria orgânica, cálcio, magnésio, potássio, o pH, a soma e a saturação de bases e o CTC, além de reduzir a acidez potencial, ou seja, os concentrações de H⁺Al. Os resultados mostraram que a adubação orgânica com esta macrófita pode ser útil na recuperação de áreas de solo degradado pela retirada da camada superficial melhorando as condições químicas e biológicas, mesmo sendo coletado em corpos hídricos eutrofizados.

Clemente (2004) avaliou os efeitos das incorporações da *E. crassipes* e *Salvinia herzogii* coletadas nas várzeas do Rio Mogi-Guaçu sobre propriedades do solo e crescimento de dois clones de eucalipto. Observou que a adubação orgânica com macrófitas aquáticas proporcionou efeitos positivos no crescimento de mudas de eucalipto, sendo os efeitos diretamente correlacionados à dose aplicada. *Eichhornia crassipes* influenciou de maneira mais decisiva e positiva o crescimento das plantas de eucalipto que a *S. herzogii* e provavelmente estes efeitos estejam ligados aos maiores efeitos do aguapé no pH do solo, na soma de bases, CTC e concentrações de fósforo. Foram necessárias doses acima de 20 t.ha⁻¹ de massa seca de macrófitas para que os efeitos fossem decisivos no crescimento do eucalipto e nas várias características químicas do solo. Também foi verificado diferenças entre clones de eucalipto nas respostas à adubação orgânica com macrófitas.

Os resultados mostram que, sem dúvida, as macrófitas aquáticas podem contribuir para a fertilização de solo, transferindo nutrientes que eutrofizam corpos hídricos para solos degradados contribuindo para sua recuperação. A revisão mostrou que, apesar da importância, este é um assunto pouco estudado, ficando poucos resultados restritos à trabalhos de graduação orientados pelo grupo que estuda manejo de macrófitas aquáticas na Unesp.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na Usina Hidrelétrica Eliezer Batista está localizada no médio Rio Doce, divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, ocupando as áreas dos municípios mineiros de Aimorés, Ituêta e Resplendor em Minas Gerais e Baixo Guandu no Espírito Santo. Doravante esta usina será referida apenas como UHE Aimorés e seu lago como reservatório de Aimorés. Seu eixo está situado a montante do final do reservatório da Usina Hidrelétrica de Mascarenhas (cerca de 10 km) e da foz do Rio Manhuaçu (3 km). O reservatório apresenta área total de 30,9 km², profundidade média de 16 m e cota máxima de 92 m e está graficamente representada a localização do reservatório, do vertedouro e da casa-de-força em relação aos municípios citados (Figura1).

O reservatório de Aimorés possui duas partes distintas, com características diversas para o crescimento de macrófitas aquáticas: **(i)** canal de adução e **(ii)** a porção Rio Doce. São duas regiões com características de fluxo e morfometrias de fundo completamente diferente. A porção Rio Doce tem pequena proporção de áreas com baixa profundidade, as quais são situadas bem próximas às margens. Na maior parte deste corpo hídrico o ambiente é semi-lótico com elevada taxa de renovação de água.

O canal de adução é um lago artificial formado pelo desvio parcial do Rio Doce e tem grande proporção de ambientes lênticos e de baixa taxa de renovação de água. Neste canal de adução, em virtude da topografia da área alagada, há regiões rasas entremeadas com profundas, mas as áreas com pequena profundidade são extensas. Devido ao caráter

lêntico e à grande quantidade de sedimentos transportados pela água do Rio Doce, há uma sedimentação inicial no canal de adução que favorece o desenvolvimento de macrófitas.



Figura 1 - Área de influência da Usina Hidrelétrica Eliezer Batista incluindo os municípios de Resplendor, Itueta, Aimorés e Baixo Guandu e o Rio Manhuaçu, principal afluente a jusante do Rio Doce.

5.1 Composição específica e colonização da comunidade de macrófitas no reservatório da UHE Eliezer Batista.

Para as avaliações das composições específicas das comunidades de macrófitas aquáticas que colonizavam o reservatório de Aimorés foram realizadas campanhas de campo a cada 30 dias durante o período de março de 2009 e janeiro de 2010. Em cada levantamento, todo o reservatório foi percorrido de barco em sua região litorânea ou margeando grandes bancos de macrófitas. Em locais sem bancos significativos de macrófitas, o barco era parado a cada 15 minutos, o local era geo-referenciado com GPS Garmin Modelo 76C e as macrófitas presentes eram identificadas em nível de espécie, quando possível. As espécies foram identificadas por meio de comparação morfológica e consulta de literatura

especializada (LORENZI, 2000; KISSMAN; GROTH, 2003, POTT; POTT, 2000) e consultas a especialistas.

Outra etapa realizada no estudo do reservatório de Aimorés foram os levantamentos periódicos dos tamanhos das colonizações de macrófitas aquáticas. O reservatório apresenta uma infestação de macrófitas aquáticas caracterizada por uma faixa contínua ao longo das margens e lagoas, que muitas vezes pode apresentar valores de largura de até 250 metros. Portanto, a metodologia de avaliação da área ocupada foi realizada mediante caminhar com barco nas bordas das infestações marcando segmentos.

Em cada levantamento, o reservatório foi percorrido de lancha em toda a sua extensão marcando-se as infestações de macrófitas aquáticas com um GPS Modelo Garmin 76CS. Cada banco de plantas aquáticas foi medido em sua extensão utilizando o GPS e sua largura foi avaliada mediante utilização de medidor de distância Nikon ProStaff Laser 440.

A largura da infestação foi considerada como a distância da margem interna do banco de macrófitas até a margem do reservatório, considerando que praticamente todas as colonizações estabelecidas começam nas margens e se projetam na lâmina d'água. Esta distância não é uniforme dentro de uma mesma infestação. Portanto, para cálculo da área foi utilizado o valor da média de largura baseado em três a quatro medições, conforme o local, uniformidade e tamanho da colonização. No caso de infestações que apresentavam contornos mais ou menos regulares (apresentam forma de quadrado, retângulo ou triângulo), foram realizadas medidas de seus lados e sua área foi determinada por cálculos geométricos tradicionais. Dos bancos de macrófitas que estavam sendo carregadas pela correnteza, apenas foram medidos aqueles que formavam complexos sólidos, como ilhas flutuantes.

Dentro do canal de adução há três grandes regiões alagadas (baías) conhecidas como Lagoa da Cueca, Lagoa da Vala Grande e Lago do Elcio. É importante frisar que a Lagoa da Cueca foi avaliada no segundo levantamento e o valor obtido foi repetido nas três épocas subsequentes, uma vez que esta porção do canal de adução estava sendo preparada para o estudo de sucessão de populações e, neste período, ocorreu intensa atividade de máquinas no seu interior. Assim, a medição realizada na segunda época de avaliação pode ter superestimado o tamanho das colonizações, uma vez que as máquinas de colheita mecânica já estavam espalhando macrófitas no interior das lagoas.

5.2 Composições químicas das principais macrófitas aquáticas presentes no reservatório da UHE Eliezer Batista

Durante as avaliações realizadas no reservatório de Aimorés foram coletadas amostras das macrófitas aquáticas mais representativas da comunidade infestante. As amostragens foram realizadas mensalmente de julho de 2009 a janeiro de 2010.

As macrófitas foram eleitas pela expressão que tinham no reservatório em junho de 2009 e foram *E. crassipes* (EICCR), *P. stratiotes* (PIIST), *B. subquadripara* (BRASU), *S. molesta* (SALMO), *Panicum repens* (PASRE) e *Oxyscarium cubense* (SCPCU). As plantas foram coletadas em 10 pontos do reservatório de Aimorés de modo a contemplar a maior parte das diferentes condições de crescimento existentes ao longo do corpo hídrico. Para cada espécie foi estabelecida uma amostra composta.

As plantas coletadas foram limpas de outras plantas, gravetos e outros objetos presentes nos locais de coleta e, a seguir, foram lavadas em água corrente, armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e levadas ao Núcleo de Estudos e Pesquisas em Matologia da Unesp Jaboticabal.

No laboratório as plantas sofreram nova limpeza para restos de sedimento e fragmentos estranhos e, a seguir, foram secadas em estufa de renovação forçada de ar e moídas em micro-moinho tipo Wiley (mesh 20). Não ocorreu a lavagem tradicional para análise de micronutrientes porque o objetivo do trabalho era avaliar as plantas na forma em que seriam dispostas na área de utilização da biomassa.

As análises químicas das plantas foram realizadas conforme metodologia apresentada por Malavolta et al., 1997.

5.3 Efeitos da incorporação da biomassa de macrófitas aquáticas sobre as propriedades químicas de solo degradado.

Para a avaliação dos efeitos da incorporação direta de macrófitas aquáticas sobre as propriedades químicas e físicas de um solo degradado foram conduzidos dois experimentos no Nepeam, Unesp Jaboticabal, em condições de laboratório.

O solo foi coletado em área de duplicação da Rodovia Faria Lima (SP 326) em áreas de um Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico na profundidade entre 1,0 a 2,0 metros da superfície. Esta opção de profundidade visou simular um solo degradado em área de empréstimo com baixo teor de matéria orgânica e pobre em nutrientes. A porção de solo coletada foi conduzida ao laboratório, seca à sombra, peneirada em malhas de 5,0 mm e armazenada em local fresco e seco até o momento da montagem dos ensaios.

Durante o período de armazenamento foi realizada a avaliação do poder de embebição do solo, utilizando o método gravimétrico, conforme método utilizado por Garcia (1978). Para tanto, recipientes plásticos de 40 ml foram perfurados no fundo e receberam papéis de filtro umedecidos para bloquear os orifícios. A seguir foram pesados em balança de precisão de 0.01g (peso P1).

Em seguidas foram colocadas 25g de solo seco (TFSA) em cada um dos recipientes, os quais, em seguida, foram colocados em bandeja de alumínio com água até o nível de dois terços da altura do solo no copo. Esta condição foi mantida por 12 horas para a completa embebição do solo. Numa etapa seguinte, os recipientes foram retirados da água, vedados com tampa plástica para evitar a evaporação da água na superfície e colocados sobre uma grade por mais 12 horas, para que o escoamento gravitacional da água em excesso. Depois deste período os recipientes foram novamente pesados (peso P2). Com estes dados, o poder de embebição do solo foi calculado pela fórmula:

$$PE = \{[P2 - (P1 - 25)] / 25\} * 100$$

Onde:

PE = Poder de embebição do solo (%).

P1 = peso do recipiente + papel filtro umedecido.

P2 = peso do recipiente + papel filtro umedecido + peso do solo seco + peso da água retida

As macrófitas foram escolhidas em função da importância destas no reservatório na época da coleta (agosto de 2009). As plantas estudadas para incorporação no solo foram *B. subquadripara*, *O. cubense*, *P. stratiotes*, *E. crassipes*, *P. repens*, *P. lapathifolium* e *S. molesta*.

Em função da disponibilidade de espaço na sala climatizada e do tempo para pesagem de todos os vasos em cada irrigação, dois experimentos foram conduzidos. No primeiro foram avaliadas *B. subquadripa*, *O. cubense* e *P. stratiotes* e, no segundo, *E. crassipes*, *P. repens*, *P. lapathifolium* e *S. molesta*.

Para ambos os experimentos foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial tendo como variáveis principais a espécie da macrófita (três no primeiro experimento e quatro no segundo) e as quatro doses de incorporação da biomassa seca (2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 t.ha⁻¹). Ainda houve um tratamento testemunha usando apenas o solo sem incorporação de biomassa de qualquer macrófita. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso contendo 500 g de solo.

A incorporação foi realizada manualmente utilizando de saco plástico reforçado com capacidade de cinco litros. A quantidade de biomassa referente a cada tratamento e mais 500 g de solo foram adicionadas no saco e este foi agitado repetidamente para que fosse conseguida uma mistura homogênea. Em seguida, esta mistura de solo e biomassa orgânica foi devolvida ao vaso. O conjunto foi pesado e recebeu a quantidade de água suficiente para atingir 70% do poder de embebição do solo do solo original (sem incorporação de macrófitas).

A incubação foi levada a efeito em sala climatizada a 25±1°C, fotoperíodo de 12 horas, sendo mantida a umidade entre 50-70% do poder de embebição do solo original. Para tanto, cada vaso foi pesado a cada 3-4 dias, sendo reposta a quantidade de água perdida por evaporação.

Ao final do período de incubação, o solo foi seco à sombra e enviado para análise das principais características químicas no Laboratório de Fertilidade do Instituto Agrônomo de Campinas. A análise de solo realizada por este laboratório segue a metodologia descrita em Raij & Quaggio (1983).

Cada experimento recebeu análise estatística separada, constando de análise de variância pelo teste F e as comparações de médias foram realizadas pelo teste de Fisher. Adicionalmente foram realizados teste de comparação entre a média da testemunha (que não entrou no fatorial) com as médias obtidas nos vários desdobramentos dos graus de liberdade dos tratamentos utilizando a seguinte fórmula.

$$F \text{ comparação} = \{[(T_{md})^2/nrd] + [T_t^2/nrt] - [(T_{mc} + T_t)^2/(nrd + nrt)]\} / QMR$$

onde:

T_{mc} = soma total dos valores envolvidos no cálculo da média do desdobramento

T_t = soma total dos valores envolvidos no cálculo da média de testemunha.

nrd = número de repetições envolvidas na média do desdobramento

nrt = número de repetições envolvidas na média da testemunha.

QMR = quadrado médio do reservatório de análise de variância contendo todos os tratamentos incluindo a testemunha.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Composição específica e colonização da comunidade de macrófitas aquáticas do reservatório da UHE Eliezer Batista

No reservatório de Aimorés foram identificadas 31 espécies de macrófitas aquáticas pertencentes a 16 famílias botânicas (Tabela 01). Considerando que é um reservatório jovem, a riqueza de espécies pode ser considerada alta, mas há um longo histórico de colonização do Rio Doce e de seus afluentes com elevada atividade antrópica, incluindo introdução de macrófitas exóticas. Antes da construção do reservatório, a porção Rio Doce tinha várzeas bastante ricas em macrófitas (Pitelli, R. A., informação pessoal)

Dentre as espécies encontradas no reservatório de Aimorés, a *E. crassipes* (aguapé) pode ser considerada a mais importante devido a sua intensa proliferação e problemas causados na geração de energia elétrica e na composição do preço por unidade de energia gerada. A maior importância desta macrófita pode ser verificada na porção Rio Doce, onde desenvolve grandes populações nas regiões de paliteiros. Uma grande contribuição ao crescimento desta macrófita na porção Rio doce é o lançamento de efluentes do Laticínio da empresa CAPEL, onde há vigorosa e exclusiva colonização de aguapé.

Estudo conduzido em limnocurrais durante o período de estudos mostrou que as condições da água não são adequadas ao rápido e profuso do crescimento do aguapé. Quando flutuando em áreas profundas, o crescimento foi muito lento e as plantas

bastante danificadas por inimigos naturais. No entanto, grandes bancos de *E. crassipes* se formavam em áreas pouco profundas, onde pudesse fixar suas raízes no sedimento e extrair nutrientes. Estas áreas pouco profundas apresentavam grande quantidade de restos de plantas de Ubá (*Gynerium sagittatum* Aubli.) mortas pelo alagamento, as quais formavam densos paliteiros dano estabilidade e suporte ao crescimento desta macrófita (Figura 02). Durante o período de observações foi realizada uma operação de retirada do paliteiro e esta alteração de habitat promoveu expressiva redução do banco de aguapé, como será comentado posteriormente.

Outro táxon de grande importância no reservatório de Aimorés é o complexo salvinia (*Salvinia molesta* e *Salvinia herzogii*) que infesta grande área do resultado, principalmente no canal de adução. A salvinia se desenvolve nas áreas marginais das lagoas do canal de adução, formando grandes bancos. Estas populações de salvinia formam a base de sustentação para o crescimento epifítico de outras populações como *Paspalum repens*, *Oxyscarium cubense* e *Hymenachne amplexicaulis*. Estas interações serão comentadas quando da abordagem das espécies que apresentam este hábito de crescimento no reservatório de Aimorés.

Tabela 01. Colonização de macrófitas aquáticas presentes no reservatório de Aimorés no período de março de 2009 a janeiro de 2010.

Família	Espécie
Alismataceae	<i>Sagittaria montevidensis</i> CHAM. & SCHLECHT
Amaranthaceae	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (MART.) GRISEB.
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i> L
Azollaceae	<i>Azolla filiculoides</i> LAM
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i> BURM.
Cyperaceae	<i>Oxycaryum cubense</i> (POEPP. & KUNTH) K.LYE
Cyperaceae	<i>Eleocharis elegans</i> (H.B.K.) ROEM. & SCHULT
Cyperaceae	<i>Cyperus ferax</i> L.C.RICH.
Fabaceae	<i>Sesbania exasperata</i> H.B.K.
Fabaceae	<i>Neptunia plena</i> (L.) BENTH.
Haloragaceae	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (VELL.) VERDC
Hydrocharitaceae	<i>Egeria densa</i> PLANCH.
Nymphaeaceae	<i>Nymphaea ampla</i> (SALISB.) DC.
Onagraceae	<i>Ludwigia elegans</i> (CAMB.) HARA
Poaceae	<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (RUDGE) NEES
Poaceae	<i>Paspalum repens</i> BERG.
Poaceae	<i>Brachiaria subquadripara</i> (TRIN./LINK) HITCHC
Poaceae	<i>Echinochloa polystachya</i> (H.B.K.) HITCHC.
Poaceae	<i>Panicum repens</i> L.
Poaceae	<i>Panicum rivulare</i> TRIN.
Polygonaceae	<i>Polygonum lapathifolium</i> L
Polygonaceae	<i>Polygonum hydropiperoides</i> L
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i> (MART.) SOLMS
Pontederiaceae	<i>Eichhornia azurea</i> (SW.) KUNTH
Salviniaceae	<i>Salvinia molesta</i> MITCH.
Salviniaceae	<i>Salvinia herzogii</i> DE LA SOTA
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i> (L.) PERS./KUNTH



Figura 02 – Aspectos dos paliteiros de Ubá (*Gynerium sagittatum*) favorecendo o crescimento de aguapé no reservatório de Aimorés.

Oxycaryum cubense é bastante abundante nas áreas lânticas do canal de adução e inicia sua colonização mais rapidamente sobre bancos de *Salvinia* sp. e, com menor freqüência, sobre bancos de *P. stratiotes* e *E. crassipes*. Nestas duas últimas apenas forma colonização epifítica quando as plantas estão completamente estacionadas por longo período.

A colonização sobre a salvinia epifítica ocorre da seguinte maneira: quando o banco da planta flutuante é mantido estável por um período, ocorre a germinação das sementes entre os frondes da salvinia na parte em que há contacto com a água. O crescimento e expansão dos indivíduos por rizomas são rápidos e *O. cubense* chega a cobrir totalmente a planta flutuante (Figura 03), interceptar a chegada da radiação solar, levando-a a inanição e morte. Este é um processo bastante perigoso para a operação da usina hidrelétrica, pois *O. cubense* não tem estruturas de flutuação, o conjunto submerge após a morte e início de decomposição da planta suporte, é arrastado pela correnteza e pode atingir as grades de proteção das turbinas, reduzindo o fluxo de água e, em consequência, a eficiência de geração de energia elétrica. Várias ocorrências deste tipo foram verificadas na casa-de-força da UHE de Aimorés.



Figura 03 – Aspectos do crescimento epifítico de *Oxyscarium cubense* sobre banco de *Salvinia molesta* no reservatório de Aimorés.

As populações de *T. dominguensis* e *E. azurea* são importantes colonizadoras de áreas rasas da porção Rio Doce do reservatório de Aimorés. Estas macrófitas, por suas características de crescimento, não interferem na geração de energia elétrica e não formam grandes populações nas áreas rasas do canal de adução.

A população de *B. subquadriflora* aumentou expressivamente no período de avaliações. No canal de adução está ocorrendo crescimento epifítico sobre aguapé, especialmente no final das lagoas. Esta gramínea exótica tem perspectiva de se tornar uma macrófita bastante problemática no reservatório de Aimorés em função do histórico que apresenta em outros reservatórios (PITELLI, congresso de Botânica). Com poucos inimigos naturais e apresentando vigoroso crescimento, sua população se desenvolve sobre bancos de *E. crassipes* e o coloniza densa e rapidamente. O sombreamento, a morte da planta suporte, a perda de flutuabilidade do sistema e o transporte submerso da biomassa, ocorrem de forma similar a relatada para *O. cubense* sobre salvinia, mas biomassa é muito maior. Como a infestação é mais recente, poucos incidentes envolvendo esta planta ocorreu na tomada d'água da casa de força da UHE Aimorés.

A população de *P. stratiotes* no reservatório de Aimorés apenas era observada em pequenas colonizações, mas as plantas eram rapidamente atacadas e bastante

prejudicadas por insetos, especialmente o lepidóptero *Samea* SP. Provavelmente esta é a principal causa desta macrófita não ter se tornado problema neste reservatório.

Outra planta com bastante expressão neste reservatório é *P. repens*. A germinação das sementes ocorre nas margens úmidas e as plantas crescem se projetando sobre a lâmina d'água, pois tem estruturas de flutuação. Nas margens do canal escavado, que apresenta um regime mais lótico, apresenta crescimento epifítico e fixa pequenas colonizações marginais de salvinia e de aguapé, o que evolui a formação de assembléias relativamente grandes destas plantas e, nestas condições, são arrancadas pelo fluxo e transportada a jusante. Normalmente são interceptadas pelas barreiras flutuantes e retiradas pela colheita mecânica.

A população de *P. lapathifolium* também é importante no reservatório de Aimorés. Seu crescimento é confinado às áreas pouco profundas e em várias ocasiões sucede as colonizações de plantas flutuantes, especialmente aguapé. Com suas raízes fixadas no sedimento e elevado porte epígeo, exercem forte competição e acabam por eliminar as populações de plantas flutuantes. Fixam bancos perenes e seriam sucedidas por plantas de maior porte, especialmente arbustos e árvores pioneiras de áreas alagadas. No entanto, o controle mecânico não seletivo que ocorre no reservatório de Aimorés, arranca os bancos desta planta e acaba sendo colhido com as demais macrófitas.

Assim, foram citadas as macrófitas aquáticas mais importantes do reservatório de Aimorés para o processo de colheita mecânica que vem sendo praticado nestes últimos anos. No entanto, há outras plantas que apresentam perigo potencial para os usos múltiplos da água e o reservatório em si.

Egeria densa é uma macrófita submersa que começou a ocorrer nas áreas lânticas do canal de adução, planta bastante problemática no reservatório de Jupia (VELINI, 2005; MUSTAFÁ et al. 2010). Pelas características de fundo do reservatório (profundo e rochoso em sua grande parte) e da transparência da água, acredita-se que esta colonização ficará restrita às áreas finais das lagoas do canal de adução e dificilmente terão biomassa suficiente para interferir na geração.

Hymenachne amplexicaulis e *Panicum rivulare* são duas gramíneas competitivas, mas suas populações são pequenas e dispersas no reservatório. *P. rivulare* é uma planta marginal e dificilmente proporcionará problemas à geração, mas *H. amplexicaulis* projeta seu crescimento sobre a lâmina d'água e bancos de plantas flutuantes e, no futuro,

poderá causar problemas. *Alternanthera philoxeroides* ocorre em pequenas colonizações e suas plantas sempre mostram alto nível de dano de insetos.

As principais macrófitas que infestam o reservatório de Aimorés caracterizam-se por apresentar hábito de crescimento livre ou marginal. Espécies submersas e flutuantes fixadas não encontram habitats propícios para um desenvolvimento de grandes populações em função das características de fundo e de qualidade da água. As populações de *Ludwigia* encontram-se principalmente presentes nas áreas marginais do reservatório e também em ilhas que se formaram no início do represamento do Rio Doce. Nestas ilhas encontram-se outras espécies listadas na Tabela 1 que são típicas de áreas alagadas pouco profundas, como *M. aquaticum*, *S. exasperata*, *C. ferax* e *S. montevidensis*.

Estudos da composição específica de comunidades de macrófitas aquáticas em reservatórios de hidrelétricas foram realizados em diversas ocasiões. No reservatório de Santana da Light, Pitelli et al (2008 e 2009) observaram espécies bastante similares ao do reservatório de Aimorés. Neste reservatório as populações de *B. subquadrifida* e de *E. densa* já constituem problemas para o reservatório. Dentre as macrófitas que causam mais problemas se destacam *P. stratiotes*, *S. molesta*, *P. lapathifolium* e *E. crassipes*, também problemáticas em Aimorés.

Carvalho et al. (2003) no reservatório de Barra Bonita, SP, encontram dezessete espécies de macrófitas aquáticas que ocupavam uma área de 1,87 hectares, e as mais importantes foram *Brachiaria mutica*, *B. subquadrifida* e *E. crassipes* as macrófitas com maiores infestações.

Cavenaghi et al. (2003) também identificaram a *B. subquadrifida*, *B. mutica*, *E. crassipes* e *T. domingensis* como as principais macrófitas aquáticas dos cinco principais reservatórios da bacia do Rio Tietê.

Martins et al (2009) identificaram dezoito espécies de macrófitas aquáticas antes da etapa final de enchimento do reservatório de Porto Primavera em 1998, sendo *E. crassipes*, *E. azurea*, *P. stratiotes* e *Salvinia auriculata* as espécies mais frequentes.

Estas citações mostram que as macrófitas aquáticas observadas em Aimorés são bastante frequentes e problemáticas em vários outros reservatórios e também em ambientes naturais. Pivari et al. (2007) realizando o levantamento florístico de cinco baceiros

no Pantanal, no Mato Grosso do Sul, verificaram a presença de 66 espécies de macrófitas aquáticas inseridas em 27 famílias botânicas, Apenas duas espécies, *Ludwigia leptocarpa* e *O. cubense*, estiveram presentes nos cinco baceiros, enquanto as famílias comuns a todos esses foram Asteraceae, Cyperaceae, Onagraceae, Poaceae e Polygonaceae. Estas famílias são comuns em comunidades de macrófitas aquáticas em vários locais, especialmente Poaceae e Cyperaceae (CERVI et al., 2009, HENRY-SILVA et al., 2010 e ROCHA; MARTINS, 2011)

Na Tabela 02 está apresentada a área da lâmina d'água do reservatório de Aimorés colonizada pela comunidade de macrófitas aquáticas nos diferentes segmentos do reservatório de Aimorés. Houve uma forte variação na área total de superfície de lâmina d'água colonizada, variando de 39,2 hectares em março de 2009, chegando a 92,5 hectares em julho e novamente recaindo párea 39,9 hectares em janeiro de 2010.

A porção Rio Doce, apesar de apresentar-se com uma área de superfície de água maior que a do canal de adução, a comunidade de macrófitas aquáticas presentes apresentam uma infestação menor, com exceção ao levantamento de setembro de 2009.

A Figura 4 mostra a variação da área ocupada pelas macrófitas aquáticas no canal de adução, destacando a importância de cada lagoa marginal e do canal principal nesta comunidade. O exame desta figura demonstra de modo direto a importância da área colonizada na Lagoa da Vala Seca na colonização total do canal de adução. A grande redução na área infestada pelas macrófitas aquáticas no mês de setembro se deve colheita mecânica na lagoa da Vala Seca. As lagoas do Elcio e da Cueca sofreram variações pouco significativas no contexto geral do canal de adução.

Tabela 02 - Áreas de colonização por macrófitas aquáticas no reservatório de Aimorés no ano de 2009.

Mês	Lagoa			Margens do canal	Canal de Adução	Porção Rio Doce	Total
	Cueca	Vala seca	Elcio				
	-----ha-----						
Março	2,9	24,4	0,6	1,4	28,0	11,3	39,2
Abril	18,4	29,7	2,0	3,2	50,2	33,4	83,6
Maio	18,4	27,8	4,0	1,5	50,2	30,4	80,6
Junho	18,4	35,2	7,4	4,4	61,1	31,4	92,5
Julho	18,4	32,1	7,0	3,2	57,6	34,5	92,1
Agosto	5,4	29,2	7,1	0,6	41,7	37,7	79,4
Setembro	6,7	17,8	8,4	1,0	32,9	34,2	67,1
Outubro	8,7	18,8	12,6	2,0	40,2	26,8	67,0
Novembro	7,8	17,9	10,1	2,9	35,8	19,2	55,0
Dezembro	5,4	18,1	7,9	2,2	31,4	16,2	47,6
Janeiro	4,3	15,3	8,4	2,7	28,1	11,8	39,9

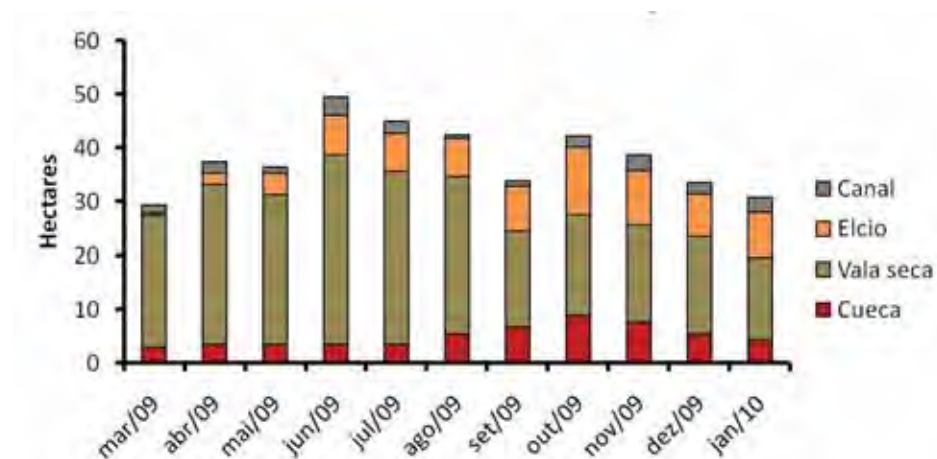


Figura 4. Variação da área colonizada por macrófitas aquáticas no canal de adução do reservatório de Aimorés no ano de 2009-10, considerando os valores das lagoas marginais.

A mesma tendência de variação da área ocupada pela comunidade de macrófitas aquáticas pode ser observada na porção Rio Doce, que teve seu maior pico de

infestação entre os meses de julho e setembro (Figura 5). No entanto, as populações presentes no canal de adução eram diferentes das encontradas no canal de adução. Pela própria característica do Rio Doce, com águas mais profundas e maior velocidade de fluxo de água, as infestações se localizavam em remansos formados pela inundação de áreas adjacentes e de pequenos córregos. Foi nesta porção do reservatório em que foram encontradas populações de *Ludwigia elegans*, *Sesbania exasperata*, *Polygonum lapathifolium* e *P. hidropiperoides*.

Uma característica interessante da porção Rio Doce foi a presença de grandes áreas com paliteiros de Ubá, principalmente nas áreas mais a montante, próximas da cidade de Itueta e Resplendor, MG. Estes paliteiros servem como local de “ancoragem” de macrófitas aquáticas flutuantes, especialmente de aguapé (*E. crassipes*). Nestes locais eram formados grandes bancos desta macrófita aquática que aos poucos ia se soltando, descendo o fluxo e caindo no canal de adução. Na porção Rio Doce do reservatório ficou bastante evidente a importância da retirada dos paliteiros de Ubá nas margens do reservatório e de ilhas, refletindo nas quedas dos tamanhos das áreas colonizadas a partir de setembro de 2009. Esta foi a primeira ação de manejo preventivo de macrófitas aquáticas inserida neste reservatório.

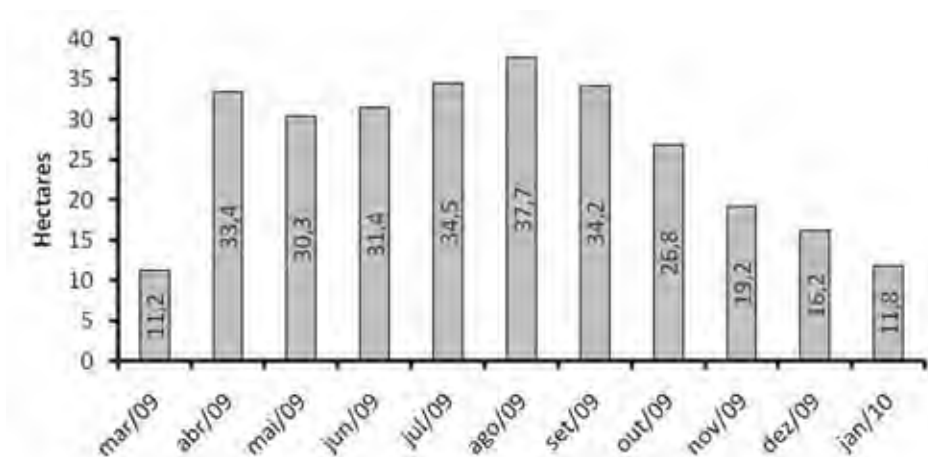


Figura 5. Variação da área colonizada por macrófitas aquáticas na porção Rio Doce do reservatório de Aimorés no ano de 2009-10.

O levantamento de macrófitas aquáticas de um reservatório é de suma importância no estabelecimento de estratégias de manejo do corpo hídrico e identificação precoce de espécies que potencialmente poderiam causar danos aos usos múltiplos ou à

qualidade da água do reservatório. Juntamente com a identificação das espécies presentes, a quantificação da área infestada fornece para quem maneja o reservatório, um grande volume de dados para estimativa de gastos e organização de logística de retirada e transporte da biomassa obtida nas atividades de retirada mecânica das plantas aquáticas.

No caso do reservatório de Aimorés, as lagoas do canal de adução apresentam áreas muito rasas que normalmente estão infestadas de macrófitas aquáticas adaptadas ao ambiente de várzea. Também apresentam estreitamento de algumas extremidades, que quando completamente infestadas por macrófitas flutuantes ou enraizadas, dificulta o acesso e visualização em áreas mais distantes, o que provoca erros de amostragem com o distanciômetro.

Outras técnicas poderiam ser utilizadas, que reduziriam drasticamente estes erros de amostragem, apesar de apresentarem custos bem mais elevados. Galo et al. (2000) que utilizou imagens orbitais multiespectrais para mapear a dispersão espacial e estimar a área de ocorrência de macrófitas aquáticas nos reservatórios do complexo Tietê. Carvalho et al (2003) utilizou notas de amostragem e imagens de satélite para estimar a área ocupada por macrófitas aquáticas no reservatório de Barra Bonita, SP. Pitelli et al (2008) utilizaram um sistema de classes de colonização que englobavam as categorias nula, muito baixa densidade, baixa, média, e alta densidade, de acordo com uma avaliação visual. Este sistema de nota, apesar de apresentar utilidade, não leva em consideração as áreas efetivas de ocupação nos diferentes pontos amostrados, já que comparativamente, uma alta densidade em uma infestação de um hectare é completamente diferente da alta densidade numa infestação de 100 m².

6.2 Composição química das principais macrófitas aquáticas presentes no reservatório da UHE Eliezer Batista

Nas Figuras 06 a 11 estão graficamente representados os valores das concentrações de macro nutrientes nas macrófitas aquáticas, enquanto que nas Figuras de 12 a 19 estão representadas as concentrações de micro-nutrientes e metais pesados.

O maior valor para a concentração de nitrogênio foi obtido em janeiro de 2010 em plantas de *P. stratiotes* (22,9 g.kg⁻¹). Considerando as médias dos valores obtidos

ao longo do período *B. subquadrifaria* *P. stratiotes*, *S. molesta* e apresentaram as maiores concentrações de nitrogênio de 18,3, 19,3 e 19,4 g.Kg⁻¹, respectivamente. (Figura 06).

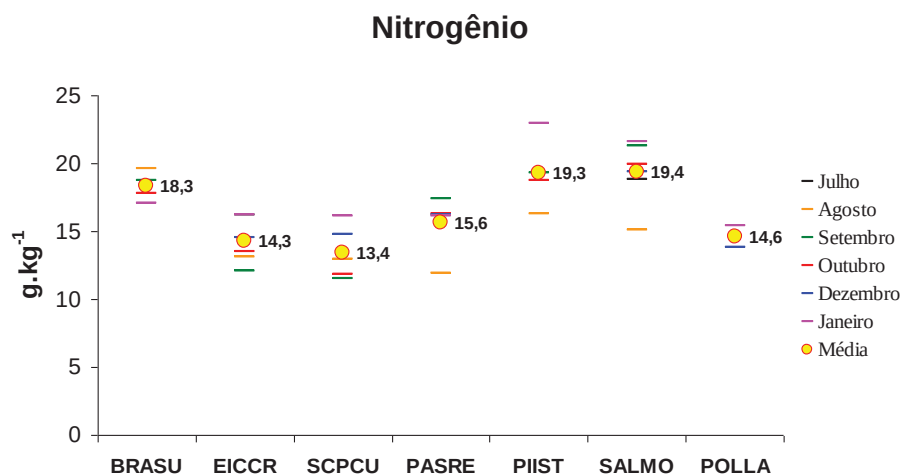


Figura 6. Concentrações de nitrogênio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

As concentrações de fósforo nas macrófitas aquáticas tiveram variações relativas maiores que o nitrogênio (Figura 07). O maior teor de fósforo foi observado em janeiro de 2010 em *P. stratiotes* (2,1 g.Kg⁻¹) foi 4,2 vezes maior que o observado em *P. repens* em agosto de 2009 (0,5 g.Kg⁻¹). O maior valor médio da concentração de fósforo foi observada em *P. stratiotes* (1,6 g.Kg⁻¹) e o menor foi verificado em *P. lapathifolium* (0,8 g.Kg⁻¹). *Brachiaria subquadrifaria* não se apresenta como uma grande acumuladora de fósforo, enquanto que a *E. crassipes* somente apresentou alto acúmulo do nutriente nos meses de setembro e outubro.

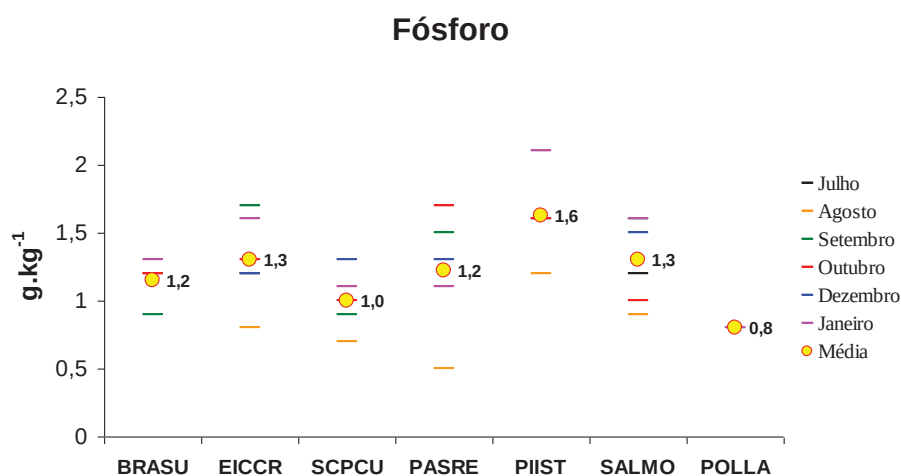


Figura 7. Concentrações de fósforo determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

A maior concentração de potássio (Figura 08) foi novamente observada em setembro de 2009 em *P. stratiotes*, atingindo ($42,9 \text{ g.Kg}^{-1}$) e o menor valor foi observado em *S. molesta* em agosto de 2009 ($14,9 \text{ g.Kg}^{-1}$). Considerando a média do período, *P. stratiotes* foi a macrófita com maior valor das concentrações de potássio ($37,9 \text{ g.Kg}^{-1}$) seguida de *B. subquadripa* ($31,1 \text{ g.Kg}^{-1}$) e *E. crassipes* ($30,7 \text{ g.Kg}^{-1}$).

A maior concentração de cálcio foi observado em *P. stratiotes* na coleta realizada em janeiro de 2010 com valor de $38,4 \text{ g.Kg}^{-1}$ (Figura 09) O menor valor foi encontrado em *O. cubense* na avaliação realizada em agosto de 2009, com o valor de $4,5 \text{ g.Kg}^{-1}$. *Pistia stratiotes* apresentou valores de acúmulo de cálcio muito superiores às demais macrófitas estudadas no reservatório. A segunda maior acumuladora de cálcio foi o *P. lapathifolium* com valores médios de $20,65 \text{ g.kg}^{-1}$. A *B. subquadripa*, assim como as demais macrófitas, apresentam baixo acúmulo de cálcio em seus tecidos.

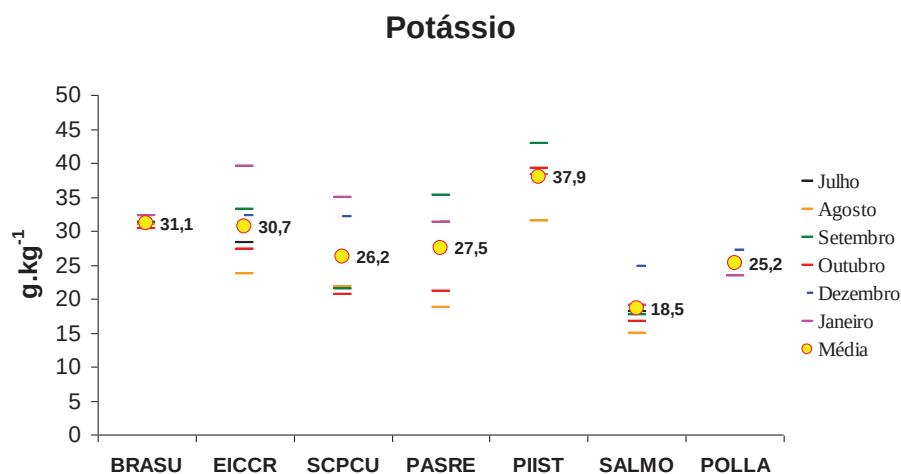


Figura 08. Concentrações de potássio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

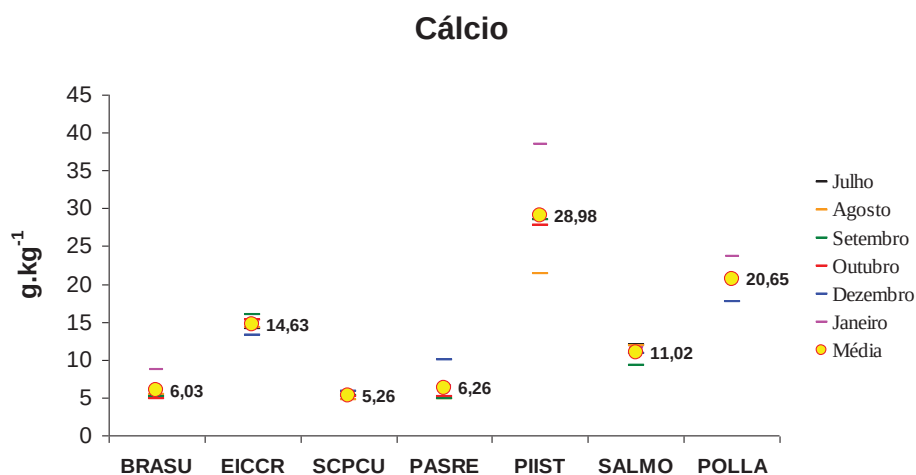


Figura 09 Concentrações de cálcio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

À exemplo do cálcio e potássio. *P. stratiotes* foi a planta que acumulou maior quantidade de magnésio em seus tecidos atingindo $9,6 \text{ g.kg}^{-1}$ na amostragem realizada em janeiro de 2010 (Figura 10). *O. cubense* foi a planta que apresentou o menor teor de

magnésio, 1,0 g./kg. *Polygonum lapathifolium* apresentou o segundo maior acúmulo de magnésio com valores médios de 6,6 g/kg, seguido pelo aguapé com 5,03 g/kg.

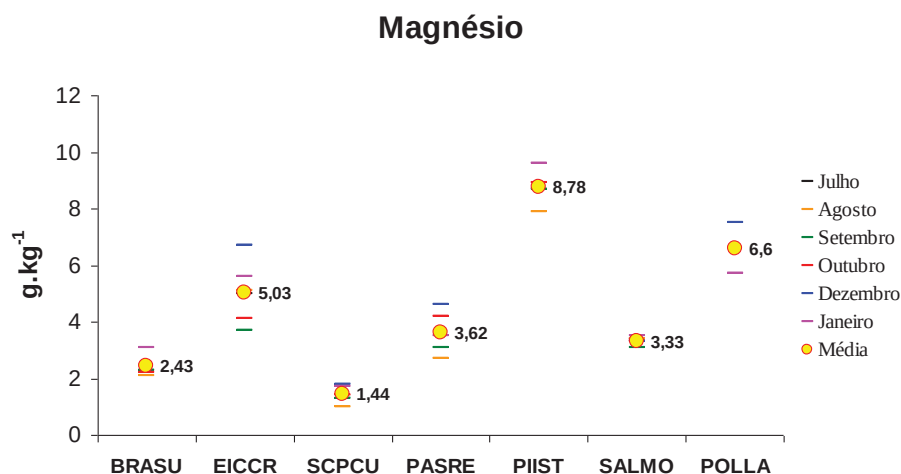


Figura 10. Concentrações de magnésio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

Para a concentração de enxofre na matéria seca das macrófitas aquáticas, o maior valor foi observado para a gramínea *P. repens*, 6,0 g.Kg⁻¹, no mês de dezembro de 2009 (Figura 11). Nesta mesma época de coleta também foi observado o menor valor, 1,5 g.Kg⁻¹ para *O. cubense*. *Pistia stratiotes* apresentou-se como fraca acumuladora de enxofre apresentando valores médios de 2,8 g.kg⁻¹. O segundo maior acúmulo de enxofre foi observado para plantas de *P. lapathifolium*.

As concentrações de boro (Figura 12) apresentaram grandes variações entre as macrófitas e mesmo dentro da macrófita em diferentes épocas de amostragem. *B. subquadripara* apresentou baixíssimo acúmulo de boro, atingido valor mínimo de 0,9 mg.Kg⁻¹ na amostragem realizada em outubro de 2009. Por outro lado, *P. stratiotes* foi a macrófita com maior capacidade de acúmulo deste micronutriente, atingido 82,4 mg.Kg⁻¹ em janeiro de 2010. Considerando as médias das concentrações de boro para o período de avaliações, o maior valor foi observado para *P. stratiotes* (57,9 mg.Kg⁻¹), seguida de *E. crassipes* (48,8 mg.Kg⁻¹ e *S. molesta* (46,8 mg.Kg⁻¹). O menor valor foi observado para *B. subquadripara*, 1,4 mg.Kg⁻¹).

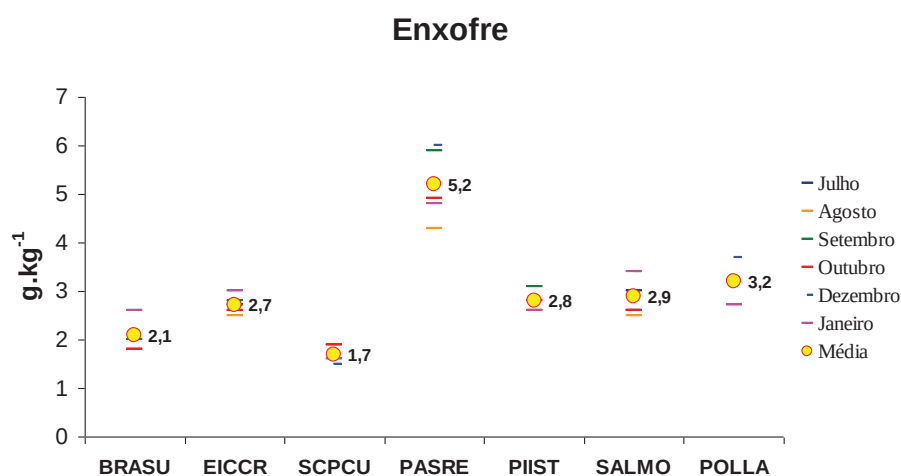


Figura 11. Concentrações de enxofre determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

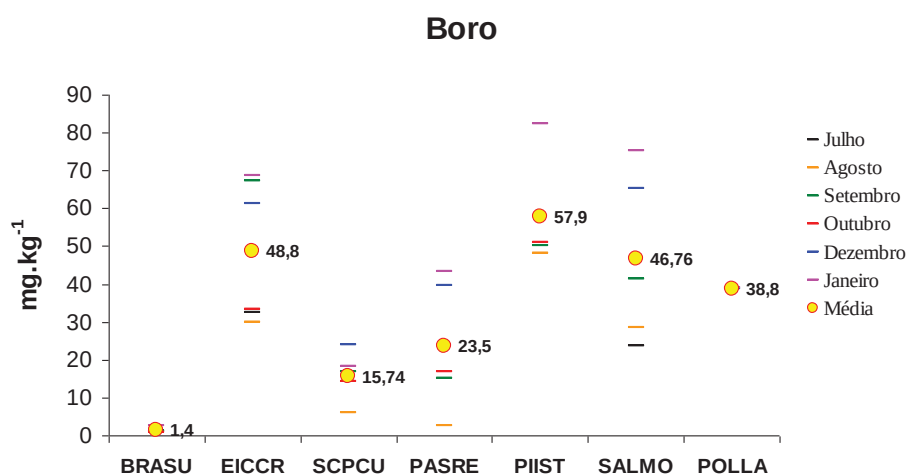


Figura 12. Concentrações de boro determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

O menor valor observado para a concentração de cobre (Figura 13) na biomassa das macrófitas ocorreu na coleta de setembro de 2009 para *B. subquadrifera* (3,9 mg.Kg⁻¹). O maior teor foi observado em *S. molesta* (21,7 mg.Kg⁻¹) na coleta de janeiro de 2010. Considerando a média do período de observações, a maior valor para concentração de

cobre foi observado em *S. molesta* (15,0 mg.Kg⁻¹) e *E. crassipes* (14,8 mg.Kg⁻¹), seguidas de *P. repens*. (12,9 mg.Kg⁻¹).

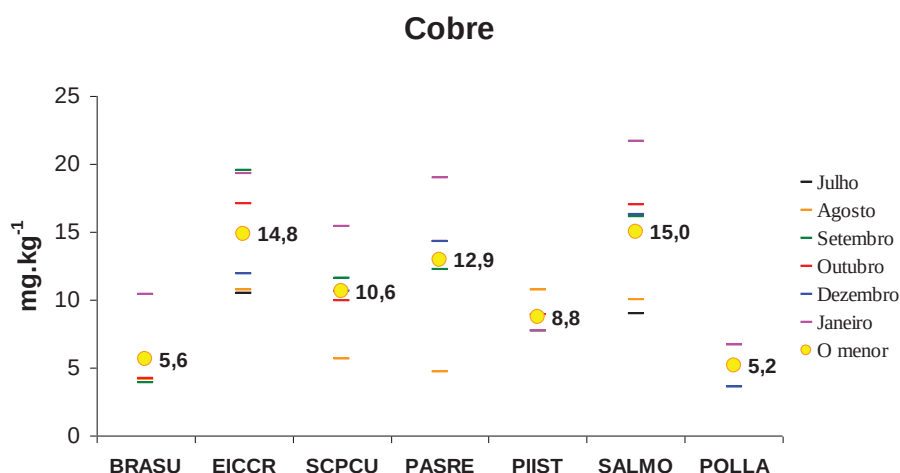


Figura 13. Concentrações de cobre determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

As elevadas concentrações de ferro nas macrófitas já eram esperadas pelas características pedológicas da região (Figura 14), com predominância de solos ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio e pela contaminação da região à montante com as siderúrgicas do Vale do Aço. A macrófita que apresentou os maiores concentrações de ferro foi *E. crassipes* com a médio no período de observações no valor de 10,84 g.Kg⁻¹. O maior valor de concentração deste elemento foi observado em *E. crassipes* na avaliação realizada em setembro de 2009 (17,02 g.Kg⁻¹); e o menor valor foi determinado em *B. subquadripara* em agosto de 2009 (0,02 g.Kg⁻¹).

As concentrações de manganês (Figura 15) sofreram grandes variações entre épocas de coleta para duas espécies: *E. crassipes* e *P. repens*. Para a primeira os concentrações variaram de 587 mg.Kg⁻¹ em agosto de 2009 para 1950 mg.Kg⁻¹ em jan de 2010. Para a segunda, a variação foi de 206 mg.Kg⁻¹ em agosto de 2009 para 1755 mg.Kg⁻¹ em janeiro de 2010. A menor concentração encontrada no período de observações ocorreu em *B.*

subquadripa em agosto de 2009 (58 mg.Kg^{-1}), enquanto maior valor ocorreu em janeiro de 2010 em *E. crassipes* (1755 mg.Kg^{-1}).

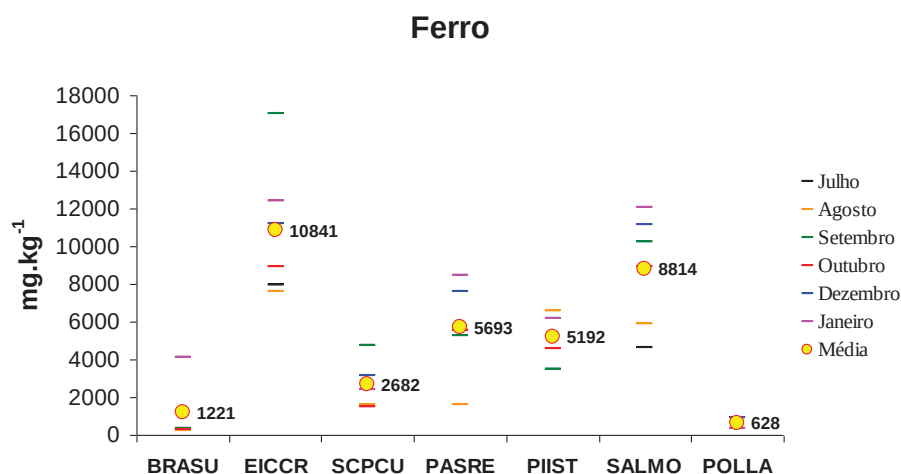


Figura 14. Concentrações de ferro determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

As três espécies que se destacaram nas médias das concentrações de zinco (Figura 16) foram *E. crassipes* ($46,0 \text{ mg.Kg}^{-1}$), *S. molesta* ($38,4 \text{ mg.Kg}^{-1}$) e *P. repens* ($36,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$). Entre todas as amostragens, o maior teor de zinco foi observado na biomassa de *E. crassipes* na amostragem realizada em janeiro de 2010 ($62,4 \text{ mg.Kg}^{-1}$). O menor valor foi observado em *O. cubense* na amostragem de agosto de 2009 ($17,4 \text{ mg.Kg}^{-1}$).

As concentrações de cádmio estiveram abaixo do limite de detecção empregado em todas as amostragens para *B. subquadripa*, *O. cubense* e *P. lapathifolium* e na maioria das épocas de amostragem para *P. repens* e *S. molesta* (Figura 17). A única espécie que apresentou concentrações acima do nível de detecção em todas as épocas foi *E. crassipes*, mas com valores baixos. O maior teor observado nesta macrófita foi $0,3 \text{ mg.Kg}^{-1}$ o que representa a retirada de $3 \times 10^{-4} \text{ kg}$ de cádmio por tonelada de matéria seca de aguapé removido pela colheita mecânica do reservatório de Aimorés. As concentrações de cádmio para qualquer macrófita e época analisada sempre esteve muito abaixo dos limites considerados críticos para fertilizantes orgânicos pela legislação brasileira (BRASIL, 2010).

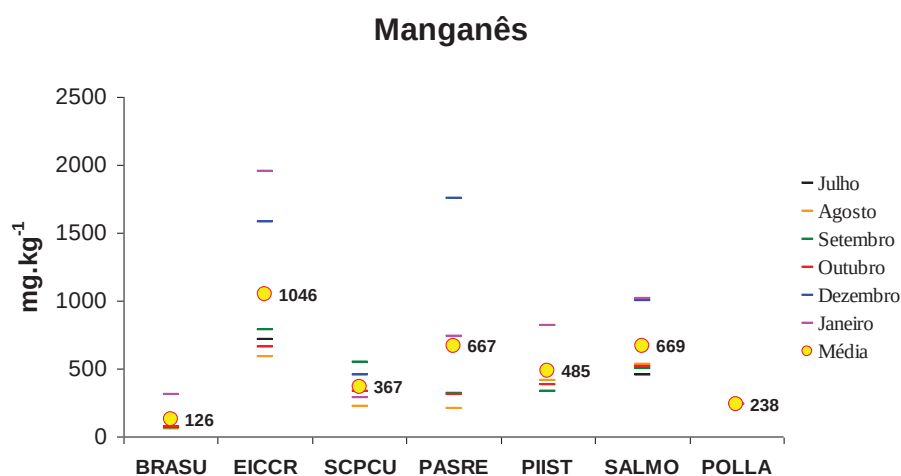


Figura 15. Concentrações de manganês determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

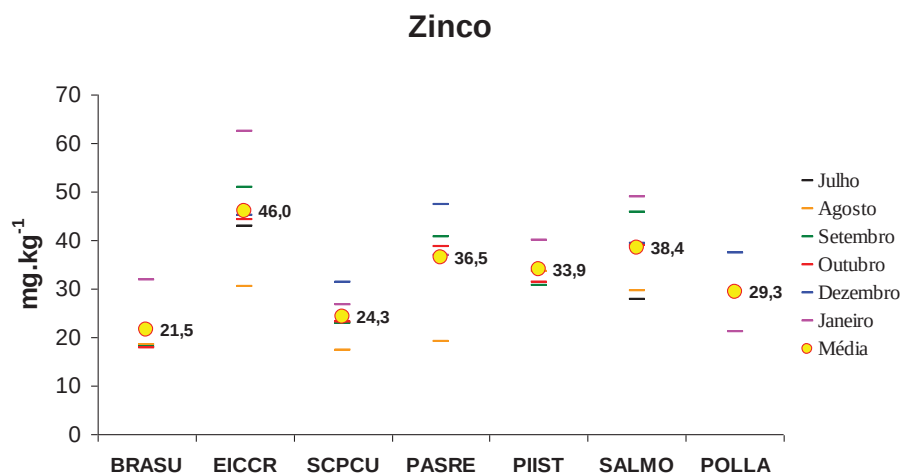


Figura 16. Concentrações de zinco determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

S. molesta foi a macrófita que apresentou a maior variação das concentrações de cromo no período de observações, desde 4,7 mg.Kg⁻¹ até julho até 18,6 mg.Kg⁻¹ em setembro de 2009 (Figura 18). Este último valor foi o mais elevado entre todas as

macrófitas e época de observações. O menor valor foi observado para *P. lapathifolium* na avaliação de janeiro de 2010 (0,1 mg.Kg⁻¹). Na média geral do período, a concentração de cromo em *E. crassipes* sobrepujou o valor de *S. molesta* (13,9 mg.Kg⁻¹ contra 12,8 mg.Kg⁻¹). Os valores de concentração de cromo na macrófitas aquáticas avaliadas foram muito menores que o valor limite estabelecido para contaminação de fertilizante orgânico (BRASIL, 2010).

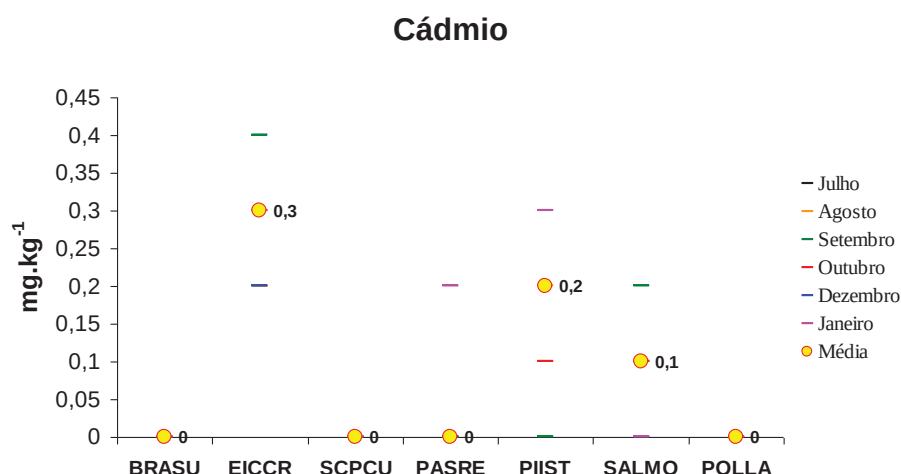


Figura 17. Concentrações de cádmio determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

A maior concentração de chumbo (Figura 19) foi observada na biomassa de *E. crassipes* coletada em janeiro de 2010 (9,3 mg.Kg⁻¹). Em várias amostragens, os valores das concentrações de chumbo estiveram abaixo do limite de detecção dos métodos empregado, como ocorreu com a *B. subquadrifera* nas amostragens de agosto, setembro e outubro de 2009, *P. stratiotes* nas amostragens de setembro e outubro de 2009 e *P. lapathifolium* em janeiro de 2010. Na média geral do período de observações, os maiores valores foram encontrados em *S. molesta* (6,6 mg.Kg⁻¹) e *E. crassipes* (6,4 mg.Kg⁻¹). A legislação do Brasil aceita valores de até 150 mg.kg⁻¹ de chumbo em fertilizantes orgânicos (BRASIL, 2010). Este valor é mais de quinze vezes que as concentrações determinadas para as macrófitas em Aimorés.

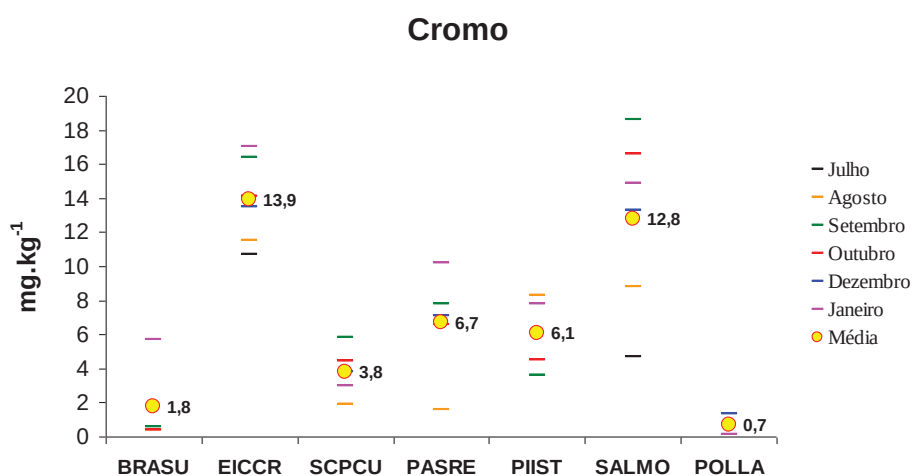


Figura 18. Concentrações de cromo determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

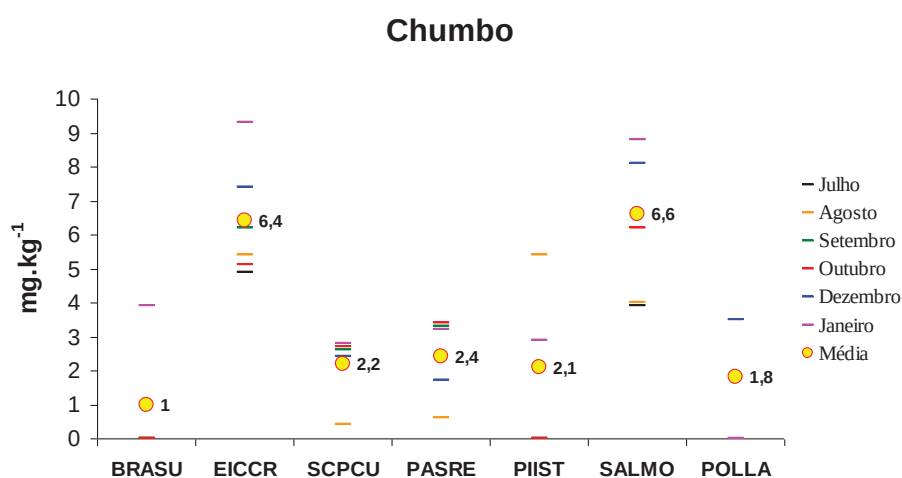


Figura 19. Concentrações de chumbo determinados na macrófitas aquáticas mais freqüentes no reservatório de Aimorés, no período de julho de 2009 a janeiro de 2010.

As diferentes populações de macrófitas aquáticas que infestam o reservatório de Aimorés apresentam diferentes capacidades de acúmulo de nutrientes e metais. O levantamento destes dados de concentração de nutrientes nos tecidos das macrófitas é de suma importância, uma vez que a sustentabilidade que está sendo pesquisada para a medida de

controle adotada pelo consorcio de Aimorés baseia-se na retirada mecânica destas plantas e posterior utilização desta biomassa na recuperação de solo degradado pelas operações da usina. Este é o principal propósito do presente projeto de pesquisa e os resultados mostraram grande capacidade de mobilização de nutrientes da água e a biomassa apresenta níveis de metais pesados muito abaixo da estabelecida na portaria 402/2010 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil.

Os estudos de composição química das macrófitas aquáticas tem se tornado freqüente nas diversas instituições de pesquisa, como pode ser observado na revisão apresentada no início do capítulo. No entanto, aos estudos foram conduzidos em plantas coletadas em sistemas terciários de tratamento de esgoto orgânico. Nestas condições, alta capacidade de acumulo de nutrientes Henry e Camargo (2006) e Martins et al.(2003).

Esta atividade de colheita mecânica constitui uma oportunidade de devolução ao ambiente terrestre de nutrientes que não têm fase gasosa em seu ciclo biogeoquímico como é o caso do fósforo, cálcio e magnésio (ODUM, 1988), elementos extremamente importantes para a produção vegetal e dos quais há deficiência na grande maioria dos solos brasileiros. Caso contrário, estes elementos seriam levados para o oceano, com pequenas chances de retorno. Esta observação é extremamente importante na argumentação da sustentabilidade ambiental da colheita mecânica de macrófitas aquáticas, como a praticada no reservatório de Aimorés.

Outro aspecto muito importante na argumentação da sustentabilidade deste processo é a retirada de nutrientes e metais pesados que estava eutrofizando ou contaminando o corpo hídrico, reduzindo a poluição da água.

Assim esta biomassa também pode ser utilizada na adubação de culturas. Sampaio e Oliveira (2005) que observaram que adubações com *E. densa* e esterco incorporaram grande quantidade de nutrientes ao solo e resultaram em produção de grãos de milho. Em média, as produções em solo adubado com *E. densa* foi maior que o adubado com esterco de curral, sem diferenças significativas entre doses, possivelmente porque a massa de *E. densa* libera nutrientes mais rapidamente.

Os resultados desta avaliação das composições químicas mostram grande potencial na utilização da biomassa de macrófitas na fertilização de solo e a etapa

seguinte foi analisar os efeitos de incorporações da biomassa destas plantas sobre as propriedades físicas e químicas utilizadas na avaliação da fertilidade de solos agrícolas.

6.3. Efeitos da incorporação da biomassa de macrófitas aquáticas sobre as propriedades químicas de solo degradado.

Os dados das características físicas e químicas do solo foram analisados e os resultados das análises de variância (Tabelas 03 e 04) indicaram que **(i)** houve influência diferencial das espécies de macrófitas aquáticas sobre as características do solo analisadas, com exceção das concentrações de boro e ferro no segundo experimento, quando foram comparadas *E. crassipes*, *P. repens*, *P. lapathifolium* e *S. molesta*; **(ii)** houve efeito diferencial da dose de incorporação da biomassa, com exceção dos micronutrientes Fe, Mn e Zn quando foram comparadas *B. subquadripa*, *P. stratiotes* e *O. cubense* e **(iii)** houve interação entre as duas variáveis (espécie e dose) para as características do solo, com exceção das concentrações de matéria orgânica e P nos dois ensaios e de B, Fe e Zn no segundo. A interação significativa indica que o efeito das doses foi diferente dependendo da espécie incorporada no solo ou que as espécies influenciaram de modo diferente, dependendo da dose de incorporação.

As concentrações de matéria orgânica (Tabelas 05 e 06) no solo foram superiores na média dos tratamentos com *S. molesta* em relação à *E. crassipes* e *P. repens* e as concentrações no solo incorporado com *B. subquadripa* e *O. cubense* foi superior que recebeu *P. stratiotes*. Comparando as doses como variáveis principais observa-se efeito significativamente crescente no primeiro ensaio e houve similaridade estatística apenas entre as doses subsequentes no segundo. Na média geral, foram necessárias doses de 7,5 e 10 t.ha⁻¹ para que este incremento fosse significativo, independente da espécie de macrófita aquática.

Tabela 03 - Valores de F obtidos nas análises de variância dos dados referentes às características químicas do solo degradado que receberam incorporações de diferentes quantidades de biomassa de *Brachiaria subquadriflora*, *Oxyscarium cubense* e *Pistia stratiotes*. Experimento 01

Fator de Variação	M. O.		P		pH		K		Ca		Mg		H+Al	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Espécie (E)	9,60	<0,01	19,68	<0,01	32,30	<0,01	139,88	<0,01	678,64	<0,01	966,47	<0,01	290,18	<0,01
Dose (D)	12,14	<0,01	3,10	0,04	11,46	<0,01	354,10	<0,01	74,58	<0,01	143,89	<0,01	28,73	<0,01
Interação D x E	1,96	0,10	1,93	0,10	14,57	<0,01	265,41	<0,01	54,35	<0,01	69,76	<0,01	9,09	<0,01

Fator de Variação	SB		CTC		V%		B		Fe		Mn		Zn	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Espécie (E)	706,01	<0,01	564,63	<0,01	841,15	<0,01	94,21	<0,01	10,79	<0,01	129,57	<0,01	8,57	<0,01
Dose (D)	138,60	<0,01	122,34	<0,01	151,90	<0,01	10,45	<0,01	1,01	0,40	2,72	0,06	2,73	0,06
Interação D x E	77,14	<0,01	78,29	<0,01	35,08	<0,01	6,87	<0,01	1,94	0,10	5,85	<0,01	3,92	<0,01

Valores de p inferiores a 0,05 e 0,01 indicam significância estatística aos níveis de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 04- Valores de F obtidos nas análises de variância dos dados referentes às características químicas do solo degradado que receberam incorporações de diferentes quantidades de biomassa de *Eichhornia crassipes*, *Paspalum repens*, *P. lapathifolium*, *Salvinia molesta*. Experimento 02

Fator de Variação	M. O.		P		pH		K		Ca		Mg		H+Al	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Espécie (E)	5,11	<0,01	9,08	<0,01	63,09	<0,01	114,68	<0,01	79,12	<0,01	162,60	<0,01	271,00	<0,01
Dose (D)	154,82	<0,01	5,54	<0,01	6,71	<0,01	169,99	<0,01	92,31	<0,01	451,51	<0,01	98,20	<0,01
Interação D x E	1,40	0,21	2,00	0,06	6,36	<0,01	10,32	<0,01	8,27	<0,01	19,29	<0,01	17,13	<0,01

Fator de Variação	SB		CTC		V%		B		Fe		Mn		Zn	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Espécie (E)	133,906	<0,01	91,23	<0,01	207,54	<0,01	2,03	0,12	2,05	0,12	673,47	<0,01	77,08	<0,01
Dose (D)	343,502	<0,01	297,61	<0,01	387,07	<0,01	0,52	0,67	1,22	0,31	86,85	<0,01	45,08	<0,01
Interação D x E	14,703	<0,01	14,65	<0,01	5,02	<0,01	1,54	0,16	0,81	0,61	22,37	<0,01	1,90	0,08

Valores de p inferiores a 0,05 e 0,01 indicam significância estatística aos níveis de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 05 - Valores da concentração de matéria orgânica no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA	SALMO	Média
	g .Kg ⁻¹				
2,5	8,75 b r	8,75 c r	9,00 b r	9,00 c r	8,88 d
5,0	10,25 b r	10,00 bc r	10,50 b r	10,50 bc r	10,31 c
7,5	12,50 a rs *	12,00 b r *	14,25 a r *	12,50 b rs *	12,81 b *
10	14,00 a r *	15,00 a r *	16,00 a r *	14,75 a r *	14,94 a *
Média	11,38 s *	11,44 * s	11,69 rs*	12,44 r*	
Testemunha	7,00				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b, c, d comparam as doses de incorporação, as letras r, s, t, u comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 06 - Valores da concentração de matéria orgânica no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	g. Kg ⁻¹			
2,5	9,75 a r	8,00 b r	8,00 a r	8,58 c
5,0	10,00 a r	10,75 ab r *	8,50 a r	9,75 bc
7,5	11,00 a r *	14,25 a r *	9,75 a r	11,67 ab *
10	14,00 a r *	14,25 a r *	10,00 a r	12,75 a *
Média	11,19 r *	11,81 r *	9,06 s	
Testemunha	7,00			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b, c, d comparam as doses de incorporação, as letras r, s, t, u comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Efeitos positivos da incorporação de biomassa da macrófitas aquáticas sobre o teor de matéria orgânica foram verificados para *E densa* (PITELLI, 2003), *Azolla filiculoides* (POLETTTO, 1984), *E. crassipes* (PARRA, 1973; ARAÚJO, 1982; PITELLI, 2003; ROSA, 2004; ANTUNES, 2004), *B. mutica* (ROSA, 2004). Macedo (2004) incorporou biomassa de *E densa* e de *S. montevidensis* em solo de pastagem degradada e não observou efeitos sobre o teor de matéria orgânica, provavelmente devido à contribuição do denso sistema radicular das gramíneas forrageiras. A matéria orgânica é fundamental para a

agregação do solo, sua capacidade de retenção de umidade e capacidade de retenção de cátions, sendo muito importante na recuperação de áreas degradadas. Segundo Kitamura et al (2008) a adição de várias fontes de material orgânico tem sido utilizada com o objetivo de melhorar as propriedades do solo.

Ainda considerando o desdobramento das variáveis principais, com exceção de *P. stratiotes*, todas as macrófitas elevaram significativamente o teor de matéria orgânica no solo em relação à testemunha, mas apenas das doses de 7,5 e 10,0 t.ha⁻¹ foram suficientes para promoção deste efeito. Na testemunha, o teor de matéria orgânica pode ser considerado ‘muito baixo, segundo os padrões para fertilidade do solo. Com a adição de 7,5 e 10 t.ha⁻¹ mudou o status para ‘baixo’, o que indica que há oportunidade para adição de mais biomassa na mesma área.

O desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos mostrou que, com exceção dos solos que receberam incorporação de *P. stratiotes* e *B. subquadrifida*, houve efeitos crescentes no teor de matéria orgânica com o aumento da biomassa adicionada. Mesmo assim, para as doses de 7,5 e 10,0 t.ha⁻¹ o solo que recebeu *B. subquadrifida* apresentou valores superiores à testemunha. Este comportamento estatístico foi o mesmo para as outras espécies que responderam à adição de biomassa e, apenas para *O. cubense* houve efeito significativo para a incorporação de 5,0 t.ha⁻¹ em relação à testemunha.

Comparando as espécies dentro de cada dose de biomassa, não se observam diferenças significativas em qualquer das doses testadas, em ambos os experimentos. É interessante destacar nestes resultados que, dentro de cada quantidade incorporada, não foi importante a espécie de macrófita e todas promoveram os efeitos de maneira similar, sendo as diferenças promovidas apenas pelas doses de incorporação. Este resultado é interessante, pois quando o objetivo é aumentar a concentração de matéria orgânica do solo para alteração das propriedades físicas, a espécie é pouco relevante.

Na comparação das variáveis principais em relação à concentração de fósforo no solo (Tabelas 07 e 08) são observadas diferenças estatisticamente significativas entre espécies nos dois experimentos. No primeiro, a concentração de P foi maior no solo que recebeu *E. crassipes*, *P. repens* e *P. lapathifolium*, em relação ao que recebeu *S. molesta*. No segundo experimento os valores observados nas amostras com *P. stratiotes* foram maiores que os determinados para *B. subquadrifida* e *O. cubense*. O efeito de dose como variável principal

apenas foi observado no primeiro experimento, com valores significativamente superiores apenas nas doses de 7,5 e 10,0 t.ha⁻¹, em relação às duas menores. Na comparação das variáveis principais com a testemunha, os efeitos foram significativos apenas no segundo experimento com os valores observados para solo que receberam *B. subquadripa* e *O. cubense* sendo inferiores ao valor determinado para a testemunha, o mesmo ocorrendo para todas as doses de incorporação.

Tabela 07 - Valores da concentração de fósforo no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA	SALMO	Média
	mg kg ⁻¹				
2,5	1,50 a r	1,25 a r	1,00 b r	1,00 a r	1,19 b
5,0	1,25 a r	1,25 a r	2,25 ab r *	1,00 a r	1,44 b
7,5	2,25 a r *	1,50 a r	2,50 a r *	1,00 a r	1,81 a
10	1,75 a r	2,00 a r	2,25 ab r *	1,25 a r	1,81 a
Média	1,75 a r	1,50 r	2,00 r	1,06 s	
Testemunha	1,50				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b, c, d comparam as doses de incorporação, as letras r, s, t, u comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 08 - Valores da concentração de fósforo no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mg. dm ⁻³			
2,5	1,00 a r *	1,18 a r *	2,75 a r	1,64 a *
5,0	1,50 a r *	0,85 a r *	2,50 a r	1,62 a *
7,5	2,50 a r	0,85 a r *	2,75 a r	2,03 a *
10	1,50 a s *	2,18 a rs *	3,75 a r	2,48 a *
Média	1,63 s *	1,26 s *	2,94 r	
Test	3,75			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b, c, d comparam as doses de incorporação, as letras r, s, t, u comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Estes resultados são de difícil explicação, uma vez que a literatura sobre o assunto gerada no Brasil mostrou efeitos positivos da incorporação de macrófitas ao solo sobre as concentrações de P, podendo ser citadas *E. crassipes* (PARRA, 1975; ARAUJO,

1982; POLETO, 1984; PITELLI, 2003, ANTUNES, 2004 E CLEMENTE, 2004), *E. densa* (PITELLI, 2003; MACEDO, 2004). Embora Rosa (2004) também não tenha observado efeitos positivos da incorporação de *E. crassipes* e *B. mutica* sobre as concentrações de P em solo degradado. Esta relação entre incorporação de macrófitas e disponibilidade de P deve ser mais bem estudada, uma vez que os métodos analíticos determinam a concentração de P lábil e não de P total. É possível que as macrófitas interfiram na fixação deste elemento uma vez que as quantidades incorporadas são expressivas.

No primeiro experimento, o desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos mostrou que apenas houve efeito de doses para *P. lapathifolium*, porém sem uma tendência estatística definida com o aumento da quantidade incorporada. Em qualquer dose, não houve diferença significativa entre as espécies avaliadas. Comparando com o valor da testemunha, houve elevação significativa da concentração de P com a incorporação de *E. crassipes* na dose de 7,5 t.ha⁻¹ e de *P. lapathifolium* nas três maiores doses.

No segundo experimento houve efeito negativo da incorporação das macrófitas aquáticas *B. subquadripara* e *O. cubense* na concentração de P quando comparado com a testemunha. Como variável principal, as espécies *B. subquadripara* e *O. cubense* alteraram negativamente as concentrações de P em relação à *P. stratiotes* e também diferiram significativamente da testemunha. Não foi observado efeito de dose de incorporação como variável principal e, em todas as quantidades incorporadas, a concentração de P foi menor que na testemunha.

O desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos neste segundo experimento não evidenciou efeito de dose para qualquer macrófita avaliada e a comparação entre espécies apenas mostrou diferença significativa nos tratamentos com incorporação de 10,0 t.ha⁻¹. Nesta condição a concentração de P no solo que recebeu incorporação de *P. stratiotes* foi superior à com *B. subquadripara*. Comparando a testemunha, os valores observados para todas as doses de *O. cubense* e para 2,5; 5,0 e 10,0 t.ha⁻¹ de *B. subquadripara* foram inferiores à da testemunha sem qualquer incorporação de macrófitas.

Apenas *P. lapathifolium* influenciou positivamente a concentração deste elemento no solo em relação à testemunha. Os concentrações, mesmo onde houve incorporação de elevadas doses de macrófitas, podem ser considerados ‘muito baixos’ segundo os padrões adotados para recomendação de adubação em solos, inclusive para

espécies florestais que são menos exigentes no suprimento deste elemento. Os dados apresentados na Tabela 04 mostram que, dentre os macronutrientes, o fósforo foi o elemento encontrado em menores quantidades nas macrófitas avaliadas.

O pH do solo foi elevado pela incorporação de macrófitas aquáticas em ambos os experimentos. Na análise das variáveis principais do fatorial houve diferença na influência das macrófitas sobre esta característica do solo (Tabelas 09 e 10). No primeiro experimento, todas as espécies afetaram de forma diferencial o pH do solo na seguinte sequência decrescente de valores *P. lapathifolium* > *E. crassipes* > *P. repens* > *S. molesta*. No segundo, este comportamento estatístico também foi observado e a sequência foi *B. subquadripara* > *P. stratiotes* > *O. cubense*. Os valores de pH nos solos que recebera incorporações *E. crassipes*, *P. repens*, *P. lapathifolium*, *B. subquadripara* e *P. stratiotes* foram maiores que a testemunha. Apenas *S. molesta* e *O. cubense* não logram alterar o pH do solo na médias das doses. Efeitos positivos sobre do pH do solo haviam sido observados com as incorporações de *E. crassipes* (PITELLI, 2003; ANTUNES, 2004; ROSA, 2004; CLEMENTE, 2004), *E. densa* (PITELLI, 2003) e *B. mutica* (ROSA, 2004). No entanto, Macedo (2004) não observou efeitos da incorporação de *E. densa* e *S. montevidensis* sobre o pH de sol coletado sob pastagem degradada.

A dose de incorporação como variável principal mostrou similaridade estatística apenas entre doses subseqüentes no segundo experimento e, no primeiro, as doses de 7,5 e 10,0 t.ha⁻¹ aumentaram o valor do pH em relação à menor quantidade incorporada. Nos dois experimentos, todas as doses apresentaram valores estatisticamente superiores à testemunha, com exceção de 2,5 t.ha⁻¹ no segundo ensaio.

No desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos se observa que para as macrófitas *P. repens*, *P. lapathifolium*, *S. molesta*, *B. subquadripara* e *O. cubense* não houve efeito da dose de incorporação no valor do pH do solo. Para *E. crassipes* as três maiores doses diferiram estatística da dose de 2,5 t.ha⁻¹, mas não diferiram entre si. Para *P. stratiotes* as três maiores também foram maiores que a menor dose, mas, dentro destas, houve similaridade estatística entre doses subseqüentes

No primeiro experimento avaliando as espécies dentro de cada dose de biomassa foi possível observar que, para todas as macrófitas, os maiores valores de pH foram observados com a incorporação de *P. lapathifolium*. Nas três maiores dose houve similaridade

estatística desta macrófita com *E. crassipes* e ambas proporcionaram valores de pH superiores aos verificados para *P. repens* e *S. molesta*. Os valores observados para o solo que recebeu estas duas últimas não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 09 - Valores médios do pH do solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA	SALMO	Média
	pH				
2,5	5,63 b t	6,13 a r s t *	6,63 a r *	5,80 a s	6,04 b *
5,0	6,53 a r *	5,83 a s	6,68 a r *	5,70 a s	6,18 ab *
7,5	6,78 a r *	5,95 a s *	6,85 a r *	5,75 a s	6,33 a *
10	6,85 a r *	6,00 a s *	7,03 a r *	5,68 a s	6,39 a *
Média	6,44 s *	5,98 t *	6,79 r *	5,73 u	
Testemunha	5,40				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b, c, d comparam as doses de incorporação, as letras r, s, t, u comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 10 - Valores do pH no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
2,5	6,13 a r *	5,88 a r s *	5,40 c s	5,80 c
5,0	6,10 a r *	5,70 a s	5,93 b r s *	5,91 bc *
7,5	6,15 a r *	5,70 a s	6,28 ab r *	6,04 ab *
10	6,25 a r *	5,70 a s	6,43 a r *	6,13 a *
Média	6,16 r *	5,74 t	6,01 s *	
Test	5,43			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

No segundo experimento, nas doses de 5,0; 7,5 e 10,0 t.ha⁻¹ houve similaridade estatística entre os valores de pH observados para os solos que receberam *P. stratiotes* e *B. subquadrifera* e os dois foram estatisticamente superiores ao valor determinado para *O. cubense*. Na menor dose o pH dos solos que receberam as incorporações de *B. subquadrifera* e *O. cubense* foram superiores ao que recebeu *P. stratiotes*.

Realmente houve diferença entre as espécies na influência sobre o pH do solo e esta diferença dependeu da quantidade de biomassa incorporada ao solo degradado.

Entretanto é interessante ressaltar que os efeitos foram positivos elevando os valores. Considerando o Boletim 100 do Instituto Agrônomo da Campinas, a acidez pode ser considerada ‘média’ na testemunha e as incorporações das macrófitas aquáticas elevaram os valores de pH para os níveis de acidez ‘baixa’ e até ‘muito baixa’, o que será favorável ao crescimento das plantas.

As concentrações de H+Al proporcionam uma estimativa da acidez potencial do solo e os resultados da análise estatística dos valores determinados no presente trabalho estão apresentados nas Tabelas 11 e 12 para os primeiro e segundo experimentos, respectivamente.

Considerando as espécies de macrófitas aquáticas como variáveis principais observa-se que no primeiro experimento a maior redução da acidez potencial ocorreu com a incorporação de *P. lapathifolium*, seguido de *E. crassipes* e, depois, *P. repens*. A média da concentração de H+Al para estas três espécies foram significativamente inferiores a da testemunha. No segundo experimento, *P. stratiotes* foi a espécie que promoveu maior redução da acidez potencial, seguida de *B. subquadrifida* e, a seguir, *O. cubense*. É importante recordar que *P. stratiotes* foi a macrófita que apresentou os maiores concentrações de K, Ca e Mg, dentre todas as estudadas e este fato pode explicar os resultados de sua incorporação no solo. Para as três espécies, os valores médios foram estatisticamente inferiores à testemunha. A redução da acidez potencial também foi observada para as incorporações de *E. crassipes* (PARRA, 1975; PITELLI, 2003, ANTUNES, 2004), *E. densa* (PITELLI, 2003).

Quando foi analisada a dose como variável principal observou-se que todas elas reduziram a acidez potencial em relação à testemunha, em ambos os experimentos. Na medida em que a dose foi sendo aumentada houve redução na concentração de H+Al. As diferenças foram estatisticamente significativas entre todas as doses no primeiro experimento. No segundo, a dose de 2,5 t.ha⁻¹ promoveu menor redução em relação às demais e entre as três maiores, houve similaridade entre as subsequentes.

Tabela 11 - Valores da acidez potencial (H+Al) no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA	SALMO	Média
	mmol _c dm ³				
2,5	13,00 a s *	13,00 a s *	12,50 a s *	14,50 a r	13,25 a *
5,0	12,00 b t *	13,00 a s *	11,00 b u *	15,00 a r	12,75 b *
7,5	11,00 c s *	13,00 a r *	10,50 bc s *	13,00 b r *	11,88 c *
10	10,00 d s *	13,00 a r *	10,00 c s *	13,00 b r *	11,50 d *
Média	11,50 t *	13,00 s *	11,00 u *	13,88 r	
Testemunha	14,50				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 12 - Valores da acidez potencial (H+Al) no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mmol _c /dm ³			
2,5	13,00 a r	13,00 a r	10,75 a s *	12,25 a *
5,0	12,00 b s *	13,00 a r	10,50 a t *	11,83 ab *
7,5	12,00 b s *	13,00 a r	9,25 b t *	11,42 b *
10	11,00 c s *	13,00 a r	8,50 c t *	10,83 c *
Média	12,00 s *	13,00 t *	9,75 r *	
Test	14,0			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

O desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos evidenciou que para *P. repens* e *O. cubense* não houve diferença estatística entre os valores observados nas doses testadas. Para *E. crassipes* a redução da concentração de H+Al foi significativamente reduzida a cada dose de incorporação; para *S. molesta* e *P. stratiotes* houve diferença entre as duas maiores e as duas menores doses; e para *P. lapathifolium* e *B. subquadripara* houve similaridade apenas entre as duas doses intermediárias.

Na comparação entre as espécies dentro de cada dose, no primeiro experimento se observa que nas duas menores doses *S. molesta* apresentou o maior valor da concentração de H+Al e foi estatisticamente superior às demais. Nas duas maiores doses de

biomassa houve similaridade estatisticamente entre os valores observados para *S. molesta* e *P. repens*. As demais espécies reduziram a acidez potencial do solo. No segundo experimento, os maiores valores da concentração de H^+Al foram observados no solo que recebeu a incorporação de *O. cubense* e apenas na menor dose foi estatisticamente similar ao solo que recebeu *B. subquadrifolia*; nas restantes foi superior às demais espécies. A redução da acidez potencial proporcionada por *P. stratiotes* foi superior às demais espécies em todas as doses de incorporação de biomassa, provavelmente pelos elevados concentrações de cálcio e magnésio observado para esta planta.

As concentrações de potássio no solo foram expressivamente aumentadas pela incorporação das macrófitas aquáticas no solo degradado (Tabelas 13 e 14). Todas as macrófitas avaliadas elevaram expressivamente as concentrações de K no solo. Considerando as plantas aquáticas como variáveis principais, houve diferença estatisticamente significativa nas comparações entre todas as espécies em ambos os ensaios. No primeiro experimento a ordem decrescente de magnitude dos valores da concentração de K foram *P. repens* > *P. lapathifolium* > *E. crassipes* e *S. molesta*. Dentre estas espécies, apenas *S. molesta* não diferiu estatisticamente da testemunha. No segundo experimento, a ordem decrescente foi *B. subquadrifolia* > *P. stratiotes* > *O. cubense*. É interessante ressaltar que, nos dois experimentos, as gramíneas foram as macrófitas que mais influenciaram as concentrações de potássio no solo, quando comparadas com as outras espécies. A comparação das doses com variáveis principais houve diferença estatística entre todas as médias e apenas a dose de 2,5 t.ha⁻¹ não incrementou significativamente o teor de K em relação à testemunha.

Efeitos positivos sobre a concentração de potássio no solo com a incorporação da biomassa de plantas aquáticas foram observados por vários autores, destacando-se estudos realizados com *E. densa* (PITELLI, 2003; MACEDO, 2004), *B. mutica* (ROSA, 2004), *S. montevidensis* (MACEDO, 2004), *A. filiculoides* (POLETO, 1984) e *E. crassipes* (ARAUJO, 1982; POLETO, 1984; PITELLI, 2003; ROSA, 2004; ANTUNES, 2004).

O desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos mostrou que houve diferença entre todas as doses para *P. lapathifolium*, *B. subquadrifolia*, *O. cubense* e *P. stratiotes*. Para *E. crassipes* e *P. repens* houve similaridade estatística entre as duas maiores

doses e para *S. molesta* entre as três maiores. Para esta última macrófita também houve similaridade entre as três primeiras doses.

Tabela 13- Valores da concentração de potássio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA	SALMO	Média
	mmol _c .dm ⁻³				
2,5	3,30 b r	5,83 c r	4,88 d r	2,48 b r	4,12 d
5,0	6,50 b s	9,63 b r *	8,83 c r *	4,25 ab s	7,30 c *
7,5	10,40 a s *	19,05 a r *	13,60 b s *	5,50 ab t	12,14 b *
10	12,35 a s *	18,38 a r *	18,00 a r *	7,08 a t *	13,95 a *
Média	8,14 t *	13,22 r *	11,33 s *	4,83 t	
Testemunha	1,50				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 14 - Valores da concentração de potássio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mmol _c /dm ³			
2,5	4,65 d r	3,25 d s	3,83 d s	3,91 d
5,0	8,45 c t *	5,23 c r	7,58 c s *	7,08 c *
7,5	12,23 a r *	7,50 b s *	10,73 b r *	10,15 b *
10	13,98 a r *	9,13 a t *	12,75 a s *	11,95 a *
Média	9,82 r *	6,28 t *	8,72 s *	
Testemunha	1,68			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Comparando as espécies dentro de cada dose de biomassa incorporada, no primeiro experimento houve similaridade das médias observadas para as quatro macrófitas na menor dose. Na dose de 5,0 t.ha⁻¹, o valor da concentração de K no solo que recebeu *S. molesta* foi estatisticamente inferior aos que receberam as outras espécies. Na aplicação de 7,5 t.ha⁻¹, o valor no solo com *P. repens* foi estatisticamente superior aos que receberam as demais espécies e na maior dose foi similar ao que recebeu *P. lapathifolium*.

No segundo experimento, na menor dose a concentração de K foi maior no solo incorporado com *B. subquadripa* em relação às demais. Na dose de 5,0 t.ha⁻¹, a concentração em *O. cubense* foi maior que nas demais espécies; Na dose de 7,5 t.ha⁻¹, os concentrações observados em *P. stratiotes* e *B. subquadripa* foram similares e superiores à *O. cubense*, mas na maior dose o valor observado para *B. subquadripa* foi superior às demais espécies.

Na testemunha, o nível de potássio no solo original foi considerado ‘baixo’. Nos tratamentos que receberam *P. repens* e *P. lapathifolium* no primeiro experimento e *B. subquadripa*, *O. cubense* e *P. stratiotes*, no segundo, os concentrações passaram a ser considerados ‘muito altos’, de acordo com o Boletim 100 do IAC.

As concentrações de cálcio no solo também foram aumentadas pela incorporação das macrófitas aquáticas (Tabelas 15 e 16). No primeiro experimento, a comparação das espécies como variáveis principais mostrou que as concentrações observadas no solo que recebeu *E. crassipes* e *P. lapathifolium* foram estatisticamente superiores às do solo que recebeu *P. repens* ou *S. molesta*.

Tabela 15 - Valores da concentração de cálcio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA mmol _c .dm ⁻³	SALMO	Média
2,5	4,00 c r	3,25 b r	5,25 c r	2,75 b r	3,81 d
5,0	8,75 b r *	3,50 b s	6,50 c rs *	5,00 ab s	5,94 c *
7,5	12,25 a r *	5,25 ab s	11,00 b r *	5,00 ab s	8,38 b *
10,0	14,50 a r *	7,00 a s *	15,00 a r *	6,75 a s *	10,81 e *
Média	9,88 r *	4,75 s	9,44 r *	5,60 s *	
Testemunha	2.00				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 16- Valores da concentração de cálcio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mmol _c /dm ³			
2,5	2,25 a s	3,75 a s	7,25 d r	4,42 d
5,0	3,00 a s	3,00 a s	14,50 c r *	6,83 c
7,5	3,00 a s	3,75 a s	21,75 b r *	9,50 b
10	4,25 a s	4,00 a s	26,50 a r *	11,58 a *
Média	3,13 s	3,63 s	17,50 r *	3,50
Test	3,50			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

No segundo experimento, a concentração de Ca no solo com *P. stratiotes* foi estatisticamente maior que naqueles que receberam *B. subquadripara* e *O. cubense*. Para ambos os experimentos, a análise da dose como variável principal mostrou que todas promoviam valores de concentração de Ca estatisticamente diferentes, sempre crescendo com o aumento da quantidade de biomassa incorporada.

Vários autores já haviam relatado efeitos positivos da incorporação de macrófitas aquáticas sobre as concentrações de cálcio no solo, como em *E. crassipes* (ARAÚJO, 1982; POLETO, 1984; PITELLI, 2003; ANTUNES, 2004; CLEMENTE, 2004), *E. densa* (PITELLI, 2003; MACEDO, 2004), *S. montevidensis* (MACEDO, 2004), *A. filiculoides* (POLETO, 1984). Não foi observado efeito da incorporação de *B. mutica* sobre o teor de P no solo (ROSA, 2004);

O desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos mostrou que para *B. subquadripara* e *O. cubense* não houve efeito significativo de doses. No primeiro experimento, as duas maiores doses de *E. crassipes* proporcionaram aumento da concentração de Ca em relação às doses menores; para *P. repens* apenas a dose mais elevada diferiu das duas mais baixas; para *P. lapathifolium* houve diferença entre a dose mais elevada e as três menores e no caso de *S. molesta* apenas houve diferença entre a maior e menor dose na influência do teor de cálcio do solo. Para *P. stratiotes* houve diferença significativa entre todas as doses de incorporação.

Comparando as macrófitas dentro de cada dose se observa no primeiro experimento que não houve diferença entre espécies na dose mais baixa. Para as duas doses mais altas (7,5 e 10,0 t.ha⁻¹) as concentrações de Ca foram maiores nos solos que receberam *E. crassipes* e *P. lapathifolium* em relação aos que receberam as outras duas espécies. Na dose de 5,0 t.ha⁻¹, o solo que recebeu incorporação de *E. crassipes* apresentou maiores valores que os que receberam *S. molesta* e *P. repens*. No segundo experimento, em todas as doses, as concentrações de Ca foram maiores no solo com *P. stratiotes* do que nos que receberam as outras duas espécies.

A concentração de cálcio na testemunha foi considerada ‘média’ e foi significativamente elevado pelas incorporações de *E. crassipes*, *P. lapathifolium*, *S. molesta*, e *P. stratiotes*, para a categoria de concentrações ‘altos’, com destaque para *P. stratiotes* que alterou a concentração deste elemento para 17,5 mmol_c.dm⁻³. (Tabelas 17 e 18) A resposta foi crescente de acordo com a dose de incorporação e acima de 2,5 t.ha⁻¹, as concentrações foram consideradas ‘altas’, nos dois experimentos.

A exemplo dos outros cátions, a incorporação de macrófitas aquáticas elevou os concentrações de magnésio no solo degradado (Tabelas 17 e 18). No primeiro experimento os valores da concentração de Mg obedeceram a seguinte ordem decrescente de valores na comparação estatística: *E. crassipes* = *P. lapathifolium* > *P. repens* > *S. molesta*. Apenas esta última espécie não proporcionou valor estatisticamente superior ao observado para a testemunha. No segundo experimento esta ordem decrescente obedeceu a seguinte sequência: *P. stratiotes* > *B. subquadrifolia* > *O. cubense*. Dentre todas as macrófitas *P. stratiotes* foi a que promoveu maior concentração de Mg no solo, provavelmente devido também ter sido a macrófita com maior teor deste elemento. Em ambos os experimentos, o desdobramento das doses de biomassa com variável principal mostrou diferença estatística entre os valores observados para todas as doses, as quais cresceram com a quantidade incorporada.

Tabela 17 - Valores da concentração de magnésio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA	SALMO	Média
	mmol _c .dm ⁻³				
2,5	2,25 d rs	2,25 d rs	3,00 c r *	1,75 c s	2,31 d
5,0	5,00 c r *	4,00 c r *	4,00 c r *	2,75 bc s	3,94 c *
7,5	7,25 b r *	6,00 b s *	6,75 b rs*	3,00 b t	5,75 b *
10	9,25 a r *	7,75 a s *	9,00 a r *	4,25 a t*	7,56 a *
Média	5,94 r *	5,00 s *	5,69 r *	2,94 t	
Testemunha	1,00				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 18 - Valores da concentração de magnésio no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mmol _c /dm ³			
2,5	2,00 b s	1,25 a s	4,00 d r	2,42 d
5,0	2,00 b s	1,25 a s	8,00 c r *	3,75 c
7,5	3,00 ab s	2,00 a s	12,00 b r *	5,67 b *
10	3,75 a s	2,00 a t	14,50 a r *	6,75 a *
Média	2,69 s	1,63 t	9,63 r *	
Test	1,00			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Elevações das concentrações de Mg em solos que receberam incorporação com macrófitas aquáticas também foram observadas para *E. crassipes* (PARRA, 1975; ARAÚJO, 1982; POLETTTO, 1984; PITELLI, 2003; ANTUNES, 2004), *S. montevidensis* (MACEDO, 2004) e *E. densa* (PITELLI, 2003; MACEDO, 2004).

A análise dos efeitos de doses dentro de cada macrófita mostrou os seguintes comportamentos estatísticos: (i) para *P. stratiotes*, *E. crassipes* e *P. repens* houve diferença significativa entre todas as doses; (ii) para *O. cubense* não houve diferença entre os valores observados para as quatro doses; (iii) para *P. lapathifolium* apenas houve similaridade entre as duas menores doses; (iv) para *S. molesta* a maior dose proporcionou valores

superiores às demais e abaixo dela houve similaridade apenas entre as doses subsequentes e (v) para *B. subquadripara*, as concentrações de Mg observados nas duas doses mais elevadas foram superiores aos observados nas duas mais baixas.

Quando foram comparadas as macrófitas dentro de cada dose observou-se, no primeiro experimento, que na dose de 2,5 t.ha⁻¹ a diferença foi significativa apenas entre os solos que receberam *P. lapathifolium* e *S. molesta*. Na dose de 5,0 t.ha⁻¹ houve similaridade estatística entre *P. lapathifolium*, *E. crassipes* e *P. repens* e todas proporcionaram valores superiores ao promovido pela incorporação da *S. molesta*. Na dose de 7,5 t.ha⁻¹ *E. crassipes* elevou o nível de Mg no solo em relação à *P. repens* e *S. molesta* e na dose de 10 t.ha⁻¹ *E. crassipes* e *P. lapathifolium* foram similares e superiores às outras duas macrófitas.

No segundo ensaio para todas as doses a concentração de Mg no solo que recebeu incorporação de *P. stratiotes* foi estatisticamente maior que as promovidas por *B. subquadripara* e *O. cubense*. Diferença estatística com a testemunha apenas ocorreu para *P. stratiotes* nas três maiores doses.

O comportamento das concentrações de magnésio (Tabelas 17 e 18) foi bastante similar ao observado para o cálcio, especialmente quanto à incorporação de *P. stratiotes*. A única diferença importante do comportamento do solo quanto aos dois elementos foi a influencia de *P. repens*, a qual foi mais acentuada para o magnésio em relação à *S. molesta* e o inverso ocorreu nos concentrações de cálcio. Na testemunha, a concentração de magnésio foi considerada muito 'baixa'. Quando o solo recebeu as incorporações de *E. crassipes*, *P. repens* e *P. lapathifolium* os concentrações passaram a serem considerados 'médios' e no caso de *P. stratiotes* a concentração passou a ser considerada com 'muito alta' (Boletim 100 do IAC).

A soma de bases é a adição dos valores das concentrações de K, Ca e Mg e os resultados observados estão apresentados nas Tabelas 19 e 20. A comparação das macrófitas como variável principal mostra que no primeiro experimento o maior valor da soma de bases foi observado no solo que recebeu a incorporação de *P. lapathifolium*, sendo significativamente maior que os demais valores observados para as outras macrófitas. Os valores observados para *P. repens* e *E. crassipes* foram similares e superiores ao observado para *S. molesta*. Na média das quatro doses, apenas o valor observado para *S. molesta* não foi

estatisticamente superior ao da testemunha. No segundo ensaio apenas o valor observado para o solo com *P. stratiotes* foi estatisticamente superior às das demais plantas e superior ao valor da testemunha, provavelmente porque esta planta apresentou os maiores concentrações dos cátions que entram no cálculo da soma de bases do solo. Entre as outras duas macrófitas não houve diferença quanto ao efeito na soma de bases do solo e nem diferença estatística com a testemunha.

A soma de bases tem sido incrementada pela incorporação de macrófitas aquáticas em vários experimentos conduzidos e publicados, como em *E. crassipes* (ARAÚJO, 1982; POLETO, 1984, PITELLI, 2003; ANTUNES, 2004; CLEMENTE, 2004 ROSA, 2004), *B. mutica* (ROSA, 2004), *E. densa* (MACEDO, 2004; PITELLI, 2003); *S. montevidensis* (MACEDO, 2004).

Comparando os efeitos das doses dentro de cada espécie observa-se que houve diferença significativa entre todas as doses para *E. crassipes*, *P. lapathifolium* e *P. stratiotes*. No solo que recebeu incorporação de *P. repens* houve similaridade entre os valores das duas maiores doses e diferença entre as doses menores. Para *S. molesta* houve similaridade estatística apenas entre doses subsequentes e para *B. subquadripara* este comportamento ocorreu entre as três menores doses, as quais foram inferiores à dose de 10,0 t.ha⁻¹. Para *O. cubense* apenas houve similaridade entre as duas menores e entre as duas maiores doses e os dois grupos diferiram estatisticamente.

Em ambos os experimentos, as médias das doses obtidas no desdobramento das variáveis principais foram crescentes com a quantidade de biomassa incorporada e houve diferença estatisticamente significativa entre todas elas. No primeiro experimento, as três maiores doses produziram médias superiores à da testemunha, mas no segundo ensaio apenas as doses de 7,5 e 10,0 t.ha⁻¹.

Tabela19 - Valores da soma de bases no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA	SALMO	Média
	mmol _c .dm ⁻³				
2,5	9,55 d rs	11,33 c rs	13,13 d r	6,98 c s	10,24 d
5,0	20,25 c r *	17,13 b rs*	19,33 c r *	12,00 bc s	17,18 c *
7,5	29,90 b r *	30,30 a r *	31,35 b r *	13,50 ab s	26,26 b *
10	36,10 a s *	33,13 a s *	42,00 a r *	18,08 a t *	32,33 a *
Média	23,95 s *	22,97 s *	26,45 r *	12,64 t	
Testemunha	3,13				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 20 - Valores da soma de bases no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mmol _c /dm ³			
2,5	8,90 c s	8,25 b s	15,08 d r	10,74 c
5,0	13,45 bc s	9,48 b s	30,08 c r *	17,67 b
7,5	18,23 b s *	13,25 ab s	44,48 b r *	25,32 a *
10	21,80 a r *	15,13 a t	53,75 a r *	25,63 a *
Média	12,14 s	11,53 s	35,84 r *	
Test	4,78			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

No primeiro ensaio, os maiores valores de soma de bases foram observadas no solo que recebeu *P. lapathifolium*, em todas as doses. Nas três primeiras doses, os valores observados neste tratamento foram estatisticamente similares aos observados para *E. crassipes* e *P. repens* e apenas na dose de 10,0 t.ha⁻¹ foi superior às outras duas espécies. Em todas as doses, os menores valores foram observados no solo que recebeu a incorporação de *S. molesta*, sendo sempre inferior à das demais espécies. No segundo experimento sempre foram observados os maiores valores em solo com *P. stratiotes* e apenas na maior dose teve similaridade estatística com *B. subquadrifera*. Nesta dose de 10,0 t.ha⁻¹, o valor observado para *O. cubense* foi estatisticamente o mais baixo entre as três espécies. .

Uma das mais importantes características de fertilidade do solo é a capacidade de troca catiônica (CTC) e reflete a disponibilidade de sítios de adsorção de cátions no solo. Esta disponibilidade permite o solo estocar as bases trocáveis como potássio, cálcio e magnésio e sódio. Na literatura há vários trabalhos mostrando que esta característica física do solo é alterada positivamente pela adição de macrófitas aquáticas (PARRA, 1975; ARAÚJO, 1982; POLETO, 1984, PITELLI, 2003; MACEDO, 2004; ANTUNES, 2004; e CLEMENTE, 2004)

Considerando as macrófitas como variáveis principais (Tabelas 21 e 22), na média geral de todas as doses, *E. crassipes*, *P. repens*, *P. lapathifolium* e *P. stratiotes* produziram valores de CTC estatisticamente maiores que a testemunha. Comparando as espécies no primeiro experimento, os valores observados para *E. crassipes*, *P. repens* e *P. lapathifolium* foram similares e superiores aos observados para *S. molesta*. No segundo experimento os valores obtidos para *P. stratiotes* foram superiores aos determinados para *O. cubense* e *B. subquadripara*.

Tabela 21 - Valores da capacidade de troca catiônica no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA mmol _c .dm ⁻³	SALMO	Média
2,5	22,85 c r	24,63 c r	25,78 d r	21,40 b r	23,66 d
5,0	32,25 b r *	30,43 b rs *	30,13 c rs *	26,80 a s	29,90 c *
7,5	41,00 a r *	43,60 a r *	41,60 b r *	26,80 a s	38,25 b *
10	45,80 a s *	46,43 a rs *	51,70 a r *	31,38 a t *	43,83 a *
Média	35,48 r *	36,27 r *	37,30 r *	26,59 s	
Testemunha			17,55		

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Considerando as médias obtidas para as doses como variáveis principais, em ambos os experimentos, houve diferença significativa entre todas as doses, com valores crescendo na medida em que a quantidade de biomassa incorporada foi maior. No primeiro experimento houve significância estatística na comparação entre as médias das três

maiores doses e a testemunha e para o segundo este comportamento apenas ocorreu para as duas maiores.

O desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos mostrou que para *O. cubense* e *B. subquadripa* o efeito de dose não foi significativo na determinação do valor da CTC, enquanto que para *P. lapathifolium* e *Pistia stratiotes* houve efeito significativo entre todas as doses. Para *E. crassipes* e *P. repens* houve similaridade estatística entre os valores de CTC observados para as duas maiores e diferença entre as demais. Para *S. molesta* houve diferença apenas entre a menor dose e as demais. Comparando com a testemunha, as três maiores doses de *E. crassipes*, *P. repens*, *P. lapathifolium* e *P. stratiotes* apresentaram maiores valores de CTC do solo. Esta diferença com a testemunha apenas foi significativa na dose de 10 t.ha⁻¹ para *S. molesta* e *B. subquadripa*.

Tabela 22 - Valores da capacidade de troca catiônica no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mmol _c /dm ³			
2,5	22,20 a r	21,55 a r	25,60 d r	23,12 d
5,0	25,45 a s	22,78 a s	40,35 c r *	29,53 c
7,5	30,23 d s	26,55 a s	53,43 b r *	36,73 b *
10	38,80 a s *	28,43 a s	62,00 a r *	43,08 a *
Média	29,17 s	24,83 s	45,34 r *	
Test	18,98			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

A comparação das espécies dentro de cada dose de biomassa incorporada evidencia que: (i) na dose de 2,5 t.ha⁻¹ não houve diferença estatística entre os valores proporcionados pelas diferentes espécies, em ambos os ensaios; (ii) em todas as doses, a CTC foi incrementada em maior intensidade por *P. lapathifolium*, no primeiro experimento, e por *P. stratiotes*, no segundo. (iii) nas duas doses intermediárias os valores observados no solo com *P. lapathifolium* foram similares aos determinados para *E. crassipes* e *P. repens*. (iv) na maior dose apenas houve similaridade entre os valores observados para *P. lapathifolium* e

P. repens, os quais foram os mais elevados e (v) no segundo experimento no solo em que foi incorporado *P. stratiotes* a CTC foi maior que para as demais espécies, em qualquer dose.

Comparando com a testemunha sem incorporação de macrófitas as três maiores doses de *E. crassipes*, *P. repens*, *P. lapathifolium* e *P. stratiotes* foram estatisticamente superiores e para *S. molesta* e *B. subquadrifida* apenas na maior dose foi observado este comportamento estatístico.

A incorporação das macrófitas elevou significativamente os valores da CTC, exceto com as incorporações de *S. molesta*, *B. subquadrifida* e *O. cubense*. Nesta análise realizada pelo IAC, a CTC não é determinada diretamente e sim estimada pela soma das bases e da concentração de H^+Al . Assim, os valores foram muito influenciados pelo potássio e podem estar mais subestimados no caso das macrófitas pobres no elemento, como *B. subquadrifida* e *O. cubense*. No entanto, mesmo com estas limitações a CTC foi elevada entre 2 a 3 vezes pela incorporação das macrófitas aquáticas, nas doses de 7,5 e 10,0 t.ha⁻¹. Também é importante frisar que no cálculo do valor da CTC estimada entram os efeitos negativos promovidos pelas macrófitas na concentração de H^+Al , podendo reduzir os efeitos das incorporações de algumas plantas em determinados tipos de solo, como observou Rosa (2004) em solo degradado que recebeu *Eichhornia crassipes* e *B. mutica*.

A saturação de bases reflete a porcentagem da CTC que é ocupada por K, Ca e Mg. Examinando as Tabelas 23 e 24 é possível observar o expressivo aumento da saturação de bases proporcionado pela incorporação das macrófitas. Em todas as situações, espécies e doses, a saturação de bases foi maior que na testemunha, exceto para *O. cubense* na menor dose. Nesta última, de acordo com o Boletim 100, o valor está na categoria 'muito baixa'. As incorporações de *B. subquadrifida*, *O. cubense* e *S. molesta* a elevaram para a categoria 'média' e para as incorporações de *E. crassipes*, *P. repens*, *P. lapathifolium* e, principalmente, *P. stratiotes*, a saturação de bases foi considerada como 'muito alta'.

Tabela 23 - Valores da saturação de bases no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA	SALMO	Média
	%				
2,5	41,75 c s *	45,75 c rs *	50,75 c r *	32,50 c t *	42,69 d *
5,0	63,00 b rs *	56,50 b s *	64,25 b r *	44,75 b t *	57,13 c *
7,5	73,68 a r *	69,50 a r *	75,50 a r *	50,25 b s *	67,23 b *
10	78,75 a r *	71,50 a s *	81,25 a r *	57,25 a t *	72,19 a *
Média	64,29 b *	60,81 c *	67,94 a *	46,19 d *	
Testemunha	17,75				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 24 - Valores da saturação de bases no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	%			
2,5	40,25 c s *	38,00 b s	59,00 c r *	45,75 d *
5,0	53,00 b s *	41,50 b t *	74,75 b r *	56,42 c *
7,5	60,50 a s *	49,75 a t *	83,25 a r *	64,50 a *
10	42,75 c t *	53,25 a s *	86,50 a r *	60,83 b *
Média	49,13 s *	45,63 t *	75,88 r *	
Test	25,75			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Também importante considerar que no cálculo da necessidade de calagem a V% é uma das características determinantes da quantidade de calcário a ser incorporada, Com o aumento da saturação de bases a quantidade de calcário pode ser reduzida.

Considerando as variáveis principais o efeito foi significativo entre todas as doses no primeiro experimento, mas no segundo houve redução entre 7,5 e 10,0 t ha⁻¹ em função do efeito negativo observado em *B. subquadrifera*. No primeiro experimento, a sequência estatisticamente decrescente foi *P. lapathifolium* > *E. crassipes* > *P. repens* *S. molesta* e, no segundo, *P. stratiotes*, *B. subquadrifera* e *O. cubense*. Efeitos positivos na saturação de bases do solo foram observados em *E. crassipes* (PARRA, 1975; POLETTTO,

1984, PITELLI, 2003; ROSA, 2004; ANTUNES, 2004; MACEDO, 2004; CLEMENTE, 2004)

O desdobramento dos graus de liberdade da variável mostrou que , no primeiro experimento, em (i) *E. crassipes* os valores de V% foram estatisticamente similares nas doses de 10,0 e 7,5 t ha⁻¹; (ii) para *P. repens*, *P. lapathifolium* e *P. stratiotes* houve semelhança entre as duas maiores doses e diferença entre as demais; (iii) para *S. molesta* apenas houve similaridade estatística entre as duas doses intermediárias e (iv) para *B. subquadripa* o valor de saturação de bases foi maior na dose de 7,5 t ha⁻¹ que na maior dose, possivelmente devido ao efeito desta última na concentração de H+Al.

Comparando as espécies dentro da cada dose de incorporação, no primeiro experimento, na dose mais baixa os valores observados em *P. lapathifolium* foram estatisticamente superiores à *E. crassipes* e esta superior a *Salvinia molesta*., Na segunda e quarta doses, a Polygonaceae proporcionou valores estatisticamente similares apenas a *E. crassipes* e na terceira dose também se igualou a *P. repens*. No segundo ensaio, *P. stratiotes* sempre proporcionou valores de V% acima das demais espécies quando incorporadas no solo.

Com relação aos micro-elementos boro (Tabelas 25 e 26) e zinco (Tabelas 27 e 28), os valores foram considerados ‘muito baixo’ na testemunha e em todas as situações de incorporação de macrófitas aquáticas envolvendo espécies e doses. Por outro lado, as alterações das concentrações destes elementos provocados pelas macrófitas não podem ser consideradas expressivas. Especificamente para as concentrações de ferro (Figuras 29 e 30), no segundo experimento, a *P. stratiotes* alterou mais expressivamente a concentração do metal no solo. No entanto, é importante destacar que a riqueza de argilas de sesquióxidos de ferro e alumínio neste solo é expressiva e esta alteração provavelmente não produzirá efeitos práticos relevantes.

Tabela 25 - Valores da concentração de boro no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA mg.dm ⁻³	SALMO	Média
2,5	0,12 a r	0,12 a r	0,12 a r	0,12 a r	0,12 a r
5,0	0,12 a r	0,12 a r	0,13 a r	0,12 a r	0,12 a r
7,5	0,12 a r	0,12 a r	0,12 a r	0,12 a r	0,12 a r
10	0,11 a r	0,13 a r *	0,13 a r	0,12 a r	0,12 a r
Média	0,12 a r	0,12 a r	0,12 a r	0,12 a r	
Testemunha	0,12				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Para a concentração de boro no solo, no primeiro experimento não foi verificado qualquer efeito significativo da espécie de macrófita ou da dose de incorporação. No segundo experimento todas as doses aumentaram as concentrações em relação à testemunha para *B. subquadripara* e *P. stratiotes*. No entanto, para *O. cubense* apenas as duas doses mais elevadas foram capazes de elevar significativamente o teor deste elemento. Na média geral, apenas *O. cubense* não alterou a concentração de boro.

Tabela 26 - Valores da concentração de boro no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mg. dm ⁻³			
2,5	0,06 a r *	0,04 ab s	0,06 c r *	0,05 b *
5,0	0,06 a r *	0,03 b s	0,08 bc r *	0,06 b *
7,5	0,06 a s *	0,05 a s *	0,09 ab r *	0,07 a *
10	0,05 a s *	0,05 ab s *	0,11 a r *	0,07 a *
Média	0,06 s *	0,04 t	0,08 r *	
Test	0,03			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Considerando as espécies como variáveis principais, no primeiro experimento, as concentrações de Zn foram similares em *E. crassipes* e *P. lapathifolium* e superiores às observadas em *P. repens* e *S. molesta*. No segundo experimento, houve

similaridade estatística entre *P. stratiotes* e *B. subquadrifida* e ambas foram superiores à *O. cubense*. Elevação nas concentrações de Zn com incorporação de macrófitas foram observadas com *E. crassipes* (ANTUNES, 2004) mas não foram observadas para esta mesma espécie por Rosa, 2004; com *E. densa* (MACEDO, 2004), *B. mutica* (ROSA, 2004) e *S. montevidensis* (MACEDO, 2004).

Tabela 27 - Valores da concentração de zinco no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA mg.dm ⁻³	SALMO	Média
2,5	0,20 b r	0,10 b s *	0,20 c r	0,10 b s *	0,15 d *
5,0	0,28 ab r	0,10 b s *	0,25 bc r	0,13 b s *	0,19 c *
7,5	0,30 a r	0,13 ab s *	0,33 ab r	0,18 ab s *	0,23 b *
10	0,33 a rs	0,20 a t *	0,40 a r	0,25 a st	0,29 a
Média	0,28 b	0,13 a *	0,29 b	0,16 a *	
Testemunha	0,33				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Comparando as doses de incorporação como variável principal, no primeiro experimento houve diferença estatística na comparação entre todas as doses, aumentando a concentração de Zn com a quantidade de macrófita incorporada. No segundo experimento não houve diferença estatisticamente significativa na comparação entre doses.

Comparando os efeitos de espécies dentro de cada dose, no primeiro experimento, observou-se um comportamento estatístico similar para as doses de 2,5; 5,0 e 7,5 t ha⁻¹, nas quais se observou que houve similaridade entre *P. lapathifolium* e *E. crassipes* e ambas foram superiores a *P. repens* e *S. molesta*, tal como aconteceu para a comparação entre espécies como variáveis principais. Na maior dose *E. crassipes* e *P. lapathifolium* suplantaram estatisticamente apenas *P. repens*. No segundo experimento, nas três primeiras doses, houve similaridade estatística entre todas as espécies e na dose de 10,0 t ha⁻¹ as concentrações de zinco em solo adubado com *B. subquadrifida* e *O. cubense* foram superiores ao observado no solo que recebeu *P. stratiotes*.

Tabela 28- Valores da concentração de zinco no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mg. dm ⁻³			
2,5	0,09 b r	0,09 a r	0,10 a r	0,11 a
5,0	0,09 a r	0,15 a r *	0,20 ab r *	0,11 a
7,5	0,14 a r	0,15 ab r *	0,09 a s	0,11 a
10	0,09 b r	0,09 a r	0,15 a r	0,14 a
Média	0,13 r	0,09 s	0,13 r	
Test	0,08			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Quanto as concentrações de ferro não houve efeitos da incorporação das macrófitas, muito embora, as concentrações nas plantas fossem maiores que para outros micronutrientes. A possível explicação para este comportamento está na composição e dinâmica dos solos tropicais com elevado grau de intemperização e com predominância de argilas ricas em sesquióxidos de ferro e alumínio.

Tabela 29 - Valores da concentração de ferro no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA	SALMO	Média
	mg.dm ⁻³				
2,5	2,00 a r	1,50 a r	1,75 a r	1,00 a r	1,56 a
5,0	2,00 a r	1,00 a r	2,00 a r	4,25 a r	2,31 a
7,5	2,00 a r	1,25 a r	2,00 a r	2,00 a r	1,81 a
10	2,50 a r	1,50 a r	2,25 a r	5,00 a r *	2,81 a
Média	2,13 r	1,31 r	2,00 r	3,06 r	
Testemunha	2,75				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

A concentração de manganês foi bastante afetada pelas incorporações de *E. crassipes*, *S. molesta*, *O. cubense* e *P. stratiotes* (Tabelas 31 e 32). Na testemunha, a concentração deste elemento no solo pode ser considerada ‘baixa’, condição padrão que se

manteve para as incorporações de *P. repens*, *P. lapathifolium* e *B. subquadrifida*. Em todas as doses de incorporação e nas demais espécies, a concentração passou a ser considerada ‘média’ de acordo com o Boletim 100 do IAC.

Tabela 30 - Valores da concentração de ferro no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST	Média
	mg. dm ⁻³			
2,5	1,00 a r	1,50 a r	2,50 a r	1,67 a
5,0	1,00 a s	1,00 a s	4,25 a r *	2,08 a
7,5	2,00 a r	1,50 a r	2,75 a r	2,08 a
10	2,50 a r	2,00 a r	2,75 a r	2,42 a
Média	1,63 s	1,50 s	3,06 r *	
Test	1,25			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Analisando as espécies como variáveis principais, se observa, no primeiro experimento, que foi *S. molesta* que e *E. crassipes* que mais elevaram as concentrações de manganês, embora os efeitos da primeira fossem significativamente maiores que o aguapé. Os efeitos de ambas as espécies foram superiores aos de *P. repens* e *P. lapathifolium*. Também salvinia e aguapé foram as macrófitas que proporcionaram valores estatisticamente superiores à testemunha, em todas as doses. No segundo experimento, o efeito de *P. stratiotes* foi significativamente maior que *O. cubense* e *B. subquadrifida*, esta última inferior a todas as demais. Para *P. stratiotes* os valores foram superiores ao da testemunha em todas as doses, enquanto para *O. cubense* esta significância apenas ocorreu na dose de 2,5 t ha⁻¹.

Tabela 31 - Valores da concentração de manganês no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 1.

Dose t.ha ⁻¹	EICCR	PASRE	POLLA mg.dm ⁻³	SALMO	Média
2,5	2,25 b r *	0,53 a s	0,18 b t	2,40 c r *	1,34 d *
5,0	3,65 a r *	0,38 a t	0,25 a t	2,88 c s *	1,79 c *
7,5	3,68 a r *	0,45 a s	0,43 a s	4,18 b r *	2,18 b *
10	4,28 a s *	0,75 a t	0,80 a t	5,73 a r *	2,89 a *
Média	3,46 b *	0,53 c	0,41 c	3,79 a *	
Testemunha	0,40				

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Tabela 32 - Valores da concentração de manganês no solo, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis de espécie de macrófita e dose de incorporação. Experimento 2.

Dose t.ha ⁻¹	BRASU	SCPCU	PIIST mg. dm ⁻³	Média
2,5	1,30 a s	2,35 a rs *	3,13 b r *	2,26 b *
5,0	0,93 a s	1,70 a s	4,93 a r *	2,52 ab *
7,5	1,03 a s	1,63 a s	4,73 a r *	2,46 ab *
10	1,18 a s	1,78 a s	6,08 a r *	3,01 a *
Média	1,11 t	1,86 s *	4,71 r *	
Test	0,63			

Médias acompanhadas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). As letras a, b e c comparam as doses de incorporação, as letras r, s comparam as espécies de macrófitas e a presença do asterisco indica que a média difere estatisticamente da testemunha sem incorporação de biomassa.

Efeitos positivos da adição de macrófitas aquáticas sobre os concentrações de manganês no solo foram observados por Parra, 1975; ANTUNES, 2004 usando *Eichhornia crassipes* e por MACEDO, 2004 utilizando *E. densa* e *S. montevidensis*.

Comparando as doses dentro de cada espécies, não foram observados efeitos significativos em *P. repens*, *O. cubense* e *B. subquadripara*. Para *E. crassipes*, *P. lapathifolium* e *P. stratiotes* os valores observados nas três maiores doses foram superiores à menor. No solo que recebeu incorporação de *S. molesta* apenas houve similaridade estatística entre as duas menores dose.

Na comparação da espécie dentro de cada dose, os comportamentos estatísticos observados no primeiro experimento foram (i) em todas as doses as concentrações de manganês foram maiores em *E. crassipes* e *S. molesta* quando comparado com as outras duas espécies; (ii) na dose de 5,0 t ha⁻¹ a concentração no solo que recebeu *E. crassipes* foi maior que o que recebeu *S. molesta* e o contrário ocorreu na dose de 10,0 t ha⁻¹ ; (iii) com exceção da dose mais baixa, as concentrações de manganês foram similares em solos que receberam *P. repens* e *P. lapathifolium* e (iv) na dose de 2,5 t ha⁻¹ a concentração foi maior quando incorporado *P. repens* .

Os resultados mostram que a adição de macrófitas aquáticas no solo melhorou suas características analisadas para indicação de calagem e adubação e os efeitos nas concentrações de metais pesados não é expressiva. Além disso, há pronunciada diferença entre as espécies, o que é importante para estabilidade de ação de biomassa proveniente de colonizações mistas.

Os resultados também corroboram com a hipótese de sustentabilidade ambiental do processo de colheita mecânica, não só mobilizando nutrientes e metais pesados do corpo hídrico como também utilizando-os nas melhorias da fertilidade do solo.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados, conclui-se que:

- O levantamento da composição específica e colonização de macrófitas aquáticas do reservatório de Aimorés permitiram avaliar as espécies de que apresentam maior biomassa no reservatório, sendo as mais importantes a *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*, *Paspalum repens*, *Polygonum lapathifolium*, *Oxycarium cubense* e *Brachiaria subquadripara*.

- As espécies de macrófitas aquáticas variam na capacidade de extração e acúmulo de nutrientes da água por unidade de biomassa acumulada, destacando-se *P. stratiotes* e *P. lapathifolium* na extração de potássio, cálcio e magnésio e *S. molesta* para micronutrientes. As concentrações de metais pesados na biomassa da macrófitas foram menores que os estabelecidos para fertilizantes orgânicos pela legislação Brasileira.

- As características químicas do solo foram favoravelmente afetadas pela incorporação da biomassa das macrófitas aquáticas e ocorreu grande diferença entre as espécies testadas. Para as concentrações de matéria orgânica não houve expressiva diferença entre espécies, mas para as concentrações de potássio, cálcio, magnésio, cálcio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação de bases houve efeitos positivos mais pronunciados

de *P. stratiotes* e *P. lapathifolium*. Estas mesmas espécies foram as mais efetivas na redução da acidez potencial do solo.

- A incorporação de biomassa de macrófitas aquáticas provenientes de reservatórios em solo degradado pode ser uma opção viável para a sustentabilidade da remoção mecânica de macrófitas aquáticas dos reservatórios.

8. REFERÊNCIAS

ABREU, E.; SEMIDEY, N. Introduction and release of the alligatorweed flea beetle *Agasicles hygrophila* in Puerto Rico. In: AQUATIC MANAGEMENT SOCIETY FORTIETH ANNUAL MEETING, 2000, San Diego. **Abstracts...** San Diego: Aquatic Management Society, 2000. p. 10.

ADEKOYA, B. B. Chemical control of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) at Ere, Ogun State, Nigeria: Implications for aquatic and terrestrial biodiversity conservation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER HYACINTH, 2002, New Bussa. **Proceedings...**New Bussa: National Institute for Freshwater Fisheries Research, 2002. p. 86-98.

ANTUNES, R. F. D. **Efeitos da adição da biomassa seca de *Eichhornia crassipes* sobre algumas propriedades químicas e biológicas de um solo degradado.** 2004. 45 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

ARAUJO, J. C. **Efeitos da incorporação do aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) sobre algumas características químicas de um regossol.** 1982. 31 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1982.

BEZERRA, T. P.; SILVA, C. P.; LOPES, J. P. Utilização da macrófita aquática *Egeria densa* Planchon, 1849 (Hydrocharitaceae) na produção de tijolos para construção civil. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, São Luiz, v. 2, n. 1, p. 114-127, 2007.

CASTRO, R. M. **Estudo comparativo das perdas d'água em mesocosmos colonizados ou não por Aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach)**. 2008. 77 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

CARNWALL, M. et al. Avaliação do impacto da colonização de *Egeria densa* sobre a variação das concentrações de oxigênio dissolvido na água e sobrevivência de *Poecillia reticulata*. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 7, p. 9-13, 2001.

CARVALHO, F. T. et al. Plantas aquáticas e nível de infestação das espécies presentes no reservatório de barra bonita, no Rio Tietê. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, p. 5-19, 2003.

CARVALHO, F. T.; VELINI, E. D.; MARTINS, D. Plantas aquáticas e nível de infestação das espécies presentes no reservatório de Bariri, no Rio Tiete. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, p. 371-374, 2005.

CATARINO, L. F.; FERREIRA, M. T.; MOREIRA, I. S. Preferences of grass carp for macrophytes in Iberian drainage canals. **Journal of Aquatic Plant Management**, Raleigh, v. 36, p. 79-83, 1997.

CAVENAGHI, A. L. et al. Caracterização da qualidade da água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, p. 43-52, 2003.

CERVI, A. C. et al. Aquatic macrophytes at General Carneiro, Paraná State, Brazil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 215-222, 2009.

CLEMENTE, T. B. **Utilização da biomassa de plantas aquáticas no crescimento inicial de mudas de eucalipto**. 2005. 39 p. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

CRUZ, C. B.; SILVA, V. P. Grandes projetos de investimento: a construção de hidrelétricas e a criação de novos territórios. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 181-109, abr. 2010.

EDWARDS, D. J. Weed preference and growth of young grass carp in New Zealand. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, Nova Zelândia, v. 8, p. 341-350, 1974.

EZERI, G. N. O. Effect of Herbicidal Control of Water Hyacinth on Fish Health at the Ere Channel, Ogun State, Nigeria. **Journal of Applied Sciences & Environmental Management**, Port Harcourt, v. 6, p. 49-52, 2002.

FEIJOÓ, C. S. et al. Factors influencing biomass and nutrient content of the submersed macrophyte *Egeria densa* Planch. in a pampasic stream. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 341, n. 1, p. 21-26, dez. 1996.

FORATTINI, O. P. **Entomologia médica**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 1962. v. 1, 666 p.

FORATTINI, O. P. **Entomologia médica**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 1965. v. 3, 506 p.

GALO, M. L. B. T. et al. Uso do sensoriamento remoto orbital no monitoramento da dispersão de macrófitas nos reservatórios do complexo Tietê. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 20, p. 7-20, 2002. (Edição Especial).

GARCIA, R. D. **Efeitos da incorporação de capim carrapicho *Cenchrus echinatus* sobre algumas propriedades físicas e químicas de dois solos**. 1978. 42 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1978.

GOPAL, B. **Water Hyacinth**. Oxford: Elsevier, 1987. 471 p.

GUIMARÃES, J. R. D. et al. Hg methylation and microbial consortium in sediment and periphyton of tropical macrophytes: Effects of different inhibitors. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF MERCURY AS A GLOBAL POLLUTANT, 8^o, Madison, 2006. **Proceedings...** Madison: Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, 2006. p. 6-11

GUIMARÃES, G. L. **Impactos do controle de macrófitas aquáticas com o herbicida 2,4 D em mesocosmos**. 2004. 153 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M. Effects of nutrient concentration on the growth of aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*. In: EWRS INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AQUATIC WEEDS, 11., Moliets et Maâ, 2002. **Proceedings...** Moliets et Maâ: European Weed Research Society, 2002. p. 147-150.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Composição química de macrófitas aquáticas flutuantes utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 21-28, 2006.

HENRY-SILVA, G. G.; MOURA, R. S. T.; DANTAS, L. L. O. Richness and distribution of aquatic macrophytes in Brazilian semi-arid aquatic ecosystems. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 22, n. 2, p. 147-156, 2010.

JUNK, W. J.; NUNES DE MELLO, J. A. S. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 8, p. 123-146, 1990.

KAWAI, H.; GRIECO, V. M. 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**, São Paulo, v. 135, n. 1, p. 79-90, 1983.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. São Paulo: BASF, 1997. Tomo 1, 825p.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. São Paulo: BASF, 1999. Tomo 2, 978 p.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. São Paulo: BASF, 2000. Tomo 3, 726p.

KITAMURA, A. E. et al. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 405-416, 2008.

LALLANA, V. H.; SABATTINI, A.; LALLANA, M. C. Evapotranspiration from *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia herzogii* and *Azolla caroliniana* during summer in Argentina. **Journal of Aquatic Plant Management**, Raleigh, v. 25, p. 48-50, 1987.

LEE, T. A.; HARDY, J.K. Copper uptake by the water hyacinth. **Journal of Environmental Science Health**, Fairfax, v. A22, n. 2, p. 141-160, 1987.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 608 p.

MACEDO, R. R. **Efeito de incorporação de biomassa seca de *Brachiaria arrecta*, *Egeria densa* e *Sagittaria montevidensis* sobre propriedades de um solo sob pastagem degradada.** 2004. 65 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia)–Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

MADSEN, T. V.; SAND-JENSEN, K. The interactive effects of light and inorganic carbon on aquatic plant growth. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 17, p. 955- 962, 1994.

MADSEN, T. V.; HAHN, P.; JOHANSEN, J. Effects of inorganic carbon supply on the nitrogen requirement of two submerged macrophytes, *Elodea canadensis* and *Callitriche cophocarpa*. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 62, n. 2, p. 95-106, out. 1998.

MARCONDES, D. A. S.; TANAKA, R. H. Plantas aquáticas nos reservatórios das usinas hidrelétricas da CESP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., Caxambu, 1997. **Workshop de Plantas Aquáticas...** Viçosa, MG: SBCPD, 1997. p. 2-4.

MARTINS, D. et al. Caracterização química das plantas aquáticas coletadas no reservatório de Salto Grande (Americana – SP). **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, p. 21-25, 2003.

MARTINS, D. et al. Levantamento da infestação de plantas aquáticas em Porto Primavera antes do enchimento final do reservatório. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 27, p. 879-886, 2009.

MAURO, J. B. N.; GUIMARÃES, J. R. D.; MELAMED, R. Aguapé agrava contaminação por mercúrio. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 150, p. 68-71, 1999.

MENENDEZ, M.; SANCHEZ, A. Seasonal variations in P-I responses of *Chara hispida* L. and *Potamogeton pectinatus* L. from stream mediterranean ponds. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 1-15, maio, 1998.

MIRANDA, M. R. et al. Mercúrio em sistemas aquáticos: fatores que afetam a metilação. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 11, p. 240-251, 2007.

MURPHY, K. J. Aquatic weed problems and their management: a review I. The worldwide scale of the aquatic weed problem. **Crop Protection**, Kidlington, v. 7, n. 4, p. 232-244, 1988.

MUSTAFA, A. L. et al. A experiência da CESP no manejo e controle de macrófitas no reservatório da UHE Souza Dias (Jupiá). **Ação Ambiental**, Viçosa, MG, v. 13, n. 43, p. 17-26, 2010.

MIYAZAKI, D. M. Y.; PITELLI, R. A. Estudo do potencial do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) como agente de controle biológico de *Egeria densa*, *E. najas* e *Ceratophyllum demersum*. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, p. 53-59, 2003. Edição especial.

NAKAGAWA, J. Compostagem: obtenção e uso. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO – PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, FCA, 1992. p. 159-187.

NATAL, D.; PAGANELLI, C. H.; SANTOS, J. L. F. Composição da população adulta de *Culex* (*Culex*) quinquefasciatus SAY, 1823 em ecótonos próximos à represa Edgard de Souza, Município de Santana do Paranaíba, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 35, p. 539-43, 1991.

OLALEYE, V. F.; AKINTUNDE, E. A.; AKINYEMIJU, O. A. Effect of herbicidal control of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart.) on fish composition and abundance in Kofawei Creek, Ondo State, Nigeria. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v. 38, p. 85-97, 1993.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Geração de Energia**. Disponível em: http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia_out.aspx?area=. Acesso em: 05 abr. 2011.

PARRA, J. V.; HORTENSTINE, C. C. Plant nutritional content of some Florida water hyacinths and response by pearl millet to incorporation of water hyacinths in three soil types. **Hyacinth Control Journal**, Fort Myers, v. 12, n. 5, p. 85-90, 1974.

PEDRALLI, G. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água: alternativas para usos múltiplos de reservatórios. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**: alternativas para o uso múltiplo da água. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2003. p. 171-188.

PINTO, C. L. R.; CAÇONIA, A.; SOUZA, M. M. Utilization of water hyacinth for removal and recovery of silver from industrial waste water. **Water Science & Technology**, Tampere, v. 19, n. 10, p. 89-101, 1987.

PITELLI, R. A. Macrófitas Aquáticas do Brasil, na condição de problema. In: WORKSHOP CONTROLE DE PLANTAS AQUÁTICAS, 1998, Brasília. **Resumos...** Brasília, DF: IBAMA, 1998. p. 19.

PITELLI, R. L. C. M. et al. Utilização de análise multivariada e redes neurais artificiais na determinação do comportamento de colonização de populações de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 429-439, 2009.

PITELLI, R. L. C. M. et al. Dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana, RJ. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 473-480, 2008.

PITELLI, R. A. et al. Doses e horários de aplicação do Diquat no controle de *Eichhornia crassipes*. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 269-277, 2011.

PITELLI, A. M. C. M. **Efeitos da incorporação de biomassa seca de *Egeria densa* e *Eichhornia crassipes* sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas de um**

solo degradado. 2003. 68f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

PITELLI, R. A.; PITELLI, R. L. C. M. Controle biológico de plantas daninhas na América Latina. In: ALVES, S.B.; LOPES, R.B. (Org.). **Controle microbiano de pragas na América Latina**. Piracicaba: FEALQ, 2008. v. 1, p. 333-350.

PIVARI, M. O.; POTT, V.J.; POTT, A. Macrófitas aquáticas de ilhas flutuantes (baceiros) nas sub-regiões do Abobral e Miranda, Pantanal, MS, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, Feira de Santana, BA, v. 22, n. 2, p. 563-571, 2007.

POLETO, M. C. **Efeitos da incorporação do aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) e da Azolla (*Azolla caroliniana* Willd) sobre algumas características químicas de um Latossolo Vermelho Escuro, Textura Média**. 1984. 53 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1984.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria 402 de 22 de julho de 2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 de julho de 2010. Seção 1, n.140, p. 3.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do pantanal**. Corumbá: EMBRAPA, 2000. 353 p.

PRÍNCIPE, C. R.; KURATANI, H.; MELONI, M. L. B. Impactos da afluência de Elódeas na operação e manutenção da Usina Hidrelétrica Eng. Souza Dias (Jupia) - CESP. In: WORKSHOP PLANTAS AQUÁTICAS, CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997. p. 5-8.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim Técnico, 81).

ROSA, C. S. **Efeitos da incorporação de biomassa seca de *Eichhornia crassipes* e *Brachiaria mutica* sobre propriedade químicas e biológicas de um Latossol Vermelho Escuro, textura média sob uso agrícola.** 2004. 69 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

ROCHA, D. C.; MARTINS, D. Levantamento de plantas daninhas aquáticas no reservatório de Alagados, Ponta Grossa-PR. **Planta daninha**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 237-246, 2011.

SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B. Aproveitamento da macrófita aquática *Egeria densa* como adubo orgânico. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 169-174, 2005.

SCULTHORPE, C. D. **The biology of aquatic vascular plants.** Königstein: Koeltz Scientific Books, 1985. p. 2-10.

TANAKA, R. H. Prejuízos provocados pelas plantas aquáticas. In: WORKSHOP CONTROLE DE PLANTAS AQUÁTICAS, 1998, Brasília. **Resumos...** Brasília, DF: IBAMA, 1998. p. 36-38.

THOMAZ, S. N.; ROBERTO, M. C.; BINI, L. M. Características limnológicas dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, M.; AGOSTINHO, A. C. A.; HAHN, N. S. (Ed.). **A planície de inundação do Alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos, e socioeconômicos.** Maringá: UDUEM, 1997. p. 73-102.

THORTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. **Reservoir limnology: ecological perspectives.** Somerset, New Jersey: Wiley Intersciences, 1990. 248 p.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (Ed.). **Ecologia de reservatórios: estrutura, funções e aspectos sociais.** Botucatu: Fundbio; São Paulo: Fapesp, 1990. p.19-38.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Contribuição da cidade de Botucatu-SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. **Eclética Química**, Araraquara, v. 22, p. 31-48, 1997.

VELINI, E. D. Controle mecânico de plantas aquáticas no Brasil. In: WORKSHOP CONTROLE DE PLANTAS AQUÁTICAS, 1998, Brasília. **Resumos...** Brasília, DF: IBAMA, 1998. p. 32-35.

VELINI, E. D. Controle de plantas daninhas aquáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIENCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz de Iguaçu. **Palestras...** Foz do Iguaçu: SBCPD, 2000. p. 137-147.

VELINI, E. D. **Desenvolvimento de técnicas e equipamentos para o monitoramento e controle de plantas aquáticas**. 2005. 238 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

VICTOR T. J., MARIMUTHUS, T.; SIVARAMAKRISHNAN, K. G. Aquatic macrophytes and the associated mosquitoes in and around Madurai City (Tamil Nadu). , **Indian Journal of Malariology**, Nova Delhi, v. 28, p.151-5, 1991

WATSON, S.; McCAULEY, E.; DOWNING, J. A. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of different nutrient status. **Limnology and Oceanography**, Alberta, v. 42, p. 487-495, 1997.

WOLVERTON, B. C.; MCDONALD, R. C. The water hyacinth from prolific pest to potential provider. **AMBIO**, Stockholm, v. 8, n. 1, p. 2-9, 1979.

WOLVERTON, B. C. **Water hyacinths for removal of cadmium and nickel from polluted waters**. Springfield: NASA, 1975. NASA Technical Memorandum TM-X 72721.