

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ABORDAGENS MULTIVARIADAS NO ESTUDO
DA DINÂMICA DE COMUNIDADES
DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS**

ROBINSON LUIZ DE CAMPOS MACHADO PITELLI

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

BOTUCATU – SP
Setembro – 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ABORDAGENS MULTIVARIADAS NO ESTUDO DA DINÂMICA DE
COMUNIDADES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS**

ROBINSON LUIZ DE CAMPOS MACHADO PITELLI

Orientador: Prof.Dr. Edivaldo Domingues Velini

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

BOTUCATU – SP
Setembro – 2006

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

Pitelli, Robison Luiz de Campos Machado, 1975-
P681a Abordagens multivariadas no estudo da dinâmica de comunidades de macrófitas aquáticas / Robison Luiz de Campos Machado Pitelli. - Botucatu : [s.n.], 2006.
iv, 60 f. : gráfs, tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2006
Orientador: Edivaldo Domingues Velini
Inclui bibliografia.

1. Erva daninha. 2. Comunidade. 3. Plantas aquáticas. 4. Análise multivariada. 5. Ecologia aquática. I. Velini, Edivaldo Domingues. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

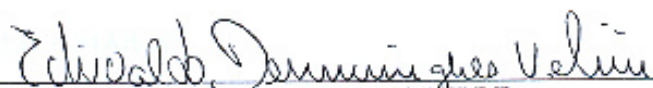
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ABORDAGENS MULTIVARIADAS NO ESTUDO DA DINÂMICA DE
COMUNIDADES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS"

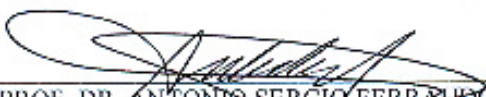
ALUNO: ROBINSON LUIZ DE CAMPOS MACHADO PITELLI

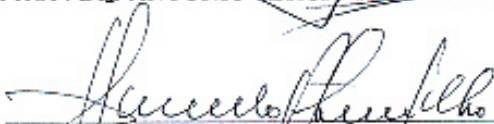
ORIENTADOR: PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI

Aprovado pela Comissão Examinadora


PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI


PROF. DR. DAGOBERTO MARTINS


PROF. DR. ANTONIO SERGIO FERRAZ


PROF. DR. RICARDO VICTORIA FILHO


DR. ROBERT DEUBER

Data da Realização: 04 de setembro de 2006.

AOS MEUS PAIS

ROBINSON e MARIA ANGÉLICA

À MINHA IRMÃ

ANGÉLICA MARIA

OFEREÇO ESTE TRABALHO

AGRADECIMENTOS

Ao meu amigo e orientador Dr. Edivaldo Domingues Velini, pela confiança e pelos ensinamentos técnicos, científicos e pessoais que muito me auxiliaram na realização da tese e muito me auxiliarão em minha vida científica.

Ao meu pai Robinson Antonio Pitelli pelos ensinamentos e apoio constantes que se iniciaram a 30 anos atrás e continuam cada vez mais importantes em minha vida.

À minha mãe Maria Angélica e minha irmã Angélica Maria pelo grande apoio que me ofereceram na realização deste trabalho.

Ao grande amigo e professor Dr. Antonio Sérgio Ferraudo por me ensinar um novo caminho a seguir e pela grande amizade, os quais foram essenciais para a concretização deste trabalho e que causaram grandes mudanças em minha vida científica.

Ao amigo Guilherme Ferraudo por toda sua ajuda e companheirismo.

Ao meu professor e amigo Dr. Dagoberto Martins pela amizade e grande apoio que muito me ajudaram na realização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Controle Biológico de Plantas Daninhas, em especial para o amigo Alessandro, pela ajuda e grande amizade.

Às secretárias do Departamento de Agricultura da FCA/UNESP pelo auxílio e dedicação.

AGRADEÇO

SUMÁRIO

	Página
1.INTRODUÇÃO.....	05
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	09
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Localização do reservatório e determinação dos pontos de amostragem de macrófitas aquáticas	15
3.2. Levantamento populacional e descrição botânica das espécies de macrófitas aquáticas presentes no corpo hídrico.....	16
3.3. Diversidade específica da comunidade de plantas aquáticas.....	17
3.4. Análises multivariadas	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Composição específica da comunidade de macrófitas aquáticas.....	22
4.2. Diversidade das comunidades de macrófitas aquáticas através de índices ecológicos.....	38
4.3. Análise de agrupamento utilizando diferentes índices de similaridade	40
4.4. Análise de agrupamento utilizando índice de dissimilaridade	43
4.5. Estratificação e ordenação das espécies de macrófitas aquáticas por Redes Neurais	46
5. CONCLUSÕES.....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

RESUMO

As macrófitas aquáticas constituem sérios problemas para muitos corpos hídricos com forte influência antrópica, especialmente reservatórios construídos para fins hidrelétricos e que se localizam em áreas com elevado grau de urbanização. No sistema de reservatórios da Light Serviços de Eletricidade, construído na região de Pirai, RJ, utilizando águas dos Rios Pirai e Paraíba do Sul e Ribeirão das Lajes, o reservatório de Santana se destaca como o que apresenta maiores problemas com macrófitas aquáticas. Para solução dos problemas, a empresa regularmente remove as plantas por colheita mecânica, deixando o reservatório praticamente limpo. Em pouco tempo, o reservatório é re-colonizado pelas macrófitas e os problemas voltam a serem evidenciados. Visando conhecer a dinâmica de re-colonização do reservatório, o presente trabalho foi conduzido por meio de levantamentos mensais, quando as populações de macrófitas foram identificadas e quantificadas em 97 pontos de amostragem fixos. Nas avaliações, as quantificações das populações foram realizadas por escala variando de zero a quatro, que variava desde a condição sem a presença da população até a condição em que a população apresentava

elevada densidade, ocupando mais de 80% da área amostrada. O comportamento individual das populações de macrófitas no reservatório foi avaliado segundo a evolução da área de colonização e padrão de distribuição geográfica. O comportamento de toda a comunidade foi avaliado segundo coeficientes de diversidade e de equitabilidade, índices binários de similaridade entre épocas de amostragem e análises multivariadas. Nas condições em que foi conduzido o presente levantamento de macrófitas aquáticas com tratamento dos dados pode-se concluir que houve uma definida sucessão de condições de colonização do reservatório pelas macrófitas aquáticas, podendo ser estabelecidas etapas ou estádios serais de acordo com critérios definidos funcional ou biologicamente. Não foi possível detectar uma sucessão de populações, mas sucessão de condições de colonização, uma vez que não houve expressivas adições ou extinções de espécies no reservatório durante o ano de observações. As espécies exóticas ao ambiente do reservatório e de colonização recente foram predominantes na comunidade de macrófitas com destaque para *Egeria densa* e *Brachiaria arrecta*. Para algumas espécies, como *Eichhornia crassipes* e *Myriophyllum aquaticum*, as pressões bióticas de inimigos naturais provavelmente tenham efeitos decisivos em suas colonizações relativas no reservatório. A análise multivariada de agrupamento mostrou existir dois grupos quanto ao comportamento da comunidade de macrófitas no reservatório durante 2004 o que talvez possa ser explicado pelo longo período de rebaixamento do nível d'água com exposição do sedimento ocorrido em junho desse ano. A análise de componentes principais foi importante uma vez que, além de confirmar a existência desses dois grupos, caracterizou as espécies que discriminaram essa divisão em dois grupos. As análises de agrupamento utilizando diversos índices de semelhança mostraram diferenças na caracterização de grupos quanto ao comportamento da comunidade de macrófitas em reservatórios, sendo que os índices de Odum e Ochiai II apresentaram os melhores resultados. A distribuição das espécies no ano foi feita utilizando o modelo neural proposto por Kohonen (Kohonen, 1989) que identificou nove grupos como sendo a melhor distribuição.

**MULTIVARIATE TECHNIQUES FOR STUDYING AQUATIC MACROPHYTES
COMMUNITY DYNAMICS ON SANTANA WATER RESERVIOR.** Botucatu, 2006.
59p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas,
Universidade Estadual Paulista.

Author: **ROBINSON LUIZ DE CAMPOS MACHADO PITELLI**

Adviser: **EDIVALDO DOMINGUES VELINI**

SUMMARY

The aquatic weeds are essentially important in water bodies under strong antropic influence, especially in hydropower water reservoirs built-up in highly urbanized regions. In the energy generation system of hydropower company “Light Serviços de Eletricidade”, the Santana reservoir historically has more problems with aquatic weeds. Aiming to solve these problems the company periodically promotes a mechanical harvesting cleaning up the reservoir, but after some time it is completely re-colonized by the macrophytes and the

problems are back. Aiming to understand the macrophytes re-colonization dynamics, fields surveys were done monthly, identifying and quantifying the aquatic weed populations in 91 sampling sites. The weeds quantification was done by means of a colonization scale changing from 0 (no plants) to 4 (high colonization, more than 80% of the sampling site). The evolution of colonization area and the geographic distribution pattern were studied for aquatic weed populations, while diversity and equitability coefficients, several similarity index and multivariate analysis were applied to study the macrophyte communities between sampling times. There was a well defined colonization succession process, characterized by variation in the relative size of the different populations and some seral stages could be established, at least for mechanical harvesting planning and some biotic conditions of the macrophyte community. It was not possible to detect a succession of populations, but a succession of colonization conditions since there were no expressive increments or extinctions of species in the reservoir during the year. The exotic species to the reservoir and with early colonization were the predominant ones in the macrophyte community with special attention to *Egeria densa* and *Brachiaria arrecta*. For some species, as *Eichhornia crassipes* and *Myriophyllum aquaticum*, the biotic pressures of natural enemies probably had decisive effects on their relative colonization of the reservoir. The multivariate grouping analysis showed the presence of two groups according to the behavior of the aquatic macrophyte community in the year 2004, what can be explained by the long period of low water level and exposure of the sediment that occurred in June. The principal components analysis was important as it confirmed the existence of the two groups and characterized the species that discriminated this division in two groups. The grouping analysis using similarity coefficients showed different features according to group characterization based on community behavior, although Odum and Ochiai II coefficients presented the best results. The species distribution during the year was detected by the neural model proposed by Kohonen that identified nine groups as the best distribution model.

Keywords: aquatic macrophyte, colonization, reservoir, multivariate analyses

1. INTRODUÇÃO

O progresso da população humana vem acompanhado de uma série de demandas tecnológicas, todas dependentes de energia. Os materiais combustíveis constituem importantes fontes de energia para veículos, plantas industriais e geração de eletricidade. Por outro lado, a energia potencial da água é utilizada de forma altamente eficaz no suprimento da demanda da matriz energética brasileira. Cerca de 90% da energia elétrica no Brasil é gerada em usinas hidrelétricas, modalidade tecnológica na qual o Brasil tem liderança em conhecimento e eficiência.

A grande maioria das usinas hidrelétricas está associada à formação de um reservatório para elevação do nível da água. A instalação de cada reservatório gera uma série de impactos ambientais requerendo, previamente à sua construção, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), nas quais as predições das alterações ambientais são estimadas e medidas mitigatórias são propostas, caso o empreendimento seja aprovado. Após o término da obra, há a necessidade da licença de operação da usina hidrelétrica, para o que uma série de condicionantes ambientais é

requerida. Dentre estas condicionantes, o monitoramento e o plano de manejo de macrófitas aquáticas no reservatório é uma das comuns. A razão desta condicionante se sustenta nos problemas ocasionados por densas infestações de macrófitas aquáticas em vários reservatórios no Brasil.

Na formação do reservatório há a alteração de um sistema lótico para um sistema lântico, com maior capacidade de acúmulo de materiais, com grandes alterações nas condições de oxi-redução da coluna d'água e outras modificações que, como resultado final, alteram a qualidade da água e, em consequência, a biocenose instalada no corpo hídrico.

Sem qualquer outra ação antrópica, o corpo hídrico deverá passar por um processo sucessório natural de populações, comunidades e condições da água, denominado hidrossere. Este processo está bem relatado em Pitelli (1984). A hidrossere natural começa em águas distróficas, a qual é apenas capaz de suportar o crescimento de esparsas populações de algas unicelulares. Com o tempo, o material trazido à montante e da bacia de contribuição pelo processo erosivo vai acumulando no reservatório e juntamente com algas mortas promovem um aumento expressivo na diversidade, complexidade e densidade das populações de algas. Os organismos mortos se acumulam no fundo do reservatório criando um sedimento rico em colóides minerais e orgânicos. O sedimento mantém um equilíbrio iônico com a água, enriquecendo-a com nutrientes essenciais. Depois de alguns anos, a eutrofização natural permite que haja o crescimento de macrófitas submersas, especialmente em águas que mantêm a transparência. Com o tempo, o acúmulo de sedimentos aumenta e as concentrações de nutrientes também, permitindo o crescimento e formação de densos bancos de macrófitas marginais emergentes e de plantas flutuantes. Daí por diante, o sedimento tende a ser cada vez mais alto e rico e a colonização por macrófitas mais densa e diversificada. A hidrossere é contínua, mas seu clímax normalmente é atingido com a formação de uma várzea (Pitelli, 1984).

Nos atuais reservatórios que estão sendo construídos para armazenamento de água ou para produção de energia hidrelétrica, a qualidade da água já está comprometida desde o enchimento, com um nível de eutrofização suficiente para suportar profuso crescimento de macrófitas submersas, flutuantes e marginais. É bastante comum que, em reservatórios recém construídos, as macrófitas já constituem um problema sério, podendo ser citados,

como exemplos, os reservatórios de Santana (RJ) nos anos 50, Itá (SC) nos anos 90 e, mais recentemente, Aimorés (MG), preenchido em 2005.

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 refugio para várias formas jovens de organismos aquáticos. Além disso, essas plantas promovem heterogeneidade espacial e temporal que favorece a biodiversidade dos corpos hídricos, fornecem substrato para colonização e crescimento do perifiton e absorvem o excesso de nutrientes dissolvidos na água (Pitelli, 1998).

No entanto, em determinadas situações, algumas destas plantas são favorecidas por alterações ambientais ou desequilíbrios no corpo hídrico e formam extensas e densas populações em detrimento de outras espécies. Nestas condições, as macrófitas passam a constituir problemas para o uso múltiplo da água e dos corpos hídricos. Além da eutrofização do corpo hídrico, outros fatores são bastante importantes para o estabelecimento e crescimento das populações de macrófitas, podendo ser citadas: a introdução de plantas exóticas, a introdução de animais exóticos predadores de organismos herbívoros, as alterações das características do fluxo d'água e o desequilíbrio da rede trófica local favorecendo as macrófitas. (Pitelli, 1998).

Os maiores problemas causados pelas densas colonizações de macrófitas aquáticas são: (i) alteração das características da água, especialmente redução da disponibilidade de oxigênio dissolvido, (ii) alteração das características de navegabilidade e de utilização do corpo hídrico para esportes náuticos, (iii) prejuízos à produção de peixes e para a captura do pescado, (iv) criação de condições adequadas para instalação e manutenção de populações de insetos e outros organismos indesejáveis, incluindo vetores de doenças humanas, (v) redução da capacidade de armazenamento e da durabilidade de reservatórios, (vi) redução do fluxo d'água e da vida útil de canais de irrigação e drenagem, (vii) interferência na captação de água para irrigação e uso público, (viii) interferência na produção de energia elétrica, (ix) prejuízos à edificações no corpo hídrico, especialmente pontes, (x) aumento das perdas d'água por evapotranspiração, dentre outros (Pitelli, 1998).

Estas são as principais razões pelas quais no processo de licenciamento ambiental de reservatório há a exigência de um plano de manejo de macrófitas aquáticas. É importante ressaltar que um bom plano de manejo de macrófitas aquáticas deve ser iniciado com um diagnóstico adequado da comunidade de macrófitas que coloniza o reservatório. Para tanto, são várias as ferramentas que o técnico possui, como fotografia de satélites e fotos aéreas tomadas com pequenos aeroplanos, mas, sem dúvida, o levantamento de campo e a análise dos dados obtidos neste levantamento são fundamentais para auxiliar as interpretações das fotos aéreas ou a imagens de satélite.

O objetivo geral deste trabalho foi acompanhar a evolução da comunidade de macrófitas aquáticas no ano de 2004 utilizando abordagens multivariadas enquanto que os objetivos específicos foram:

a) verificar a existência de padrões comportamentais das espécies durante o ano de 2004.

b) discutir a variação inerente a aplicação de diversos índices de semelhança utilizados em análise de agrupamento no comportamento ecológico da comunidade de macrófitas aquáticas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Esteves (1998) uma das primeiras menções ao termo macrófitas aquáticas foi efetuado no ano de 1938 por Weaver & Clements, que as definiram como plantas herbáceas que se desenvolvem na água, em solos cobertos ou saturados por água. Neste grupo estão incluídos os vegetais que vão desde macro-algas (gênero *Chara*) até angiospermas (gênero *Typha*). Estas plantas são consideradas vegetais que, durante o processo evolutivo, retornaram do ambiente terrestre para o aquático, mas que mantiveram algumas estruturas características de vegetais terrestres, como a presença de cutícula e estômatos nas plantas aquáticas emersas.

A formação de um reservatório representa a criação de um ecossistema lântico que experimentará um processo de sucessão de populações, com substituição gradativa das espécies. Num determinado estágio de sua evolução, esses ambientes serão colonizados por macrófitas aquáticas, em maior ou menor escala. O aparecimento de um ambiente favorável ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas após a criação de um reservatório, foi avaliado no reservatório de Itaipu (FUEM/Itaipu Binacional, 1997). Quinze anos após a formação do

reservatório, o número de espécies era 2,5 vezes maior que o registrado antes de sua construção (Surehma, 1980). As alterações decorrentes da formação de um novo ambiente também se refletiram na distribuição do número de espécies por grupo ecológico, tendo em vista que houve um aumento no número de espécies submersas em relação aos demais grupos. O aumento da riqueza de espécies submersas após a construção de um reservatório pode ser associado à redução da velocidade da água, aumento da estabilidade do sistema (redução das flutuações dos níveis de água), aumento da penetração de luz e enriquecimento do sedimento em nutrientes e matéria orgânica (FUEM/Itaipu Binacional, 1997).

Pitelli (1998) destaca que, no Brasil, as plantas aquáticas representam grandes problemas em três ambientes alterados pelo homem: (i) lagos e reservatórios eutrofizados próximos a centros urbanos; (ii) represas rurais e canais de condução de água para irrigação ou drenagem e (iii) grandes reservatórios de usinas hidrelétricas. Um exemplo de reservatório para fins hidrelétricos que tem sérios problemas com macrófitas aquáticas é destacado por Marcondes et al. (1997) quando cita o reservatório de Jupiá da Companhia Energética de São Paulo, no qual plantas submersas do gênero *Egeria* causavam sérios problemas à geração de energia, devido ao seu acúmulo nas grades de proteção das turbinas.

O levantamento periódico da ocorrência de plantas aquáticas permite avaliar a evolução das comunidades de macrófitas e, respaldado por outras informações, como os dados de qualidade de água, possibilita inferir sobre as causas das eventuais alterações das populações. Este levantamento periódico tem duas funções básicas: (i) permitir o acompanhamento de tendências nas comunidades de plantas aquáticas ou flutuações populacionais de uma planta ou de um grupo de plantas; e (ii) proporcionar informações confiáveis para o estabelecimento de prioridades do manejo de plantas aquáticas (Schardt, 1992). É importante adicionar que o levantamento periódico também permite detectar a presença de plantas exóticas invasoras antes que se tornem um problema sério.

A identificação de espécies de plantas aquáticas que colonizam um corpo de água é uma etapa crítica na elaboração de planos de manejo, por várias razões. Uma razão importante é que há variação entre as espécies com relação à resposta às técnicas de

controle. Também é importante determinar se alguma planta exótica ou alóctone está presente neste corpo hídrico. (Schardt & Ludlow, 1992).

Tanaka et al. (2002) identificaram 29 espécies de macrófitas aquáticas, incluídas em 17 famílias botânicas, nos seis reservatórios da Companhia Energética de São Paulo. A frequência das espécies e seu grau de infestação variaram de acordo com o reservatório. As mais importantes por reservatório foram: (i) Ilha Solteira: *Egeria najas*, (ii) Jaguarí: *Brachiaria arrecta*, *Polygonum lapathifolium* e *Cyperus* sp.; (iii) Jupia: *E. densa*, *E. najas*, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta*, (iv) Paraibuna: *Polygonum* sp, *Brachiaria arrecta* e *B. mutica*, (v) Porto Primavera: *E. crassipes*, *Pistia stratiotes*, *S. molesta*, *S. mínima*, *Cyperus* sp e *Eichhornia azurea*; (vi) Três Irmãos: *E. najas*, *Ceratophyllum demersum* e *Najas guadalupensis*.

Carvalho et al. (2003) realizaram levantamentos de macrófitas aquáticas no Reservatório de Barra Bonita no período de 19/6 a 4/7 de 2001. Foram estabelecidos 335 pontos geo-referenciados para avaliação das macrófitas aquáticas ao longo do reservatório. Os autores identificaram 17 espécies de macrófitas aquáticas e não consideraram que houvesse qualquer espécie predominante (com mais de 50% de ocupação média da área vegetada). A espécie mais abundante foi *Brachiaria mutica*, que ocorreu em 26,2% da área vegetada da represa de Barra Bonita.

Martins et al. (2003) realizaram o levantamento de plantas aquáticas nos Reservatórios de Santana, Vigário, Pereira Passos e Lajes, localizados na região de Piraí, RJ e pertencentes à Light Serviços de Eletricidade. Os autores verificaram que *E. azurea* constituiu-se na principal população dentre as macrófitas do reservatório de Vigário, com 24,55% de cobertura da área amostrada, em média, seguida por *Salvinia auriculata* com 20,41% e de *Brachiaria arrecta* com 19,29%.

Bini et al.(2005) realizaram um levantamento da riqueza e da composição em espécies de macrófitas aquáticas no reservatório de Cachoeira Dourada (GO-MG). Os autores identificaram 16 táxons de plantas aquáticas pertencentes a 12 famílias botânicas. As espécies de maior cobertura de área e maior frequência de ocorrência foram as representantes da família Pontederiaceae (*E. crassipes*, *E. azurea*).

O desenvolvimento de métodos para determinação de padrões na dinâmica de comunidades é um tópico de considerável interesse em manejo de ecossistemas, sendo

fundamental a caracterização da seqüência de populações e dos estádios serais. Esta análise requer métodos que caracterizem como uma comunidade varia no espaço e no tempo simultaneamente, independente da variação ser causada por agentes naturais ou distúrbios antropogênicos.

Os levantamentos sistemáticos fornecem as informações necessárias para prever a evolução dos níveis de infestação e a probabilidade de ocorrência de macrófitas em condições similares às estudadas. Há várias opções para a análise estatística dos dados, incluindo o ajuste de modelos. A análise multivariada constitui-se em um ferramenta bastante poderosa para alcançar estes objetivos. Trata-se de um conjunto de procedimentos estatísticos que analisa múltiplas medidas de cada indivíduo ou objeto estudado, sendo que todas as variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas de maneira que seus diferentes efeitos não podem ser significativamente interpretados de forma separada. As técnicas multivariadas podem ser de dependência ou interdependência (Hair et al., 2005). A técnica de dependência é aquela na qual uma variável (ou conjunto de variáveis) é identificada como variável dependente a ser predita ou explicada por outras variáveis conhecidas como independentes. Em contraste, a técnica de interdependência é aquela na qual nenhuma variável é definida como independente ou dependente, o processo envolve a análise simultânea de todas as variáveis em conjunto. A abordagem utilizada neste estudo é uma técnica de interdependência que será descrita mais adiante.

Pompêo et al. (1998) realizaram levantamentos de populações presentes na comunidade fitoplânctônica em várias profundidades no reservatório de Boa Esperança, Rio Parnaíba, na divisa entre os estados do Maranhão e Piauí. Também foram avaliados os dados referentes ao pH, temperatura, alcalinidade, teor de oxigênio dissolvido, N total, clorofila e Matéria seca total. O estudo estatístico, realizado por análise de agrupamentos demonstrou que o reservatório apresenta heterogeneidade espacial horizontal com relação à diversidade de espécies de fitoplancton. Estes dados permitiram definir dois compartimentos: (i) a *zona da barragem* com características de ambiente lântico, elevada profundidade de penetração de luz e táxons adaptados à flutuação e (ii) a *parte alta* que apresentou características de ambiente lótico, menor transparência e maior teor de materiais de suspensão.

Colon-Gaud et al. (2004) analisaram a distribuição espacial de macro-invertebrados habitando colonizações de *Hydrilla verticillata* e *Ceratophyllum demersum*. Os autores utilizaram a análise de componentes principais (ACP) para determinar diferenças na distribuição entre estações de crescimento e posições das macrófitas para 12 grupos taxonômicos de macro-invertebrados. A análise de componentes principais demonstrou a existência de quatro assembléias de macro-invertebrados que explicavam 63,5% da variação nos dados. Estas assembléias incluíram Gastropoda-Hydrachnida (22,9% da variância acumulativa), Decapoda-Odonata (13,9%), Díptera-Coleoptera (10,7%) e Hemíptera-Amphipoda (9,7%).

Em uma tentativa de agrupar e padronizar dados complexos não-lineares, Kohonen (1989) desenvolveu uma rede neural artificial (ANN) para mapeamento auto-organizável baseado em algoritmos de aprendizado não supervisionado.

A capacidade de aprender das redes neurais artificiais tem sido recentemente aplicada em ciências naturais. Em ecologia, redes neurais artificiais têm sido utilizadas para classificação de grupos (Chon et al., 1996; Levine et al., 1996), ou demonstrando relações entre variáveis (Huntingford & Cox, 1996; Lek et al., 1996). As redes neurais artificiais também foram implementadas na estimativa do desenvolvimento de populações (Elizondo et al., 1994; Boudjema & Chau, 1996; Recknagel et al., 1997; Stankovski et al., 1998).

Brosse et al. (2001) compararam a utilização da análise de componentes principais com a análise realizada pelo sistema de Redes Neurais de Kohonen (SOM), na visualização, em espaço bi-dimensional, de uma base de dados complexos composta por abundância de peixes em um grande lago. Os autores verificaram que ambas análises identificaram os mesmos padrões gerais de ocupação espacial pelos peixes como a separação entre adultos e nascidos no ano corrente, porém a análise de componentes principais demonstrou pouca sensibilidade quando consideradas as espécies esparsas. De acordo com Melssen et al.(1993), esta análise pode não manter informação suficiente, e portanto prover alguma informação irrelevante considerando as espécies esparsas. Ao contrário, a SOM identificou uma imagem confiável de toda a assembléia, isto é, considerando todas as espécies dominantes e escassas.

A revisão da literatura evidenciou um pequeno número de trabalhos utilizando técnicas multivariadas no estudo de comunidades de macrófitas aquáticas em reservatórios artificiais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do reservatório e determinação dos pontos de amostragem de macrófitas aquáticas

O presente trabalho foi desenvolvido no reservatório de Santana, pertencente à Light Serviços de Eletricidade Ltda e localizado nos municípios de Piraí, Santanésia e Barra do Piraí, no Estado do Rio de Janeiro.

O mapa geo-referenciado do Reservatório de Santana foi cedido pelo Departamento de Meio Ambiente da Empresa Hidrelétrica LIGHT, localizado no município de Piraí, RJ. O mapa geo-referenciado de reservatório foi desenhado no Datum SAD69, Projeção UTM (Universal Translator Mercator), Zona 23K, e posteriormente dividido em 97 áreas de acordo com a forma da lamina d'água (Figura 01).

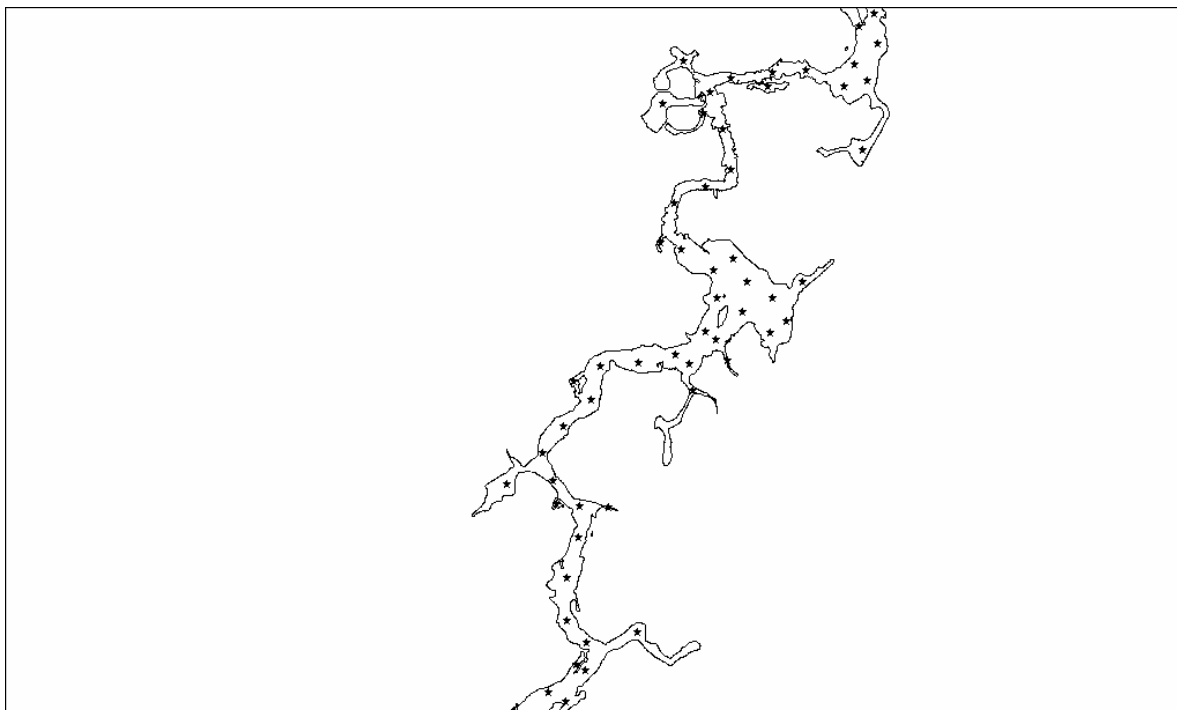


Figura 01- Segmento do reservatório de Santana contendo alguns pontos de avaliação da comunidade de macrófitas aquáticas.

Em cada área foi colocado um ponto de amostragem que posteriormente foi transferido para um dispositivo GPS Garmin 12 S para possibilitar sua localização no reservatório.

3.2. Levantamento populacional e descrição botânica das espécies de macrófitas aquáticas presentes no corpo hídrico

Em cada um dos 97 pontos de amostragem foram avaliadas a composição específica e a densidade das macrófitas aquáticas presentes no período de janeiro a dezembro de 2004, com exceção do mês de junho. A determinação da densidade das macrófitas aquáticas foi realizada nas margens do reservatório, sendo analisada uma faixa de 10 m de largura (percorrendo a margem do reservatório) em cada ponto de amostragem. A caracterização da densidade das macrófitas foi realizada mediante um sistema de notas onde: (i) nota 0 –

ausência de macrófitas no ponto; (ii) nota 1 – densidade muito baixa, quando até três indivíduos foram observados no espaço avaliado de 1 m da região marginal; (iii) nota 2 – densidade baixa, quando a espécie foi observada em menos que 40% dos segmentos, mas existiam vários indivíduos nos segmentos em que esteve presente; (iv) nota 3 – densidade média, quando a espécie foi observada entre 40 e 80% dos segmentos; (v) nota 4 – densidade alta, quando a espécie foi observada em 80 a 100% dos segmentos.

3.3. Diversidade específica da comunidade de plantas aquáticas

A diversidade específica da comunidade foi avaliada utilizando os índices ecológicos:

- Índice de diversidade de Shannon-Weaver $H' = -\sum p_i \log_2 p_i$, onde p_i corresponde à densidade relativa de cada espécie.
- Índice de Equitabilidade $E = \frac{H'}{H_{\max}}$

O índice de Shanon (H') é nulo quando há uma única espécie e seu valor máximo ($H_{\max}$) é igual a $\log_2 S$ quando todas as espécies têm a mesma abundância (S é igual ao número de espécies). O índice de Equitabilidade (E') tende a zero quando uma espécie domina amplamente a comunidade, sendo igual a um quando todas as espécies têm a mesma abundância (Dajoz, 2005).

3.4. Análises multivariadas

3.4.1 Análise de agrupamento

Na análise de agrupamento utilizada para avaliar padrões de comportamento da comunidade no ano foi utilizado como estratégia de agrupamento o método de Ward

(Ward, 1963) e como medida de semelhança entre espécies a distância euclidiana (coeficiente de dissimilaridade).

O resultado da análise de agrupamento depende do índice de semelhança a ser adotado. Análises de agrupamento adotando como estratégia de agrupamento o método de Ward (Ward, 1963) foram feitas com os diversos índices de similaridade mais utilizados em estudos de comportamento ecológico de comunidades. Os índices utilizados foram:

- Simple Matching = $\frac{c}{a+b}$
- Rogers & Tanimoto = $\frac{a+d}{a+2b+2c+d}$
- Anderberg = $\frac{a}{a+2(b+c)}$
- Russel & Rao = $\frac{a}{a+b+c+d}$
- Jaccard = $\frac{a}{a+b+c}$
- Sorensen = $\frac{2a}{2a+b+c}$
- Ochiai = $\frac{a}{\sqrt{(a+b)(a+c)}}$
- Ochiai II = $\frac{a*d}{\sqrt{(a+b)(a+c)(b+d)(d+c)}}$
- Odum = $\frac{a-b}{a+b}$

a. número de espécies presentes (1) na época 1;

b. número de espécies presentes (1) na época 2;

c. número de espécies que estão presentes (1) em ambas as épocas;

d. número de espécies ausentes (0) em ambas as épocas.

3.4.2 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (Hair et al., 2005) permite uma visualização bidimensional das unidades experimentais bem como a descrição das características que discriminam essas unidades. Através dos autovalores extraídos da matriz de covariância dos dados originais, são criadas combinações lineares denominadas autovetores que retêm parte da variabilidade original contida nos dados. O autovetor construído com o maior autovalor é denominado primeiro componente principal, o segundo autovetor é construído com o segundo maior autovalor e assim sucessivamente até a construção do último autovetor gerado com o menor autovalor.

O poder discriminatório das populações de plantas aquáticas no tempo distribuídas no plano bidimensional em cada componente principal é dado por:

$$r_{xj}(CP_h) = \frac{a_{jh} \sqrt{\lambda_h}}{S_j}, \text{ onde:}$$

S_j = desvio padrão da variável j ,

a_{jh} = coeficiente da variável j no h -ésimo componente principal,

λ_h = autovalor h

$r_{xj}(CP_h)$ = correlação da variável x_j com o h -ésimo componente principal

A variância retida em cada componente principal pode ser calculada da seguinte forma:

$$CP_h = \frac{\lambda_h}{\text{traço}(C)} \times 100 \quad \text{onde;}$$

CP_h = componente principal h ;

λ_h = autovalor h ;

C = matriz de covariância e $\text{traço}(C) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_h$.

3.4.3 Redes Neurais de Kohonen

As redes neurais de Kohonen ou Mapas Auto-Organizáveis (*Self-Organizing Maps – SOM*) são modelos neurocomputacionais desenvolvidos pelo professor Teuvo Kohonen no início dos anos 80 (Kohonen, 1990). São utilizadas principalmente como análise de agrupamentos e apropriadas para tratar dados envolvendo comportamentos não lineares. Pertencem à classe de modelos competitivos e não supervisionados. Em geral, estes modelos possuem inspiração neurobiológica, porém, na prática, são algoritmos computacionais representando, de maneira bastante elementar, o mecanismo de funcionamento cerebral. O modelo é montado com base em processos de aprendizagem. Frequentemente, padrões contidos em conjuntos multivariados possuem uma estrutura complexa podendo ser resumida preservando grande parte das informações neles contidos. Essa foi a proposta de Kohonen (Kohonen, 1989) que desenvolveu os modelos SOM facilmente interpretáveis tornando assim os grupos mais facilmente caracterizáveis.

A rede de Kohonen possui duas camadas de neurônios artificiais: uma camada para receber os padrões de entrada e outra para gerar os padrões de saída. Os neurônios da camada de saída são dispostos em uma grade (ou mapa) retangular bidimensional e cada um deles é conectado a todos os neurônios que compõem a camada de entrada. A similaridade entre o vetor de entradas e o vetor de pesos é expressa geralmente pela distância euclidiana. Toda vez que um padrão estimula uma vizinhança de um neurônio no mapa, o peso associado é reforçado. À medida que o processo de aprendizagem vai terminando, o raio da vizinhança vai diminuindo armazenando nela padrões específicos enquanto que padrões externos à essa vizinhança buscam outras vizinhanças. Assim, um neurônio aprende mais sobre os padrões a ele associados enquanto que seu vizinho aprende menos sobre esses padrões. Após o término do processo de aprendizagem padrões de entrada similares ativarão as mesmas vizinhanças do mapa armazenando nas vizinhanças do neurônio unidades com padrões similares. Quando uma unidade é fixada num neurônio, este é denominado *neurônio vencedor* (winning neuron). A vizinhança de cada neurônio

pode ser definida de acordo com a forma geométrica usada para representar os neurônios da rede.

Assim, a rede neural de Kohonen foi utilizada para classificar em grupos as espécies de macrófitas bem como ordená-las no ano.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Composição específica da comunidade de macrófitas aquáticas

Nas avaliações realizadas no reservatório de Santana durante o ano de 2004 foram identificadas 41 espécies de macrófitas inseridas em 21 famílias botânicas. As famílias e respectivas espécies identificadas foram:

Família Amaranthaceae

Alternanthera philoxeroides (MART.) GRISEB - ALRPH

Família Poaceae

Brachiaria arrecta (= *B. subquadripara*) (HACK. ex DUR. & SCHINZ) STENT - BRASU

Echinochloa polystachya (H.B.K.) HITCHC - ECHPO

Echinochloa crus-galli (L.) P.BEAUV - ECHCG

Panicum rivulare TRIN - PANRV

Paspalum repens BERG - PASFL

Hymenachne amplexicaulis (RUDGE) NEES - HYVAM

Andropogon bicornis L. - ANOBI

Família Alismataceae

Sagittaria montevidensis CHAM. & SCHLECHT – SAGMO

Família Hydrocharitaceae

Egeria densa PLANCH - EGEDE

Limnobium laevigatum = (*Limnobium stoloniferum* (G.F.W.MEY.) GRISEB) - LIMST

Família Pontederiaceae

Eichhornia azurea (SW.) KUNTH - EICAZ

Eichhornia crassipes (MART.) SOLMS – EICCR

Pontederia cordata L./LOUR - POFCO

Pontederia lanceolata NUTT - POFCL

Pontederia parviflora

Heteranthera reniformis RUIZ & PAV - HETRE

Família Onagraceae

Ludwigia elegans (CAMB.) HARA - LUDEL

Ludwigia octovalvis (JACQ.) RAVEN - LUDOC

Ludwigia sericea (CAMBESS.) HARA - LUDSE

Ludwigia rudis

Família Haloragaceae

Myriophyllum aquaticum (VELL.) VERDC - MYPBR

Família Araceae

Pistia stratiotes L - PIIST

Família Polygonaceae

Polygonum lapathifolium - POLLA

Polygonum hydropiperoides MICHX - POLHP

Família Salviniaceae

Salvinia auriculata AUBL - SAVAU

Salvinia herzogii DE LA SOTA - SAVHE

Família Cyperaceae

Cyperus giganteus VAHL/ROTTB - CYPGI

Cyperus iria L. - CYPPIR

Cyperus ferax L.C.RICH - CYPFE

Fimbristylis miliacea

Rhynchospora aurea VAHL - RHCAU

Oxycaryum cubense (POEPP. & KUNTH) K.LYE - SCPCU

Família Commelinaceae

Commelina diffusa BURM - COMDI

Família Marantaceae

Thalia geniculata L.- THAGE

Família Convolvulaceae

Ipomoea alba L. - CLYAC

Família Typhaceae

Typha latifolia L. - TYHLA

Typha domingensis (L.) PERS./KUNTH - TYHDO

Família Zingiberiaceae

Hedychium coronarium J.G.KOENIG - HEYCO

Família Fabaceae

Aeschynomene denticulata RUDD - AESDE

Família Asteraceae

Eclipta alba (L.) HASSK - ECLAL

Enhydra anagallis Gardner -

Família Cabombaceae

Cabomba caroliniana GRAY - CABCA

Família Lemnaceae

Lemna minor L. - LEMMI

Família Potamogetaceae

Potamogeton pectinatus L. - PTMPE

No ano anterior ao da coleta de dados para o presente trabalho (2003), o reservatório de Santana havia passado por uma intensa retirada mecânica ficando praticamente isento de macrófitas aquáticas. Apenas nas áreas mais marginais havia colonizações mais antigas com predominância de *Ludwigia octovalvis* e *Ludwigia sericea*. Estas áreas foram limpadas durante o período de observações deste trabalho, também por retirada mecânica.

Na **Tabela 01** estão apresentadas as somas das notas de colonização mensais (resultante das somas de todas as áreas amostrais) para as populações de macrófitas aquáticas identificadas no reservatório de Santana, durante o ano de 2004. Na **Tabela 02** estão apresentados os valores das médias e das variâncias das notas de colonização das 97 áreas amostrais levantadas a cada mês no reservatório de Santana. Para determinação do padrão de distribuição geográfica das populações utilizou-se o critério proposto por Dajoz (2005) no qual a população tem distribuição geográfica agregada quando a variância suplanta o valor da média e casualizada quando o valor da variância é suplantado pelo da média. No presente estudo, os valores da média e variância foram relativamente baixos porque foram calculados com dados que variavam apenas de 0 a 4. Se fossem utilizadas contagens de indivíduos ou áreas de ocupação talvez os resultados fossem diferentes para a distribuição geográfica. No entanto, é importante ressaltar que para plantas como *Eichhornia azurea* e *Alternanthera philoxeroides* é praticamente impossível a contagem de indivíduos. Por outro lado, o isolamento das populações para estimar a área de ocupação de

cada uma delas em reservatório com grande dificuldade de navegação (sedimento alto) poderia induzir a erros maiores. Por isso, optou-se por esta modalidade de avaliação.

A população que teve maior nota de colonização no reservatório de Santana ao longo de 2004 foi *Salvinia herzogii*, totalizando 2711 pontos (soma das notas de colonização). A menor nota mensal ocorreu em janeiro com 176 pontos e a maior ocorreu em 293 pontos em julho. Com exceção de janeiro, as notas de avaliação sempre superaram 200 pontos. O estudo da distribuição geográfica das populações mostrou que, com exceção de abril, o padrão de distribuição geográfica da população de *Salvinia herzogii* sempre foi do tipo casualizado. Este comportamento pode ser explicado pelas características morfológicas das plantas desta espécie: são de pequeno porte, apresentam diminuto sistema radicular, suas folhas se distribuem de forma a facilitar a dispersão da planta pelo vento e os rebentos são liberados da planta-mãe precocemente não formando densas reboleiras. Com estas características, as plantas facilmente se deslocam no reservatório pelas ações dos fluxos de água e pelo vento e podem se localizar de forma entremeada com outras populações de maior porte. No reservatório de Santana foi muito comum observar plantas de salvinia crescendo no interior de bancos de *Eichhornia azurea*, *Polygonum lapathifolium* e de outras espécies.

As plantas do gênero *Salvinia* são pteridofitas originárias da América do Sul. Híbridos entre espécies deste gênero, especialmente das espécies pertencentes ao complexo *auriculata* constituem sérios problemas como invasoras em coleções de águas, em diversos países (Kismann & Groth, 1999). A eliminação das plantas é muito difícil, tanto por meios mecânicos como químicos, havendo em geral rápida re-infestação. No Brasil, as plantas do gênero *Salvinia* têm um inimigo natural bastante eficiente no controle de suas populações, o besouro *Cyrtobagous salvineae*, encontrado com frequência no reservatório de Santana. No entanto, neste reservatório suas populações não atingem magnitudes suficientes para manter as populações da macrófita em baixas densidades.

Espécies do gênero *Salvinia* têm sido muito comuns em reservatório no Brasil. Devido seu pequeno porte, muitas vezes sua importância é negligenciada, mas quando em elevadas densidades pode causar problemas até na geração de usinas hidrelétricas (UHE) com tomada profunda da água para as turbinas. Este fato ocorreu em dezembro de 2004 na UHE de Itá. Por outro lado, a cobertura da lâmina d'água promovida por esta planta pode

reduzir consideravelmente a concentração de oxigênio dissolvido na coluna d'água (Martins & Pitelli, 2005).

Egeria densa foi a população com a segunda nota anual de colonização, totalizando 2108 pontos. Os valores mensais variaram de 106 pontos em fevereiro até 267 em novembro. Esta macrófita tem hábito submerso e necessita de condições especiais em suas áreas de colonização, especialmente profundidade da coluna d'água e transparência da água. Este é, talvez, o principal motivo pelo qual a distribuição geográfica de sua população foi agregada na maioria dos meses avaliados, exceção aos meses de outubro e novembro, quando o reservatório é mantido cheio pela primeira chuva do período. A ocorrência e densidade da população de *Egeria densa* têm relação inversa com outras populações, devida ao sombreamento e a ocupação efetiva com as partes submersas de outras espécies, promovendo intensa competição por luz e espaço com esta *Hydrocharitaceae*.

Segundo Kissman & Groth (1999) a *Egeria densa* é uma planta freqüente em lagos, lagoas, meandros de rios, corixos, água parada ou pouco corrente, independente do tipo de sedimento. Esta planta está distribuída pela América Tropical e Subtropical, do México a Argentina, nas Antilhas, Guianas, Venezuela, Paraguai e Brasil. É uma das plantas mais apreciadas em aquários, e por isso foi amplamente distribuída pelo mundo. Atualmente constitui importante planta exótica invasora em muitas partes do mundo incluindo América Central, América do Norte, Europa, Austrália e Nova Zelândia. No Brasil esta planta apresenta densas colonizações nos reservatório de Três Irmãos (SP), Jupia (SP/MS), Porto Primavera (SP/MS), Paulo Afonso (PE/BA) (Marcondes et al., 2002)

No reservatório de Santana, a *Egeria densa* tem causado problemas nas grades de proteção das bombas da usina elevatória de Vigário, uma vez que, pelo seu hábito submerso, não é detida pelas barreiras flutuantes e acaba atingindo estas estruturas. A *Egeria densa* tem causado problemas em outros reservatórios, especialmente na UHE de Jupia (CESP), onde tem promovido prejuízos aos usos múltiplos do reservatório, especialmente para as atividades de pesca profissional e esportiva e esportes náuticos, e para a geração de energia elétrica requerendo a parada das máquinas para manutenção das grades de proteção, troca de grades, troca de turbinas, sem contar o estresse da equipe de operação da UHE, responsável pelo fornecimento de energia à Operadora Nacional de Sistemas (ONS).

Tabela 1 – Soma das notas de colonização das macrófitas aquáticas determinadas no reservatório de Santana, Pirai, RJ, ao longo do ano de 2004. Cada valor representa a soma de 97 amostras

Espécie	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
AESDE	1	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	8
ALRPH	20	27	22	48	60	48	95	93	79	76	64	632
ANOBI	5	2	2	1	2	0	2	2	2	2	0	20
BRASU	100	112	117	148	153	150	168	157	163	154	139	1561
CAB.SP	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	2	7
COMDI	0	3	5	4	2	4	10	9	5	0	6	48
CYPFE	11	12	28	23	12	1	1	1	0	0	0	89
CYPGI	4	12	13	19	19	12	17	11	6	6	9	128
CYPIR	2	2	2	3	2	0	0	0	0	0	0	11
ECHGC	0	4	3	2	0	2	0	0	0	0	0	11
ECHPO	1	3	2	7	9	13	19	15	16	14	19	118
ECLAL	0	5	11	19	2	2	1	1	0	0	1	42
EGEDE	208	106	110	163	181	172	200	223	263	267	215	2108
EICAZ	133	136	145	173	161	165	171	187	177	190	188	1826
EICCR	4	7	13	30	45	23	21	20	19	21	30	233
ENISE	0	0	0	0	0	2	3	0	0	2	3	10
FIMMI	0	0	15	11	0	1	1	1	0	0	0	29
HEYCO	2	4	4	3	3	2	5	4	2	2	2	33
HETRE	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	6
HYVAM	15	40	59	99	113	96	115	101	111	88	69	906
CLYAC	13	10	9	12	13	10	16	14	16	15	12	140
LEMMI	0	0	0	0	0	0	3	5	2	2	0	12
LIM.SP	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
LUDOC	3	6	5	6	3	2	5	3	3	4	4	44
LUDAC	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
LUD.SP	105	146	157	162	141	43	20	14	19	14	10	831
MYPBR	27	27	24	26	36	37	74	63	45	48	29	436
OXYCU	0	0	0	10	3	7	10	14	8	8	10	70
PANRV	30	43	48	49	51	49	50	43	34	34	26	457
PASRP	64	116	122	173	163	141	163	159	155	146	157	1559
PIIST	55	59	59	83	161	176	209	209	190	183	136	1520
POLHP	5	6	9	8	8	5	15	17	14	15	10	112
POLLA	36	44	46	64	59	82	106	119	121	115	122	914
POFCL	63	70	77	100	117	102	95	95	110	94	92	1015
POFPA	0	4	7	4	4	4	4	3	4	4	4	42
PTMPE	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	4	9
RHCAU	4	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	13
SAGMO	182	171	164	187	181	147	95	74	82	90	94	1467
SAVHE	176	215	208	231	265	293	280	260	236	277	270	2711
THAGE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
THY.SP	1	0	0	0	3	3	2	2	4	2	2	19
Total	1282	1396	1493	1871	1975	1798	1777	1920	1894	1873	1729	19208
Espécies	30	30	32	32	31	34	32	31	29	27	29	---

Tabela 02 – Valores da média e da variância das notas de colonização observadas para a população de diferentes espécies ao longo do ano de 2004 no reservatório de Santana, RJ. Os valores foram calculados com base em 97 pontos de amostragem no reservatório.

Espécie	P.M.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
ALRPH	σ	0,37	0,61	0,44	0,83	1,19	0,89	1,35	1,49	1,25	1,29	1,22
	m	0,21	0,28	0,23	0,49	0,61	0,49	0,98	0,96	0,81	0,78	0,66
BRASU	σ	1,84	2,34	2,29	2,66	2,41	2,42	2,57	2,51	2,57	2,39	2,45
	m	1,03	1,15	1,21	1,52	1,58	1,55	1,73	1,62	1,68	1,59	1,43
EGEDE	σ	2,50	1,26	1,53	2,17	2,28	2,24	2,60	2,67	2,29	2,15	2,65
	m	2,14	1,09	1,13	1,68	1,86	1,77	2,06	2,30	2,71	2,75	2,22
EICAZ	σ	2,19	2,53	2,44	2,65	2,31	2,27	2,24	2,40	1,95	1,62	1,85
	m	1,37	1,40	1,50	1,78	1,66	1,70	1,76	1,93	1,82	1,96	1,94
EICCR	σ	0,04	0,21	0,28	0,51	0,85	0,49	0,40	0,46	0,43	0,36	0,61
	m	0,04	0,07	0,13	0,31	0,46	0,24	0,22	0,21	0,19	0,22	0,31
HYVAM	σ	0,30	0,89	1,05	1,79	1,72	1,47	1,78	1,43	0,77	1,40	1,25
	m	0,15	0,41	0,61	1,02	1,16	0,99	1,18	1,04	0,46	0,91	0,71
CLYAC	σ	0,00	0,09	0,16	0,32	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
	m	0,00	0,05	0,11	0,19	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
LUD.SP	σ	2,22	2,85	2,97	2,53	2,27	0,81	0,31	0,27	0,37	0,37	0,20
	m	1,08	1,50	1,62	1,67	1,45	0,44	0,21	0,14	0,19	0,14	0,10
MYPBR	σ	0,54	0,54	0,35	0,51	0,73	0,59	1,14	1,00	0,77	0,79	0,63
	m	0,28	0,28	0,25	0,27	0,37	0,38	0,76	0,65	0,46	0,49	0,30
PANRV	σ	0,73	1,19	1,21	1,29	1,23	1,17	1,21	0,98	0,85	0,87	0,70
	m	0,31	0,44	0,49	0,50	0,53	0,50	0,51	0,44	0,35	0,35	0,27
PASRP	σ	1,10	1,76	1,77	2,07	1,95	1,64	1,74	1,87	1,87	2,15	2,34
	m	0,66	1,19	1,26	1,78	1,68	1,45	1,68	1,64	1,60	1,50	1,62
PIIST	σ	0,41	0,57	0,55	1,22	1,25	1,55	1,59	1,86	1,50	1,39	1,43
	m	0,56	0,61	0,61	0,86	1,66	1,81	2,15	2,15	1,96	1,87	1,40
POLLA	σ	0,71	0,79	0,81	1,14	1,05	1,32	1,58	1,76	2,02	1,94	2,11
	m	0,37	0,45	0,47	0,66	0,61	0,84	1,09	1,23	1,24	1,18	1,26
POFCL	σ	1,50	1,47	1,33	1,65	1,87	1,76	1,50	1,42	1,80	1,65	1,67
	m	0,65	0,72	0,79	1,03	1,21	1,05	0,98	0,98	1,13	0,97	0,95
SAGMO	σ	2,53	2,20	2,13	2,40	2,43	2,06	1,27	0,91	1,26	1,52	1,74
	m	1,88	1,76	1,69	1,93	1,86	1,51	0,98	0,76	0,84	0,93	0,97
SAVHE	σ	1,76	1,86	1,94	2,70	2,57	2,25	2,31	2,28	1,85	2,38	2,48
	m	1,81	2,22	2,14	2,38	2,73	3,02	2,87	2,68	2,43	2,88	2,78

A terceira espécie que teve maior soma de notas de colonização foi o aguapé-de-cordão (*Eichhornia azurea*) totalizando 2108 pontos ao longo de 2004. As menores notas de colonização foram observadas em fevereiro com 1106 pontos e em março com 110 pontos. As maiores notas de colonização foram observadas em outubro e novembro com 206, 273 e 277 pontos, respectivamente. Esta planta é fixada no sedimento e suas folhas emergem na superfície de águas rasas. Como estas condições não são uniformes no reservatório, a sua população apresenta padrão de distribuição geográfica agregado, com

exceção de novembro e dezembro. Neste último mês há o rebaixamento da lâmina d'água para prevenir enchentes em Barra do Pirai.

O aguapé de cordão é uma espécie nativa na América do Sul, provavelmente originária da Região Amazônica. Ocorre em todo o território brasileiro, habitando coleções de água pouco profundas em sistemas lênticos. No mundo é menos dispersada que *E. crassipes*, a qual tem sido preferida como ornamental (Kissman & Groth, 1999).

Uma observação interessante no reservatório de Santana é a grande quantidade de perífiton formada nos caules submersos e a grande quantidade de ovos de *Pomacea* spp nos pecíolos das folhas emergentes, indicando que esta macrófita é muito importante no ciclo deste caramujo. Estas observações permitem inferir que a população desta macrófita é muito importante no estabelecimento da fauna em corpos hídricos, especialmente na alimentação das fases juvenis de organismos aquáticos.

As espécies *Brachiaria arrecta* (= *Brachiaria subquadripara*), *Paspalum repens* e *Pistia stratiotes* tiveram valores próximos nas notas anuais de colonização do reservatório de Santana, com soma das notas anuais de 1561, 1559 e 1520 pontos respectivamente.

Para *Brachiaria arrecta* o menor índice de colonização foi observado em janeiro com 100 pontos e o maior índice em agosto com 168. Devido ao hábito de crescimento desta planta, a qual coloniza áreas de pouca profundidade em margens, sua distribuição geográfica foi agregada em todos os meses do ano. Esta macrófita é exótica de introdução relativamente recente no Brasil, tem poucos inimigos naturais e, por isso, tem invadido margens de reservatório, rios e lagos. Hoje, é considerada uma ameaça nacional, pois constitui uma grande ameaça à biodiversidade brasileira, uma vez que apresenta densas colonizações em importantes áreas do pantanal mato-grossense e em áreas de recuperação da vegetação marginal em reservatório de hidrelétricas.

A *Brachiaria arrecta* é um destaque na preocupação do comitê sobre plantas exóticas do Ministério do Meio Ambiente pelo perigo que representa à integridade de ecossistemas lacustres, pequenos riachos e áreas alagadas, conforme foi discutido no Workshop sobre Organismos Exóticos Invasores realizado em Brasília em 2005 (Anais ainda não publicados).

Segundo Kissmann & Groth (1999) esta macrófita é originária da África e foi introduzida no Brasil como planta forrageira, escapando logo em seguida para áreas

cultivadas com arroz inundado, mas principalmente para margens de canais. Hoje a maior concentração se encontra nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso, e ao longo da costa leste. Forrageira de excelente aceitação pelo gado, fácil de multiplicar e formadora de grande massa verde, quando ingerida durante muitos dias produz intoxicações severas no gado, com sintomas de olhos fundos, pelo arrepiado e dificuldade no andar. Se não forem transferidos de pasto podem morrer. O motivo da intoxicação está na concentração de nitratos nas plantas, maior do que em outras espécies de *Brachiaria*. Na década de 80 foi um problema nas áreas do Projeto Formoso, em Goiás. Há fortes suspeitas da formação de híbridos entre *B. arrecta* e *Brachiaria mutica*. É possível que no reservatório de Santana, se trata de híbridos entre estas espécies e não de *B. arrecta* original, uma vez que em passado recente *B. mutica* foi importante invasora de reservatório e ambas as espécies foram simpátricas e sincrônicas.

As notas mensais de *Paspalum repens* variaram de 64 em janeiro para 173 em maio. No primeiro semestre do ano os valores foram crescentes e mantiveram-se constantes no segundo semestre. É uma planta nativa que não tem histórico de causar problemas em reservatórios, apenas interferindo no aspecto estético em corpos hídricos que cruzam áreas urbanas. É uma planta que ocorre em áreas marginais e daí sua distribuição geográfica ter sido agregada durante todo o ano. Esta gramínea é bastante favorecida em águas rasas com sedimento orgânico e, por isso, têm grande expressão em Santana.

Segundo Kissman & Groth (1999), *P. repens* é uma macrófita aquática muito freqüente em margens de lagoas, canais de drenagem e lavouras de arroz irrigado ou inundado. É uma planta enraizada, entretanto quando em margens de lagoas seus ramos crescem a grande distância para dentro da água, eventualmente desprendem-se e passam a formar ilhas flutuantes que continuam a crescer chegando a atingir grande extensão. A sua presença pode interferir com a utilização do manancial. Possui boas qualidades forrageiras. É uma planta freqüente em rios, meandros e corixos, lagoas, em solos argilosos ou siltosos férteis.

A alface-d'água (*Pistia stratiotes*) aumentou sua participação no primeiro semestre de 2004 no reservatório de Santana. Sua menor nota mensal de colonização foi de 55 pontos em janeiro. No desenvolvimento do primeiro semestre, suas notas cresceram lentamente até abril e rapidamente até atingir as maiores notas mensais de colonização nos

meses de agosto e setembro, com 209 pontos. Em apenas dois meses, a população de *Pistia stratiotes* apresentou distribuição geográfica agregada. Nos demais meses, sua distribuição geográfica obedeceu ao padrão casualizado. Este comportamento também pode ser explicado pelo hábito flutuante da alface-d'água, embora sua dispersão pela água não seja tão fácil como no caso das plantas do gênero *Salvinia*. A *Pistia stratiotes* apresenta parte aérea com morfologia menos adaptada à dispersão pelo vento e um vasto sistema radicular, o qual dificulta a movimentação das plantas no sentido contra-fluxo d'água, mesmo com ventos relativamente fortes a favor. Além disso, o vasto sistema radicular impede o trânsito destas plantas em áreas de baixa profundidade ou povoada com outras espécies, gerando acúmulos em determinadas regiões. Por isso, a população apresenta o padrão agregado de distribuição geográfica observada em algumas ocasiões.

A alface-d'água é bastante comum em reservatórios e corpos hídricos eutrofizados e tem rápido crescimento, muitas vezes competindo com a população de *Eichhornia crassipes* por espaço na lâmina d'água. No reservatório de Santana, foi encontrado um inimigo natural bastante importante na dinâmica de suas populações. Trata-se do lepidoptero *Samea multiplicalis*. Provavelmente existem outras espécies de *Samea* não identificadas atuando ao mesmo tempo. Quando as populações de alface-d'água se tornam bastante densas, há rápida multiplicação da população deste (s) inseto (s), reduzindo drasticamente o crescimento desta macrófita e também seu tamanho populacional. Normalmente, quando as densidades do inseto se tornam densas, há o afluxo de pássaros insetívoros, como *Jacana jacana*, *Gallinula* sp. e *Rallus* sp. que atuam reduzindo as populações do inseto. A população da alface-d'água volta a crescer, mas agora sob competição das plantas que ocuparam o ambiente durante sua redução populacional. Neste reservatório há um ciclo bastante interessante entre estas três guildas tróficas que mantém a população da *Pistia stratiotes* em níveis populacionais não problemáticos ao reservatório.

Segundo Kissman & Groth (1999), essa espécie ocorre de forma nativa em regiões tropicais e subtropicais das Américas, da África e da Ásia. Foi amplamente distribuída como ornamental no mundo, e hoje pode ser encontrada em ambientes naturais em todas as regiões, incluindo clima temperado ameno. Esta planta tem sido utilizada como alimento para animais, como porcos e patos. No Instituto Nacional para Pesquisas Amazônicas, em Manaus, tem sido usada para a alimentação de peixe-boi confinado.

Outra espécie que apresentou elevadas notas de ocorrência no reservatório de Santana foi a *Sagittaria montevidensis*. A soma anual de suas notas de ocorrência atingiu 1467 pontos, com o valor mensal mais baixo em setembro que foi 74 pontos e o mais alto em abril, 187 pontos. Esta macrófita ocupa um nicho ecológico que é muito importante na dinâmica do reservatório de Santana. Trata-se de uma planta pioneira que se estabelece logo após a colheita mecânica. Nas áreas mais rasas do reservatório, formam densos bancos de plântulas, rapidamente provendo alimento para a fauna herbívora remanescente. Há grande taxa de sobrevivência de plantas, as quais crescem profusamente, ocupam o reservatório, atuam fixando o substrato e servindo de pontos de ancoragem para espécies que são carregadas pela água, especialmente *Salvinia* e fragmentos de *Egeria densa*. Provavelmente a rápida colonização de *Sagittaria montevidensis* constitui um fator muito importante para o pronto re-estabelecimento da comunidade de macrófitas no reservatório.

Esta espécie se instala especificamente em áreas com fina lâmina d'água e com sedimento quase exposto, explicando sua distribuição geográfica agregada em todos os meses avaliados. Outro aspecto interessante neste estudo do reservatório de Santana é que a população de *Sagittaria montevidensis* tem seu ciclo bastante encurtado pela incidência de um fungo fitopatogênico que provoca lesões necróticas na lâmina foliar. Após algum tempo, as manchas coalescem e provocam a abscisão da folha. Este fungo foi identificado ao nível de gênero pelo Dr Robert Barreto (UFV, Viçosa, MG) como *Cylindrocarpon* spp. Vários trabalhos foram desenvolvidos com este fungo para sua utilização como agente de controle biológico desta planta pela estratégia inundativa (Maia, 2002), com o objetivo de testar a hipótese de que o atraso da colonização por esta planta vai retardar a rápida instalação do restante da comunidade de macrófitas.

Segundo Kissman & Groth (1999), *Sagittaria montevidensis* é uma espécie originária de uma região compreendida pelo Uruguai, Argentina, Chile, Peru, Paraguai, Bolívia e Região Meridional do Brasil. Foi dispersa e hoje se encontra em estado livre até o sul dos Estados Unidos. É cultivada como ornamental em diversas partes do mundo. É importante invasora em canais de irrigação e drenagem, bem como em quadros de lavouras de arroz irrigado, particularmente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A *Sagittaria montevidensis* atualmente constitui um sério problema em áreas de arroz

inundado, onde desenvolveu populações resistentes aos herbicidas inibidores da ALS (Eberhardt & Noldin, 2002).

Ocupando habitats similares ao ocupado por *Sagittaria montevidensis*, a população de *Pontederia lanceolata* apresentou soma anual de notas de colonização de 1015 pontos. Seus valores mensais variaram de 63 pontos em janeiro a 117 em maio. Considerando os valores médios mensais das notas de colonização e a variância dos dados dos 97 pontos amostrais, a população desta macrófita mostrou distribuição geográfica agregada por todo o ano.

Acima de 500 pontos de nota anual de ocorrência destacaram-se as seguintes populações: *Alternanthera philoxeroides*, *Hymenachne amplexicualis*, espécies não identificadas do gênero *Ludwigia* e *Polygonum lapathifolium*.

Alternanthera philoxeroides é nativa do Brasil e não tem sido narrada como macrófita causadora de problemas em reservatórios, embora, nas condições de Santana, apenas antes da colocação das barreiras flutuantes tenha contribuído para o entupimento das grades de proteção na Usina Elevatória de Vigário. A soma anual das notas de colonização desta macrófita atingiu 632 pontos no decorrer de 2004. A menor avaliação de colonização ocorreu no mês de janeiro, 20 pontos, e a maior nota foi obtida em agosto com 95 pontos. A população apresentou distribuição geográfica no padrão agregado durante todos os meses avaliados, o que pode ser explicado pelo seu próprio hábito de crescimento de planta enraizada no sedimento e características de áreas rasas.

Segundo Kissman & Groth (1999) é planta nativa do continente Sul Americano. Atualmente é encontrada desde o oeste dos Estados Unidos até a Argentina. Também ocorre na África, sudeste da Ásia e Austrália. No Brasil tem vasta distribuição geográfica infestando áreas úmidas ou alagadas, inicialmente a partir das margens, podendo partes do vegetal se desprender e flutuar, prendendo-se em obstáculos. Servindo de barreira, permite o acúmulo de detritos e outros vegetais. A massa vegetal impede a penetração da luz na água, alterando o ambiente.

As populações de *Alternanthera philoxeroides* não apresentavam fluxos populacionais no reservatório de Santana devido a freqüente predação pelo coleóptero *Agasicles hygrophila*. Este inseto também é nativo do Brasil, bastante específico para esta macrófita e foi introduzido em outros países para o controle biológico clássico.

Hymenachne amplexicualis apresentou soma anual de notas de colonização de 906 pontos, com notas mensais variando de 15 pontos em janeiro até 115 em agosto. Esta planta tem um comportamento bastante interessante: consegue infestar corpos hídricos com até dois metros de profundidade, mas não consegue sobreviver sobre uma lâmina d'água constante (Csurhes & Edwards, 1998). Necessita de uma variação de nível, estando ora em área inundada, ora com sedimento exposto. Este tipo de comportamento explica sua ocorrência mais evidente em Santana que em muitos outros reservatórios e seu padrão de distribuição geográfica agregada durante todas as avaliações mensais.

Segundo Kissman & Groth (1999) é planta nativa no Continente Americano, ocorrendo desde o México até a Argentina. Não é muito freqüente no Brasil. Constitui excelente forrageira para bois e búfalos, sendo bem aceita mesmo em estádios avançados de desenvolvimento. É importante invasora em canais e outras coleções de água pouco profundas. Esta invasora exótica está crescendo de importância em várzeas úmidas, tendo sido relatada também em lavoura de arroz.

Polygonum lapathifolium é outra macrófita aquática bastante comum no Brasil. Tem grande importância como vegetação de margem em rios de grande porte destacando-se no Rio Miranda e Paraguai. Em Santana, sua nota anual de colonização foi de 914 pontos, com variação de 36 pontos em janeiro até 122 em dezembro. É uma planta que ocorre em áreas marginais servindo corpos hídricos lóticos, como são os canais centrais do reservatório de Santana e pode ser confundida com uma série de outras espécies do mesmo gênero, morfológicamente bastante similares. Por suas características de ocupação do habitat apresentou distribuição geográfica no padrão agregada durante todos os meses do ano.

Segundo Kissman & Groth (1999) esta planta é originária da Europa, hoje é bastante disseminada por regiões de climas temperados e subtropicais no mundo. Comum na América do Norte. Ocorre em grande parte do território brasileiro, com presença também no Uruguai e Argentina. Constitui uma planta exótica infestante agressiva em áreas inundadas, como margens de represas e lagos. Colônias dessa planta formam consideráveis massas vegetais, bastante compactas e exclusivas, podendo tomar centenas de metros quadrados de superfície, o que impede usos dessas áreas. Com as enchentes, porções dessa massa podem ser arrancadas e levadas pela água, podendo entupir canalizações ou turbinas.

Há grande diversidade de espécies do gênero *Ludwigia* no reservatório de Santana. No período de observação, algumas plantas de *Ludwigia octovalvis* e de *Ludwigia elegans* puderam ser identificadas, mas a grande maioria apenas foi classificada ao nível de gênero. Não é conveniente discutir padrões de distribuição geográfica de um gênero, mas é importante ressaltar que as plantas de *Ludwigia* podem ser consideradas como colonizadoras tardias no reservatório de Santana, tendo um franco estabelecimento em sucessão à colonização das áreas expostas do sedimento por outras espécies.

Das demais espécies encontradas no reservatório merecem destaque: *Eichhornia crassipes*, *Echinochloa polystachya* e *Myriophyllum aquaticum*.

O aguapé (*E. crassipes*) foi a primeira população a se estabelecer como problema no reservatório de Santana e sempre mereceu atenção especial quando são citadas as plantas aquáticas daquele corpo hídrico. No ano de 2004 sua população não teve a mesma importância observada nos últimos anos posteriores pela equipe do NEPEAM que realiza o monitoramento dos reservatórios da Light. Com a introdução do controle químico usando o herbicida 2,4-D, houve uma intensa seleção de flora e a *Echinochloa polystachya* passou a ser a macrófita predominante no sistema. Esta população também não teve destaque neste estudo realizado em 2004.

Os motivos para as reduções das importâncias relativas destas populações podem ser vários, mas as observações de campo permitem acusar algumas causas mais relevantes para este processo. Na população de aguapé foram observados vários inimigos naturais atuando em conjunto e dificilmente foram encontradas plantas com bom aspecto sanitário. Foram identificados os insetos *Neochetina eichhorniae*, *Neochetina brucchi*, *Samea* sp, *Bellura densa* e *Cornops* spp. Havia outros insetos que não puderam ser caracterizados como predadores desta planta. Como fitopatógenos foram identificados *Cercospora piaropi* e *Acremonium zonatum*.

Para a população de *Echinochloa polystachya* e *Typha* spp parece claro que a retirada mecânica e a introdução de plantas colonizadoras mais eficazes para sedimento expostos, como a *Brachiaria arrecta* contribuíram para o menor sucesso destas macrófitas mais tradicionais no reservatório.

As populações de *Myriophyllum aquaticum* durante todo o ano sofreram freqüentes predações pelo coleóptero *Euhrychiopsis lecontei* impedindo os aumentos das densidades populacionais.

Numa visão geral foi possível estabelecer quatro seres na re-colonização do reservatório após a operação de colheita mecânica, com importantes implicações na colheita mecânica. A primeira sere ocorreu com a colonização primária do sedimento por plantas como *Sagittaria montevidensis*, *Pontederia lanceolata*, *Commelina diffusa* e *Fimbristilis milliacea*. No reservatório de Santana ocorreu ampla predominância de *Sagittaria montevidensis* e, por isso, esta sere ficou conhecida como “estádio da sagitária”. Estas plantas tiveram importante função de fixação do sedimento e promoveu oportunidade para instalação da segunda sere.

A segunda sere foi caracterizada por densa colonização por populações de *Eichhornia azurea*, *Brachiaria arrecta*, *Paspalum repens*, *Echinochloa crus-galli*, *Heteranthera reniformis* e *Egeria densa* nas áreas mais profundas. Neste estágio seral começa a ocorrer multiplicação de *Pistia stratiotes* e *Salvinia spp.* É importante salientar que as plantas do primeiro estágio seral permanecem no reservatório, mas sem um caráter predominante.

O terceiro estágio seral foi caracterizado por adensamento das populações de *Brachiaria arrecta* e *Eichhornia azurea* e pelo aumento das importâncias relativas de *Ludwigia spp.*, *Oxycharium cubense*, *Enidra sessilis*, *Rhynchospora aurea* e outras. É importante salientar que *Oxycharium cubense* e *Enidra sessilis* predominantemente crescem em áreas de sedimento exposto ou de forma epifítica em colonizações de *Pistia stratiotes*, *Salvinia spp.* e *Eichhornia crassipes*.

O quarto estágio seral foi caracterizado por densas populações de plantas adultas *Ludwigia spp.*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Panicum rivulare*, *Typha sp.*, *Thalia geniculata* e outras. Neste estágio há grande diversidade de espécies porque sobrevivem espécies de todos estádios serais, principalmente devido à heterogeneidade espacial do reservatório e algumas operações de colheita mecânica que ainda ocorreram em 2004.

Com a determinação destes estádios serais talvez seja possível otimizar a retirada mecânica das macrófitas aquáticas no reservatório de Santana. Primeiro é preciso explicar como é feito controle mecânico neste reservatório.

A opção do controle mecânico de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana compreende três fases distintas. A primeira consiste no arranquio dos bancos de macrófitas fixadas no sedimento ou confinadas por outras populações e suas liberações no fluxo d'água. Estas macrófitas são levadas em direção à estação elevatória de Vigário até serem detidas por barreira flutuante localizadas a dois quilômetros da referida estação, onde se acumulam. A segunda fase consiste na retirada destas macrófitas do corpo hídrico utilizando dragas que as depositam em caminhão-caçamba. A terceira fase consiste no transporte e deposição nas áreas de descarte.

A operação de controle mecânico no estágio das sagitárias seria rápida, com pequena biomassa de plantas e rápido transporte. As plantas jovens apresentariam uma relação C/N menor e menor tempo de decomposição, facilitando a re-utilização da área de descarte. Nesta época de colheita mecânica, as operações deverão ser freqüentes. Por contraste, o controle mecânico no último estágio seral acarretaria expressivo impacto sobre as populações animais instalados na vegetação, há grande biomassa a ser retirada e com elevado grau de dificuldade, há maior biomassa para transporte e disposição e o material vegetal terá maior dificuldade de decomposição. No entanto, a freqüência de operações pode ser bem menor. Entre estes dois extremos há inúmeras possibilidades para serem testadas em modelos de custo/benefício.

4.2. Diversidade das comunidades de macrófitas aquáticas através de índices ecológicos

Um dos mais importantes parâmetros para análise de comunidades bióticas é uma medida de sua diversidade de espécies. A medida da diversidade utilizada neste trabalho foi o índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e de Equitabilidade (E') calculado pela relação entre o coeficiente de diversidade da comunidade numa determinada época de amostragem e o coeficiente máximo obtido caso todas as populações tivessem os mesmos valores de colonização relativa. Estes valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores obtidos para os coeficientes de diversidade de Shannon-Weaver (H') e de Equitabilidade (E') calculados com os dados de colonização relativa das populações de macrófitas aquáticas que habitavam o reservatório de Santana nas épocas de avaliação no ano de 2004.

<i>Mês</i>	<i>H'</i>	<i>E'</i>
Janeiro	2,59	0,76
Fevereiro	2,69	0,79
Março	2,78	0,80
Abril	2,80	0,81
Maio	2,75	0,80
Julho	2,69	0,76
Agosto	2,75	0,79
Setembro	2,71	0,79
Outubro	2,69	0,80
Novembro	2,64	0,80
Dezembro	2,67	0,79

Houve grande similaridade entre os valores dos índices de diversidade e de equitabilidade quando foram comparadas as épocas de avaliação. Este coeficiente variou de 2,59 na avaliação realizada em janeiro a 2,80 na realizada em Abril. Não houve uma relação direta entre os valores do coeficiente de diversidade e a riqueza de espécies no reservatório, uma vez que os menores números de unidades taxonômicas foram observados nas avaliações de dezembro e novembro (Tabela 01). O que contribuiu para reduzir o valor do coeficiente de diversidade da comunidade de macrófitas em janeiro foi o maior desequilíbrio entre as participações relativas de algumas populações, especialmente *Hymenachne amplexicualis*, *Paspalum repens*, *Polygonum lapathifolium* e *Pontederia lanceolata*. Por outro lado, na avaliação realizada em abril, com o maior coeficiente de diversidade, também não ocorreu a maior riqueza de espécies, mas houve maior equilíbrio entre os tamanhos das populações que colonizavam o reservatório. A maior riqueza de espécies ocorreu na avaliação realizada no mês de julho. A grande virtude do coeficiente de diversidade de Shannon-Weaver é considerar um balanço entre número de unidades taxonômicas e as ocorrências relativas de cada uma na comunidade (Pinto-Coelho, 2000). Assim, tanto pela riqueza de espécies quanto pelo coeficiente de diversidade é possível afirmar que o reservatório não sofreu expressivas alterações durante o ano de 2004.

Os valores do coeficiente de equitabilidade também foram relativamente estáveis quando foram comparadas as épocas de avaliação, variando de 0,76 em janeiro e julho a 0,81 em março. Os valores podem ser considerados elevados para comunidade em fase de sucessão ecológica e constituem uma forma de inferir que os valores dos coeficientes de diversidade foram elevados para cada época de avaliação. Esta afirmação é baseada no significado do coeficiente de equitabilidade que constitui a relação entre H' e H' máximo para o número de espécies de cada avaliação.

Embora com coeficiente de diversidade e de equitabilidade com valores muito próximos as comunidades devem ser comparadas quanto às suas composições específicas, pois este tipo de diferença não é detectado pela análise dos coeficientes citados, uma vez que comunidades completamente diversas podem ter valores iguais de diversidade e equitabilidade.

4.3. Análise de agrupamento utilizando diferentes índices de similaridade.

Através da matriz de ausência e presença de espécies nas épocas de avaliação das comunidades de macrófitas no ano de 2004 foram criadas matrizes de similaridade para cada índice binário e utilizadas a seguir no processamento das análises de agrupamento que mostraram variações na determinação de grupos. Na Figura 3 estão apresentados os dendrogramas referentes aos índices de similaridade das comunidades de macrófitas aquáticas no ano de 2004.

Os dendrogramas criados a partir dos índices de similaridade Anderberg, Jaccard, Ochiai, Ochiai II, Odum e Sorensen definiram uma estrutura de grupos muito parecida, dividindo a comunidade de macrófitas em dois grupos enquanto que os dendrogramas criados a partir dos índices de similaridade Russel & Rao, simple-matching e Rogers & Tanimoto apresentaram outras formações de grupos. Os grupos Rogers & Tanimoto e simple-matching apresentaram os mesmos resultados.

Considerando apenas a formação de dois grupos de similaridade, os índices de Anderberg, Jaccard e Ochiai produziram a mesma ordenação mensal. Os meses janeiro, abril, dezembro, maio e fevereiro foram agregados num grupo enquanto que os meses março, outubro, agosto, julho, novembro e setembro em outro grupo.

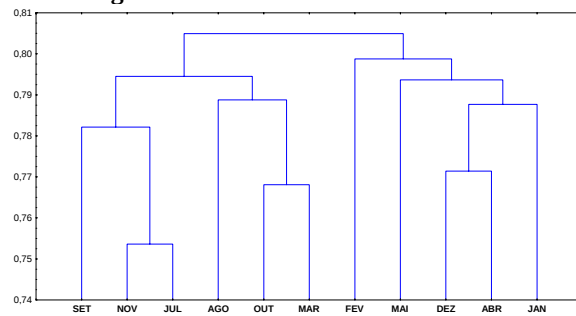
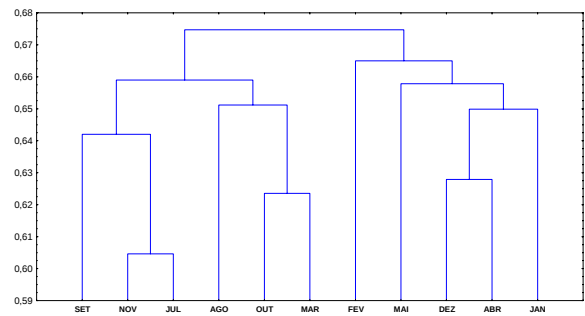
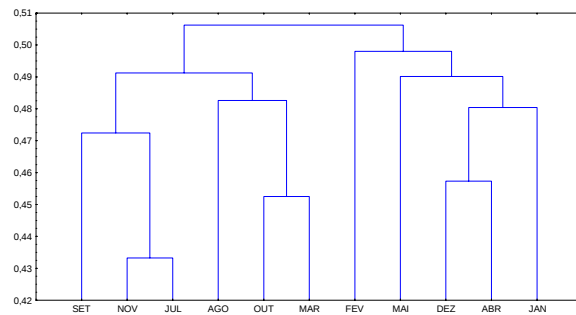
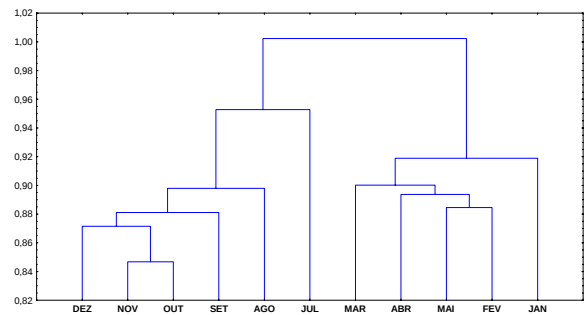
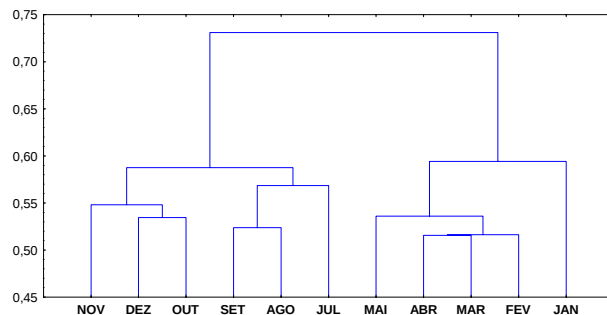
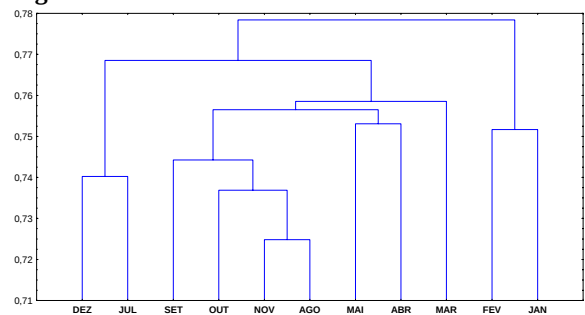
Anderberg**Jaccard****Ochiai****Ochiai II****Odum****Rogers & Tanimoto**

Figura 3 – Dendrogramas referentes aos índices de similaridade das comunidades de macrófitas aquáticas no ano de 2004 no reservatório de Santana, Piraí, RJ.

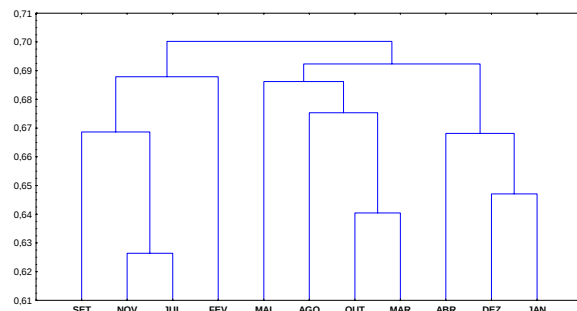
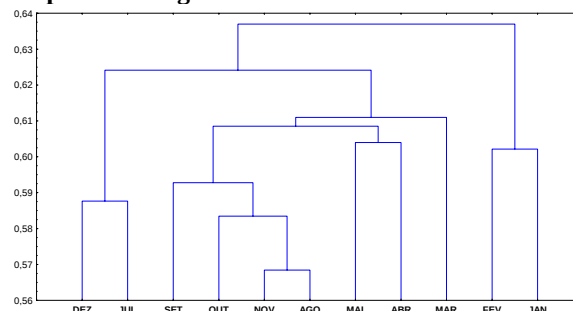
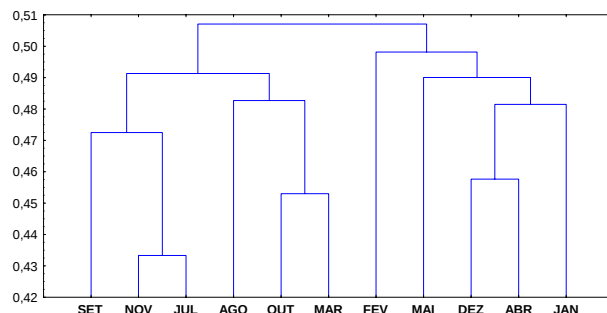
Russel & Rao**Simple matching****Sorensen**

Figura 3 – Dendrogramas referentes aos índices de similaridade das comunidades de macrófitas aquáticas no ano de 2004 no reservatório de Santana, Piraí, RJ (contin.).

Os índices de Ochiai II, embora com seqüência relativa das populações ligeiramente diferente, também separou dois grupos de meses idênticos aos índices já citados, ocorrendo o mesmo com os índices “simple-matching” e de Sorensen. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de ter ocorrido uma importante redução de cota no mês de julho, com o sedimento exposto na maioria da superfície do lago. É importante destacar que devido a pequena profundidade do reservatório, não foi possível realizar o levantamento das comunidades de macrófitas no mês de julho. Os índices de Rogers & Tanimoto, Russel & Rao apresentaram fracas separações para dois grupos.

A arquitetura diferenciada na construção de grupos nos dendrogramas inerentes a cada índice de similaridade é um resultado muito importante alertando aos pesquisadores o cuidado da não utilização individual de um único índice no processamento de análises estatísticas.

4.4. Análise de agrupamento utilizando índice de dissimilaridade.

A análise de agrupamento utilizando matriz de dissimilaridade (distância euclidiana) construída a partir das notas de colonização das plantas nos diferentes meses do ano mostraram uma arquitetura de grupos contendo dois grupos (Figura 4): um grupo contém os meses de janeiro a maio nessa ordem e outro de julho a dezembro nessa ordem. Esta divisão pode ser explicada pela grande depleção do reservatório ocorrida em junho, com grande exposição do sedimento, propiciando o estabelecimento de algumas espécies e a redução da colonização relativa de outras.

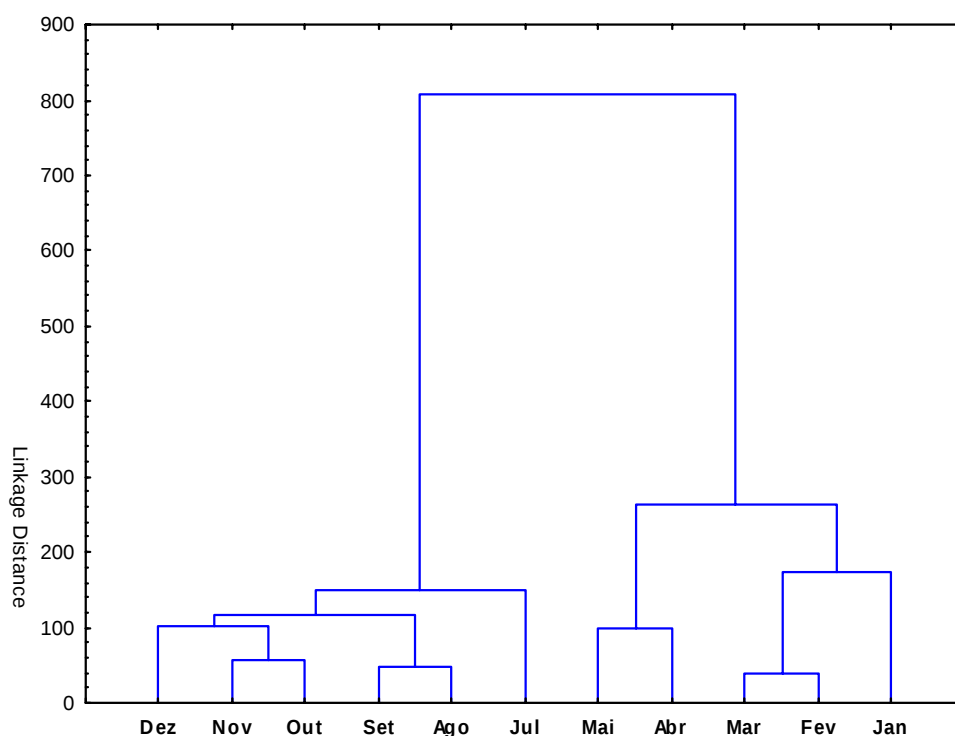


Figura 04 – Dendrograma mostrando a classificação das comunidades macrófitas aquáticas no reservatório de Santana, ano de 2004.

Houve uma ordenação dos meses de amostragem de janeiro a dezembro. As similaridades mais intensas ocorreram nos meses março e fevereiro, outubro e novembro, e setembro e agosto. Este comportamento pode ser interpretado da seguinte maneira: a comunidade de macrófitas aquáticas presente em cada um dos meses apresentou

características mais próximas aos meses vizinhos demonstrando uma variação contínua do comportamento da comunidade no tempo. No entanto, este comportamento foi drasticamente alterado no mês de junho devido redução da cota do reservatório, o que pode ser facilmente observado pela formação dos dois grandes grupos de semelhança de comportamento.

Na tabela 1 é possível observar drásticas reduções nas colonizações de *Cyperus ferax* e *Ludwigia* sp no segundo semestre de 2004, que foram acompanhadas de expressivos aumentos nas densidades de *Echinochloa polystachya*, *Hymenachne amplexicualis*, *Ipomoea alba*, *Pistia stratiotes* e *Polygonum lapatipholium*. Estas variações nas densidades populacionais destas espécies podem ser responsáveis pela detecção destes dois grupos de comportamento da comunidade de macrófitas detectados pela análise de agrupamento. A maioria destas espécies, que tiveram suas colonizações aumentadas no segundo ciclo, representa as populações características dos dois últimos estádios serais da comunidade de macrófitas, definidos para fins práticos de programação de controle mecânico.

Com a finalidade de avaliar as espécies que discriminam os grupos definidos na análise de agrupamento, foi realizada análise de componentes principais cujos resultados estão apresentados na Figura 03.

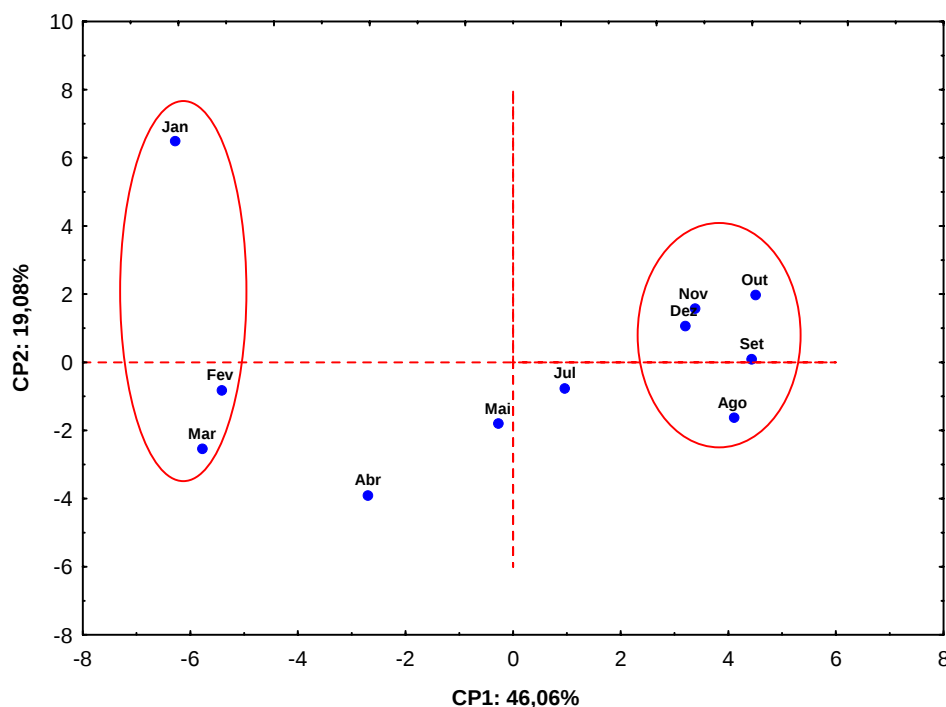


Figura 03 – Distribuição dos meses referentes ao comportamento da comunidade de macrófitas aquáticas, reservatório de Santana, ano de 2004.

Com 65,14% da variância total retida nos dois primeiros componentes principais foi possível discriminar dois grupos de meses com comunidades com características diferentes. No primeiro grupo localizado à esquerda do primeiro componente principal estão os meses de janeiro, fevereiro e março e no segundo grupo localizado à direita do primeiro componente principal estão os meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. Os meses de julho, março e abril apresentam características intermediárias entre estes dois grupos ou mesmo características de transição o que não permitiu discriminá-los.

A figura 04 apresenta a distribuição das espécies segundo os dois primeiros componentes principais. O primeiro componente principal foi o responsável pela discriminação contida na Figura 03. Assim, quanto mais próximo das extremidades do eixo x (primeiro componente principal) uma espécie se localizar maior será seu poder discriminatório junto aos dois grupos. Dentre essas espécies, as mais discriminatórias no reservatório nos meses de janeiro a março foram: *Sagittaria montevidensis*, *Ludwigia sp*, *Rhynchospora aurea*, *Cyperus iria*, *Cyperus ferax* e *Aeschynomene denticulata*. É

importante salientar que são espécies marginais que se destacaram nos levantamentos logo após a limpeza mecânica do reservatório realizada em 2003.

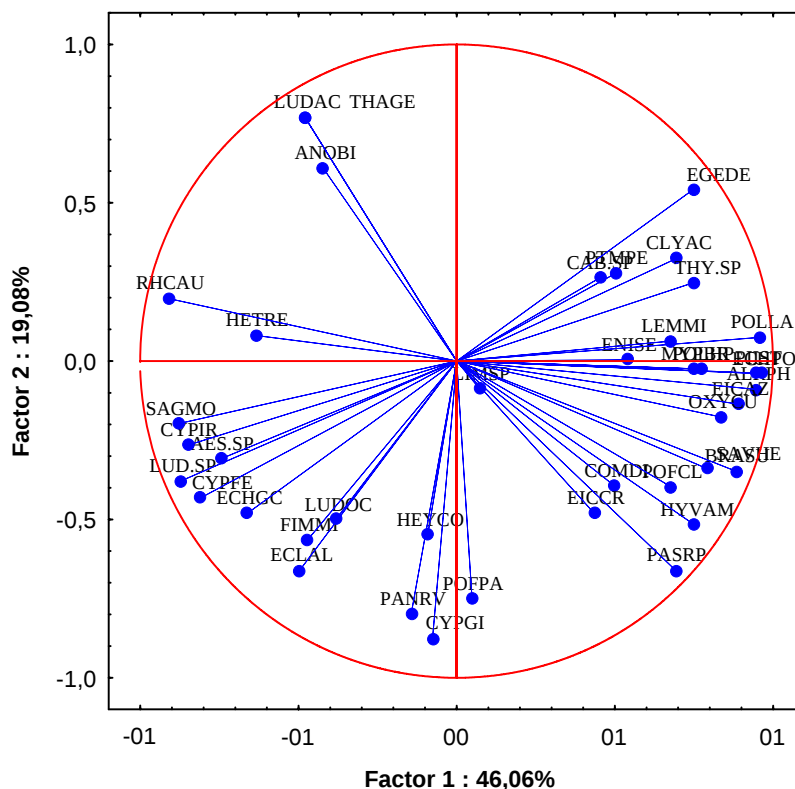


Figura 04 – Projeção das variáveis referentes aos padrões determinados pela análise de componentes principais das comunidades macrófitas aquáticas do reservatório de Santana nas diferentes épocas de amostragem realizadas no ano de 2004.

As espécies mais discriminatórias nos meses de agosto a dezembro foram aquelas que colonizavam o sedimento e caracterizavam os dois últimos estádios serais: *Echinochloa polystachya*, *Polygonum lapathifolium*, *Alternanthera phyloxeroides*, *Pistia stratiotes*, *Eichhornia azurea*, *Brachiaria arrecta* e *Oxyscarium cubense*.

4.3. Estratificação e ordenação das espécies de macrófitas aquáticas por Redes Neurais

A melhor classificação feita pela rede neural de Kohonen foi aquela composta de nove grupos apresentadas nas tabelas 04 a 06. As tabelas apresentam as médias de cada grupo. Segundo os resultados da rede de Kohonen, as populações de *Egeria densa* e

Salvinia herzogii apresentaram o mesmo comportamento quanto à colonização do reservatório nos meses do ano, com exceção do mês de janeiro para *Salvinia herzogii* e dos meses de fevereiro e março para *Egeria densa*, quando foram classificadas no grupo 2. Nestes meses a população de *Egeria* apresentou os mais baixos valores de colonização, conforme Tabela 01. O mesmo comportamento pode ser atribuído à população de *Salvinia herzogii* que no mês de janeiro apresentou a mais baixa nota de colonização (176) em comparação com os outros meses (acima de 200). No segundo grupo foram agrupadas as populações de *Eichhornia crassipes*, *Paspalum repens* e *Pistia stratiotes*. Esta última esteve presente neste grupo somente a partir de certo estágio da evolução da comunidade, cronologicamente marcado pelo mês de maio. Nos primeiros meses do ano, devido sua baixa nota de colonização, esta espécie foi classificada no grupo oito.

O grupo três contém *Ludwigia* sp e *Sagittaria montevidensis* nas densidades populacionais observadas até maio para a primeira e até julho para a segunda. O grupo 4 foi composto apenas por *Pontederia lanceolata* em todos os meses do ano, o grupo 5 composto apenas por *Brachiaria arrecta* e o grupo 7 apenas por *Panicum rivulare*. O grupo 6 foi formado pela população de *Polygonum lapathifolium*. Espécies que não apresentaram padrões muito bem definidos de colonização foram inseridas nos grupos 8 e 9, onde se situam importantes macrófitas aquáticas do histórico do reservatório, como *Eichhornia crassipes*.

Esta divisão dos grupos de colonização é devida a atributos característicos da espécie. Por exemplo, *Salvinia herzogii* e *Egeria densa* foram incluídas no mesmo grupo de colonização pela exigência comum que é de áreas abertas, sem intensa colonização de outras espécies e alta incidência de luz. Espécies como *Sagittaria montevidensis* e *Ludwigia* sp (especialmente *Ludwigia repens*) são colonizadoras primárias e são substituídas por outras na evolução temporal da comunidade. Por isso, formaram um grupo conciso no primeiro semestre de avaliações.

Tabela 05 – Grupos de padrões de colonização das populações de espécies de macrófitas aquáticas estabelecidos pelo método de Redes Neurais de Kohonen em comunidade estudada no Reservatório de Santana em 2004.

GRUPO 1	média (233,0)	GRUPO 2	média (164,2)	GRUPO 3	média (158,5)
EGEDE_JAN	208,0	EICAZ_JAN	133	LUD.SP_JAN	105
SAVHE_FEV	215,0	SAVHE_JAN	176	SAGMO_JAN	182
SAVHE_MAR	208,0	EICAZ_FEV	136	LUD.SP_FEV	146
EGEDE_ABR	163,0	PASRP_FEV	116	SAGMO_FEV	171
SAVHE_ABR	231,0	EICAZ_MAR	145	LUD.SP_MAR	157
EGEDE_MAI	181,0	PASRP_MAR	122	SAGMO_MAR	164
SAVHE_MAI	265,0	EICAZ_ABR	173	LUD.SP_ABR	162
EGEDE_JUL	172,0	PASRP_ABR	173	SAGMO_ABR	187
SAVHE_JUL	293,0	EICAZ_MAI	161	LUD.SP_MAI	141
EGEDE_AGO	200,0	PASRP_MAI	163	SAGMO_MAI	181
SAVHE_AGO	280,0	PIIST_MAI	161	SAGMO_JUL	147
EGEDE_SET	223,0	EICAZ_JUL	165		
SAVHE_SET	260,0	PASRP_JUL	141		
EGEDE_OUT	263,0	PIIST_JUL	176		
SAVHE_OUT	236,0	EICAZ_AGO	171		
EGEDE_NOV	267,0	PASRP_AGO	163		
SAVHE_NOV	277,0	PIIST_AGO	209		
EGEDE_DEZ	215,0	EICAZ_SET	187		
SAVHE_DEZ	270,0	PASRP_SET	159		
		PIIST_SET	209		
		EICAZ_OUT	177		
		PASRP_OUT	155		
		PIIST_OUT	190		
		EICAZ_NOV	190		
		PASRP_NOV	146		
		PIIST_NOV	183		
		EICAZ_DEZ	188		
		PASRP_DEZ	157		
		PIIST_DEZ	136		

Tabela 06 - Grupos de padrões de colonização das populações de espécies de macrófitas aquáticas estabelecidos pelo método de Redes Neurais de Kohonen em comunidade estudada no Reservatório de Santana em 2004.(continuação)

GRUPO 4	Média (92,3)	GRUPO 5	Média (141,9)	GRUPO 6	Média (79,5)
POFCL_JAN	63	BRASU_JAN	100	POLLA_JAN	36
POFCL_FEV	70	BRASU_FEV	112	POLLA_FEV	44
POFCL_MAR	77	BRASU_MAR	117	HYVAM_MAR	59
POFCL_ABR	100	BRASU_ABR	148	POLLA_MAR	46
POFCL_MAI	117	BRASU_MAI	153	POLLA_ABR	64
POFCL_JUL	102	BRASU_JUL	150	POLLA_MAI	59
POFCL_AGO	95	BRASU_AGO	168	POLLA_JUL	82
POFCL_SET	95	BRASU_SET	157	POLLA_AGO	106
POFCL_OUT	110	BRASU_OUT	163	POLLA_SET	119
POFCL_NOV	94	BRASU_NOV	154	POLLA_OUT	121
POFCL_DEZ	92	BRASU_DEZ	139	ALRPH_NOV	76
				POLLA_NOV	115
				ALRPH_DEZ	64
				POLLA_DEZ	122

Os resultados da análise de componentes principais, processada somente com as populações que se destacaram nos primeiros grupos é mostrada num plano bidimensional que consta da Figura 04. Os resultados mostraram que os meses do ano podem ser agrupados em três grupos. No grupo localizado à esquerda do primeiro componente principal estão englobadas as espécies que mais caracterizam os meses de janeiro, fevereiro e março. Nestes três meses de amostragem se destacam as populações de *Sagittaria montevidensis* e *Pontederia lanceolata* que colonizavam áreas marginais e rapidamente se estabeleceram no primeiro estágio seral. O comportamento destas espécies nestes meses foi o fator de maior contribuição para a semelhança entre estes meses.

Outras espécies, como *Brachiaria arrecta*, *Panicum rivulare* e *Pontederia lanceolata* provavelmente apresentam plasticidade fenotípica suficiente para manter sua taxa de colonização, independente do estágio evolutivo da comunidade de macrófitas e do tipo de habitat disponibilizado para seu estabelecimento e crescimento. Este comentário pode ser estendido ao *Polygonum lapathifolium*. São, portanto, populações que podem ser encontradas como muito comuns nos vários estágios serais da comunidade de macrófitas.

Tabela 07 - Grupos de padrões de colonização das populações de espécies de macrófitas aquáticas estabelecidos pelo método de Redes Neurais de Kohonen em comunidade estudada no Reservatório de Santana em 2004(continuação)

GRUPO 7	Média (41,5)	GRUPO 8	Média (75,8)	GRUPO 9	Média (5,0)
PANRI_JAN	30	PASRP_JAN	64	AESDE_JAN	1
PANRI_FEV	43	PIIST_JAN	55	ALRPH_JAN	20
PANRI_MAR	48	EGEDE_FEV	106	ANOBI_JAN	5
PANRI_ABR	49	PIIST_FEV	59	CAB.SP_JAN	0
PANRI_MAI	51	EGEDE_MAR	110	COMDI_JAN	0
PANRI_JUL	49	PIIST_MAR	59	CYPFE_JAN	11
PANRI_AGO	50	ALRPH_ABR	48	CYPGI_JAN	4
PANRI_SET	43	HYVAM_ABR	99	CYPIR_JAN	2
PANRI_OUT	34	PIIST_ABR	83	ECHGC_JAN	0
PANRI_NOV	34	ALRPH_MAI	60	ECHPO_JAN	1
PANRI_DEZ	26	EICCR_MAI	45	ECLAL_JAN	0
		HYVAM_MAI	113	EICCR_JAN	4
		MYPBR_MAI	36	ENISE_JAN	0
		ALRPH_JUL	48	FIMMI_JAN	0
		HYVAM_JUL	96	HEYCO_JAN	2
		LUD.SP_JUL	43	HETRE_JAN	2
		MYPBR_JUL	37	HYVAM_JAN	15
		ALRPH_AGO	95	CLYAC_JAN	13
		HYVAM_AGO	115	LEMMI_JAN	0
		MYPBR_AGO	74	LIM.SP_JAN	0
		SAGMO_AGO	95	LUDOC_JAN	3
		ALRPH_SET	93	LUDAC_JAN	9
		HYVAM_SET	101	MYPBR_JAN	27
		MYPBR_SET	63	OXYCU_JAN	0
		SAGMO_SET	74	POLHP_JAN	5
		ALRPH_OUT	79	POFPA_JAN	0
		HYVAM_OUT	111	PTMPE_JAN	0
		MYPBR_OUT	45	RHCAU_JAN	4
		SAGMO_OUT	82	THAGE_JAN	1
		HYVAM_NOV	88	THY.SP_JAN	1
		MYPBR_NOV	48	AESDE_FEV	2
		SAGMO_NOV	90	ALRPH_FEV	27
		HYVAM_DEZ	69	ANOBI_FEV	2
		SAGMO_DEZ	94	CAB.SP_FEV	0
				Etc...	

Num segundo grupo, localizado à direita do primeiro componente principal foram agregadas as populações que mais caracterizaram os meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. A este grupo foram associadas inúmeras espécies que são reflexos da heterogeneidade espacial que se estabeleceu com a colonização do reservatório de Santana. As espécies associadas a esta época de amostragem foram *Egeria densa*, *Paspalum repens*, *Eichhornia azurea*, *Salvinia herzogii*, *Brachiaria arrecta* e *Polygonum lapathifolium*

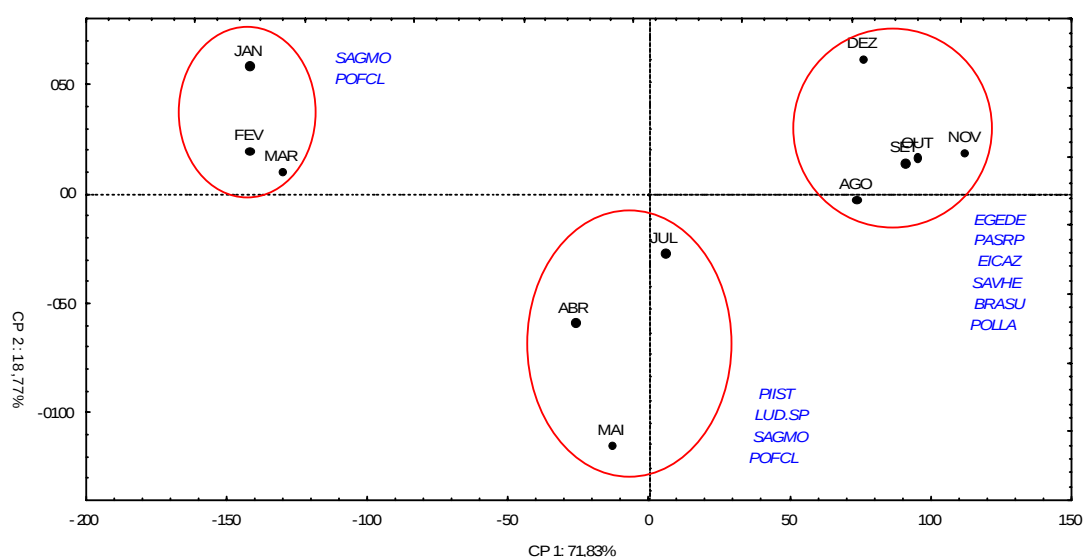


Figura 04 – Análise de componentes principais dos dados de frequência das espécies de macrófitas aquáticas agrupadas nos grupos 1,2 e 3 da análise de Kohonen

Em um terceiro grupo estão segregadas as espécies que mais caracterizaram os meses de maio, abril e julho e há a associação das populações de *Pistia stratiotes*, *Ludwigia* sp, e também, *Sagittaria montevidensis* e *Pontederia lanceolata*. Estas duas espécies já foram importantes no primeiro grupo e, outra vez, evidenciam a possibilidade de espécies com elevada plasticidade fenotípica para colonização de diferentes estádios serais da sucessão.

As várias abordagens de análise dos resultados do levantamento das populações de macrófitas aquáticas demonstraram que houve uma bem definida sucessão de condições de colonização no reservatório que permite a definição de estágio serais para fins de elaboração de planos de manejo. Durante a evolução da fitocenose houve maiores similaridades entre os meses subsequentes e as magnitudes populacionais foram fatores que se associaram aos agrupamentos determinados pelas análises multivariadas que apresentaram interpretações similares para os dados levantados.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi conduzido o presente levantamento de macrófitas aquáticas com tratamento dos dados pode-se concluir que:

- Houve uma definida sucessão de condições de colonização do reservatório, podendo estabelecer etapas ou estádios serais de acordo com critérios definidos funcional ou biologicamente;
- Não foi possível detectar uma sucessão de populações, mas uma sucessão de condições de colonização, uma vez que não houve expressivas adições ou extinções de espécies no reservatório durante o ano;
- As espécies exóticas ao ambiente do reservatório e de colonização recente foram predominantes na comunidade de macrófitas com destaque para *Egeria densa* e *Brachiaria arrecta*;

- Para algumas espécies, como *Eichhornia crassipes* e *Myriophyllum aquaticum*, as pressões bióticas de inimigos naturais tiveram efeitos decisivos em suas colonizações relativas no reservatório;
- Os índices de similaridade quando utilizados em análise de agrupamento podem apresentar diferentes arquiteturas de grupos, sendo os coeficientes de Odum e Ochiai II os mais adaptados para as condições do reservatório de Santana;
- A melhor formação de grupos apresentada pela rede neural de Kohonen foi constituída por nove grupos de comportamento da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório durante o ano de 2004. Este fato permite determinar padrões de comportamento para algumas das principais espécies infestantes deste reservatório, refletindo diretamente na adoção de medidas de manejo.
- As análises de agrupamento, componentes principais e redes neurais de Kohonen mostraram ser eficientes técnicas em estudos de dinâmica de comunidades de macrófitas aquáticas em reservatórios de hidrelétricas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BINI, L.M.; OLIVEIRA, L.G.; SOUZA, D.C.; CARVALHO, P.; PINTO, M.P. Patterns of the aquatic macrophyte cover in Cachoeira Dourada reservior (GO-MG). **Braz. J. Biol.**, v.65, n.1, p.19-24, 2005.

BOUDJEMA, G.; CHAU, N.P. Revealing dynamics of ecological systems from neural recordings. **Ecol. Model.**, v.91, p.15-31, 1996.

BROSSE, S.; GIRAUDEL, J.L.; LEK, S. Utilization of non-supervised neural networks and principal component analysis to study fish assemblages. **Ecol. Model.**, v.146, p.159-166, 2001.

CARVALHO, F.T.; GALO, M.L.B.T.; VELINI, E.D.; MARTINS, D. Plantas aquáticas e nível de infestação das espécies presentes no reservatório de Barra Bonita, no Rio Tietê. **Planta Daninha**, v.21, p.15-19, 2003.

PINTO-COELHO, R.M. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre: ArtMed Editora, 2000.

CHON, T.S.; PARK, Y.S.; MOON, K.H.; CHA, E.; PA, Y. Patternizing communities by using an artificial neural network. **Ecol. Model.**, v.90, p.69-78, 1996.

COLON-GAUD, J.C.; KELSO, W.E.; RUTHERFORD, D.A. Spatial distribution of macroinvertebrates inhabiting hydrilla and coontail beds in the Atchafalaya Basin, Louisiana. **J. Aquat. Plant Manage.**, v.42, p.85-91, 2004.

DAJOZ, R. **Princípios de Ecologia**. 7ªed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 520p.

EBERHARDT, D.S.; NOLDIN, J.A. Competitividade de sagitária em diferentes densidades de semeadura de arroz irrigado. In: **XXIII Congresso da Ciência das Plantas Daninhas**, Gramado, 2002, Resumos, p.207.

ELIZONDO, D.A.; MCCLENDON, R.W.; HOONGENBOOM, G. Neural network models for predicting flowering and physiological maturity of soybean. **Trans. ASAE**, v.37, n.2, p.981-988, 1994.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos em Limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência., 1998. 575p.

FRENCH, M.N.; RECKNAGEL, F. Modeling of algal blooms in freshwaters using artificial neural networks. In: Zanetti, P. (Ed.), **Computer Techniques in Environmental studies V. Environmental systems**, Vol.2. Computational Mechanics Publication, Southampton, Boston.

FUEM/Itaipu Binacional. Levantamento de espécies de macrófitas aquáticas no Reservatório de Itaipu. Maringá, UEM/Nupélia, 51p., 1997.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E., TATHAM, R.L., BLACK, W. **Análise Multivariada de dados**. Porto Alegre. RS, 5ª ed., 2005

HETCH-NIELSEN, R. **Neurocomputing**. Addison-Wesley, New York, 433p. 1990.

HUNTINGFORD, C.; COX, P.M. Use of statistical and neural networks techniques to detect how stomatal conductance responds to changes in the local environment. **Ecol. Model.**, v.97, p.217-246, 1996.

KISSMANN, K.G. & GROTH, D. 1992. **Plantas Infestantes e Nocivas** . vol 2. Basf. Linburgerhof

KOHONEN, T. **Self-organization and associative memory**. 3rd ed. New York: Springer-Verlag, 1989. 311 p.

KOHONEN, T. "The self-organizing map", **Proceedings of the IEEE**, vol. 78 (9), p.1464-1480, 1990.

LEK, S.; DELACOSTE, M.; BARAN, P.; DIMOPOULOS, I.; LAUGA, J.; AULAGNIER, S. Application of neural networks to modelling non-linear relationships in ecology. **Ecol. Model.**, v.90, p.39-52, 1996.

LEVINE, E.R.; KIMES, D.S.; SIGILLITO, V.G. Classifying soil structure using neural networks. **Ecol. Model.**, v.92, p.101-108, 1996.

LIPPMANN, R.P. An introduction to computing with neural sets. **IEEE, Acoustics Speech Signal Processing Magazine**, April, p.4-22, 1987.

MAIA, G.S. **Avaliação do potencial de *Cylindrocarpon* sp no controle biológico de *Sagittaria montevidensis***. 2002. 69p. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

MARCONDES, D.A.S.; MUSTAFÁ, A.L.; TANAKA, R.H.; MARTINS, D.; VELINI, E.D.; PITELLI, R.A. Studies form aquatic plant management in hydro electrical lakes in Brazil. In: ANNUAL MEETING OF AQUATIC PLANT MANAGEMENT, 40, 2000, San Diego, 2000, Abstract. San Diego: APMS, p.05.

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., WORKSHOP DE PLANTAS AQUÁTICAS. 1997, Caxambu. **Anais...** Caxambu: SBCPD, 1997. p.2-4.

MARTINS, D.; VELINI, E.D.; PITELLI, R.A.; TOMAZELLA, M.S.; NEGRISOLI, E. Ocorrência de plantas aquáticas nos reservatórios da Light-RJ. **Planta Daninha**, v.21, p.105-108, 2003.

MARTINS, A.T.; PITELLI, R.A. Efeitos do manejo de *Eichhornia crassipes* sobre a qualidade da água em condições de mesocosmos. **Planta Daninha**, v.23, n.2, p.233-242, 2005.

MELSSSEN, W.J.; SMITS, J.R.M.; ROLF, G.H.; KATEMAN, G. Two-dimensional mapping of IR spectra using a parallel implemented self-organizing feature map. **Chemom. Intell. Lab. Syst.**, v.18, p.195-204, 1993.

PITELLI, R. A. . Ecologia de várzeas. In: **Simpósio Nacional sobre o Aproveitamento de Várzeas.**, 1984, Jaboticabal. Anais, 1984. v. 1. p. 15-24.

PITELLI, R.A. Macrófitas Aquáticas do Brasil, na condição de problema. In: Workshop Controle de Plantas Aquáticas, 1998, Brasília. Resumos... Brasília: IBAMA, 1998. p.19.

POMPÊO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; COSTA NETO, J.P.; CAVALCANTE, P.R.S.; IBAÑEZ, M.S.R.; FERREIRA-CORREIA, M.M.; BARBIERI, R. Heterogeneidade espacial do fitoplâncton no reservatório de Boa Esperança (Maranhão-Piauí, Brasil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.10, n.2, p.101-113, 1998.

RECKNAGEL, F.; FRENCH, M.; HARKONEN; YABUNAKA, K.I. Artificial neural network approach for modeling and prediction of algal blooms. **Ecol. Model.**, v.96, p.11-28, 1997.

RUMELHART, D.E.; HILTON, G.E.; WILLIAMS, R.J. Learning representations by back-propagation erros. **Nature**, v.323, p.533-536, 1986.

SCHARDT, J.D. Florida aquatic plant survey report. Large Scale Hydrilla Management. Tallahassee: Florida Department of Environmental Protection. Bureau of Aquatic Plant Management, 1992. 83p. (Technical Report, 942-CGA).

SCHARDT, J.D.; LUDLOW, J.A. Florida aquatic plant survey report. Large Scale Hydrilla Management. Tallahassee: Florida Department of Environmental Protection. Bureau of Aquatic Plant Management, 1992. 63p. (Technical Report, 952-CGA).

STANKOVSKI, V.; DEBELJAK, M.; BRATKO, I.; ADAMIC, M. Modeling the population dynamics of red deer (*Cervus elaphus* L.) with regard to forest development. **Ecol. Model.**, v.108, p.145-153, 1998.

SUREHMA (Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente). Projeto plantas aquáticas invasoras. II. Curitiba. 151p. (Relatório Técnico), 1980.

TANAKA, R.H.; CARDOSO, L.R.; MARTINS, D.; MARCONDES, D.A.S.; MUSTAFÁ, A.L. Ocorrência de plantas aquáticas nos reservatórios da companhia energética de São Paulo. **Planta Daninha**, v.20, p.101-111, 2002.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58, p.236, 1963.

WASSERMAN, P.D. **Neural Computing: Theory and Practice**. Van Nostrand Reinhold, New York, 1989. 230p.

ZURADA, J.M. **Introduction to Artificial Neural Systems**. West, New York, 1992. 683p.