UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

DAVÍ DA SILVA LEANDRO

**Macrófitas aquáticas do rio Paraíba do Sul: correlação entre diversidade vegetal e
algumas características físicas e químicas da água e do sedimento**

Lorena - SP
2014

DAVÍ DA SILVA LEANDRO

Macrófitas aquáticas do rio Paraíba do Sul: correlação entre diversidade vegetal e algumas características físicas e químicas da água e do sedimento

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial, na área de conversão de biomassa.

Orientador (ora): Dra. Teresa Cristina Brazil de Paiva.

Edição reimpressa e corrigida

Lorena - SP
Junho, 2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na Publicação

Biblioteca “Cel. Luiz Sylvio Teixeira Leite”

Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo

Leandro, Daví da Silva

Macrófitas aquáticas do rio Paraíba do Sul: correlação entre diversidade vegetal e algumas características físicas e químicas da água e do sedimento / Daví da Silva Leandro. –ed. reimpr., corr. - 2014.
104 p.: il.

Dissertação (Mestre em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial na Área de Conversão de Biomassa) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2014.

Orientador: Teresa Cristina Brazil de Paiva

1. Banco de macrófitas 2. *Echinochloa polystachya* 3. Eutrofização 4. Matéria orgânica 5. Espécies emergentes. I. Título. II. Paiva, Teresa Cristina Brazil de, orient.

628.19 - CDU

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus
Aos meus pais, José Benedito e Maria Aparecida.
Às minhas irmãs, Fabiana, Débora, Damiris e Amanda.
À minha sobrinha Lara.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua ajuda, sabedoria e proteção no decorrer de toda a execução deste trabalho.

A CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao FEHIDRO pelo auxílio financeiro no projeto do rio Paraíba do Sul.

À Prof^a. Teresa Cristina Brazil de Paiva principalmente pela oportunidade e orientação na realização deste trabalho. Ao Prof. Flavio Teixeira pela colaboração e apoio.

À Lucinha, pelo companheirismo e simpatia que sempre me dispensou; e principalmente, pelo conhecimento compartilhado durante toda a execução deste trabalho.

Ao Cleber pela companhia, pelos momentos de descontração, pela paciência e conhecimento compartilhado.

Aos amigos que sempre me incentivam e me apoiam, desde a época da graduação. Muito obrigado Sabrina, Samira, Raphael, Luma, Daniel, Raquel e Carol Komeih.

Agradeço ao companheirismo e acolhimento dos novos amigos, colegas de estudo que me receberam de braços abertos. Muito obrigado Guilherme, Juliana Furlani, Juliana Sundfeld, Fernanda França, Luciana, Carol e Erlon. Aos amigos e colegas que pude recepcionar: Éryka, Nathalia, Karina, Lucas, João, Gabriela, Rachel, Fernanda e Claudinei.

Ao Zé (cobrinha) e Zé Moreira, pelos momentos de “reflexão” e descontração, como também pelo companheirismo.

Aos professores Marcelo Pompêo, Robinson Antônio Pitelli e Antônio Fernando Monteiro Camargo, pelos esclarecimentos e considerações a cerca da programação e execução deste trabalho.

Ao Prof. Marco Aurélio Kondracki de Alcântara, pela disponibilidade de tempo, conhecimento e recursos que muito auxiliaram na realização deste trabalho.

A Prof^a Adriane Milagres pelos conselhos dispensados no início dos meus estudos, nas muitas vezes em que, mesmo ocupada, se prontificava em validar minha carteirinha de passes (ônibus).

Aos funcionários do corpo administrativo da Pós Graduação e da biblioteca, especialmente: André, Nadir, Valquíria, Isnaldi, Regina Horta, Dora, Cida, Ana Beatriz e Sandra. A estas duas ultimas agradeço, também, pelo “puxão de orelha”, com elas aprendi que desistir é o último recurso. Estes profissionais me auxiliaram em várias etapas burocráticas durante a pós-graduação.

Ao Paulo e ao Armando pelo companheirismo e ajuda durante as coletas.

À minha amiga, colega e ex orientadora (Graduação) Laura Arruda, pelo incentivo, conselhos e principalmente o apoio.

À minha eterna professora de biologia Viviane Mapelli, a qual, mesmo antes da minha graduação, vem me apoiando e incentivando a buscar mais conhecimento.

Ao meu amigo Mario, pelas inúmeras vezes que parou para me ouvir, e me aconselhava, mesmo sob o total barulho e tumulto de uma academia.

Aos meus pais José Benedito e Maria Aparecida, os quais sempre me disponibilizaram ensinamentos que vou guardar para o resto da vida. Os quais configuram a base do meu “ser”, do meu “viver”.

Às minhas irmãs pelo apoio e companheirismo.

À minha família, no geral, que sempre me incentivou e sempre me compreendeu em meus momentos de alegria e de tristeza.

“A consciência de uma planta no meio do inverno não está voltada para o verão que passou, mas para a primavera que irá chegar. A planta não pensa nos dias que já foram, mas nos que virão. Se as plantas estão certas de que a primavera virá, por que nós – os humanos – não acreditamos que um dia seremos capazes de atingir tudo o que queríamos?”

Khalil Gibran

RESUMO

LEANDRO, D. S. **Macrófitas aquáticas do rio Paraíba do Sul: correlação entre diversidade vegetal e algumas características físicas e químicas da água e do sedimento**. Lorena, 2014. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. 2014.

A qualidade da água do rio Paraíba do Sul se encontra bastante comprometida, principalmente, devido ao despejo de efluentes domésticos contendo nutrientes, que em excesso, favorecem o crescimento desordenado de macrófitas aquáticas. Logo, este trabalho teve por objetivo iniciar um levantamento florístico para caracterizar a comunidade de macrófitas aquáticas no rio Paraíba do Sul, relacionando a diversidade dessas espécies com os níveis de nutrientes na água e no sedimento. As coletas foram realizadas em oito pontos inseridos no trecho médio superior desse rio, sendo uma no período de seca e outra no período chuvoso. Amostras de água foram analisadas quanto ao pH, condutividade, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais, fósforo total e coliformes termotolerantes. E as amostras de sedimento, quanto ao fósforo total, ao teor de nitrogênio orgânico total e de matéria orgânica. A Análise de Componentes Principais (ACP), assim como, a Análise de Clusters (Dendograma), foram utilizadas, através do software Palaeontological Statistics (PAST-2.17), para indicar os parâmetros físicos e químicos, que melhor explicassem a variação da diversidade de espécies de macrófitas entre os pontos de coleta. Os pontos que apresentaram os menores níveis de nutrientes e de matéria orgânica nas amostras de água e sedimento foram os que apresentaram os maiores níveis de oxigênio dissolvido na água e a maior diversidade de macrófitas aquáticas. Nos oito pontos amostrados, foram identificadas 18 famílias, 23 gêneros e 26 espécies de macrófitas aquáticas. No geral, as áreas amostradas apresentaram bancos de macrófitas repetitivas, prevalecendo *Echinochloa polystachya* e *Polygonum lapathifolium* (L.), como plantas marginais emergentes; *Lemna* sp., *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.), *Salvinia auriculata* (Aubl.), *Pistia stratiotes* (L.) e *Eichornia crassipes* (Mart.), como plantas flutuantes; *Ceratophyllum demersum* (L.), como submersa livre.

Palavras-chave: Banco de macrófitas. Espécies emergentes. *Echinochloa polystachya*. Eutrofização. Matéria orgânica.

ABSTRACT

LEANDRO, D. S. **Aquatic macrophytes of the Paraíba do Sul river: correlation between plant diversity and the physical and chemical characteristics of water and sediment.** Lorena, 2014. 104 p. Dissertation (Master of Science) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. 2014.

Water quality of the Paraíba do Sul River is greatly impaired, mainly because the discharge of domestic effluents containing nutrients, which in excess, favoring uncontrolled growth of aquatic weeds. Therefore, this study aimed to start a floristic survey to characterize the community of aquatic macrophytes in the Paraíba do Sul River, linking the diversity of these species with nutrient levels in water and sediment. The collections were made in eight points inserted in the upper middle section of this river, one in the dry season and another in the rainy season. Water samples were analyzed for pH, conductivity, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand (BOD), total solids, total phosphorus and fecal coliform. And the sediment samples, for total phosphorus, total organic content of nitrogen and organic matter. The Principal Component Analysis (PCA), as well as the Cluster Analysis (dendrogram), were used by the Palaeontological Statistics Software (PAST-2.17), to indicate the physical and chemical parameters that best explain the variation in species diversity of macrophytes between the collection points. The points, which had the lowest levels of nutrients and organic matter in water and sediment samples, were those with the highest levels of dissolved oxygen and greater diversity of macrophytes. In the eight sampled points, 18 families, 23 genera and 26 species of aquatic macrophytes were identified. Overall, the areas sampled showed banks repetitive macrophyte prevailing *Echinochloa polystachya* and *Polygonum lapathifolium* (L.), emerging as marginal plants; *Lemna* sp, *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl Ex Willd.), *Salvinia auriculata* (Aubl.), *Pistia stratiotes* (L.) and *Eichhornia crassipes* (Mart.) as floating plants; *Ceratophyllum demersum* (L.) as a free submerged.

Keywords: Aquatic banks macrophytes. Emerging macrophytes. *Echinochloa polystachya*. Eutrophication. Organic matter.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Em uma classificação mais detalhada as macrófitas podem ser classificadas em: “a” anfíbias; “b” emergentes; “c” flutuantes fixas; “d” flutuantes livres; “e” submersas fixas e “f” submersas livres (Fonte: IRGANG, et al., 1984).....	25
Figura 2 - Evolução da entropia aquática, ao longo do curso de um ambiente lótico; $F/R < 1$: fotossíntese menor que a respiração; $F/R > 1$: fotossíntese maior que a respiração (fonte: TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).	32
Figura 3 - O suporte formado por macrófitas emergentes, que crescem a partir do leito do rio (A), propicia o surgimento de uma base, formada por sedimentos finos (B). A agregação de mais espécies aumenta a retenção de mais partículas, que tendem a se acumular em direção à margem (C), formando, finalmente em uma extensão da margem do rio (D). (Modificado a partir de GURNELL et al., 2012).	34
Figura 4 - Bacia hidrográfica da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do rio Paraíba do Sul no seu trecho paulista (UGRHI-PBSUL); Área pontilhada: área de estudo (modificado a partir de Arcoverde et al., 2011).	36
Figura 5 - Mapa mostrando os pontos (CA1 a AP8) usados na amostragem de água, sedimentos e macrófitas, no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto/2012 (período de seca) e no mês de Fevereiro/2013 (período chuvoso); Setas: direção do fluxo (Modificado a partir do Google Earth).	37
Figura 6 - Valores de pH da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).	49
Figura 7 - Valores de Condutividade Elétrica, em uS/cm, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).	50
Figura 8 - Valores de sólidos suspensos voláteis, em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).	52
Figura 9 - Valores de turbidez (UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez) da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).	54

Figura 10 - Valores de oxigênio dissolvido, em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).....	55
Figura 11: Valores referentes a demanda bioquímica de oxigênio, em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).	56
Figura 12 - Valores de fósforo total, em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).....	57
Figura 13 - Valores referentes à concentração de matéria orgânica (%), do sedimento nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).	60
Figura 14 - Valores referentes à concentração de nitrogênio orgânico total (%), do sedimento nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).....	61
Figura 15 - Valores referentes à concentração de fósforo total (mg/g), do sedimento nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).	63
Figura 16 - Riqueza de espécies encontrada nos pontos amostrados, no rio Paraíba do Sul, durante o período de seca e o período chuvoso.....	66
Figura 17 - Análise de Componentes Principais (ACP) mostrando a correlação entre os pontos (P) com as variáveis físico-químicas do sedimento e da água, e com o número de espécies no período de seca (CA1s , CA2s, LO3s ,LO4s, GU5s, GU6s, AP7s e AP8s) e no período de cheia (CA1c , CA2c, LO3c ,LO4c, GU5c, GU6c, AP7c e AP8c); ST: sólidos totais, SV: sólidos voláteis, DBO: demanda bioquímica de oxigênio, OD: oxigênio dissolvido.	71
Figura 18 - Dendrograma de similaridade florística entre os pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, utilizando como índice a similaridade, agrupando os pontos amostrais pelo método de média de grupo (UPGMA). O coeficiente cofenético obtido foi de 0,8653.	73
Figura 19 - Dendrograma bidirecional de similaridade florística entre os pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, durante o período chuvoso (“c”) e de seca (“s”), utilizando como índice a similaridade, agrupando os pontos amostrais pelo método de média de grupo (UPGMA). O coeficiente cofenético obtido foi de	

0,8653. Em evidência (linha sólida): espécies mais frequentes formando uma coluna de agrupamento; tracejado: pontos com a maior similaridade.....	74
Figura 20 - Ponto 1, espécies: 1- <i>Heteranthera reniformis</i> , 2- <i>Sagittaria montevidensis</i> , 3- <i>Polygonum punctata</i> (Fonte: Davi Leandro).	87
Figura 21 - Ponto GU6, espécies: 1- <i>Sagittaria montevidensis</i> e 2- <i>Urochloa subquadripa</i> (Trin.) Hitchc. (Fonte: Davi Leandro).....	87
Figura 22 - Ponto CA1, espécies: 1- <i>Lemna sp.</i> , 2- <i>Commelina obliqua</i> Vahl., 3- <i>Salvinia auriculata</i> Aubl., 4- <i>Pistia stratiotes</i> L. (Fonte: Davi Leandro).....	88
Figura 23 - Ponto CA2, espécie: <i>Hygrophyla costada</i> Nees (Fonte: Davi Leandro).	88
Figura 24 - Ponto CA2, espécie: <i>Hygrophyla costada</i> Nees, em evidência a floração (Fonte: Davi Leandro).....	89
Figura 25 - Ponto 6, espécies: 1- <i>Polygonum lapathifolium</i> L., 2- <i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.....	89
Figura 26 - Ponto AP7, espécies: 1- <i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb., 2- <i>Limnobium laevigatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine (Fonte: Davi Leandro).....	90
Figura 27 - ponto CA1, espécies: 1- <i>Limnobium laevigatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine, 2- <i>Azolla filiculoides</i> Willd. (Fonte: Davi Leandro).....	90
Figura 28 - Ponto CA1, banco misto de macrófitas, em evidência <i>Azolla filiculoides</i> (Fonte: Davi Leandro).....	91
Figura 29 - Ponto 1, em evidência <i>Azolla filiculoides</i> . (Fonte: Davi Leandro)	91
Figura 30 - Ponto 1, espécies submersas: 1- <i>Cabomba furcata</i> e 2- <i>Ceratophyllum demersum</i> . (Fonte: Davi Leandro).	92
Figura 31 - Ponto 1, 1- <i>Myriophyllum aquaticum</i> , 2- <i>Ceratophyllum demersum</i> .(Fonte: Davi Leandro).....	92
Figura 32 - Ponto 2, <i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc., apresentando ramos submersos, com folhagem avermelhada (Fonte: Davi Leandro).	93
Figura 33 - ponto CA2, prolongações subaquáticas (agregado) de <i>Utricularia foliosa</i> L. (Fonte: Davi Leandro).....	93
Figura 34 - ponto CA2, inflorescência emersa de <i>Utricularia foliosa</i> L. (Fonte: Davi Leandro).	94
Figura 35 - Ponto AP7, formações arbustivas de <i>Ludwigia sp. 1</i> (Fonte: Davi Leandro)..	94
Figura 36 - Ponto GU5, <i>Ludwigia sp. 2</i> , em floração, rodeada por <i>Urochloa subquadripa</i> (Trin.) Hitchc. (Fonte: Davi Leandro).....	95

Figura 37 - Ponto GU5, espécie: <i>Ludwigia</i> sp. 2 (Fonte: Davi Leandro).	95
Figura 38 - Ponto CA1, espécie: <i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms (Fonte: Davi Leandro).	96
Figura 39 - Ponto CA1, espécies: 1- <i>Urochloa subquadrifida</i> (Trin.) Hitchc. e 2- <i>Eleocharis</i> sp., (Fonte: Davi Leandro).	96
Figura 40 - Ponto 1, banco misto de macrófitas, sedimentação de material em suspensão sobre raízes e ramos de macrófitas flutuantes e submersas (coloração marrom). (Fonte: Davi Leandro)	97
Figura 41 - Ponto 8, banco de <i>Echinochloa polystachya</i> enraizadas na margem, projetando propágulos em direção ao centro da calha do rio (Fonte: Davi Leandro).	97
Figura 42 - Climatologia do município de Cachoeira Paulista, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).	99
Figura 43 - Climatologia do município de Lorena, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).	100
Figura 44 - Climatologia do município de Guaratinguetá, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).	101
Figura 45 - Climatologia do município de Aparecida, com base em uma série histórica dos últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização geográfica e descrição dos pontos de amostragem de água, sedimentos e macrófitas, no rio Paraíba do Sul, mês de Agosto/2012 (período de seca) e no mês de Fevereiro/2013 (período chuvoso).....	38
Tabela 2 - Localização georreferenciada e fotos dos pontos de coleta onde houve amostragem no rio Paraíba do Sul, mês de Agosto/2012 (período de seca) e no mês de Fevereiro/2013 (período chuvoso).	39
Tabela 3 - Variáveis, metodologias e respectivas referências, utilizadas na caracterização da qualidade da água e do sedimento do rio Paraíba do Sul.	41
Tabela 4 - Valores de sólidos suspensos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).	52
Tabela 5: Número mais provável de coliformes termotolerantes, em 100 mL de água, para cada um dos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).	58
Tabela 6 - Macrófitas observadas nos oito pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso). Submersa fixa (SF); submersa livre (SL); flutuante fixa (FF); flutuante livre (FL); emergente (E).	64
Tabela 7 - Resultados analisados pela ACP, referentes as análises físico-químicas das amostras de água e do sedimento e quantificação de espécies coletados em bancos de macrófitas no período de seca (CA1s , CA2s, LO3s ,LO4s, GU5s, GU6s, AP7s e AP8s) e no período de chuvas (CA1c , CA2c, LO3c ,LO4c, GU5c, GU6c, AP7c e AP8c). FT: fósforo total, NOT: nitrogênio orgânico total, MO: matéria orgânica, ST: sólidos totais, SV: sólidos voláteis, DBO: demanda bioquímica de oxigênio, OD: oxigênio dissolvido.....	70
Tabela 8 - Autovalores das variáveis analisadas nos pontos amostrados, no rio Paraíba do Sul, durante o período de seca e o período chuvoso. Em evidencia, os autovalores das variáveis determinantes para o eixo 1 (componente 1).....	70
Tabela 9 - Climatologia do município de Cachoeira Paulista, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).	99

Tabela 10 - Climatologia do município de Lorena, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).	100
Tabela 11 - Climatologia do município de Guaratinguetá, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).	101
Tabela 12 - Climatologia do município de Aparecida, com base em uma série histórica dos últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).	102

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	19
2.	OBJETIVOS.....	24
2.1.	Gerais.....	24
2.2.	Objetivos específicos.....	24
3.	Revisão de literatura.....	25
3.1.	Macrófitas aquáticas em ambientes lóticos.....	30
4.	METODOLOGIA.....	36
4.1.	Caracterização do ambiente de estudo.....	36
4.2.	Pontos de amostragem.....	36
4.3.	Análises das amostras de água e de sedimento.....	41
4.3.1.	Sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV).....	41
4.3.2.	Turbidez.....	43
4.3.3.	Oxigênio dissolvido (OD).....	43
4.3.4.	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	43
4.3.5.	Fósforo total (FT).....	44
4.3.6.	Coliformes termotolerantes.....	44
4.3.7.	Matéria orgânica (MO).....	44
4.3.8.	Nitrogênio orgânico total (NOT).....	45
4.3.9.	Fósforo total (FT).....	46
4.4.	Coletas, método de amostragem e preparação dos espécimes.....	46
4.5.	Análise dos dados.....	47
4.5.1.	Riqueza de espécies.....	47
4.5.2.	Análise estatística dos dados.....	47
4.5.3.	Análise de similaridade.....	48
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5.1.	Variáveis químicas, físicas e biológicas da água.....	49
5.1.1.	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	49
5.1.2.	Condutividade elétrica (CE).....	50
5.1.3.	Sólidos Totais.....	51

5.1.4.	Turbidez	53
5.1.5.	Oxigênio dissolvido (OD).....	54
5.1.6.	Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO).....	55
5.1.7.	Fósforo total na água.....	56
5.1.8.	Coliformes Termotolerantes	58
5.2.	Caracterização física e química dos sedimentos.....	59
5.2.1.	Matéria orgânica	59
5.2.2.	Nitrogênio orgânico total	60
5.2.3.	Fósforo total no sedimento	62
5.3.	Riqueza de espécies	63
5.4.	Análise de componentes principais (ACP)	69
5.5.	Análise de similaridade	72
6.	CONCLUSÃO	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	APÊNDICE A - Catálogo de ilustrações: macrófitas e informações limnológicas complementares	87
	ANEXO - A	99

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio Paraíba do Sul está situada na região Sudeste do Brasil, abrangendo uma área total de aproximadamente 62.074 km² e estendendo-se pelos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. No estado de São Paulo, a região correspondente a Bacia do Rio Paraíba do Sul, chamada Vale do Paraíba, constitui um eixo urbano industrial de grande importância socioeconômica ligando as maiores capitais brasileiras, Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP) (SOUZA et al, 2010).

Em decorrência da crescente ocupação urbana nesta região, a disponibilidade e a qualidade dos recursos naturais, principalmente a água, estão bastante comprometidos, em grande parte devido ao despejo de efluentes domésticos, sem tratamento, em corpos d'água (ANDRADE et al., 2010; DINIZ et al., 2010; MARENGO; ALVEZ, 2005).

Com base em uma análise estatística com séries pluviométricas e fluviométricas, na bacia do Rio Paraíba do Sul, entre 1920 e 2003, Marengo e Alvez (2005) apontaram que os níveis decrescentes de vazão, observados na bacia, estariam relacionados ao consumo humano, visto que, os dados pluviométricos não sustentavam a hipótese de mudanças climáticas. Logo, é importante considerar que os impactos ambientais registrados em várias regiões da bacia, como a extração de areia, a destruição das matas ciliares e o lançamento de esgotos domésticos e industriais, podem contribuir com as variações na vazão e, principalmente, na qualidade da água disponível (DINIZ et al., 2010; REIS et al., 2006)

No trecho paulista há extensas áreas ricas em depósitos de areia, principalmente entre os municípios de Jacareí e Caçapava, onde a extração desse minério é realizada de maneira predatória e intensiva, visando apenas o lucro e o enriquecimento econômico das empresas que fazem a extração. Do ponto de vista ambiental, essa atividade de extração, implica em alterações drásticas e impactantes na geomorfologia do rio, assim como, na alteração da qualidade da água. As cavas resultantes da retirada de areia são profundas e interferem de maneira negativa no fluxo da água e, por outro lado, contribuem com a erosão das margens do rio, pois para a extração da areia é necessário retirar toda a cobertura vegetal nativa (DINIZ et al., 2010; MECI; SANCHES, 2010). Segundo Reis et al. (2006), as cavas de areia acabam se tornando grandes piscinas artificiais, propiciando a evaporação de um grande volume de água, acarretando em um déficit na vazão anual da calha do rio.

As matas ciliares são extremamente importantes para o equilíbrio ecológico de um corpo d'água, pois agem como “zonas tampão”, interceptando grande quantidade de

poluentes, pesticidas agrícolas e sedimentos, antes de serem carreados para os rios (VOGEL et al., 2009). Logo, do ponto de vista geológico, pode se enfatizar que perturbações ocorridas próximas a cursos d'água interferem diretamente na mobilidade de material particulado entre o solo e a coluna d'água.

Visto que a extração de areia, aliada a escassez de matas ciliares, expõe várias camadas de solo às intempéries ambientais, tais como a chuva, é comum que ocorra a lixiviação de compostos orgânicos e inorgânicos para o leito do rio. Segundo Diniz et al. (2010), as acamadas superficiais de solo às margens do rio Paraíba do Sul, quando removidas para a extração da areia, que fica nas camadas inferiores, acabam liberando nutrientes para a coluna d'água. Grande parte destes solos possui histórico agrícola e apresentam grande quantidade de fertilizantes, principalmente os pouco solúveis.

Esses impactos decorrentes da extração de areia nas margens do Rio Paraíba do Sul, também são observado em outros rios, como: Rio Cubatão Norte em Joinville, Santa Catarina (OLIVEIRA, 2002) e rio São João, região sudeste do Estado do Rio de Janeiro (OLIVEIRA; MELLO, 2007), onde tais atividades veem comprometendo a qualidade e a quantidade de água disponível.

A produção agrícola, por sua vez, é responsável por uma parcela significativa da emissão de nutrientes para a calha do rio Paraíba do Sul. Segundo Andrade et al. (2010), no cultivo de arroz inundado, prática agrícola muito comum nas regiões próximas à cidade de Taubaté, uma grande quantidade de fertilizantes e matéria orgânica são carreados para a calha do rio, conforme a água vai sendo usada na submersão e posterior escoamento das quadras de cultivo. Machado et al. (2006) comenta que problemas relacionados à perda de fertilizantes, em plantações de arroz inundado, podem estar relacionados à aplicação indevida desses compostos no solo, que, em muitos casos, são aplicados próximos a canais de irrigação e acabam sendo facilmente lixiviados para corpos d'água, principalmente em épocas de chuva.

A relação entre a agricultura e os altos índices de nutrientes (nitrogênio e fósforo), em trechos específicos do rio Paraíba do Sul, foi discutida em um trabalho realizado por Silva et al. (2001), que apontam a translocação de fertilizantes do solo, destinado à produção de cana de açúcar (Campo dos Goytacazes/ RJ), para a calha do rio, principalmente em épocas de cheia, como um agravante nos processos de eutrofização aquática.

Entretanto, o maior problema ambiental da bacia no trecho paulista parece ser o esgoto sem tratamento. Segundo dados publicados pela Companhia Ambiental do Estado

de São Paulo-CETESB (2012), em alguns trechos, índices de qualidade da água (IQA) e índices de qualidade das águas para proteção da vida aquática (IVA), apresentaram resultados entre “regular” a “ruim”, principalmente em municípios onde não há tratamento de esgoto doméstico. No município de Caçapava, em 2012, durante o período chuvoso, os resultados apresentaram elevadas taxas de eutrofização e baixa concentração de oxigênio dissolvido (OD).

No Vale do Paraíba, as consequências dessas atividades impactantes ganham um grau de importância maior, pois é nesta região que se encontra a cabeceira do Rio Paraíba do Sul. De modo que, os impactos ocorridos no trecho paulista acabam comprometendo a qualidade da água de maneira crescente e prejudicial em todo o curso do rio, incluindo o trecho mineiro (MG), até a sua foz no Estado do Rio de Janeiro (ROSSETTI, 2009).

No trecho mineiro, segundo um monitoramento realizado e divulgado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, durante ano de 2012 e início de 2013, vários afluentes do rio Paraíba do Sul apresentaram parâmetros, referentes à qualidade da água, superiores aos limites estabelecidos pela legislação. Dentre estes parâmetros, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, de origem fecal, foram os mais significativos (IGAM, 2012, 2013).

A disposição direta de efluentes domésticos e industriais nos corpos d'água acarreta no aumento significativo das concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos, em vários trechos do Rio Paraíba do Sul (ALMEIDA et al., 2007; ROSA, 2012; OLIVEIRA et al., 2011). De maneira geral, no Brasil os processos de tratamento de esgotos são escassos e deficientes e, mesmo os existentes, não são direcionados para a remoção de nutrientes. Logo, os efluentes finais acabam liberando grandes quantidades de nitrogênio e fósforo (ROSSETTI, 2009; VON-SPERLING, 2005).

O aumento de nutrientes essenciais (fósforo e nitrogênio), em corpos hídricos, caracteriza um fenômeno denominado eutrofização, que acaba favorecendo a proliferação de organismos oportunistas que assimilam esses compostos, produzindo um grande volume de biomassa planctônica. Esse é um fenômeno comum de ambientes aquáticos sujeitos as alterações antrópicas, onde, conseqüentemente, se observa o desequilíbrio biológico entre organismos produtores e consumidores, levando a um consumo alto e prejudicial do oxigênio dissolvido (OD). Nestes ambientes, o aumento de nutrientes também favorece a proliferação de macrófitas, que acabam se multiplicando de maneira desordenada (ESTEVES, 1998; MARTINS; PITELLI, 2005, TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

As macrófitas são espécies de ampla capacidade adaptativa, consequentemente, de grande valência ecológica. Desempenham um importante papel nos ecossistemas aquáticos como produtoras primárias, contribuindo, juntamente com as algas, na estocagem e ciclagem de nutrientes e detritos orgânicos, servindo, também, como local de abrigo e alimento para peixes e organismos bentônicos, além de substrato para fixação do perifíton (ESTEVES, 1988; PEDRALLI, 1990; POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003).

Em rios e riachos, as macrófitas podem ainda influenciar na sedimentação e retenção de nutrientes, o que implica em alterações nas características físicas e químicas da água. No rio Paraíba do Sul, as macrófitas apresentam um problema sócio-ambiental muito grande. Segundo dados publicados em 2012, pelo Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), a espécie *Echinochloa polystachya* vem formando grandes ilhas flutuantes, que bloqueiam e atrapalham o curso do rio em vários trechos entre Jacareí e Caçapava, sendo visíveis também, em trechos posteriores.

Segundo um levantamento de dados secundários realizado entre a Agência da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul-AGEVAP (2012) e a empresa TECNOGEO Informática, trabalhos de campo mostraram que devido uma grande diversidade de espécies presentes, pode ter havido equívoco na identificação de gramíneas em estudos anteriores na bacia. A *Echinochloa polystachya*, por exemplo, pode ser facilmente confundida com *Panicum rivulare* e *Hymenache amplexicaulis*, na ausência de inflorescência e sem exame detalhado da parte vegetativa. Este levantamento de dados secundários apontou colonizações de plantas aquáticas ocupando todo o Vale do Paraíba Paulista, incluindo os municípios de Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Tremembé, Pindamonhangaba, Aparecida, Guaratinguetá e Lorena, e um trecho entre os municípios de Cruzeiro e Queluz.

Considerando que ainda não foi realizado nenhum levantamento florístico mais aprofundado das espécies existentes neste trecho do rio, existe um déficit de informações que poderiam subsidiar novos estudos voltados ao manejo adequado dessas espécies. Segundo Thomaz (2002, 2006) o rápido aumento de nutrientes e sólidos suspensos nos ecossistemas aquáticos, decorrentes da ação antrópica (eutrofização artificial), pode ser considerado como um dos processos que mais afetam a estrutura do banco de macrófitas aquáticas, onde nutrientes, especificamente nitrogênio e fósforo, são limitantes para o crescimento de tais espécies. Logo, o aumento de nutrientes no rio Paraíba do Sul, pode estar relacionado ao rápido crescimento dos bancos desses vegetais em vários trechos desse rio e de seus afluentes.

Sendo assim, levantamentos florísticos são importantes na medida em que colaboram como subsídio para a preservação da biodiversidade e, também, para o manejo adequado destes vegetais, podendo fornecer informações do ponto de vista comparativo.

Dessa forma, torna-se importante a realização de trabalhos que avaliem a relação entre os nutrientes e as macrófitas aquáticas, existentes no trecho médio superior do Vale do Paraíba, visando à obtenção de dados que possam auxiliar no desenvolvimento de novas técnicas de manejo eficientes, sustentáveis e de mínimo impacto ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1. Gerais

O presente trabalho teve como objetivo identificar as macrófitas aquáticas existentes em áreas específicas, inseridas no trecho médio superior do rio Paraíba do Sul, procurando avaliar a sua riqueza e distribuição, em relação às variáveis físicas e químicas da água.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterização física, química e biológica da água e física e química do sedimento nos pontos de amostragem na calha maior do rio;
- Realização de um levantamento florístico sobre as espécies de macrófitas aquáticas e sua distribuição ao longo do rio;
- Avaliar quais variáveis físicas e químicas podem influenciar na distribuição e na riqueza das macrófitas aquáticas no rio.

3. Revisão de literatura

Macrófitas aquáticas é um termo usado para designar vegetais visíveis a olho nu, com partes fotossinteticamente ativas, vivendo total ou parcialmente submersas em água doce ou salobra, em alguns casos flutuando sobre a água, de maneira sazonal ou permanente (IRGANG; GASTAL Jr. 1996).

Considerando o grau de afinidade com a água, tais espécies podem ser classificadas em: emergente, flutuante fixa, flutuante livre, submersa fixa e submersa livre. Evidenciando um grau de adaptação ao ambiente aquático que abrange desde hábitos palustres, menos adaptadas, até hábitos submersos, consideradas mais adaptadas (ESTEVES, 1998). Irgang et al. (1984), estudando espécies do pantanal brasileiro, descrevem mais duas formas biológicas, denominando as plantas emergentes marginais, sujeitas a inundações sazonais, como macrófitas anfíbias; e as espécies que vegetam sobre outras macrófitas, de epífitas (Figura 1).

Figura 1 - Em uma classificação mais detalhada as macrófitas podem ser classificadas em: “a” anfíbias; “b” emergentes; “c” flutuantes fixas; “d” flutuantes livres; “e” submersas fixas e “f” submersas livres (Fonte: IRGANG, et al., 1984).

Algumas espécies, dependendo das condições ambientais, podem apresentar biótipos transitórios. Essa variação morfológica pode estar relacionada com o aumento do nível da água, onde espécies emergentes, uma vez submersas, podem apresentar mudanças morfofisiológicas para viverem abaixo da linha d'água, temporariamente. Essa plasticidade ecológica pode, ainda, estar relacionada ao desenvolvimento natural de algumas espécies, onde, antes de atingirem pleno desenvolvimento vegetal, apresentam fase inicial submersa, posteriormente emersa (ANDRADE et al., 2007; ANDRADE et al, 2013; CASSOL, 2008; ROCHA; MARTINS, 2011; SUZUKI, 2011).

No aspecto morfológico e fisiológico, esses organismos refletem o estágio ecológico do ambiente no qual vegetam, se distribuindo conforme a profundidade e a transparência da coluna d'água, assim como pela quantidade de nutrientes (nitrogênio e fósforo), existente (CAVENAGHI et al., 2003; LOLIS; THOMAZ, 2008; ROCHA; MARTINS, 2011). Em suma, cada espécie apresentou um processo evolutivo de transição, entre o ambiente terrestre e o aquático, independente e particular, sem relações taxonômicas. Logo, no aspecto sistemático, as macrófitas aquáticas não se referem a um táxon específico, visto que muitas espécies aquáticas estão inseridas em famílias onde a maioria das espécies é terrestre (THOMAZ et al., 2008).

Segundo Esteves (1998), as plantas aquáticas não eram consideradas importantes na ecologia de ambientes aquáticos, sendo negligenciadas em trabalhos limnológicos e ecológicos, pois se acreditava que não interferissem ativamente nas relações ecológicas dos ambientes em que viviam. Elas começaram a ser consideradas como organismos vitais, dentro do equilíbrio biogeoquímico de ambientes aquáticos, à medida que surgiram estudos relacionando taxas crescentes de nutrientes (nitrogênio e fósforo) com o seu crescimento desordenado, em ambientes lóticos e lênticos, tanto em zonas temperadas quanto em zonas tropicais (CARBIENER et al., 1990; HENRY-SILVA et al., 2010; PENNING et al., 2008; RUBINSTEIN et al., 2010; THOMAZ, 2002). Macrófitas aquáticas respondem significativamente ao aumento de nutrientes, tanto na água quanto no sedimento e, como possuem grande amplitude ecológica, podem vegetar em ambientes aquáticos com gradientes físicos e químicos variados. Dessa forma, podem ser encontradas em áreas poluídas por esgoto doméstico (ANDRADE et al., 2007).

A produtividade destes vegetais, em termos de biomassa, está relacionada a vários fatores, sendo que os principais são: a espécie, o tipo ecológico, a competição intra e interespecífica e as características abióticas do ambiente, tais como: temperatura, radiação, transparência da água, variação do nível de água, velocidade de corrente, tipo de substrato

e concentrações de nutrientes (CAMARGO et al., 2006; HENRY-SILVA; CAMARGO, 2000).

À medida que as condições ambientais, tais como luminosidade, temperatura, água e nutrientes se tornam satisfatórios, as plantas de uma maneira geral, tanto terrestres quanto aquáticas, tendem a atingir pleno desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (RAVEN, 2007). Neste estágio, as plantas atingem seu estado máximo de dispersão, seja pela produção de sementes (reprodução sexuada) e ou pela produção de novas mudas (reprodução assexuada). Algumas espécies, no entanto, mesmo sob condições ambientais desfavoráveis, possuem um grau de dispersão e reprodução bem acentuado quando comparado com outras espécies, passando a serem consideradas como espécies invasivas e oportunistas (LORENZI, 2000).

A dispersão de uma grande quantidade de sementes é uma estratégia reprodutiva que caracteriza espécies invasivas, garantindo a sobrevivência dessas espécies, no ambiente, mesmo quando todos os indivíduos adultos são retirados, seja naturalmente ou antropicamente (MATOS; PIVELLO, 2009).

Ambientes onde o controle antrópico se torna constante, por exemplo, em planícies alagadas destinadas ao plantio de arroz, uma produção acentuada de sementes garante que muitas espécies aquáticas, tidas como invasoras, garantam seu domínio sobre uma determinada área, mesmo quando submetidas a longos períodos de estiagem ou à ação de herbicidas. A combinação destes fatores, aliados ao potencial adaptativo, característicos de espécies invasoras, acarretam na seleção de variedades cada vez mais resistentes ao controle químico (CASSOL et al., 2008; CONCENÇO et al., 2007). Logo, a propagação por meio de sementes é de suma importância para a manutenção e crescimento de uma população de plantas, possibilitando o aumento da variabilidade genética dos descendentes. Esse processo ajuda explicar o aumento da adaptabilidade das plantas invasoras, pois segundo Liu et al. (2013) e Raven (2007), as novas combinações genéticas, decorrentes da reprodução sexuada, propiciaram novas vantagens evolutivas em relação às condições do meio.

No entanto, algumas macrófitas aquáticas, invasoras, principalmente as flutuantes, apresentam reprodução clonal mais acentuada que a reprodução sexuada. Essa característica reprodutiva pode ser relacionada com aumento de nutrientes na água, que favorece o crescimento rápido de espécies com características reprodutivas mais eficientes (MOSCHINI-CARLOS et al., 1995). Segundo Janzen (1980), mudas são consideradas como extensões da planta mãe, possibilitando a perpetuação genética do indivíduo mesmo

quando este acaba morrendo por causas diversas. A característica descrita pode ser considerada como uma estratégia reprodutiva muito eficiente, principalmente quando as condições ambientais não propiciam a germinação de sementes.

No aspecto genético, Pan e Prince (2001) argumentam que o crescimento clonal acelerado é uma estratégia de dominância territorial, onde uma variedade dotada de uma carga genética, mais adaptada ao meio, acaba produzindo um número grande de descendentes (clones), garantindo assim, a dominância de apenas um genótipo sobre uma determinada área. Begon et al. (2007) apontam que a dispersão clonal é uma estratégia reprodutiva para colonizarem uma área, em pouco espaço de tempo, onde a liberação de novas mudas seria acelerada pela ausência de raízes fixadas em um substrato sólido, no caso, espécies flutuantes.

Problemas relacionados com plantas aquáticas, devido seu crescimento rápido e acelerado, por condições ambientais favoráveis, são descritos principalmente em corpos hídricos de importância econômica, seja para o consumo humano ou para a produção de energia. Inseridas neste contexto, no Brasil, as macrófitas aquáticas flutuantes mais estudadas são: “aguapé” (*Eichornia crassipes*), “alface da água” (*Pistia stratiotes*) e “salvinia” (*Salvinia molesta*). Estas espécies são nativas e as mais reportadas, causando problemas de crescimento excessivo em reservatórios (THOMAZ, 2002, 2006; THOMAZ et al., 2008). Tais problemas evidenciam uma quebra no equilíbrio ecológico nesses ambientes. Neste sentido Pedralli e Teixeira (2003) enfatizam que as macrófitas aquáticas, no geral, são bioindicadores de variações ambientais, ligadas principalmente a qualidade da água.

O crescimento vegetal, principalmente assexuado, exige que as plantas, tanto terrestres quanto aquáticas, absorvam do ambiente uma quantidade razoável de nutrientes essenciais à multiplicação celular. Essa necessidade nutricional é sanada em ambientes ricos em nutrientes provenientes tanto de origem mineral quanto orgânica (RAVEN et al., 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009). Ambientes aquáticos, no geral, estão sujeitos a eutrofização mesmo em condições naturais, sem que necessariamente sofram interferência antrópica. Entretanto, o processo de eutrofização, nestes casos, reflete o estágio de complexidade ecológica local, onde o aumento dos nutrientes ocorre de forma gradual, ao longo de um período de tempo e está relacionado ao acúmulo de material orgânico no ambiente (ESTEVES, 1998).

O aumento crescente de matéria orgânica acarreta no maior consumo de oxigênio dissolvido para sua decomposição. Em baixas concentrações de oxigênio dissolvido, acaba

propiciando a sedimentação gradual de material orgânico, vegetal ou animal, semidecomposto no sedimento. Esse processo, ao longo do tempo, interfere na profundidade da coluna d'água, que vai ficando mais rasa e, conseqüentemente, causa mudanças na distribuição dos organismos aquáticos do ambiente. Neste contexto, macrófitas aquáticas tendem a se distribuírem de maneira sincronizada, onde a medida que ocorre acúmulo de material particulado no sedimento, espécies de águas abertas e mais profundas, acabam dando espaço para fixação de espécies de zonas mais rasas. Um caso claro de sucessão ecológica (ODUM, 1988).

No entanto, ambientes sujeitos à ação antrópica, o acúmulo de matéria orgânica e, conseqüentemente de nutrientes, por ocorrer em um tempo relativamente curto, acaba provocando mudanças repentinas que interferem em todo o ecossistema. Neste sentido, algumas espécies acabam se distribuindo de maneira desordenada no ambiente.

Algumas espécies emergentes, características de solos palustres, acabam invadindo águas mais profundas. Segundo Pompêo et al. (1997, 1999), *Echinochloa polystachia*, espécie natural de planícies alagadas, pode formar grandes colônias nas margens de rios, apresentando um crescimento vegetativo muito rápido, influenciado, principalmente, por uma quantidade satisfatória de nutrientes no ambiente. A partir de observações em campo, por esses mesmos autores, essa espécie uma vez enraizada nas margens, emite propágulos em direção a águas abertas.

Scirpus cubensis, apesar de ser uma espécie emergente enraizada, quando ambientada em reservatórios sujeitos a variações sazonais na coluna d'água, produz um agregado de rizomas, raízes e detritos (substrato orgânico), de modo que, com o aumento do nível da água, acaba flutuando (MOSCHINI-CARLOS, 1995). Por outro lado, plantas palustres podem vegetar às margens de rios de água corrente, desde que uma população inicial de plantas emergentes consiga se estabelecer, propiciando microrregiões de baixa correnteza e baixa profundidade perto de seus propágulos e raízes (GURNELL et al., 2012).

No geral, ambientes aquáticos continentais são extremamente complexos e distintos, mas, dependendo da presença ou ausência de correntezas na água, podem ser classificados em ambientes lênticos e lóticos. No primeiro caso, temos os lagos, as lagoas e as represas; no segundo caso, os rios e os riachos. Em ambientes lóticos a correnteza é que determina a distribuição dessas plantas pelo ambiente (ESTEVES, 1998). Em ambientes lênticos, essa distribuição seria influenciada pelo nível da água (ODUM, 1988), onde,

segundo Welch (1980), as macrófitas aquáticas, por abrigarem e consolidarem sedimento, acabam facilitando o preenchimento gradual destes corpos hídricos.

Entretanto, tendo em vista a capacidade adaptativa dessas espécies, é viável considerar que uma vez presentes no ambiente, elas podem interferir tanto na correnteza quanto na profundidade de corpos d'água, de forma que acabam interferindo direta ou indiretamente sobre toda a estrutura do habitat. Organismos com tal capacidade são denominados de “engenheiros de ecossistema” (GURNELL et al., 2012; UIEDA, 1999; YSEBAERT, et al., 2011). Em virtude de tais considerações, os autores vem dividindo opiniões quanto à importância das macrófitas aquáticas dentro dos ecossistemas aquáticos, pois ao mesmo tempo em que as macrófitas são reconhecidas como importantes no equilíbrio ecológico, podem representar um risco para a utilização dos recursos hídricos, devido, principalmente, ao seu crescimento descontrolado (THOMAS, 2002).

Dentro de um contexto imparcial, o conceito de oportunista não anula a importância desses vegetais para o equilíbrio ecológico de ambientes aquáticos; no entanto, evidencia o potencial de dominância das mesmas sob condições favoráveis.

3.1. Macrófitas aquáticas em ambientes lóticos

Rios são corpos hídricos de água corrente (fluxo contínuo) que, dependendo das condições geomorfológicas do relevo, acabam apresentando velocidades variadas ao longo de todo o seu curso.

De acordo com Ward (1989), existem quatro dimensões nas quais os sistemas fluviais estão submetidos e interagem. A longitudinal, onde ocorre interação entre a cabeceira do rio e seus afluentes com o rio principal, no sentido montante-jusante; a transversal ou lateral que é entre o canal do rio e sua área de várzea (largura da calha) e a vertical entre o canal do rio e o lençol freático. O aquífero subterrâneo tende a funcionar como um reservatório de água para os rios, sendo que o tipo de interação entre o rio e as águas subterrâneas depende de um conjunto de condições geológicas e geomorfológicas que influenciará no grau de exportação ou importação de água do rio. Rios de regiões desérticas tendem a suprir o lençol freático; em regiões com precipitação satisfatória, o lençol freático é que abastece o rio. A quarta dimensão provém da escala temporal, que depende do organismo de interesse (ex: macrófitas aquáticas) e, também, do fenômeno a ser investigado (ex: eutrofização), que vão desde o tempo necessário para provocar uma resposta comportamental ao tempo necessário para uma possível evolução. Esta escala é

importante para compreendermos a estrutura e dinâmica das comunidades, como também os impactos dos possíveis distúrbios.

Quanto à velocidade da água, os rios podem ser divididos em três regiões distintas, chamadas de zonas, no caso: zona inicial, zona média e zona final. Tais zonas correspondem respectivamente, a nascente, o corpo e a foz. A zona inicial possui águas com correnteza mais acentuada, maior transparência e maior concentração de oxigênio, com pouca ou nenhuma produção fotossintética, onde a razão fotossíntese/respiração (F/R) tende para a respiração ($F/R < 1$), ou seja, maior respiração do que produção primária. Na zona média, observam-se águas mais lentas e com maior quantidade de detritos orgânicos e inorgânicos, assim como, uma ligeira queda nos níveis de oxigênio dissolvido. É nesta região que ocorrem as maiores taxas fotossintéticas e produção de biomassa, onde a razão fotossíntese/respiração (F/R) tende para a produção ($F/R > 1$). Finalmente, na zona final, normalmente em grandes rios, observam-se águas mais calmas, propiciando a deposição de detritos no delta aquífero, onde, devido a concentrações muito elevadas de detritos orgânicos, a respiração se torna superior à fotossíntese ($F/R > 1$), (TUNDIZI; TUNDIZI, 2008).

A complexidade ecológica, tanto em termos de diversidade de espécies quanto no grau de entropia, é progressiva no sentido montante para jusante (Figura 2). Com a diminuição da velocidade d'água, juntamente com o aumento da área iluminada (calha mais larga), há um aumento na diversidade de organismos produtores, principalmente na coluna d'água, que passam a colaborar com o aumento progressivo da matéria orgânica biodisponível no ambiente. Desse modo, o rio passa a sustentar uma teia ecológica cada vez mais complexa e intrínseca.

Figura 2 - Evolução da entropia aquática, ao longo do curso de um ambiente lótico; $F/R < 1$: fotossíntese menor que a respiração; $F/R > 1$: fotossíntese maior que a respiração (fonte: TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Ao longo do curso do rio, o aumento na entropia acarreta no acúmulo de matéria orgânica sob a forma de detritos. Estes tendem a se concentrar tanto na água quanto no sedimento, possibilitando um aumento na taxa de organismos detritívoros e decompositores. Uma vez decomposta, a matéria orgânica acaba liberando nutrientes no ambiente; neste contexto, as macrófitas e as algas, como organismos produtores, acabam aproveitando esses nutrientes em seu crescimento e desenvolvimento (ESTEVES, 1998, ODUM, 1988).

Considerando o fluxo contínuo da água, os rios são ambientes seletivos quanto ao tipo de vegetação que os compõem. Na zona inicial há um predomínio de espécies emergentes, que dependem quase exclusivamente do substrato para absorverem

nutrientes. Na zona média a diminuição do fluxo e o aumento de nutrientes na coluna d'água, permitem a existência de uma variedade cada vez maior de espécies de águas abertas, incluindo as flutuantes livres. Entretanto, as formas emergentes são as mais observadas. A importância das espécies emergentes nos ecossistemas aquáticos, embora reconhecida, ainda é bastante discutida e estudada (GURNELL et al., 2012). Basicamente, essas espécies estão em contato com três compartimentos distintos do ambiente: são enraizadas no sedimento, possuem uma base caulinar, em contato com a coluna d'água, e projeções apicais (folhas, flores e frutos), em contato com a atmosfera (ESTEVES, 1998).

Uma vez que apresentam regiões apicais em contato com a atmosfera e se distribuem ao longo das regiões mais rasas, constituem um elo entre o ambiente aquático e o ambiente terrestre, contribuindo com a troca de energia e matéria entre ambos, visto que, servem de alimento para muitos organismos terrestres (BEGON et al., 2007).

Nas últimas décadas, estudos têm descrito que em rios, muitas espécies de macrófitas têm protagonizado mudanças significativas, tanto na velocidade quanto na deposição de sedimento nas margens; conseqüentemente, ao longo do tempo, modificam a configuração hidrogeográfica destes corpos hídricos (CLARKE; WHARTON, 2001, GURNELL et al., 2012).

Macrófitas aquáticas emergentes, uma vez estabelecidas no leito, ou em regiões mais profundas das margens de rios, acabam criando micro habitats propícios à sedimentação progressiva de sólidos suspensos, provenientes da coluna d'água. Segundo Gurnell et al. (2012), uma vez acumulado, o sedimento propicia o estabelecimento de outras macrófitas aquáticas, à medida que a profundidade diminui progressivamente. Esse processo de sucessão ecológica culmina no estabelecimento cada vez mais complexo, de uma comunidade de macrófitas aquáticas, que vão desde as espécies iniciais emergentes, até as formas ruderais (pioneiras) de locais úmidos e, finalmente, plantas de solo mais seco (Figura 3).

Figura 3 - O suporte formado por macrófitas emergentes, que crescem a partir do leito do rio (A), propicia o surgimento de uma base, formada por sedimentos finos (B). A agregação de mais espécies aumenta a retenção de mais partículas, que tendem a se acumular em direção à margem (C), formando, finalmente em uma extensão da margem do rio (D). (Modificado a partir de GURNELL et al., 2012).

Conforme já descrito, macrófitas aquáticas emergentes, uma vez estabelecidas, formam uma ligação entre o substrato e a coluna d'água. Estando enraizadas, elas passam a absorver nutrientes a partir do sedimento, incorporando-os na forma de biomassa ou excretando-os diretamente na coluna d'água, em um processo descrito como “bombeamento”, principalmente de compostos ricos em fósforo. No decorrer do seu desenvolvimento fenológico, elas acabam liberando partes vegetativas e reprodutivas, mais velhas fisiologicamente, que acabam ficando dispersas na coluna d'água ou retidas entre os propágulos de outros indivíduos, em um estado de agregação (KLEEBERG et al., 2010; PEREIRA, et al., 2007).

Logo, os nutrientes, que outrora faziam parte da estrutura vegetal são liberados na coluna d'água devido à decomposição da matéria orgânica. Uma vez liberados, esses nutrientes podem ser reabsorvidos por outras macrófitas aquáticas, incluindo as flutuantes ou pelas algas.

Em ambientes com grande interferência antrópica, aumentos significativos de material orgânico de origem sanitária, industrial ou agropastoril, acabam desequilibrando toda a dinâmica ecológica de bancos de macrófitas. O aumento da biomassa acarreta na obstrução de vários trechos ou, no caso de pequenos corpos d'água, na completa obstrução dos mesmos (THOMAZ, 2002, 2006; THOMAZ et al., 2008).

Em casos mais graves, uma vez que estes bancos sofram deslocamento, seja pelo aumento do fluxo das águas ou pelo controle mecânico, estes bancos podem se agregar a outros bancos a jusante. Quando estes bancos encontram obstáculos, tais como os pilares de pontes, eles tendem a se fixar, formando uma barreira contra o fluxo da água. Pontes são construídas e arquitetadas para resistirem pressão vertical. Logo, a pressão horizontal exercida na sua estrutura pode levá-la ao colapso. Considerando a bacia do rio Paraíba do Sul, especificamente no Vale do Paraíba, segundo dados secundário levantados pela AGEVAP (2012), o crescimento e a proliferação de macrófitas emergentes, principalmente *Echinochloa polystachya*, têm comprometido, entre outros problemas, a estrutura de muitas pontes, principalmente durante o período chuvoso.

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização do ambiente de estudo

O rio Paraíba do Sul resulta da confluência, próximo ao município de Paraibuna, dos rios Paraibuna, cuja nascente é no município de Cunha, e Paraitinga, que nasce no município de Areias, ambos no estado de São Paulo, a 1.800 metros de altitude. O rio percorre 1.100 km até sua foz no estado do Rio de Janeiro. O clima predominante em toda a bacia é o subtropical, com verões chuvosos e invernos secos, com temperatura média anual de 21 °C (ROSSETTI, 2009).

4.2. Pontos de amostragem

A área de estudo (Figura 4) está inserida dentro do trecho médio superior do rio Paraíba do Sul, que se inicia em Guararema e termina em Cachoeira Paulista (MARENGO; ALVEZ, 2005). Os trechos do rio a serem estudados (Figura 5) compreendem o território das cidades de Aparecida (22° 50' 49" S, 45° 13' 47" W), Guaratinguetá (22° 48' 59" S, 45° 11' 33" W), Lorena (22° 43' 51" S, 45° 07' 29" W) e Cachoeira Paulista (22° 39' 54" S, 45° 00' 34" W). Essas cidades estão em uma área com uma altitude média de 530 metros (ROSSETI, 2009; SEBRAE, 2011).

Figura 4 - Bacia hidrográfica da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do rio Paraíba do Sul no seu trecho paulista (UGRHI-PBSUL); Área pontilhada: área de estudo (modificado a partir de Arcoverde et al., 2011).

Figura 5 - Mapa mostrando os pontos (CA1 a AP8) usados na amostragem de água, sedimentos e macrófitas, no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto/2012 (período de seca) e no mês de Fevereiro/2013 (período chuvoso); Setas: direção do fluxo (Modificado a partir do Google Earth).

Para as análises físicas e químicas, assim como para a identificação de material botânico, foram analisados dois pontos, um à montante e um ponto à jusante, totalizando em oito pontos nos quatro municípios. Para a escolha dos pontos (Tabela 1 e 2), foram consideradas as margens com bancos de macrófitas, que possuísem a melhor acessibilidade por terra. Seguindo um padrão defendido por Bicudo e Bicudo (2006), as coletas foram realizadas contra a corrente, no sentido jusante – montante. Tendo início em Cachoeira, seguida por Lorena, Guaratinguetá e finalmente aparecida.

Tabela 1 - Localização geográfica e descrição dos pontos de amostragem de água, sedimentos e macrófitas, no rio Paraíba do Sul, mês de Agosto/2012 (período de seca) e no mês de Fevereiro/2013 (período chuvoso).

Pontos de coleta		Características
Cachoeira Paulista	CA1 Jusante	Próximo a Avenida Marginal do Rio Paraíba. A poucos metros do bairro Embauzinho. • Margem esquerda - Área aberta sem cobertura florestal; margem plana, coberta por gramíneas (área de pastagem);
	CA2 Montante	Ponte sobre o Rio Paraíba, km 202+700 da SP-058 (Rodovia Deputado Nesralla Rubez). • Margem direita - Área aberta, sem cobertura florestal; margens irregulares, com pontos assoreados, coberta por gramíneas (área de pastagem);
Lorena	LO3 Jusante	Escola de Engenharia de Lorena – USP • Margem esquerda - Área com cobertura florestal; margens regulares; água estagnada, devido aos grandes bancos de macrófitas;
	LO4 Montante	Bairro do São Roque, acima do porto de areia. • Margem direita - Área aberta, sem cobertura florestal; margem plana, coberta por gramíneas (área de recreação - pesca);
Guaratinguetá	GU5 Jusante	Bairro Beira-Rio. • Margem direita - Área coberta, próxima a uma comunidade arbórea; margens irregulares;
	GU6 Montante	Próximo a Ponte de Metal- Centro; Buriti Shopping. • Margem direita - Área aberta, próxima ao centro urbano; margens regulares por intervenção antrópica, com vegetação controlada;
Aparecida	AP7 Jusante	Bairro Ponte Alta. • Margem direita - Área aberta, longe do centro urbano; margens regulares; água com fluxo sinuoso.
	AP8 Montante	Monumento no Porto Itaguaçu, local da aparição da imagem de Nossa Senhora de Aparecida. • Margem direita - Área aberta, próxima a um ponto de visitação religiosa; margens regulares, contornadas por bancos de macrófitas densos; vegetação marginal (grama) controlada; água com fluxo sinuoso.

Tabela 2 - Localização georreferenciada e fotos dos pontos de coleta onde houve amostragem no rio Paraíba do Sul, mês de Agosto/2012 (período de seca) e no mês de Fevereiro/2013 (período chuvoso).

Pontos	Coordenadas	Fotos
Cachoeira Paulista	CA1 – Jusante 22°37'32.75"S 44°59'44.37"O
	CA2 - Montante 22°39'50.42"S 45° 1'27.66"O
Lorena	LO3 - Jusante 22°41'54.44"S 45° 6'53.85"O
	LO4 - Montante 22°44'31.10"S 45° 8'38.30"O

(continua)

Conclusão - Tabela 2 - Localização georreferenciada, e fotos dos pontos de coleta onde houve amostragem no rio Paraíba do Sul, mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

Pontos		Coordenadas	Fotos
Guaratinguetá	GU5 - Jusante	22°47'27.02"S 45°10'42.49"O
	GU6 - Montante	22°48'42.31"S 45°11'40.78"O
Aparecida	AP7 - Jusante	22°49'27.86"S 45°14'12.74"O
	AP8 - Montante	22°51'29.55"S 45°15'17.17"O

4.3. Análises das amostras de água e de sedimento

A caracterização física e química da água ocorreu em duas etapas, a primeira no mês de agosto de 2012, dentro do período de seca, e a segunda no mês de fevereiro de 2013, dentro do período chuvoso, segundo a média histórica de precipitação para a região de estudo (MARENGO; ALVEZ, 2005). As análises foram realizadas por meio de medidas “in situ” e em laboratório. Variáveis da água (pH e condutividade elétrica) foram determinadas em campo com uma sonda multiparamétrica, HANNA modelo HI 991300. Os parâmetros analisados, metodologias e respectivas referências utilizadas para a caracterização da água e sedimento são apresentados na Tabela 3. Tanto os parâmetros da água quanto do sedimento foram realizados em triplicata, com exceção ao nitrogênio orgânico total do sedimento, que duplicata.

Tabela 3 - Variáveis, metodologias e respectivas referências, utilizadas na caracterização da qualidade da água e do sedimento do rio Paraíba do Sul.

Variável	Metodologia	Referência metodológica
Água		
pH	Sonda mult./HANNA	-
Condutividade $\mu\text{S}/\text{cm}$	Sonda mult./HANNA	-
Sólidos Totais	Met. gravimétrico	NBR 10664/Abr 1989
Sólidos Fixos	Met. gravimétrico	NBR 10664/Abr 1989
Sólidos Voláteis	Met. gravimétrico	NBR 10664/Abr 1989
Oxigênio dissolvido	Titulometria	Winkler, CETESB (1978)
DBO	Winkler/Incubação	APHA, 2005
Fósforo total	Espectrofotometria	APHA, 2005
Turbidez	TB 1000 (turbidímetro)	
Coliformes termotolerantes	Meio A1	CETESB (1992)
Sedimento		
Matéria orgânica	Pesagem	TRINDADE (1980)
Fósforo total	Espectrofotometria	ANDERSEN (1976)
Nitrogênio orgânico total	Digestão/Titulometria	RAIJ et al., (2001)/APHA, 2005

4.3.1. Sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV)

Para a quantificação destes parâmetros foi utilizada como referência a norma NBR 10664/Abr 1989, que se refere ao método gravimétrico modificado, para lodos e sedimentos em geral.

a) Sólidos Totais: para este procedimento foram colocadas cápsulas de porcelana vazias em forno mufla a $550 \pm 50^\circ\text{C}$, por 1 hora. Após esfriamento em dessecador, foram

pesadas em balança analítica com precisão de 0,1 mg (m_1). Transferiu-se para a cápsula 100 mL da amostra; o conjunto foi levado ao banho-maria até a completa evaporação. Após completa evaporação da amostra, as cápsulas, com os resíduos, foram levadas para a estufa a 103-105 °C, durante 24 horas. Após condicionamento à temperatura ambiente, em dessecador, as cápsulas foram novamente pesadas (m_2). Para o cálculo de sólidos totais utilizou-se a seguinte Equação 1:

$$ST = \frac{(m_2 - m_1)1000}{V} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

ST = sólidos totais, em mg/L.

m_2 = massa da cápsula com resíduo total (mg).

m_1 = massa da cápsula vazia, em mg.

V = volume da amostra em mL

- b) Sólidos Fixos:** As capsulas com os sólidos totais foram submetidas à calcinação em mufla a 550 ± 50 °C por 1 hora, conforme procedimento “a”). Após resfriadas em dessecador, foram novamente pesadas. Para o calculo de sólidos fixos utilizou-se a Equação 2:

$$SF = \frac{(m_3 - m_1)1000}{V} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

SF = sólidos fixos, em mg/L.

m_3 = massa da cápsula com resíduo total (mg).

m_1 = massa da cápsula vazia, em mg.

V = volume da amostra em mL.

- c) Sólidos Voláteis:** Efetuou-se a diferença dos valores obtidos de sólidos totais (procedimento “a”) e de sólidos fixos (procedimento “b”), onde o valor encontrado resulta no teor e sólidos voláteis (equação 3).

$$SV = ST - SF \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

SV= sólidos voláteis, em mg/L

ST= sólidos totais, em mg/L.

SF= sólidos fixos, em mg/L.

4.3.2. Turbidez

A turbidez foi determinada com turbidímetro (TECNOPON mod. TB 1000). Para a calibração do equipamento utilizou-se padrões de 0,1 UNT, 0,8 UNT, 8 UNT, 80 UNT e 100 UNT. Os resultados foram expressos em unidades de turbidez UNT (Unidades Nefolométricas de Turbidez).

4.3.3. Oxigênio dissolvido (OD)

A determinação do oxigênio dissolvido seguiu a metodologia descrita na Norma Técnica L5.169 da CETESB (1978). A coleta das amostras foi realizada em triplicatas. Em campo, adicionou-se 2 mL da solução 1 (sulfato manganoso) e 2 mL da solução 2 (reagente álcali-iodeto-azida), e em seguida homogeneizou-se a amostra garantindo a reação completa dessas soluções com a amostra. Em laboratório, acrescentou-se 2 mL de ácido sulfúrico concentrado e, após homogeneização, transferiu-se 100 mL da amostra para um Erlenmeyer. Foram adicionadas algumas gotas de solução indicadora de amido e titulou-se com solução padrão de tiosulfato de sódio $0,025 \text{ eq L}^{-1}$, previamente padronizada com solução padrão de $\text{K}_2\text{N}_2\text{O}_7$. Os resultados foram expressos em mg/L de O_2 conforme equação 4:

$$\text{mg O}_2/\text{L} = \frac{V_1 \cdot 0,025N \cdot F \cdot 8000}{V_2} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

V_1 = Volume de tiosulfato de sódio gasto na titulação (mL).

F = Fator de correção do tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).

V_2 = Volume de amostra titulados (mL).

8000 = miliequivalente grama do oxigênio.

4.3.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A metodologia utilizada para análise da DBO foi segundo a norma L5.120 CETESB (1991), método A. A determinação foi obtida pela diferença da concentração de oxigênio dissolvido inicial (obtida no item 4.3.3.) e após a incubação das amostras a $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, ao abrigo da luz, por 5 dias. A determinação de OD foi feita conforme o item 4.3.3. Cálculo:

$$\text{DBO: mg O}_2 = \text{OD}_1 - \text{OD}_5$$

Equação 5

Onde:

OD_1 = concentração de oxigênio dissolvido no 1º dia (antes da incubação).

OD_5 = concentração de oxigênio dissolvido no 5º dia (após a incubação).

4.3.5. Fósforo total (FT)

A determinação foi conforme o método do ácido ascórbico (APHA, 2005). A análise foi realizada com 50,0 mL de amostra, adicionado 1 mL de H_2SO_4 concentrado e 5 mL de HNO_3 ; posteriormente, a solução obtida foi levada ao banho-maria por 1 hora a 90 °C. Após esfriar em temperatura ambiente, adicionou-se 1 gota de fenolftaleína e neutralizou-se com NaOH 6,5 eq L^{-1} , avolumando essa solução em um balão de 100 mL. Em seguida, foram retirados 25,0 mL de amostra, adicionado 8 mL da solução desenvolvidora de cor (100 mL de ácido sulfúrico 5 eq L^{-1} ; 10 mL de tartarato misto de antimônio e potássio hemi-hidratado, 1,3715 g para 500 mL de água destilada; 30 mL da solução de molibdato de amônio, 20 g para 500 mL de água destilada; e 60 mL de ácido ascórbico 0,1 mol/L, 1,76 g para 100 mL; esta solução é estável por 4 horas) e feita a leitura em espectrofotômetro a 880 nm. O cálculo foi realizado a partir de uma curva padrão produzida a partir da leitura de diluições de uma solução de KH_2PO_4 .

4.3.6. Coliformes termotolerantes

Essa metodologia foi realizada segundo a Norma L5. 406, CETESB (1992). Em tubos de ensaio, foram colocados tubos Durham invertidos e 10 mL de meio A1. Depois de preparados, os tubos foram autoclavados (10 minutos a 121 °C). Os coliformes termotolerantes foram determinados a partir de 25 inoculações para cada amostra, sendo cinco inoculações para cada volume e/ou concentração diferente. Foram feitas inoculações com 10 mL e 1 mL de amostra concentrada, além de 1 mL de três diluições de concentrações 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} . A leitura foi realizada através da visualização (a olho nu) da turvação dos tubos, sendo considerados positivos os que apresentaram aspecto turvo e acúmulo de gás.

4.3.7. Matéria orgânica (MO)

Antes das análises, o sedimento foi macerado e homogeneizado, posteriormente seco em estufa a 60 °C. Para essa análise, os cadinhos de porcelanas foram previamente

levados vazios ao forno mufla a 550 °C por 4 h; depois de frios em dessecadores, foram pesados. Para cada ponto analisou-se três sub-amostras de 1 g de sedimento, pesadas em balança analítica precisão de 0,0001 mg. Depois de pesadas em cadinhos de porcelana, as amostras foram levadas ao forno mufla a 550 °C (temperatura de ignição de matéria orgânica) por 4 h. Após esfriar dentro de um dessecador, o conjunto (cadinho + amostra) foi novamente pesado. Para o cálculo da matéria orgânica utilizou-se a equação 6:

$$(MO)\% \text{ matéria orgânica} = \frac{(P_1) - P_2 * 100}{P_1} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

P_1 = Peso seco (g).

P_2 = Peso após ignição (g).

4.3.8. Nitrogênio orgânico total (NOT)

Antes das análises o sedimento foi seco em estufa a 60 °C. O nitrogênio orgânico total Kjeldhal (NT) do sedimento, foi analisado seguindo o método de digestão em ácido sulfúrico concentrado (RAIJ et al., 2001), seguido pela destilação automática em um aparelho Buchi K-355, da *Buchi/Pensalab*, com recolhimento em ácido bórico (APHA, 2005).

Primeiramente, transferiu-se 1 g de solo moído finamente para o tubo Kjeldahl (tubo de digestão). Acrescentou-se 10 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, posteriormente 2,00 g do catalisador (Na_2SO_4 e $CuSO_4.5H_2O$, 3:1). Uma vez preparados, os tubos Kjeldahl foram levados para o bloco digestor iniciando-se a digestão com aumento gradual da temperatura até 350 °C, durante 4 a 6 h. Uma vez terminada a digestão, o bloco digestor foi desligado, deixando a reação prosseguir por mais 1 h, enquanto esfriava. Após essa etapa, o conteúdo dos tubos Kjeldahl foi levado para a destilação no aparelho Buchi K-355, com arraste a vapor com NaOH, e recolhimento em ácido bórico a 2 % m/l, com solução alcoólica, indicadora (verde de bromocresol + vermelho de metila). A titulação foi realizada com uma solução de ácido sulfúrico. O nitrogênio total (NT) é determinado pela Equação 7:

$$NT \% = \frac{(V_a - V_b) * F * 0,0014 * 100}{P_1} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

NT % – teor de nitrogênio total na amostra, em percentagem.

Va – volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra, em mililitros.

Vb – volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação do branco, em mililitros.

F – fator de correção para o ácido sulfúrico.

P1 – massa da amostra (em gramas).

0,0014 = miliequivalente grama do nitrogênio.

4.3.9. Fósforo total (FT)

Antes das análises o sedimento foi seco em estufa a 105-110°C, pulverizados e peneirados em peneira de 0,15 mm (100 mesh). Para a análise do fósforo seguiu-se a metodologia da digestão por ácido perclórico, segundo Andersen (1976). Foram pesados 0,15 g de sedimento seco, adicionou-se 10 mL de água destilada e 2 mL de ácido nítrico concentrado. O Erlenmeyer foi levado à placa de aquecimento até total evaporação. Posteriormente, adicionou-se 2 mL de ácido perclórico e a amostra foi fervida até o clareamento. Depois de resfriada, a amostra foi diluída em balão volumétrico de 100,0 mL. Uma alíquota de 25,0 mL foi retirada e adicionado 8 mL da solução desenvolvedora de cor (item 4.3.5). O branco preparado com água destilada recebeu o mesmo tratamento. A leitura em espectrofotômetro foi realizada em 880 nm.

4.4. Coletas, método de amostragem e preparação dos espécimes.

Para o levantamento de macrófitas e sua distribuição, juntamente com as análises físicas e químicas, foi realizada uma coleta no mês de agosto, dentro do período seco, tendo como referência os mesmos pontos usados para as análises físico-químicas. A partir desses pontos, foi realizada uma caminhada nas margens do rio, em um percurso de 10 metros aproximadamente, estabelecendo um limite de até 1 metro a partir da lâmina d'água.

O objetivo foi coletar e identificar as espécies tendo-se como base o conceito de macrófitas aquáticas de Irgang e Gastal Jr (1996), que foram classificadas de acordo com as formas biológicas propostas por Irgang *et al.* (1984) em anfíbias, emergentes, flutuantes fixas, flutuantes livres, submersas fixas e submersas livres.

Foram coletados indivíduos inteiros ou amostras de ramos floridos e/ ou frutificados. As espécies coletadas foram fotografadas e processadas segundo as técnicas

de herborização, que consistem na prensagem, secagem em estufa e montagem de exsicatas em duplicadas, seguindo as orientações de Fidalgo e Bononi, (1989), assim como de Haynes (1984), Pedralli (1990) e Scremin-Dias et al. (1999), mais específicas para macrófitas.

A pré-identificação das espécies foi feita em laboratório através de comparação morfológica e consulta à bibliografia especializada. Para macrófitas no geral: Amaral *et al* (2008) e Lorenzi (2000); como chaves para famílias: Souza e Lorenzi (2005); para gêneros: Barroso (1991); Cook (1996); Longhi-Wagner *et al.* (2001) e Wanderley *et al.* (2009). As duplicatas do material coletado estão foram preparadas para serem enviadas à especialistas de diversas famílias botânicas, para confirmação das identificações.

Está sendo elaborado um inventário das espécies segundo o sistema de classificação APG III - Angiosperm Phylogeny Group, a partir de BREMER et al. (2009), para angiospermas.

4.5. Análise dos dados

4.5.1. Riqueza de espécies

A riqueza de espécies foi expressa pela quantificação de todas as espécies identificadas por ponto de coleta (Figura 13).

4.5.2. Análise estatística dos dados

No presente estudo, utilizou-se a análise de componentes principais (ACP). De acordo com Bini (2004), do ponto de vista limnológico, a ACP procura condensar a informação contida no conjunto de variáveis ambientais físicas e químicas, em uma quantidade menor de variáveis (fatores ou componentes), produzindo menos eixos ortogonais, com uma perda mínima de informação (HAIR Jr. *et al.*, 1995).

A análise dos componentes principais vai procurar indicar as variáveis que melhor explicaram o comportamento do rio Paraíba do Sul, no período de seca e no período chuvoso, agrupando o número de espécies identificadas por pontos, com as variáveis mais representativas dentro do ecossistema na forma de fatores. Quanto mais forte for esta correlação entre os dados, maior será o poder de síntese dos componentes principais (ou eixos de ordenação). Estes componentes principais serão utilizados para ordenar, por meio de gráfico, as unidades amostrais, proporcionando, assim, informações acerca das semelhanças ecológicas das unidades amostrais (VALENTIN, 1995; BINI, 2004).

4.5.3. Análise de similaridade

A análise da similaridade das comunidades de macrófitas entre os pontos amostrados no rio Paraíba do Sul ocorreu a partir do cálculo das matrizes de presença/ausência, utilizando-se o índice de similaridade de Jaccard (BINI, 2004). A partir deste índice, foi realizada a análise de agrupamento ou “cluster”, utilizando-se o método de ligação ou formação de grupos por associação média, método também conhecido como UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) (VALENTIN, 1995) através do software PAST-2.17. A análise de agrupamento fornece um arranjo hierárquico das unidades amostrais na forma de gráfico, o dendrograma, o qual representa graficamente as similaridades entre as unidades amostrais (BINI, 2004).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Variáveis químicas, físicas e biológicas da água.

5.1.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

Com relação ao potencial hidrogeniônico, todos os pontos apresentaram pH levemente ácido (Figura 6), em ambas estações de amostragem. Níveis baixos de pH podem estar relacionados a decomposição da matéria orgânica presente na água, acarretando na liberação de ácidos húmicos, consequentemente diminuindo o pH (ALVES et al., 2012; ESTEVES, 1998).

Figura 6 - Valores de pH da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

Considerando que no período chuvoso (fevereiro/2013) os níveis de pH apresentaram valores próximos a neutralidade ($\text{pH}=7$), quando comparados os valores no período de seca (agosto/2012), pode-se considerar que a água das chuvas pode diluir matéria orgânica, consequentemente, diminuindo a concentração dos ácidos húmicos presentes na coluna d'água, que segundo Carvalho et al (2000) acabam sendo escoados mais rapidamente.

Níveis baixos de pH, em ambas as estações de coleta, podem estar relacionadas com as características geoquímicas do rio. Segundo Rampanelli et al. (2011), a calha maior do rio Paraíba do sul, especificamente o trecho entre as cidades de Jacareí e Cachoeira

Paulista, permeia por um sedimento quaternário rico em areia, com planícies de inundação ricas em organossolos distróficos. Organossolos são solos originários da decomposição de materiais orgânicos, são caracteristicamente ácidos e com alta capacidade de troca catiônica, devido sua baixa saturação por bases, característica de solos distróficos (EMBRAPA, 2011). Logo, no contexto biogeoquímico, pHs levemente baixos podem ser explicados, seja pela natureza química do relevo como também pela emissão direta de compostos orgânicos de origem sanitária.

5.1.2. Condutividade elétrica (CE)

Os níveis de condutividade, apesar de constantes em ambas as campanhas de coleta, apresentam valores superiores a 70 uS/cm (Figura 7). Segundo a resolução CONAMA 357/2005, águas Classe 2, devem apresentar valores de condutividade elétrica entre 75 a 110 uS/cm.

Figura 7 - Valores de Condutividade Elétrica, em uS/cm, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

No entanto, o ponto GU6, jusante de Guaratinguetá, no período chuvoso (fevereiro/2013) apresentou o maior valor de condutividade (130 uS/cm). Neste ponto é visível a emissão clandestina de esgoto doméstico, proveniente das casas que margeiam todo o curso do rio, neste trecho.

Segundo Esteves (1998), em rios tropicais os valores de condutividade estariam mais relacionados com as características geoquímicas e com as condições climáticas (estação de seca e de chuva) da região onde se localizam.

No período chuvoso, apesar de ocorrer diluição de vários compostos, de origem orgânica ou inorgânica, presentes na coluna d'água, ocorre, também, a lixiviação de materiais das margens para o leito. Nesta região, o período chuvoso corresponde ao período de maior calor (verão), onde há um maior consumo de água para fins de consumo e de recreação como também para fins agrícolas, consequentemente, aumentando o volume de efluentes domésticos e resíduos agrícolas para a calha do rio.

5.1.3. Sólidos Totais

Este parâmetro está intimamente ligado à turbidez, pois corresponde às partículas em suspensão na coluna d'água, que em maior ou menor concentração, interfere na transparência da água. Partículas em suspensão (de origem orgânica ou inorgânica), no geral, refletem a capacidade que os rios possuem de transportar materiais suspensos, de origem antrópica ou geoquímica, de uma região para outra (ESTEVES, 1998; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Sólidos suspensos podem ser subdivididos em sólidos suspensos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), que compreendem apenas a fração orgânica (volátil) dos SST. Valores de sólidos voláteis correspondem à fração dos sólidos que entram em combustão a 550-600°C. Podendo ser considerados como sendo uma medida da fração orgânica dos sólidos totais. Os sólidos fixos correspondem a fração dos sólidos que não se volatilizam, podendo, portando, representar a fração inorgânica dos sólidos totais amostrados (CHELLA et al., 2005)

Conforme Tabela 4, todos os pontos, , apresentaram valores de concentração de sólidos totais (mg/L), elevadas durante o período chuvoso. Assim como nos demais parâmetros já descritos, tais como: condutividade e turbidez, valores superiores no período chuvoso, evidenciam o aumento significativo de materiais, de origem terrestre (assoreamento) ou sanitária, na coluna d'água.

A natureza orgânica de materiais em suspensão também é importante, visto que refletem o estado trófico de corpos d'água, denunciando perturbações antrópicas, como o despejo de efluentes domésticos e industriais, em corpos d'água.

Tabela 4 - Valores de sólidos suspensos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

Pontos	Seca					Chuva				
	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF (%)	SV (mg/L)	SV (%)	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF (%)	SV (mg/L)	SV (%)
CA1	0,10	0,06	61,6	0,04	38,4	0,15	0,02	10,4	0,13	89,6
CA2	0,10	0,08	77,3	0,02	22,7	0,12	0,01	5,8	0,11	94,2
LO3	0,08	0,02	18,9	0,06	81,1	0,12	0,05	44,8	0,07	55,2
LO4	0,08	0,02	25,8	0,06	74,2	0,08	0,03	30,1	0,06	69,9
GU5	0,10	0,04	36,5	0,06	63,5	0,32	0,12	37,8	0,20	63,4
GU6	0,11	0,04	34,8	0,07	65,2	0,14	0,06	42,9	0,08	57,1
AP7	0,11	0,05	42,6	0,06	57,4	0,13	0,05	37,2	0,08	62,8
AP8	0,08	0,01	18,5	0,06	81,5	0,16	0,11	67,4	0,05	32,6

Durante o período chuvoso, o ponto GU5 apresentou a maior concentração de ST, 0,32 mg/L, onde 63,4% (0,20 mg/L) são de natureza orgânica (Tabela 5 e Figura 8). Este ponto fica próximo ao centro comercial da cidade de Guaratinguetá. Durante o período de seca, conforme a Figura 8, a porcentagem (%) de sólidos voláteis por sólidos totais, é relativamente maior no sentido do ponto CA1 ao AP8, porém, no período chuvoso, os valores são decrescentes.

Figura 8 - Valores de sólidos suspensos voláteis, em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

As cidades amostradas apresentam um índice populacional crescente, no sentido Cachoeira Paulista – Lorena – Guaratinguetá - Aparecida. Aparecida apesar de apresentar um índice populacional menor que Guaratinguetá, recebe anualmente um grande número de turistas.

Considerando o potencial depurativo de corpos d'água, aliado aos baixos índices pluviométricos, no período de seca, a baixa vazão das águas, descritos por ROSSETTI (2009) neste trecho, contribuiriam com a decomposição progressiva dos compostos orgânicos ao longo do rio. Durante o período chuvoso, os valores de SV (Figura 8; Tabela 4) são decrescentes no sentido: Cachoeira Paulista – Lorena – Guaratinguetá – Aparecida, evidenciando o aumento progressivo da fração orgânica dos sólidos em suspensão no sentido montante (ponto AP8) para jusante (ponto CA1). O aumento da vazão das águas, em grande parte devido as chuvas, aumenta a velocidade de deslocamento do material suspenso. Tais fatos podem contribuir com o transporte de sólidos suspensos totais e voláteis em distâncias maiores. Outro fator importante é o carreamento de materiais das margens para a coluna d'água, decorrente do assoreamento das margens contendo organossolos ricos em compostos orgânicos.

5.1.4. Turbidez

É a medida da capacidade da água em dispersar a radiação solar, logo esta intimamente ligada aos sólidos, orgânicos e inorgânicos, suspensos na coluna d'água (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008; WETZEL, 2001). Os níveis de turbidez, em UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez), foram mais elevados durante o período chuvoso, em todos os pontos (Figura 9). A turbidez é um parâmetro que, em níveis altos, evidenciam o aumento de sedimentos finos (argila e silte), combustíveis, óleos lubrificantes e efluentes sanitários, lançados no rio (OLIVEIRA 2002; OLIVEIRA; MELLO, 2007; RAPOSO et al., 2010). Valores altos de turbidez podem dificultar a fotossíntese de plantas submersas (SUZUKI, 2011). Consequentemente, também é usada como um parâmetro interferente na quantificação da produção primária da fotossíntese em macrófitas (CAMARGO et al., 2006).

Figura 9 - Valores de turbidez (UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez) da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

Os níveis de turbidez variando entre 6 UNT, (Ponto 3, período de seca) e 10 UNT, (Ponto 5, período chuvoso). Valores de turbidez, em alguns rios tropicais, podem chegar a 100 UNT (OLIVEIRA et al., 2008), onde nem sempre estão relacionados a sazonalidades ambientais, tais como a pluviosidade (SILVA et al., 2008). A turbidez em níveis relativamente baixos, como os observados neste trabalho, pode estar relacionada ao método de coleta da água, sempre dentro dos bancos de macrófitas (Figura 40, Apêndice A). Essas plantas podem acelerar a decantação de sedimento devido à diminuição da velocidade da água (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Dentro da bacia do rio Paraíba do Sul, valores altos de turbidez, assim como de coliformes termotolerantes, já influenciaram de maneira negativa no cálculo do IQA (Índice de Qualidade das Águas) no trecho do rio Paraibuna após Juiz de Fora. Segundo o portal Instituto Mineiro de Gestão Ambiental (IGAM – 2010), a turbidez indicou forte interferência das atividades da mineração e do lançamento de efluentes domésticos, sem tratamento, sobre a qualidade dos corpos de água.

5.1.5. Oxigênio dissolvido (OD)

Durante o período de seca, os níveis de concentração de oxigênio (Figura 10) ficaram acima do limite inferior de 5mg/L, estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, para águas Classe 2. O maior valor na concentração de oxigênio dissolvido foi observado no ponto CA1, à jusante de Cachoeira Paulista. A partir do município de

Lorena, o rio Paraíba passa a apresentar grandes turbulências, devido ao acentuado declive do relevo, como descreve Rossetti (2009), corroborando com o aumento das concentrações de OD (mg/L), posteriores ao ponto LO3. O ponto CA1 e CA2 (6,4 e 5,6 mg/L, respectivamente) apresentaram as menores concentrações de SV (sólidos voláteis).

Figura 10 - Valores de oxigênio dissolvido, em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

No período chuvoso, os valores na concentração de OD, na maioria dos pontos apresentam valores inferiores a 5 mg/L, com exceção do ponto LO3, com 5,1 mg/L (Figura 7). Valores menores deste parâmetro, no período chuvoso, condizem com acréscimos de compostos orgânicos na coluna d'água, corroborando com os valores de sólidos voláteis (Tabela 4) neste mesmo período.

5.1.6. Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO)

Para níveis aceitáveis de DBO, o limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005, para águas de Classe 2, é igual ou inferior a 5mg/L. Durante o período de seca, nenhum dos pontos amostrados (Figura 11) apresentou uma concentração acima deste limite. Os pontos com concentrações mais altas foram os pontos: CA2 e GU6, que apresentaram valores de 1,05 mg/L e 1 mg/L, respectivamente.

Figura 11: Valores referentes a demanda bioquímica de oxigênio, em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

Durante o período chuvoso, apesar de nenhum dos pontos apresentarem valores de DBO, iguais ou superiores a 5mg/L, os pontos GU5 e GU6, apresentaram valores iguais a concentração inicial de OD (Figura 10). Tal fato sugere que os valores observados para a DBO, nestes pontos, não refletem a capacidade redutora das amostras como um todo, pois caso as concentrações de OD inicial fossem maiores, superiores a 4,5 mg/L, os valores de DBO também poderiam ser maiores. Segundo Lima et al., (2006), amostras com valores iniciais de OD inferiores a 5mg/L, podem ser previamente aeradas, de modo que não ocorra depleção completa do OD inicial, durante o período de 5 dias. Tal informação serve de base metodológica para futuras coletas, caso o oxigênio inicial apresente valores inferiores a 5mg/L.

A DBO é um parâmetro ligado a quantidade de matéria biodegradável, aerobiamente, em uma amostra. Logo, valores iguais e superiores de DBO, por OD inicial, implicam no consumo total deste último, na coluna d'água. Tal fato pode acarretar na morte de muitos organismos aquáticos, desequilibrando o ecossistema aquático.

5.1.7. Fósforo total na água

O fósforo total (FT) corresponde a soma de todas as formas de fósforo em uma amostra de água. É determinado a partir da conversão de todas as formas fosfatadas, presente em uma amostra não filtrada, em uma forma inorgânica, o ortofosfato. Segundo Esteves (1998), do ponto de vista limnológico, todas as formas de fósforo são importantes,

porém o FT é utilizado como estimativa do grau de fertilização (estado trófico) do ambiente aquático.

Os valores em mg/L de fósforo total, na água (Figura 12), foram inferiores a faixa máxima (0,10 mg/L), permitido pela resolução CONAMA 357/2005, para águas de classe 2, onde se enquadra o Rio Paraíba do Sul.

Durante o período de seca, as menores concentrações foram observadas nos pontos CA2 e GU5, ambos com 0,01 mg/L, seguidos pelo ponto CA1 com 0,02 mg/L. A maior concentração foi observada no ponto 8 (0,07 mg/L). Este ponto correspondeu a montante de Aparecida, e segundo a CETESB (2011), sofre interferência de todas as cargas de esgoto das cidades do Alto Vale do Paraíba, o que justificaria o aumento deste nutriente na água do rio.

Figura 12 - Valores de fósforo total, em mg/L, da água nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

Durante o período chuvoso as concentrações de FT apresentaram quedas, apresentando concentrações abaixo do limite de detecção pelo método espectrofotométrico (APHA, 2005), em seis pontos, inclusive no ponto AP8, o qual havia apresentado a maior concentração deste parâmetro no período de seca. Os pontos CA1 e GU6 foram os únicos com concentrações detectáveis. O ponto GU6, por sua vez, apresentou uma concentração de 0,06 mg/L, ligeiramente acima de 0,03 mg/L, concentração que apresentou durante o período chuvoso. Este parâmetro sofreu reduções significativas, com exceção do ponto GU6, que podem ser explicadas pela diluição decorrente do maior volume de precipitações nessa época do ano.

5.1.8. Coliformes Termotolerantes

Com base nos resultados obtidos, a partir dos tubos múltiplos (APHA, 2005), (Tabela 5), todos os pontos apresentaram contaminação por coliformes termotolerantes, que por definição da resolução CONAMA 357/2005, são microrganismos oriundos do trato digestivo humano e de outros organismos homeotérmicos.

Segundo esta resolução, águas Classe 2, na qual se enquadra o rio Paraíba do Sul, no trecho estudado, não podem exceder um limite de 1.000 coliformes termotolerantes, por 100 ml, para uso recreativo e de contato primário, em 80% das amostras ou em pelo menos 6 amostragens, feitas dentro de um ano em intervalos bimestrais.

Desse modo, durante o período de seca, o ponto GU6 (Tabela 5) apresentou o maior número provável de coliformes termotolerantes por 100 ml, alcançando 2300 NMP/100 ml. Este quadro de contaminação microbiológica se agravou no período chuvoso, pois como pode se observar na Tabela 5, todos os pontos apresentaram resultados superiores a 1.000 NMP/100 ml. Valores superiores a 2000 NMP/ 100 ml, segundo a resolução CONAMA 357/2005, caracterizam águas Classe 3 e só podem ser usadas para o consumo humano, após tratamento completo e avançado.

Tabela 5: Número mais provável de coliformes termotolerantes, em 100 mL de água, para cada um dos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

Pontos	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)	
	Seca (ago./12)	Chuva (fev./13)
1	130	92000
2	170	160000
3	130	13000
4	110	13000
5	280	27000
6	2300	160000
7	330	22000
8	490	7000

Em comparação com o período de seca, o ponto GU6 (montante de Guaratinguetá), no período chuvoso, também apresentou valores elevados para este parâmetro, juntamente com o ponto CA2 (montante de Cachoeira Paulista) apresentaram 160000 NMP/100 ml, seguidos pelo CA1 (jusante de Cachoeira Paulista) com 92000 NMP/ 100 ml. Tais

resultados podem ser explicados pelo aumento do uso urbano e agropastoril da água durante o período chuvoso e de maior calor. Entretanto superam os limites estabelecidos para rios classe 2 e, até mesmo classe 3, onde o limite superior, de NMP/100 ml é de 4000, para recreação de contato secundário. Considerando apenas este parâmetro, águas com tal característica é classificada como Classe 4, que na teoria só poderiam ser destinadas a navegação e a harmonia paisagística.

Valores acima do permitido para coliformes termotolerantes, em Classe 2, durante o período chuvoso, já foram relatados por Silva e Ueno (2008), no rio Una, e por Sundfeld-Penido (2010) no ribeirão Limeira, ambos, afluentes do rio Paraíba do sul. Nestes casos os autores sugerem que fatores como: altos índices pluviométricos, a redução de cobertura vegetal, as atividades agropastoris e a ocupação urbana, estariam aumentando o volume de água contaminada com dejetos sanitários para o leito dos rios. Considerando que os resultados apresentados neste trabalho, em Fevereiro de 2013, superam todos os valores apresentados em outros trabalhos, deve se considerar que os métodos de coleta aqui descritos, dentro do banco de macrófitas. Segundo Dixit e Dhote (2010), plantas aquáticas podem acumular e concentrar poluentes na rizosfera. Logo, considerando que as amostras de água foram coletadas nas margens, dentro de bancos de macrófitas, é justificável que compostos orgânicos e inorgânicos, diversos, assim como microrganismos, poderiam estar concentrados, de modo que os resultados obtidos, não refletem à qualidade microbiológica do rio como um todo. No entanto, no aspecto ecológico, a presença de um número, mesmo que elevado, de coliformes termotolerantes em bancos de macrófitas, não precisa necessariamente ser interpretada como um efeito negativo desses vegetais sobre a qualidade da água. Essas plantas podem ter efeito biocida sobre vários patógenos de origem sanitária, funcionando, desta forma, como filtro biológico para águas poluídas (CHANG, 2012; MARTIN et al., 2012; MOLISANI, 2006; PEREIRA et al., 2007).

5.2. Caracterização física e química dos sedimentos

Os resultados referentes ao sedimento apresentaram valores importantes, do ponto de vista ecológico, com concentrações elevadas de nutrientes no sedimento e, menores, na coluna d'água.

5.2.1. Matéria orgânica

A matéria orgânica (Figura 13) foi um parâmetro importante na elucidação da natureza química do sedimento amostrado. Durante o período de seca, os pontos

apresentaram teores de matéria orgânica em torno de 10 %, o que segundo Esteves (1998) é um limite para a caracterização de amostras de sedimento mineral ($<10\%$) e sedimento orgânico ($\geq 10\%$). O teor de matéria orgânica foi menor no ponto AP8 (7,52%) e maior no ponto GU6 (13,2%).

Figura 13 - Valores referentes à concentração de matéria orgânica (%), do sedimento nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

Durante o período chuvoso os teores de matéria orgânica diminuíram na grande maioria dos pontos, principalmente no ponto CA1 com apenas 2,93 %, contra 9,01% no período de seca. Outro ponto com quedas acentuadas nos teores deste parâmetro foi o ponto GU6, que outrora havia apresentado um sedimento orgânico (13,2%). O ponto AP8 foi o único com aumento nos teores de matéria orgânica, no período de seca havia apresentado 7,52%, no período chuvoso, 9,79. Entretanto, como será exposto a seguir, este ponto apesar de também ter apresentado um aumento nas concentrações de fósforo total (mg/g), apresentou uma queda nos teores de nitrogênio orgânico total.

5.2.2. Nitrogênio orgânico total

Considerando o teor de nitrogênio orgânico total no sedimento (Figura 14), os resultados apresentaram valores variados, sem relação aparente entre montante e jusante, dentro de uma mesma cidade e de uma cidade para outra, como também, entre uma amostragem e outra.

Dentro do período de seca, considerando o aporte crescente de nutrientes, desde a cidade de Aparecida até Cachoeira Paulista, o teor de nitrogênio total no sedimento

apresentou valores distintos, com menor valor no ponto CA1, a jusante de Cachoeira Paulista, e o maior valor no ponto GU6, jusante de Guaratinguetá (Figura 14).

Esses níveis indicam um acúmulo irregular de compostos orgânicos nitrogenados, ao longo do trecho estudado neste trabalho.

O teor de nitrogênio orgânico total está ligado a compostos orgânicos de origem animal ou vegetal. Os valores obtidos neste trabalho, principalmente no ponto 6, o mais elevado (1,08 %), corroboram com os teores de matéria orgânica, que também apresentou o maior teor no GU6.

Figura 14 - Valores referentes à concentração de nitrogênio orgânico total (%), do sedimento nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

O ponto CA1 apresentou o menor teor, 0,24 %, onde também se observa os menores teores de matéria orgânica. Durante o período chuvoso, os teores de nitrogênio orgânico total apresentaram valores menores em todos os pontos estudados, incluindo o ponto AP8, que durante este mesmo período, apresentou o maior teor de matéria orgânica e do fósforo total (mg/g), quando comparados ao período de seca.

O nitrogênio orgânico compreende a parcela orgânica (moléculas orgânicas) com grande quantidade de nitrogênio em sua estrutura, neste caso pode se citar as proteínas, aminoácidos. Tais moléculas ao serem decompostas liberam uma grande quantidade de nitrogênio biodisponível aos vegetais, bactérias ou fungos, presentes no ambiente, em um processo chamado mineralização. Entretanto, como aponta Scivittaro e Machado (2004), sob condições anaeróbicas, microrganismos decompositores acabam adotando rotas

metabólicas que não necessitem de OD, passando a retirar este elemento de moléculas oxidadas. Tais fatos acarretam em alterações físicas, químicas e biológicas que acabam aumentando a disponibilidade de fósforo, mas uma perda de nitrogênio para a atmosfera. A perda deste nutriente acaba sendo agravada à medida que a relação carbono/nitrogênio, presentes na matéria orgânica, tende a ser menor para o nitrogênio. Uma vez em baixas concentrações, os microrganismos decompositores acabam competindo com as plantas por este elemento, pois ao consumirem o carbono, constituinte na matéria orgânica, necessitam de nitrogênio como material constituinte de biomoléculas estruturais, essenciais para sua reprodução.

No aspecto nutricional, a metodologia empregada só pode quantificar o nitrogênio orgânico ($-C-NH_2$) e o nitrogênio amoniacal (NH_4^+). Formas já oxidadas deste nutriente, no caso, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), não podem ser quantificadas. O nitrato também pode ser absorvido pelas plantas. Logo os valores aqui apresentados se referem ao potencial do sedimento de oferecer aos organismos nitrogênio amoniacal, não representando, portando, a fertilidade nítrica (nitrato) como um todo.

5.2.3. Fósforo total no sedimento

Durante o período de seca, paralelamente aos teores de nitrogênio orgânico total, no sedimento, os valores obtidos para o fósforo total neste compartimento (Figura 15), também foram altos, atingindo valores de 0,98 mg/L no ponto 8 e 2,74 mg/L no ponto GU6.

No caso deste parâmetro, a menor concentração foi observada no ponto 8 (0,98 mg/L) seguido pelo Ponto 1 (1,32 mg/L). O GU6 também apresentou a maior concentração (2,74 mg/L). Consequentemente, isso caracteriza o GU6 como ponto onde o sedimento é mais rico em compostos orgânicos, evidenciando impactos por fontes de nitrogênio, principalmente por esgoto doméstico, visto que essa área fica próxima ao centro urbano do município de Guaratinguetá.

Já o CA1, dentre os demais pontos, se apresentou como o sedimento mais pobre em nutrientes (nitrogênio e fósforo), assim como em matéria orgânica.

Figura 15 - Valores referentes à concentração de fósforo total (mg/g), do sedimento nos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso).

Durante o período chuvoso, os valores para as concentrações de fósforo total, apresentaram quedas significativas, principalmente considerando o ponto GU6, que no período de seca havia apresentado os maiores teores (%) de matéria orgânica e de nitrogênio orgânico total, assim como de fósforo total.

O Ponto AP8 apresentou valores maiores que os observados no período de seca. O aumento deste parâmetro pode ser explicado pelo maior concentração de matéria orgânica neste ponto, durante este mesmo período (chuvoso). Tal fato sugere que durante o período chuvoso, este ponto, acumulou mais matéria orgânica, enquanto os demais pontos apresentaram perdas de matéria orgânica no sedimento, devido o maior volume d'água.

Os valores aqui apresentados, referentes ao fósforo total, e não representam a parcela biodisponível deste nutriente no sedimento.

5.3. Riqueza de espécies

Nos oito pontos amostrados, considerando as amostragens realizadas no período de seca e no período chuvoso, foram observadas 18 famílias, 23 gêneros e 26 espécies. Na Tabela 6 foram relatadas as famílias, os gêneros e as espécies. As famílias mais significativas, em número de representantes, foram: Poaceae e Polygonaceae, juntas apresentaram cerca de 23% de toda biodiversidade encontrada.

No geral, as áreas amostradas apresentaram espécies repetitivas prevalecendo *Brachiaria sp.*, *Echinochloa polystachya*, *Urochloa subquadrifida* e *Polygonum*

lapathifolium, como plantas marginais emergentes; *Lemna* sp., *Limnobium laevigatum*, *Salvinia auriculata*, *Pistia stratiotes* e *Eichornia crassipes*, como plantas flutuantes e *Ceratophyllum demersum*, como submersa livre.

Tabela 6 - Macrófitas observadas nos oito pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso). Submersa fixa (SF); submersa livre (SL); flutuante fixa (FF); flutuante livre (FL); emergente (E).

Família/espécie	Hábito	Pontos	
		Seca: Ago/12	Chuva: Fev/13
Alismataceae			
<i>Sagittaria montevidensis</i> Cham. & Schltdl.	E	1, 5	5, 6
Araceae			
<i>Lemna</i> sp.	FL	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.
<i>Pistia stratiotes</i> L.	FL	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.
Acanthaceae			
<i>Hygrophyla costata</i> Nees	E	2	2
Amaranthaceae			
<i>Alternanthera philoxeroides</i>	E	1, 5, 6, 8.	1, 5, 6, 8.
Asteraceae			
<i>Enydra anagallis</i> Gardner	E	1, 2, 4.	1
Azollaceae			
<i>Azolla filiculoides</i> Willd.	FL	1, 3	-
Cabombaceae			
<i>Cabomba furcata</i> Schult. & Schult.f.	SF	1	-
Ceratophyllaceae			
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	SL	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.	1, 2, 3, 4, 7, 8.
Commelinaceae			
<i>Commelina obliqua</i> Vahl	E	1	1
Cyperaceae			
<i>Cyperus giganteus</i> Vahl.	E	2	2
<i>Eleocharis</i> sp.	E	1	1, 8
Continua			

Conclusão - Tabela 6 - Macrófitas observadas nos oito pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, no mês de Agosto (período de seca) e no mês de Fevereiro (período chuvoso). Submersa fixa (SF); submersa livre (SL); flutuante fixa (FF); flutuante livre (FL); emergente (E).			
Família/espécie	Hábito	Pontos	
		Seca	Chuva
Haloragaceae			
Myriophyllum aquaticum (Vell.) Verdc.	E	1, 2, 4	1
Hydrocharitaceae			
Limnobium laevigatum (Humb. & Bonpl. Ex Willd.)	FL	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Lentibulariaceae			
Utricularia foliosa L.	SL	2.	2
Onagraceae			
Ludwigia sp. 1	E	1, 2, 3, 4	1, 2, 4, 5, 8
Ludwigia sp. 2	E	-	5
Poaceae			
Brachiaria sp.	E	1, 2, 3, 4, 5, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Echinochloa polystachya. (Kunth) Hitchc	E	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Urochloa subquadrifara (Trin.) Hitchc.	E	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Poligonaceae			
Polygonum hidropiperoides Michaux e P.	E	1,2	2
Polygonum lapathifolium L.	E	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Polygonum punctata.L.	E	1,2	1,2
Pontederiaceae			
Eichornia crassipes (Mart.) Solms	FL	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8.
Heteranthera reniformis Ruiz & Pav.	FF	1, 2	1, 2, 5
Salviniaceae			
Salvinia auriculata Aubl.	FL	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Em ambas as campanhas de coleta, não foram observados bancos constituídos de apenas uma espécie, todos os bancos amostrados eram compostos por duas ou mais espécies, onde as espécies emergentes acabavam servindo de suporte para os demais tipos ecológicos.

Os pontos com mais espécies foi o Ponto 1 (Figura 16), com 21 espécies no período de seca e 17 no período chuvoso. Já nos pontos 6 e 7, foram encontradas apenas 8 espécies no período de seca e 9 no período chuvoso.

Considerando a caracterização física e química, o Ponto 1 apresentou umas das menores concentrações de nutrientes no sedimento e na água. Em contrapartida, o ponto GU6 apresentou as maiores concentrações de nutrientes, tanto na água quanto no sedimento. Segundo Thomaz (2002), o aumento de nutrientes pode incentivar o crescimento de algumas espécies, que acabam se sobressaindo sobre as demais.

Figura 16 - Riqueza de espécies encontrada nos pontos amostrados, no rio Paraíba do Sul, durante o período de seca e o período chuvoso.

Nos pontos 3, 4, 7 e 8, os bancos foram compostos basicamente por *Echinochloa polystachya* formando populações densas em ambas as margens do rio. Segundo o relatório técnico da AGEVAP (2012), essa é a espécie mais citada em relatórios técnicos na sub-bacia do Vale do Paraíba.

Essa espécie popularmente conhecida como “capituva”, apesar de estar enraizada nas margens, apresentou ramificações projetadas em direção ao leito do rio (Figura 4, Apêndice A). Essa característica é descrita por Pompêo et al (1997), na desembocadura do rio Paranapanema, na represa de Jurumirim – SP. Segundo os autores, esse comportamento pode refletir nas características físico-químicas do ambiente, pois alteram as condições da água que fica retida entre os colmos da planta, incluindo a temperatura e a quantidade de nutrientes.

Nos pontos amostrados, os bancos compostos por esta espécie formam uma barreira contra a correnteza do rio criando recantos com água estagnada, onde foi observado o crescimento de espécies flutuantes e submersas, em comunidade.

A espécie *Polygonum lapathifolium* L., conhecida como erva-de-bicho, foi encontrada em todos os pontos, formando colonizações mais densas nos pontos 1, 3, 5, 6 e 7. Nos demais pontos, essa espécie forma bancos mistos com *Echinochloa polystachya*. Assim como esta última, a erva-de-bicho também foi encontrada enraizada nas margens e se projetando para o leito do rio. Segundo o relatório técnico levantado pela CEIVAP (2012), essa espécie é bastante encontrada em reservatórios. Martins *et al.* (2008) relatam *Polygonum lapathifolium* L. como uma das espécies mais frequentes em 27,8 % de todos os reservatórios avaliados no Estado de São Paulo. Outras espécies também apontadas por este autor foram: *Brachiaria mutica*, *Cyperus sp.*, *Eichhornia crassipes*, *Panicum repens*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia auriculata*. Dentre as quais, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia auriculata*, também foram algumas das espécies flutuantes mais encontradas nas amostragens estudadas no rio Paraíba do Sul.

Ainda neste trabalho, foi identificada mais uma espécie flutuante conhecida como lentilha d'água (*Lemna sp.*), vivendo entre as outras macrófitas flutuantes. Apesar de essa espécie preferir águas estagnadas como aponta Lorenzi (2000), ela não foi relatada no trabalho de Martins *et al.* (2008), em reservatórios. Com base no levantamento secundário realizado pela AGEVAP (2012), sobre a ocorrência de macrófitas na bacia do rio Paraíba do Sul, essa espécie também não havia sido relatada.

Outra espécie encontrada neste estudo, ainda não relatada na bacia do rio Paraíba do Sul, com exceção do reservatório de Jupiá (MARCONDES *et al.*, 2003), foi *Ceratophyllum demersum*. Essa espécie não apresenta raízes, florescendo e frutificando totalmente submersa (LORENZI, 2000). Nos pontos amostrados, ela cresce entre as ramificações das espécies emergentes, no caso *Echinochloa polystachya*. e *Polygonum lapathifolium* L., próxima a superfície, onde a transparência foi maior.

As espécies *Cabomba furcata* (submersa fixa) e *Azolla filiculoides* (flutuante livre), também não relatadas no rio Paraíba do Sul, foram encontradas isoladamente no Ponto 1. *Cabomba furcata* é uma espécie comumente encontrada em águas calmas com alta luminosidade e elevadas concentrações de CO₂. *Azolla filiculoides* também cresce em águas paradas com baixa profundidade e necessita de elevadas concentrações de nutrientes na coluna d'água (SUZUKI, 2011).

No ponto CA1, a concentração de sólidos voláteis, evidenciando matéria orgânica em suspensão, aliada à alta concentração de oxigênio, aumentaria a demanda de CO₂ na água, decorrente da decomposição de matéria orgânica.

Tais fatores, aliados à transparência, estariam facilitando a fixação da *Cabomba furcata* no ponto CA1.

Descritas por Suzuki (2011), espécies do gênero *Hygrophyla* são amplamente difundidas na aquariofilia devido seu valor ornamental, tanto em escala nacional quanto global. A espécie *Hygrophyla costata* Ness, por sua vez, é uma espécie originária das Américas, encontrada vegetando por ambientes aquáticos e palustres desde o sul do México até a Argentina. Segundo o portal Queensland Government, Australia, sua introdução para fins ornamentais no território Australiano, levou a invasão da espécie sobre diversas áreas úmidas e alagadas, acarretando na perda de biodiversidade local por competição (CSURHES, 2008). Essa espécie é capaz de intercalar entre o estágio de vida emergente para submerso fixo, dependendo das variações na coluna d'água. Tal fato facilita sua fixação e locais sujeitos a inundações, aumentando a capacidade oportunista dessa espécie

5.4. Análise de componentes principais (ACP)

O eixo 1 (componente 1) foi responsável por 51, 6 %, de toda a variância; seguido por 16, 2 %, do eixo 2 (componente 2). Conforme apresentados na Tabela 7 e analisados por meio da ACP (Figura 17), no eixo 1, os parâmetros turbidez, sólidos voláteis e sólidos totais tiveram maior correlação com os pontos de amostragem no período chuvoso (“c”); em oposição o nitrogênio orgânico total, fósforo total e matéria orgânica, no sedimento, apresentaram maior correlação com os pontos no período de seca (“s”). Essas variáveis apresentaram os maiores autovalores (Tabela 8), com maior correlação com o ponto GU6s, seguido pelos pontos GU5s e AP7s. Ainda no eixo 1, mas em oposição, pode se observar a turbidez.

Juntamente com a DBO (água), a turbidez apresentou maior correlação com os pontos AP7c, GU6c, LO4c, LO3c, CA2c e CA1c. No eixo 2, os níveis de oxigênio dissolvido apresentaram forte proximidade com o número de espécies por ponto. Juntas, estas variáveis apresentaram maior correlação com os pontos CA1s e CA2s. Em contrapartida, são opostas aos valores de fósforo total, turbidez, sólidos totais e voláteis na coluna d’água.

De maneira geral, no período de seca, os pontos (CA1 e CA2) que apresentaram os menores níveis de nutrientes (fósforo) e de matéria orgânica, nas amostras de água e de sedimento, foram aqueles com maiores níveis de oxigênio dissolvido na água e a maior diversidade de macrófitas aquáticas. Tais fatos sugerem que em regiões com altas concentrações de nutrientes, ocorre o predomínio de algumas espécies que acabam se sobressaindo sobre as demais.

Tais dados corroboram com o aumento de compostos na coluna d’água, devido à ação das chuvas sobre as margens do rio. Correlações positivas entre partículas em suspensão e o período chuvoso, e também foram observadas no rio São Francisco Verdadeiro/ PR (OLIVEIRA et al., 2008), onde, segundo os autores, a precipitação pluviométrica aliada a falta de vegetação ciliar seriam as principais causas do deslocamento superficial de sólidos para a calha do rio. Neste sentido, entretanto, rios que drenam áreas florestais com margens protegidas, os índices pluviométricos nem sempre influenciam os níveis de turbidez e sólidos na coluna d’água (SILVA et al., 2008).

Tabela 7 - Resultados analisados pela ACP, referentes as análises físico-químicas das amostras de água e do sedimento e quantificação de espécies coletados em bancos de macrófitas no período de seca (CA1s , CA2s, LO3s ,LO4s, GU5s, GU6s, AP7s e AP8s) e no período de chuvas (CA1c , CA2c, LO3c ,LO4c, GU5c, GU6c, AP7c e AP8c). FT: fósforo total, NOT: nitrogênio orgânico total, MO: matéria orgânica, ST: sólidos totais, SV: sólidos voláteis, DBO: demanda bioquímica de oxigênio, OD: oxigênio dissolvido.

Ponto s	Espécies/pont o	Sedimento				Água de superfície				
		FT (mg/g)	NO T (%)	MO (%)	Turbide z (UNT)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	FT (mg/L)	DBO (mg/L)	OD (mg/L)
CA1s	21	1,32	0,24	9,01	8	0,10	0,04	0,016	0,68	6,4
CA1c	17	0,51	0,03	2,93	9,17	0,15	0,13	0,007	2,35	4,8
CA2s	18	1,58	0,44	10,2 4	8	0,10	0,02	0,010	1,05	5,6
CA2c	16	0,86	0,08	7,62	8,93	0,12	0,11	0,0	3,05	4,95
LO3s	11	1,73	0,68	10,5 4	6	0,08	0,06	0,023	0,45	5,4
LO3c	9	0,70	0,05	5,13	9,67	0,12	0,07	0,0	3,45	5,1
LO4s	12	1,43	0,39	9,04	6,15	0,08	0,06	0,035	0,55	5,15
LO4c	10	0,77	0,07	8,50	9,10	0,08	0,06	0,0	2,9	4,8
GU5s	11	1,51	0,40	11,6 9	7,4	0,10	0,06	0,010	0,55	5,4
GU5c	13	0,67	0,04	4,17	9,80	0,32	0,20	0,0	4,5	4,6
GU6s	8	2,74	1,08	13,2 0	7,6	0,11	0,07	0,033	1	5
GU6c	9	0,43	0,02	5,56	9,13	0,14	0,08	0,105	4,5	4,5
AP7s	8	1,80	0,29	8,94	7	0,11	0,06	0,023	0,6	5,3
AP7c	9	1,02	0,08	5,31	8,70	0,13	0,08	0,0	1,45	4,5
AP8s	10	0,98	0,57	7,52	8,25	0,08	0,06	0,065	0,8	5,15
AP8c	12	1,56	0,14	9,79	8,80	0,16	0,05	0,0	1,35	4,45

Tabela 8 - Autovalores das variáveis analisadas nos pontos amostrados, no rio Paraíba do Sul, durante o período de seca e o período chuvoso. Em evidencia, os autovalores das variáveis determinantes para o eixo 1 (componente 1).

	Eixo 1	Eixo 2
Nº espécies por ponto	0,05759	0,9015
Turbidez	0,8523	0,06701
SV	0,7693	-0,06973
ST	0,73	-0,01533
Fósforo total (sedimento)	-0,8381	-0,1569
Nitrogênio orgânico total % (sedimento)	-0,8061	-0,2858
Matéria orgânica % (sedimento)	-0,8813	-0,08123
Fósforo total (água)	-0,08121	-0,5168
DBO (água)	0,8892	-0,1558
Oxigênio (água)	-0,6147	0,6201
% de explicação	51,573	16,233

Figura 17 - Análise de Componentes Principais (ACP) mostrando a correlação entre os pontos (P) com as variáveis físico-químicas do sedimento e da água, e com o número de espécies no período de seca (CA1s , CA2s, LO3s ,LO4s, GU5s, GU6s, AP7s e AP8s) e no período de cheia (CA1c , CA2c, LO3c ,LO4c, GU5c, GU6c, AP7c e AP8c); ST: sólidos totais, SV: sólidos voláteis, DBO: demanda bioquímica de oxigênio, OD: oxigênio dissolvido.

5.5. Análise de similaridade

O dendograma (Figura 18) mostra a evolução da diversidade biológica ao longo da distribuição dos pontos. Mais externamente estão os pontos com maior diversidade, mais internamente os pontos com diversidade mais uniforme. A partir de um corte em 0,54 na escala de similaridade, observam-se dois grandes grupos. O primeiro é constituído pelos pontos, CA1s (seca) e CA1c (chuva) correspondente à jusante de Cachoeira Paulista. Este ponto, nas duas campanhas de amostragem, apresentou a maior diversidade de espécies. Durante o período de seca, no entanto, este ponto apresentou espécies como *Cabomba furcata* (submersa fixa), *Azolla filiculoides* (flutuante livre) e *Sagittaria montevidensis* (emersa) não encontradas no período chuvoso. O segundo ponto CA2, CA2c (chuva) e CA2s (seca), correspondente a montante de Cachoeira Paulista, também apresentou grande diversidade vegetal mais acentuada no período de seca. Em ambas as amostragens foram encontradas três espécies: *Hygrophila costata* (emergente), *Cyperus giganteus* (emergente) e *Utricularia foliosa* (submersa livre), não observadas em nenhum outro ponto.

O segundo grande grupo inicia-se com o ponto GU6 durante a seca (GU6s). Este ponto apresentou a menor diversidade de espécies, quando comparado aos demais pontos. Neste caso, das sete espécies amostradas, cinco delas foram espécies em comum com todos os outros pontos. Essas espécies são: *Salvinia auriculata* (flutuante livre), *Polygonum lapathifolium* (emergente), *Pistia stratiotes* (flutuante livre), *Lemna* sp (flutuante livre), *Limnobium laevigatum* (flutuante livre) e *Echinochloa polystachya* (emergente). No geral, subgrupos seguintes apresentam pontos que embora tenham apresentado baixa diversidade, quando comparados aos pontos do primeiro grande grupo apresentaram em ambas campanhas de coleta, mais espécies que o ponto GU6s.

Ainda no segundo grande grupo, os pontos AP7s, AP7c e LO3c, LO4c e LO3s correspondem a áreas onde se observou praticamente as mesmas espécies, especialmente entre AP7c e LO3c, que apresentaram o maior grau de similaridade entre si (Figura 18).

De modo geral, as espécies *Salvinia auriculata*, *Polygonum lapathifolium*, *Pistia stratiotes*, *Lemna* sp, *Limnobium laevigatum* e *Echinochloa polystachya* foram determinantes na disposição basal de todos os grupos (Figura 19).

Figura 18 - Dendrograma de similaridade florística entre os pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, utilizando como índice a similaridade, agrupando os pontos amostrais pelo método de média de grupo (UPGMA). O coeficiente cofenético obtido foi de 0,8653.

Figura 19 - Dendrograma bidirecional de similaridade florística entre os pontos amostrados no rio Paraíba do Sul, durante o período chuvoso (“c”) e de seca (“s”), utilizando como índice a similaridade, agrupando os pontos amostrais pelo método de média de grupo (UPGMA). O coeficiente cofenético obtido foi de 0,8653. Em evidência (linha sólida): espécies mais frequentes formando uma coluna de agrupamento; tracejado: pontos com a maior similaridade.

Considerando que as espécies *Polygonum lapathifolium* e *Echinochloa polystachya*, ambas emergentes, foram observadas em todos os pontos, nas duas campanhas de amostragem, pode-se dizer que uma vez que servem de substrato para a fixação de espécies flutuantes, acabam influenciando na distribuição espacial do rio como um todo; e por estarem nas margens, acabam colaborando com a sedimentação de partículas em suspensão. Consequentemente, favorecendo uma agregação de materiais em direção às margens. Tal processo resulta na diminuição da calha original do rio.

No rio Paraíba do Sul, segundo a AGEVAP (2012), *Echinochloa polystachya* acaba formando ilhas flutuantes nas colunas e cabeceiras de pontes, desviando a água para as margens, onde acaba gerando erosão. Neste trabalho, em pontos próximos a pontes (CA2, LO3, GU5 e GU6) observou-se extensos bancos destas macrófitas enroscados nas colunas destas estruturas.

Considerando o perfil lateral do rio Paraíba do Sul, passível de variações sazonais, devido o aumento do nível das águas durante o período chuvoso, é imprescindível estudar as macrófitas aquáticas que vegetam pequenos corpos d'água paralelos à calha maior do rio. Segundo Thomaz et al., (2007) áreas de várzea, sujeitas a inundações sazonais constituem um conjunto de micro habitats que propiciam o estabelecimento de espécies distintas, sujeitas a homogeneização com as comunidades ribeirinhas durante o período chuvoso.

6. CONCLUSÃO

Em Cachoeira Paulista, o rio apresenta condições geológicas para sua oxigenação, depois de um trecho sinuoso que começa em Guararema. Os níveis de oxigênio dissolvido mais elevados no ponto CA1 e CA2 corroboram com essa informação, podendo indicar que esta seja uma área propícia à recuperação natural deste rio. Entretanto com a elevação na concentração de oxigênio, a matéria orgânica na água sofre oxidação e aumenta a disponibilidade de nutrientes nesta. Este fato aumentaria as chances de colonizações, em pontos posteriores ao município de Cachoeira Paulista.

O fósforo total é um nutriente fundamental para o crescimento de macrófitas aquáticas. Considerando os resultados obtidos neste trabalho, a quantidade desse nutriente no Ponto 8, na coluna d'água, indica que a região entre Aparecida e Cachoeira Paulista está sofrendo interferência dos trechos anteriores, que correspondem ao Alto Vale do Paraíba, principalmente no período de seca.

A diversidade de macrófitas aquáticas, assim como o nível de oxigênio dissolvido na água é inversamente proporcional ao aumento dos níveis de nutrientes e de matéria orgânica, tanto na água quanto no sedimento.

Espécies enraizadas nas margens, principalmente *Polygonum lapathifolium* e *Echinochloa polystachya*, servem de suporte primário para o crescimento de espécies flutuantes e submersas, não enraizadas.

Considerando a diversidade biológica, diante dos resultados obtidos neste trabalho, as espécies mais comuns e predominantes, não parecem ser influenciadas pelas variáveis químicas e físicas, tanto da água quanto do sedimento, visto que foram encontradas em todos os pontos, em ambas campanhas de coleta. Para uma avaliação mais detalhada seria preciso análises mais detalhadas relacionando produtividade primária com a biomassa.

REFERÊNCIAS

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul– **Estudos para identificação, localização e quantificação das causas da proliferação de plantas aquáticas, principalmente macrófitas, ao longo da calha do Rio Paraíba do Sul, inclusive braços mortos, reservatórios e afluentes** Primeiro Termo Aditivo - Contrato AGEVAP-COPPETEC PSR-018-R0, 2012.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amaz**, v. 42, n.1, p. 115-124, 2012.

AMARAL, M. C.; BITTRICH, A.; FARIA, A. D.; ANDERSON, L. O.; AONA, L. Y. S. **Guia de campo para plantas aquáticas e palustres do Estado de São Paulo**. São Paulo: Holos Editora, 2008.

ALMEIDA, M. G.; REZENDE, C. E.; SOUZA, C.M.M. Variação temporal, transporte e partição de Hg e carbono orgânico nas frações particulada e dissolvida da coluna d'água da bacia inferior do rio Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 1, p. 111-129, 2007.

ANDERSEN, J.M. An ignition method for determination total phosphorus in lake sediments. **Wat. Res.**, v. 10, p. 329-331, 1976.

ANDRADE, A. E.; BARBOSA, M. E. A.; DEMETRIO, D. R. Density-dependent morphological plasticity and trade-offs among vegetative traits in *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae). **Acta. Amaz, Manaus**, v. 43, n. 4, p. 455-459, 2013.

ANDRADE, M. A; MARANHÃO, L.T; PREUSSLER, K. H; CUBAS, S. Organização estrutural da raiz e folha de *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schltdl, Alismataceae. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 117-119, jul. 2007. Suplement 3.

ANDRADE, M. H.; SOUZA, C. F.; VARALLO, A. C. T.; PERES, J. G. Impactos da produção do arroz inundado na qualidade da água do rio Paraíba do Sul – Trecho Taubaté, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, v.5, n. 1, p. 114-133, 2010.

APHA-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standart methods for the examination for water and wastewater**. 21 ed. Washington D.C., 2005.

ARCOVERDE, G. F. B.; ALMEIDA, C. M.; XIMENES, A. C.; MAEDA, E. E.; ARAÚJO, L. Identificação de áreas prioritárias para recuperação florestal com o uso de rede neural de mapas auto-organizáveis. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, n. 3, p. 379-400, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10664: Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

- BARROSO, G. M. E. A. **Sistemática de angiospermas do Brasil**. Viçosa: UFV, 1991.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia**: de indivíduos a ecossistemas. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- BICUDO, C. E. M.; BICUDO, D. C. **Amostragem em limnologia**. São Carlos: Editora Rima, 2006.
- BINI, L. M. Análises multivariadas e limnologia: Exploração, síntese e inferência de um mundo aquático complexo. In: BICUDO, C. E. M.; BICUDO, D.C. (Ed.) **Amostragem em limnologia**. São Carlos: Rima Editora, 2004. p. 73-108.
- BREMER, B.; BREMER, K.; CHASE, M. W.; FAY, M. F.; REVEAL, J. L.; SOLTIS, D. E., STEVENS, P. E. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, n. 2, p. 105-121, Oct 2009.
- CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY-SILVA, G. G.; ASSUMPCÃO, A. M. Primary production of *Utricularia foliosa* L., *Egeria densa* Planchon and *Cabomba furcata* Schult & Schult.f from rivers of the coastal plain of the State of São Paulo, Brazil. **Hidrobiologia**, n. 1, p. 35-39, 2006.
- CARBIENER, R. M.; TRÉMOLIÈRES, M.; MERCIER, J. L.; ORTSCHKEIT, A. Aquatic macrophyte communities as bioindicators of eutrophication in calcareous oligosaprobe stream waters (Upper Rhine plain, Alsace). **Plant Ecology**, v. 86, n. 1, p. 71-88, 1990
- CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F.H.M.; TORNISIELO, V.L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, v.23, n.5, p. 618-622, 2000.
- CASSOL, B; AGOSTINETTO, D.; MARIATH, J. E. A. Análise morfológica de *Sagittaria montevidensis* desenvolvida em diferentes condições de inundação. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 487-496, 2008
- CAVENAGHI, A. L.; VELINI, E. D.; GALO, M. L. B. T.; CARVALHO, F. T.; NEGRISOLI, E.; TRINDADE, M. L. B.; SIMIONATO, J. L. A. Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê. **Planta daninha**, v. 21, p. 43-52, 2003. (Edição especial).
- CEIVAP. Macrófitas no rio: Projeto de remoção de plantas aquáticas em São Paulo já atingiu 70%. **Rev. Pelas Águas do Paraíba**, ano. 2, Ed. 2, Dez. 2008.
- CHANG, N. B.; ISLAM, M. K.; WANIELISTA, M. P. Floating wetland mesocosm assessment of nutrient removal to reduce ecotoxicity in storm water ponds. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, n.3, p. 453-462, 2012.

CHELLA, M. R.; FERNANDES, C. V. S.; FERMIANO, G. A.; FILL, H. D. Avaliação do transporte de sedimentos no Rio Barigüi. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n.3, p. 105-111, jul/set 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Coliformes fecais**: Determinação em amostras de água pela Técnica de Tubos Múltiplos com Meio A1 (Norma Técnica L5.406), São Paulo: CETESB. 1992.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**: 2011. São Paulo: CETESB. 2012 (Série Relatórios).

CONAMA RESOLUÇÃO 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 de março, seção 1, p. 58-63, 2005.

CONCENÇO, G.; NOLDIN, J. A.; LOPES, N. F.; COMIOTTO, A. Aspectos da resistência de *Sagittaria montevidensis* ao herbicida pirazosulfuron-ethyl inibidor da ALS. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 187-194, 2007.

COOK, C. D. K. **Aquatic plant book**. The Hague: SPB Academic Publishing, 1996.

Csurhes, S & Edwards, R (1998), Potential environmental weeds of Australia: candidate species for preventative control, National Weeds Program, Environment Australia, Canberra

CSURHES, S. **Pest plant risk assessment**: Glush weed, *Hygrophila costata*. Department of Primary Industries and Fisheries, Brisbane. 2008. Disponível em: <http://www.daff.qld.gov.au/_data/assets/pdf_file/0016/62323/IPA-Glush-Weed-Risk-Assessment.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2013.

DINIZ, H. N.; GALINA, M. H.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S. Hidrogeologia da Várzea do Rio Paraíba do Sul: estudo de caso de uma área de mineração no município de Tremembé, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, (Taubaté), v. 5, n. 3, p. 76-107, 2010.

DIXIT, S.; DHOTE, S. Evaluation of uptake rate of heavy metals by *Eichhornia crassipes* and *Hydrilla verticillata*. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 169, n.1-4, p 367-374, 2010.

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

FIDALGO, O. ; BONONI, V. R. L. **Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico**. São Paulo: Instituto de Botânica, 1989.

GURNELL, A. M.; BERTOLDI, W.; CORENBLOT, D. Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. **Earth-Science Reviews**, v. 111, n. 1-2, p. 129-141, 2012.

HAIR JR., J.F., ANDERSON, R.E, TATHAM, R.L., BLACK, W.C. **Multivariate data analysis with readings**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

HAYNES, R. R. Techniques for collecting aquatic and marsh plants. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 71, p. 229-231, 1984.

HENRY-SILVA, G.G., CAMARGO, A.F.M. Impacto do lançamento de efluentes urbanos sobre alguns ecossistemas aquáticos do município de Rio Claro (SP). **Revista Ciências Biológicas e do Ambiente**. v. 2, n. 3, p. 317-330, 2000.

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

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Mapa da qualidade das de Minas Gerais. Bacia do rio Paraíba do Sul**. 2010. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/733?task=view>> . Acesso em setembro de 2012.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Mapa da qualidade das de Minas Gerais. Bacia do rio Paraíba do Sul**. 2012. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/qualidade/2013/relatorio-trimestral-am-2o-trim-2012.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Mapa da Qualidade das de Minas Gerais. Bacia do rio Paraíba do Sul**. 2013. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/pasta_gisele/relatorio-aguas-superficiais-do-1o-trimestre-de-2013-minas-gerais.pdf>. Acesso em setembro de 2013.

IRGANG, B. E.; GASTAL Jr., C. V. S. **Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS**. Porto Alegre: UFRGS, 1996.

IRGANG, B. E.; PEDRALLI, G.; WAECHTER, J.L. Macrófitos aquáticos da estação do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil. **Roessléria**, v. 6, n. 1, p 395-404, 1984.

JANZEN, D, H; **Temas de biologia: ecologia nos trópicos**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980. v.7.

KEEBERG, A.; KÖHLER, J.; SUKHODOLOVA, T.; SUKHODOLOV, A. Effects of aquatic macrophytes on organic matter deposition, resuspension and phosphorus entrainment in a lowland river. **Freshwater Biology**, v. 55, p. 326-345, 2010.

LIMA, L. S.; IZÁRIO FILHO, H. J. ; CHAVES, F. Determinação de demanda bioquímica de oxigênio para teores < 5 mg/L O₂. **Revista Analytica**, v. 25, p. 52-57, 2006.

LIU, F.; ZHANG, XIAO-LIN; WANG, QING-FENG; LIU, H.; WANG, GUANG-XI; LI, W. Resource allocation among sexual, clonal reproduction and vegetative growth of two *Potamogeton* species and their hybrid: Adaptability of the hybrid in relation to its parents. **Journal of Systematics and Evolution**. v. 51, p. 461-467, 2013.

LOLIS, S. F.; THOMAS, S. M. Monitoramento da composição específica da comunidade de macrófitas Aquáticas no reservatório Luis Eduardo Magalhães. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.29, n. 2, p. 247-258, 2011.

LONGHI-WAGNER, H. M.; BITTRICH, V.; WANDERLEY, M. G.; SHEPHERD, G. J. Poaceae. In: WANDERLEY, M. G.; SHEPHERD, G. J.; GIULIETTI, A. M. (Ed.). **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: FAPESP/HUCITEC, v.1, 2001. v. 1.

LORENZEN, C. J. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. **Limnol. Oceanogr.**, v.12, p.343-346. 1967.

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

MACHADO, S. L. O.; MARCHEZAN, E.; RIGUES, R. C.; CALLESSO, S. C.; VILLA, S. C. C.; CAMARGO, E. R. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, 2006.

MARCONDES, D. A. S.; VELINI, E. D.; MARTINS, D.; TANAKA, R. H.; CARVALHO, F. T.; CAVENAGHI, A. L.; BRONHARA, A. A. Eficiência de fluridone no controle de plantas aquáticas submersas no reservatório de Jupia. **Planta Daninha**, v.21, p. 69-77, 2003.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrográficas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.

MARTIN, I.; THÉOPHILE, F.; ETIENNE, P. T.; AKOA, A. Removal of faecal bacteria and nutrients from domestic wastewater in a horizontal surface flow wetland vegetated with *Echinochloa pyramidalis*. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 6, n. 9, p. 337-345, 2012.

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; MARCHI, S. R. Caracterização da comunidade de plantas aquáticas de dezoito reservatórios pertencentes a cinco bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. **Planta daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, mar. 2008 .

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.

MATOS, D. M. S.; PIVELLO, V. R. Espécies invasoras: o impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres- alguns casos brasileiros. **Ciência e cultura**, v. 61, n. 1, p. 27-30, 2009.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estud. Av.**, São Paulo, v. 24, n. 68, 2010.

MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPEO, M. L. M.; SOARES, J. J. Fenologia de *Scirpus cubensis* POOEP. & Kunth na lagoa do Infernã (Estação Ecológica do Jataí, Luiz Antônio, SP). **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 7, p. 1-9, 1995.

MOLISANI, M. M.; ROCHA, R.; MACHADO, W.; BARRETO, R. C.; LACERDA, L. D. Mercury contents in aquatic macrophytes from two reservoirs in the Paraíba do Sul:

Guandúriver system, SE Brazil, **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 1, p. 101-107, 2006.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 1988.

OLIVEIRA, F. A. Análise preliminar de impactos da atividade mineradora no leito do rio Cubatão Norte (Joinville, SC) sob a ótica da geomorfologia. **Revista Saúde e Ambiente/Health and Environment Journal**, v. 3, n. 1, p.23-27, 2002

OLIVEIRA, F. L.; MELLO, E. F. A mineração de areia e os impactos ambientais na bacia do rio São João, RJ. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 2, 2007.

OLIVEIRA, L. C.; GOMES, B. M.; BAUMGARTNER, G.; SEBASTIEN, N. Y. Variação espacial e temporal dos fatores limnológicos em riachos da microbacia do rio São Francisco Verdadeiro. **Eng. Agríc.**, v. 28, n. 4, dec. 2008

OLIVEIRA, L. M.; VOLTOLINI, J. C.; BARBÉRIO, A. Potencial mutagênico dos poluentes na água do rio Paraíba do Sul em Tremembé, SP, Brasil, utilizando o teste *Allium cepa*. **Ambi-Água**, v. 6, n. 1, p. 90-103, 2011.

PAN, J. J.; PRICE, J. J. Fitness and evolution in clonal plants: the impact of clonal growth. **Evolutionary Ecology**, v. 15, p. 583-600, 2001.

PEDRALLI, G. Macrófitas aquáticas. Técnicas e métodos de estudos. **Est. Biol.**, v. 26, p. 5-24, 1990.

PEDRALLI, G.; TEIXEIRA, M. C. B. Macrófitas aquáticas como agentes filtradores de materiais particulados, sedimentos e nutrientes. . In: HENRY, R. (Ed.). **Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos**. São Carlos: Editora RiMa, 2003. p.177-183.

SUNDFELD-PENIDO, J. **Estudos limnológicos e ecotoxicológicos com amostras de água e sedimento do ribeirão Limeira - Piquete/Lorena-SP**. 2010. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.

PENNING, W. E.; MJELDE, M.; DUDLEY, B.; HELLSTEN, S., et al. Classifying aquatic macrophytes as indicators of eutrophication in European lakes. **Aquatic Ecology**, v. 42, n. 2, p. 237-251, 2008.

PEREIRA, M. G.; SILVA, D. A.; ANDRADE NETO, C. O.; BRITO, L. P.; MELO, H. N. S. Uso de alagado construído (Wetland) no condicionamento de efluente de lagoa de estabilização para fins de reuso na agricultura no semi-árido brasileiro. **Revista AIDS**, v. 1, n. 2, 2007.

POMPÊO, M.L.M.; HENRY, R.; MOSCHINI-CARLOS, V. 1999. Ecologia de *Echinochloa polystachya* do Rio Paranapanema – SP, Brasil. In: Henry, R. (ed.). **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FAPESP/FUNDIBIO, 1999, p. 737-767

POMPÊO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifíton: aspectos ecológicos e metodológicos**. São Carlos: Rima Editora, 2003.

POMPÊO, M.L.M.; HENRY, R.; MOSCHINI-CARLOS, V. O papel da macrófitas aquática *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock na caracterização física e química da água na zona de desembocadura do rio Paranapanema na represa de Jurumirim, SP. **Bras. J. Ecol.** v. 1, p. 44-53, 1997.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

RAMPANELLI, A. M.; SAAD, A. R.; ARAUJO-NETO, E.; CASADO, F. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C. Recursos naturais da bacia sedimentar de Taubaté como fator de desenvolvimento socioeconômico: um estudo aplicado aos municípios de Taubaté e Tremembé, estado de São Paulo. **Geociênc**, São Paulo, v.30, n.3, 2011.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. P.; JUNIOR, A. P. M. O uso de taxas de turbidez da bacia do alto rio das velhas – quadrilátero ferrífero/MG – como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. **Revista Geográfica**, Recife, v. 27, n. 3, 2010.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

REIS, B. J.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; CATELANI, C. S. Influências das cavas de extração de areia no balanço hídrico do vale do Paraíba do Sul. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 4, p. 391-396, 2006.

ROCHA, D. C.; MARTINS, D. Adaptações morfoanatômicas de Cyperaceae ao ambiente aquático. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n.1, jan./mar. 2011.

ROSA, D. M. **A evolução da qualidade das do rio Paraíba do Sul**. 2012. 245 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ROSSETTI, R. P. **Evolução da carga orgânica de origem doméstica no rio Paraíba do Sul, no trecho paulista, no período de 1998 a 2007**. 2009, 193 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

RUBINSTEIN, C. V.; GERRIENNE, P.; PUENTE, G. S.; ASTINI, R. A.; STEEMANS, P. Classifying aquatic macrophytes as indicators of eutrophication in European lakes. **New Phytologist**, v. 188, p. 365-369, 2010.

SCREMIN-DIAS, E. ; POTT, V. J. ; HORA, R. C. D. ; SOUZA, P. R. D. ; BOGGIANI, P. C.; FROELICH, O. **Nos jardins submersos da Bodoquena** : guia para identificação de plantas aquáticas de Bonito e região. Campo Grande: Editora UFMS, 1999.

SEBRAE Online, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Circuito Religioso: Caminhos da Fé**. Disponível em: <http://www.sebraesp.com.br/PortalSebraeSP/Vitrine/NegociosTuristicos/CircuitoReligioso/Documents/circuito_religioso_municipios.pdf>. Acesso em: 29 de Novembro de 2011.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amaz.**, v. 38, n. 4, dec. 2008.

SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. **Manual de análises físico-químicas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande: DEC/CCT/UFGP, 2001.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, cap. 9, p. 259-303.

SOUZA, C. F.; BACICURINSKI, I.; FRANÇA e SILVA, Ê. F. Avaliação da qualidade da água do rio Paraíba do Sul no município de Taubaté-SP. *Revista Biociências*, v. 16, n.1, 2010.

SOUZA, V. C.; LORENZI H. **Botânica Sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. Nova Odessa: Plantarum, 2005.

SUZUKI, R. **Guia de plantas aquáticas**. Londrina: Aquamazon, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M.; BOZELLI, R. L. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. **Hydrobiologia**, v. 579, n. 1, p. 1-13, 2007.

THOMAZ, S. M. Efeitos de fatores limnológicos sobre acolonização e estrutura de assembléias de macrófitas aquáticas. In: MARIATH, J. E. A.; SANTOS, R. P. (Org.). **Os avanços da botânica no início do século XXI: morfologia, fisiologia, taxonomia, ecologia e genética**. Porto Alegre: Sociedade Botânica do Brasil, 2006. p. 124-139.

THOMAZ, S. M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. **Planta Daninha**, v. 20, p. 21-33, 2002.

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A.; MURPHY, K.J., Santos, A. M.; Caliman, A.; GUARIENTO, R. D. **Aquatic macrophytes in the tropics**: ecology of populations and communities, impacts of invasions and use by man. *Tropical Biology and Conservation Management*, v. 4, 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

UIEDA, V. S. Experimentos de manipulação de organismos aquáticos em riachos. In: Pompêo, M.L.M. (ed.) **Perspectivas da limnologia no Brasil**. São Luís: Gráfica e Editora União, 1999. p.169-179

VALENTIN, J. L. Agrupamento e ordenação. **Oecologia Brasiliensis**. v. 2, p. 27-55, 1995.

VOGEL, H. F.; ZAWADZKI, C. H.; METRI, R. Florestas ripárias: importância e principais ameaças. **Rev. Saúde e Biol.**, n. 1, p. 24-30, 2009.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de residuárias**. 3. ed. v.1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G. J.; MELHEM, T. S.; GIULLIETTI, A. M.; MARTINS, S. E. **Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2009. v.6.

WARD, J.V. The four dimensional natures of lotic ecosystems. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 8, p. 2-8, 1989.

CLARKE, S.J.; WHARTON, G. Sediment nutrient characteristics and aquatic macrophytes in lowland English rivers. **The Science of the Total Environment**, v. 266, p. 103–112, 2001.

WELCH, P.S. **Ecological effects of wastes water**. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

WETZEL, R. G. **Limnology: Lake an river ecosystems**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2001.

YSEBAERT, T.; YANG, Shi-Luan; ZHANG, L.; HE, Q.; BOUMA, T. J.; HERMAN, P. M. J. Wave Attenuation by Two Contrasting Ecosystem Engineering Salt Marsh Macrophytes in the Intertidal Pioneer Zone. **Wetlands**, v. 31, n. 6, p. 1043-1054, 2011.

APÊNDICE A

APÊNDICE A - Catálogo de ilustrações: macrófitas e informações limnológicas complementares

Figura 20 - Ponto 1, espécies: 1- *Heteranthera reniformis*, 2- *Sagittaria montevidensis*, 3- *Polygonum punctata* (Fonte: Davi Leandro).

Figura 21 - Ponto GU6, espécies: 1- *Sagittaria montevidensis* e 2- *Urochloa subquadripara* (Trin.) Hitchc. (Fonte: Davi Leandro).

Figura 22 - Ponto CA1, espécies: 1- *Lemna sp.*, 2- *Commelina obliqua* Vahl., 3- *Salvinia auriculata* Aubl., 4- *Pistia stratiotes* L. (Fonte: Davi Leandro).

Figura 23 - Ponto CA2, espécie: *Hygrophyla costada* Nees (Fonte: Davi Leandro).

Figura 24 - Ponto CA2, espécie: *Hygrophyla costata* Nees, em evidência a floração (Fonte: Davi Leandro).

Figura 25 - Ponto 6, espécies: 1- *Polygonum lapathifolium* L., 2- *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.

Figura 26 - Ponto AP7, espécies: 1- *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., 2- *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine (Fonte: Davi Leandro).

Figura 27 - ponto CA1, espécies: 1- *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine, 2- *Azolla filiculoides* Willd. (Fonte: Davi Leandro).

Figura 28 - Ponto CA1, banco misto de macrófitas, em evidência *Azolla filiculoides* (Fonte: Davi Leandro).

Figura 29 - Ponto 1, em evidência *Azolla filiculoides*. (Fonte: Davi Leandro)

Figura 30 - Ponto 1, espécies submersas: 1- *Cabomba furcata* e 2- *Ceratophyllum demersum*. (Fonte: Davi Leandro).

Figura 31 - Ponto 1, 1- *Myriophyllum aquaticum*, 2- *Ceratophyllum demersum*.(Fonte: Davi Leandro)

Figura 32 - Ponto 2, *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., apresentando ramos submersos, com folhagem avermelhada (Fonte: Davi Leandro).

Figura 33 - ponto CA2, prolongações subaquáticas (agregado) de *Utricularia foliosa* L. (Fonte: Davi Leandro).

Figura 34 - ponto CA2, inflorescência emersa de *Utricularia foliosa* L. (Fonte: Davi Leandro).

Figura 35 - Ponto AP7, formações arbustivas de *Ludwigia* sp. 1 (Fonte: Davi Leandro).

Figura 36 - Ponto GU5, Ludwigia sp. 2, em floração, rodeada por *Urochloa subquadripara* (Trin.) Hitchc. (Fonte: Davi Leandro).

Figura 37 - Ponto GU5, espécie: Ludwigia sp. 2 (Fonte: Davi Leandro).

Figura 38 - Ponto CA1, espécie: *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms (Fonte: Davi Leandro).

Figura 39 - Ponto CA1, espécies: 1- *Urochloa subquadriflora* (Trin.) Hitchc. e 2- *Eleocharis* sp., (Fonte: Davi Leandro).

Figura 40 - Ponto 1, banco misto de macrófitas, sedimentação de material em suspensão sobre raízes e ramos de macrófitas flutuantes e submersas (coloração marrom). (Fonte: Davi Leandro)

Figura 41 - Ponto 8, banco de *Echinochloa polystachya* enraizadas na margem, projetando propágulos em direção ao centro da calha do rio (Fonte: Davi Leandro).

ANEXO A

ANEXO - A

Os dados apresentados representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados.

Figura 42 - Climatologia do município de Cachoeira Paulista, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: ClimaTempo/INMET/CFS/Interpolação).

Tabela 9 - Climatologia do município de Cachoeira Paulista, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: ClimaTempo/INMET/CFS/Interpolação).

Mês	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	17	23	246
Fevereiro	17	23	200
Março	16	23	187
Abril	15	22	90
Mai	11	20	64
Junho	10	20	36
Julho	10	20	34
Agosto	12	22	32
Setembro	13	23	81
Outubro	15	24	126
Novembro	16	23	167
Dezembro	17	23	219

Figura 43 - Climatologia do município de Lorena, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).

Tabela 10 - Climatologia do município de Lorena, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).

Mês	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	17	23	246
Fevereiro	17	23	200
Março	16	23	187
Abril	15	22	90
Maiο	11	20	64
Junho	10	20	36
Julho	10	20	34
Agosto	12	22	32
Setembro	13	23	81
Outubro	15	24	126
Novembro	16	23	167
Dezembro	17	23	219

Figura 44 - Climatologia do município de Guaratinguetá, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).

Tabela 11 - Climatologia do município de Guaratinguetá, com base em uma série histórica do últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).

Mês	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	18	24	246
Fevereiro	18	24	200
Março	18	24	187
Abril	16	23	90
Maio	14	21	64
Junho	13	21	36
Julho	13	20	34
Agosto	14	22	32
Setembro	15	22	81
Outubro	16	24	126
Novembro	17	23	167
Dezembro	18	24	219

Figura 45 - Climatologia do município de Aparecida, com base em uma série histórica dos últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).

Tabela 12 - Climatologia do município de Aparecida, com base em uma série histórica dos últimos 30 anos (Fonte: Climatempo/INMET/CFS/Interpolação).

Mês	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	18	24	246
Fevereiro	18	24	200
Março	18	24	187
Abril	16	23	90
Maio	14	21	64
Junho	13	21	36
Julho	13	20	34
Agosto	14	22	32
Setembro	15	22	81
Outubro	16	24	126
Novembro	17	23	167
Dezembro	18	24	219