

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DE CARGAS DE  
NUTRIENTES NO CRESCIMENTO DA MACRÓFITA  
AQUÁTICA FLUTUANTE *Eichhornia crassipes* (MART.)  
SOLMS CULTIVADA EM ÁGUA ENRIQUECIDA  
ARTIFICIALMENTE**

**RENATA DE SOUZA SILVA**

**Dissertação apresentada ao Instituto de  
Biotecnologia da Universidade Estadual Paulista  
“Julio de Mesquita Filho”, Campus de Rio  
Claro, para a obtenção do título de Mestre em  
Ciências Biológicas (Área de Concentração:  
Biologia Vegetal)**

**Rio Claro  
Estado de São Paulo – Brasil  
janeiro de 2008**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DE CARGAS DE  
NUTRIENTES NO CRESCIMENTO DA MACRÓFITA  
AQUÁTICA FLUTUANTE *Eichhornia crassipes* (MART.)  
SOLMS CULTIVADA EM ÁGUA ENRIQUECIDA  
ARTIFICIALMENTE**

**RENATA DE SOUZA SILVA**

**Orientador: Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO MONTEIRO CAMARGO**

**Co-orientador: Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE GONZAGA DA SILVA**

**Dissertação apresentada ao Instituto de  
Biotecnologia da Universidade Estadual Paulista  
“Julio de Mesquita Filho”, Campus de Rio  
Claro, para a obtenção do título de Mestre em  
Ciências Biológicas (Área de Concentração:  
Biologia Vegetal)**

**Rio Claro  
Estado de São Paulo – Brasil  
janeiro de 2008**

“Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda humanidade”.

(Marie Curie)

“Se tiveres que tratar com água, consulta primeiro a experiência e depois a razão”.

(Leonardo da Vinci)

Aos meus pais e Diogo,  
minha gratidão pelo apoio  
nessa e nas futuras jornadas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo, pela orientação, amizade, apoio e pelas conversas, nem sempre científicas, mas sempre enriquecedoras.

Ao Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva (vulgo Gugu), pela co-orientação, auxílio na montagem do experimento e por agüentar “uma menininha tão chatinha” como eu.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.

Aos funcionários do Departamento de Ecologia, especialmente Sueli, Marilene e Sandra, pela convivência e boa disposição em ajudar.

Ao técnico do Departamento de Ecologia Carlos Fernando Sanches, pelo inexplicável bom humor sempre contagiante, pelos auxílios no laboratório e principalmente por ter montado e desmontado o sistema de recirculação de água. Muito obrigada Tatinho!!!!

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Aquática, especialmente Zé, Raquel, Maura, Léo, Soraia, Ana e Amarílis, pelos ótimos momentos juntos no laboratório, congressos, churrascos...

Ás novatas da república: Mi e Elo, pela companhia e momentos de descontração.

Á Carolina Rodrigues Alves Silveira, por esses anos de convivência, pela grande amizade e por ter me ensinado que a atividade física é antes de tudo qualidade de vida!

Á Daniele Tokunaga Genaro, pela amizade nesses seis anos de convivência e, como não poderia esquecer, por ter desenhado o esquema de recirculação de água (obrigada Dani!). Você e a Carol são minhas irmãzinhas!

Ao José Ricardo, regente do Coral Uirapuru, pela amizade, paciência, oportunidade e por ter despertado a soprano enrustida que existe dentro de mim. Sentirei muitas saudades!!

Ao Mestre, mas dentro de pouco tempo Doutor, Diogo Coutinho Soriano, pelo incentivo, pela gigantesca paciência, pelo amor, carinho e cumplicidade durante esses longos anos...

Ao Bruno César Araújo, pelo apoio e companheirismo nesse já revolucionário ano de 2008.

Ao meu cunhadinho Zezo, pelo carinho, caronas e pelos eventos gastronômicos.

Às minhas amadas irmãs Danielle e Luciana, pelo carinho, mimos dignos de irmã caçula e pelo exemplo de mulheres vitoriosas.

Aos meus pais, pelo amor, apoio e confiança.

À Deus, especialmente pelos maravilhosos raios divinos...

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| Lista de figuras.....  | i         |
| Lista de tabelas.....  | ii        |
| Introdução geral.....  | 1         |
| Referências Bibliográficas.....  | 5         |
| <br>   |           |
| <b>Capítulo 1. Ganho de biomassa de <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms. em diferentes épocas do ano.....</b>                              | <b>7</b>  |
| Resumo.....  | 8         |
| Introdução.....  | 9         |
| Material e Métodos.....  | 10        |
| Resultados.....  | 12        |
| Discussão.....   | 13        |
| Referências Bibliográficas.....  | 15        |
| <br>   |           |
| <b>Capítulo 2. Crescimento da macrófita aquática flutuante <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms em diferentes cargas de nutrientes.....</b> | <b>18</b> |
| Resumo.....  | 19        |
| Introdução.....  | 20        |
| Material e Métodos.....  | 21        |
| Resultados.....  | 25        |
| Discussão.....   | 27        |
| Referências Bibliográficas.....  | 29        |

## LISTA DE FIGURAS

### INTRODUÇÃO GERAL

**Figura 1.** Unidades experimentais no 118º dia de experimento localizado na casa de vegetação do jardim experimental da UNESP.....3

**Figura 2.** Sistema de recirculação de água e unidades experimentais (a); 50º dia de experimento (b).....4

### CAPÍTULO 1

**Figura 1.** Curva de crescimento de *Eichhornia crassipes* ao longo do experimento.....12

**Figura 2.** Médias e desvios padrão de temperatura atmosférica mínima e de ganho de biomassa obtidas semanalmente.....13

### CAPÍTULO 2

**Figura 1.** Esquema do sistema de recirculação de água.....22

**Figura 2.** Relação entre massa seca e massa fresca e equação da reta correspondente.....24

**Figura 3.** Valores médios e erros padrão de biomassa dos diferentes tratamentos com ajustes de crescimento logístico.....26

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

**Tabela 1.** Valores médios e desvios padrão das variáveis físicas e químicas da água obtidos durante o experimento.....11

### CAPÍTULO 2

**Tabela 1.** Valores de concentrações de nutrientes adicionadas à água semanalmente...23

**Tabela 2.** Valores de vazão e cargas de ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>) e nitrato (N-NO<sub>3</sub>) obtidos durante o experimento em cada tratamento. Valores de desvios padrão entre parênteses.....23

**Tabela 3.** Valores médios e desvios padrão (entre parênteses) das variáveis limnológicas obtidas durante o experimento.....25

**Tabela 4.** Valores de capacidade suporte (K), coeficiente de crescimento intrínseco ( $r_m$ ) e coeficiente de determinação dos tratamentos ( $r^2$ ). Valores de erro padrão entre parênteses. Letras distintas indicam diferenças significativas (P<0,05).....25

**Tabela 5.** Valores de p obtidos pelo teste Tukey aplicados aos valores de estoque de fósforo total da parte aérea e submersa de *E. crassipes*. Valores em negrito indicam diferenças significativas (P<0,05). Valores médios do estoque de PT (em g m<sup>-2</sup>) entre parênteses.....27

**Tabela 6.** Valores de p obtidos pelo teste Tukey aplicados aos valores de estoque de nitrogênio total da parte aérea e submersa de *E. crassipes*. Valores em negrito indicam diferenças significativas (P<0,05). Valores médios dos valores de estoque de NT (em g m<sup>-2</sup>) entre parênteses.....27

## Influência da temperatura e de cargas de nutrientes no crescimento da macrófita aquática flutuante *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms cultivada em água enriquecida artificialmente.

### INTRODUÇÃO GERAL

Macrófitas aquáticas são consideradas uma das principais produtoras de matéria orgânica em muitos ecossistemas aquáticos continentais, tanto em ambientes lênticos, com baixa turbulência, quanto em ambientes lóticos (Esteves, 1988). Estas plantas aquáticas são de fundamental importância na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia nos ambientes em que vivem por apresentarem elevada capacidade de estocar nutrientes e altas taxas de produção primária (Camargo & Esteves, 1995). Além disso, muitas espécies possuem interesses econômicos podendo ser aproveitadas na produção de papel (Morton, 1975) e biogás (Wolverton & McDonald, 1979) e em tratamento de efluentes de aquicultura (Henry-Silva & Camargo, 2002). No entanto, atividades antrópicas, como construções de represas e a introdução de resíduos agrícolas e efluentes domésticos nos ambientes aquáticos, podem criar condições favoráveis para a proliferação excessiva destes vegetais aquáticos (Seshavatharam, 1990). O crescimento excessivo de macrófitas aquáticas pode prejudicar os usos múltiplos dos ecossistemas aquáticos, gerando dificuldade na captação de água e navegação, problemas na geração de energia elétrica, comprometimento das atividades de lazer e redução da produção pesqueira (Pieterse & Murphy, 1990; Petr, 2000; Ren & Zhang, 2007). Sendo assim, torna-se fundamental o conhecimento dos fatores condicionantes do crescimento de macrófitas aquáticas, bem como a auto-ecologia das espécies (Camargo *et al.*, 2003a).

Diversos fatores ambientais influenciam o crescimento das macrófitas aquáticas, tais como as concentrações de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e nutrientes na coluna de água e a velocidade de corrente (Chambers *et al.*, 1991; Petrucio & Esteves, 2000; Camargo *et al.*, 2003b). O aumento da movimentação da água provoca diminuição da espessura da camada de difusão entre o ambiente e os tecidos dos vegetais (“boundary layer”), facilitando a troca de gases e nutrientes (Westlake, 1967). De fato, relação positiva entre velocidade de corrente e taxa de crescimento de brotos de *Callitriche cophocarpa*, uma macrófita aquática emersa foi observada (Madsen & Sondergaard, 1983). Em geral, os efeitos positivos do aumento da velocidade de correnteza no crescimento das macrófitas

aquáticas dependem do aumento do fluxo de solutos devido à redução da “boundary layer” (Madsen *et al.*, 1993). Portanto, a carga de nutrientes (concentração de nutrientes por unidade de tempo) pode influenciar o crescimento de macrófitas aquáticas flutuantes em ambientes lóticos com moderada velocidade de corrente.

A temperatura é outra variável que influencia diretamente o crescimento de macrófitas aquáticas. Esses vegetais possuem ampla faixa de tolerância à temperatura, podendo ocorrer tanto em regiões de clima tropical como temperado, no entanto, temperaturas mais elevadas geralmente favorecem o desenvolvimento da maioria das espécies (Camargo *et al.*, 2003a). Em regiões temperadas, a variação anual de biomassa das macrófitas aquáticas está diretamente relacionada às variações sazonais de luz e temperatura. A macrófita aquática *Lemma* sp. ocorreu com maior abundância no verão em um reservatório no Little River (Carolina do Norte, EUA), enquanto que no inverno desapareceu totalmente (Everitt & Burkholder, 1991). Um estudo sobre produtividade primária de macrófitas aquáticas no estado de Buenos Aires (Argentina) apresentou maiores valores de biomassa e de produtividade primária na primavera e verão, para a maioria das espécies estudadas (Pastore *et al.*, 1995). Em regiões tropicais, com variações sazonais moderadas de temperatura, o crescimento das macrófitas aquáticas está relacionado, principalmente, às variações do nível da água e aos pulsos de inundação. De fato, grande variação sazonal de biomassa de *E. azurea* foi observada em função da variação do nível de água, em um trabalho na planície de inundação do alto rio Paraná (Bini, 1996). A macrófita aquática emersa *Paspalum repens* apresentou aumento de sua biomassa devido ao pulso de inundação, em ambientes de várzea na Amazônia (Junk & Piedade, 1997). Por outro lado, *E. azurea* não apresentou padrão sazonal de variação de biomassa em um rio de águas brancas da bacia hidrográfica do rio Itanhaém, no sul do estado de São Paulo (Henry-Silva & Camargo, 2003), e na zona de desembocadura do rio Paranapanema na represa de Jurumirim, São Paulo (Luciano & Henry, 1998). Assim, esta dissertação apresenta as seguintes hipóteses direcionais: (i) variação de temperatura de diferentes períodos do ano influencia a produção primária desta espécie flutuante e (ii) a carga de nutrientes (concentração de nutrientes por unidade de tempo) afeta o crescimento da macrófita *E. crassipes*.

A presente dissertação está estruturada em dois capítulos no formato de artigos científicos. Os capítulos tratam dos experimentos desenvolvidos na Universidade

Estadual Paulista (UNESP), campus de Rio Claro no período de 2006 a 2007, nos quais *E. crassipes* foi cultivada em microcosmos contendo água enriquecida artificialmente.

O primeiro capítulo intitulado “**Ganho de biomassa de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. em diferentes épocas do ano**” apresenta um estudo que teve como objetivo avaliar o crescimento de *Eichhornia crassipes* cultivada em microcosmo em diferentes épocas do ano. O experimento foi realizado entre abril e outubro de 2006 em uma casa de vegetação (figura 1) localizada no Jardim experimental do Instituto de Biociências de Rio Claro.

O segundo capítulo intitulado “**Crescimento da macrófita aquática flutuante *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms em diferentes cargas de nutrientes**” visou analisar o crescimento da macrófita aquática flutuante *Eichhornia crassipes* submetida a diferentes cargas de nutrientes. Foi utilizado um sistema de recirculação de água (figura 2) e o experimento ocorreu no período de janeiro a maio de 2007.



**Figura 1.** Unidades experimentais no 118º dia de experimento localizado na casa de vegetação do jardim experimental da UNESP.



**Figura 2.** Sistema de recirculação de água e unidades experimentais (a); 50º dia de experimento (b).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bini, L.M. 1996. Influence of flood pulse on the fitomass of three species of aquatic macrophytes in the upper River Parana floodplain. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. 39:715-721.
- Camargo, A.F.M. & Esteves, F.A. 1995. Biomass and productivity of aquatic macrophytes in brazilian lacustrine ecosystems. (137-149). In: **Limnology in Brazil** (Tundisi, J.G., Bicudo, C.E.M & Matsumara Tundisi, T.). 376p.
- Camargo, A.F.M., Pezzato, M.M. & Henry-Silva, G.G. 2003a. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas (59-83). In: **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. (Thomaz, S.M. & Bini, L.M.). 341p.
- Camargo, A.F.M., Henry-Silva, G.G. & Pezzato, M.M. 2003b. Crescimento e produção primária de macrófitas aquáticas em zonas litorâneas (213-232). In: **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos** (Henry, R.). 349p.
- Chambers, P.A., Prepas, E.E., Hamilton, H.R. & Bothwell, M.L. 1991. Current velocity its effect on aquatic macrophytes in flowing waters. **Ecological Applications**. 1:249-257.
- Esteves, F.A. 1988. **Fundamentos de Limnologia**. Ed. Interciências/FINEP. Rio de Janeiro. 574p.
- Everitt, D.T. & Burkholder, J.M. 1991. Seasonal dynamics of macrophyte communities from a stream flowing over granite flatrock in North Caroline, USA. **Hydrobiologia**. 222:159-172.
- Henry-Silva, G.G. & Camargo, A.F.M. 2002. Valor nutritivo de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*) utilizadas no tratamento de efluentes de aqüicultura. **Acta Scientiarum**. 24:519-526.
- Henry-Silva, G.G. & Camargo, A.F.M. 2003. Avaliação sazonal da biomassa da macrófita aquática *Eichhornia azurea* em um rio de águas brancas da bacia hidrográfica do rio Itanhaém (litoral sul do estado de São Paulo). **Hoehnea**. 30(1):71-77.
- Junk, W.J. & Piedade, M.T. 1997. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants (147-185). In: **The Central Amazon Floodplain: Ecology of a pulsing system** (Junk, W.J.).
- Luciano, S.C. & Henry, R. 1998. Biomass of *Eichhornia azurea* Kunth and *Brachiaria arrecta* Stent. in lower Taquari river, Jurumirim Reservior, São Paulo, Brazil. **Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie**. 26:1857-1861.
- Madsen, T.V. & Sondergaard, M. 1983. The effects of current velocity on the photosynthesis of *Callitriche stagnalis* Scop. **Aquatic Botany**. 15:187-194.

- Madsen, T.V., Enevoldsen, H.O. & Jorgensen, T.B. 1993. Effects of water velocity on photosynthesis and dark respiration in submerged stream macrophytes. **Plant, Cell & Environment**. 16:317-322.
- Morton, J.F. 1975. Cattails (*Typha spp.*) weed problem or potential crop? **Economic Botany**. 29:7-29.
- Pastore P.M, Tur, N.M. & Marrone, M.T. 1995. Biomassa y productividad primaria de macrófitas no emergentes de una laguna y su afluente (Provincia de Buenos Aires, Argentina). **Revista Brasileira de Biologia**. 55(2):267-281.
- Petr, T. 2000. **Interactions between fish and aquatic macrophytes in inland waters. A review**. FAO Fisheries Technical Paper 396. Rome. 185p.
- Petrucio, M.M. & Esteves, F.A. 2000. Uptake rates of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia molesta*. **Revista Brasileira de Biologia**. 60(2):229-236.
- Pieterse, A.H. & Murphy, K. 1990. **Aquatic weeds and management of nuisance aquatic vegetation**. Oxford University Press. New York. 593p.
- Ren, M.X. & Zhang, Q.G. 2007. Clonal diversity and structure of the invasive aquatic plant *Eichhornia crassipes* in China. **Aquatic Botany**. 87:242-246.
- Seshavatharam, V. 1990. Traditional uses and problem of noxious growth. (201-218). In: **Ecology and management of aquatic vegetation in the Indian Subcontinent** (Gopal, B.).
- Westlake, D.F. 1967. Some effects of lowvelocity currents on the metabolism of aquatic macrophytes. **Journal of Experimental Biology**. 18:187-205.
- Wolverton, B.C. & McDonald, R.C. 1979. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) productivity and harvesting studies. **Economic Botany**. 33:1-10.

---

# CAPÍTULO I

## Ganho de biomassa de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. em diferentes épocas do ano.

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o ganho de biomassa de *Eichhornia crassipes* cultivada em microcosmo em diferentes épocas do ano. O experimento teve duração de 189 dias e ocorreu entre abril e outubro de 2006. Indivíduos de *E. crassipes* foram cultivados em um sistema de recirculação de água composto por 3 unidades experimentais. O fluxo de água foi contínuo (vazão de  $0,25 \text{ L min}^{-1}$ ) e nutrientes foram adicionados semanalmente. Valores de nitrito, nitrato, ortofosfato, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, pH e temperatura da água foram obtidos semanalmente. Os valores médios semanais de temperatura mínima absoluta atmosférica foram calculados através dos dados obtidos pela Estação Meteorológica CEAPLA/UNESP, localizado a aproximadamente 500 metros do local do experimento. Semanalmente as plantas foram pesadas e posteriormente devolvidas as respectivas unidades experimentais. Variações de temperatura atmosférica foram verificadas. O período com os menores valores de temperatura mínima atmosférica (junho e julho) coincidem com o período de menores valores de ganho de biomassa do vegetal. Após este período, os valores de temperatura aumentaram favorecendo o crescimento do vegetal, ocorrendo os maiores valores de ganho de biomassa.

## INTRODUÇÃO

Um dos objetivos dos estudos sobre macrófitas aquáticas é compreender quais fatores influenciam o crescimento destes vegetais. Conhecer estes fatores é relevante nos estudos sobre crescimento de macrófitas aquáticas, já que estes vegetais podem estar apenas sobrevivendo, em condições próximas aos seus limites de tolerância, ou apresentar valores máximos de produção primária, quando os fatores ambientais são favoráveis ao seu crescimento, podendo prejudicar os usos múltiplos dos ecossistemas aquáticos. O crescimento das macrófitas aquáticas é influenciado por diversas variáveis ambientais, tais como a radiação luminosa, concentrações de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, pH, transparência da água, velocidade de corrente, densidade, concentração de nutrientes na coluna de água e temperatura (Petruccio & Esteves, 2000; Camargo *et al.*, 2003a; Pereira, 2004).

Cada espécie de macrófita aquática apresenta uma temperatura ótima para seu crescimento e, geralmente, elevadas temperaturas favorecem o desenvolvimento de diversas espécies (Camargo *et al.*, 2003b). *Eichhornia crassipes*, uma macrófita aquática flutuante, é bastante sensível ao frio, apresenta temperatura ótima entre 20 e 30°C, podendo apresentar produtividade zero em temperaturas inferiores a 10°C (Reddy & Sutton, 1984).

A macrófita aquática *E. crassipes* é nativa da América do Sul Tropical e introduzida em quase todos os continentes (Pott & Pott, 2000). Esta espécie possui características fisiológicas e estratégias reprodutivas que a permite obter rápido crescimento nos diversos ecossistemas aquáticos das regiões tropicais e subtropicais (Rocha-Ramírez *et al.*, 2007). De fato, indivíduos de *E. crassipes* são encontrados crescendo abundantemente em diversos ambientes com diferentes características climáticas, como o rio Cachoeira, sul da Bahia (Klumpp *et al.*, 2002), as planícies de inundação do Alto Rio Paraná, Brasil (Milne *et al.*, 2006) e planície do Baixo Rio Paraná, Argentina (Pizarro, 1999), o lago Victoria, um dos grandes lagos africanos (Sikoyo & Goldman, 2007), o delta Sacramento-San-Joaquin, Califórnia (Underwood *et al.*, 2006), Austrália (Perna & Burrows, 2005), Índia (Babu *et al.*, 2002), Portugal (Moreira *et al.*, 1999), China (Ren & Zhang, 2007), entre outros.

A variação de biomassa de *E. crassipes* nas regiões subtropicais é frequentemente influenciada pelas variações sazonais de luz e temperatura. Maiores valores de biomassa de *E. crassipes* foram encontrados em novembro no lago Donghu, região central da China (Liu *et al.*, 2004). Já nos ambientes tropicais, com moderadas variações de temperatura, a variação da biomassa está relacionada, na maioria das vezes, às variações dos níveis de água e aos pulsos de inundações. Grande variação sazonal de biomassa de *E. azurea* foi observada em função da variação do nível de água, em um trabalho na planície de inundação do alto rio Paraná (Bini, 1996). No entanto, oscilações de temperatura podem influenciar no crescimento de *E. crassipes* de regiões tropicais. De fato, apesar de Henry-Silva & Camargo (2003) não terem observado diferenças significativas entre os valores de biomassa de *E. azurea* em diferentes épocas do ano, obtiveram os maiores valores de biomassa no outono.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar o crescimento da macrófita aquática flutuante *E. crassipes* cultivada em microcosmo em diferentes períodos do ano, segundo a hipótese de que nos períodos de outono e inverno ocorre diminuição dos valores de ganho de biomassa deste vegetal.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi inteiramente casualizado e conduzido durante 189 dias (abril a outubro de 2006) em uma casa de vegetação do Jardim Experimental do Instituto de Biociências de Rio Claro, São Paulo (22°23'S e 47°32'W, 626m de altitude). Nessa região, o clima é do tipo "Cwa" segundo classificação de Koeppen (Nimer, 1989) com duas estações bem definidas: uma seca, de abril a setembro, e outra chuvosa, de outubro a março.

Indivíduos de *E. crassipes* com massas semelhantes foram coletados em ecossistemas lóticos do litoral sul do estado de São Paulo (24°11'S e 46°48'W) e transferidos para um sistema de recirculação de água composto por 3 unidades experimentais (0,12 m<sup>2</sup> de área e 0,017 m<sup>3</sup> de volume) e duas caixas (coletora e distribuidora) de 500 litros cada. O fluxo de água foi contínuo (vazão de 0,25 L min<sup>-1</sup>) e macro e micronutrientes (solução de Hoagland & Arnon (1950) e Fe EDTA) foram

adicionados semanalmente à água para que estes não fossem fatores limitantes ao crescimento do vegetal.

Amostras de água foram coletadas semanalmente para determinação das concentrações de nitrito e nitrato, segundo método descrito em Mackereth *et al.* (1978), e ortofosfato, de acordo com método descrito por Golterman *et al.* (1978). Valores de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, pH e temperatura foram medidos com o multi-sensor Horiba U-10 (tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios e desvios padrão das variáveis físicas e químicas da água obtidos durante o experimento (n = 28).

| Variáveis                                     | Média | Desvio padrão |
|---|-------|---------------|
| pH  | 8,11  | 0,11          |
| Temperatura                                   | 18,73 | 3,19          |
| Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )     | 8,72  | 0,82          |
| Condutividade elétrica (mS cm <sup>-1</sup> ) | 0,337 | 0,02          |
| Turbidez (NTU)                                | 3,89  | 2,03          |
| P-ortofosfato (µg L <sup>-1</sup> )           | 219,7 | 79,4          |
| N-nitrato (µg L <sup>-1</sup> )               | 630,1 | 218,0         |
| N-nitrito (µg L <sup>-1</sup> )               | 2,5   | 1,3           |

Os dados de temperatura atmosférica utilizados foram obtidos pela Estação Meteorológica CEAPLA/UNESP (22°23'S e 47°32'W, altitude de 626,5m), localizado a aproximadamente 500 metros do local do experimento. Foram calculados os valores médios semanais de temperatura mínima absoluta atmosférica durante todo o período de experimento.

Semanalmente, foi obtida a massa fresca das plantas (MF) deixando-se escorrer o excesso de água por aproximadamente cinco minutos (Agami & Reddy, 1990) e posteriormente foram devolvidas as respectivas unidades experimentais. A massa seca (MS) das macrófitas foi estimada a partir da seguinte equação de regressão linear entre massa fresca (MF) e massa seca de outros indivíduos de *E. crassipes* da mesma população:

$$MS = -0,4664 + 0,0848 \times MF \quad (r^2 = 0,992; n = 30)$$

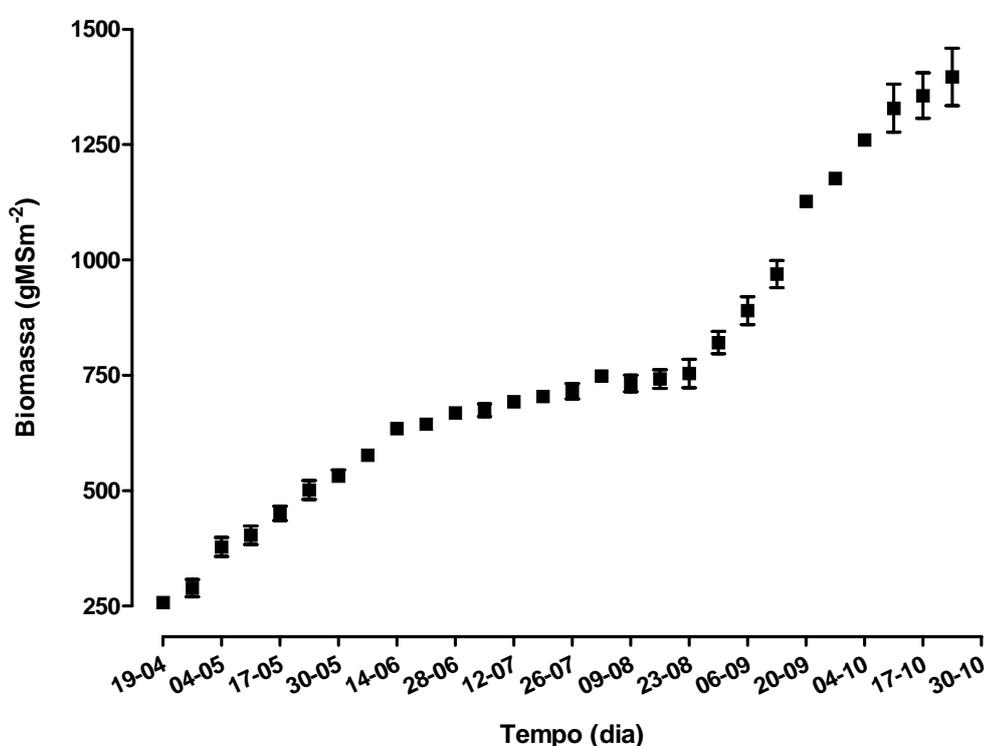
O ganho semanal de biomassa (GB) foi calculado pela equação:

$$GB = (B_f - B_i) / \Delta_t$$

Em que:  $B_f$  = biomassa final,  $B_i$  = biomassa inicial e  $\Delta_t$  = intervalo de tempo.

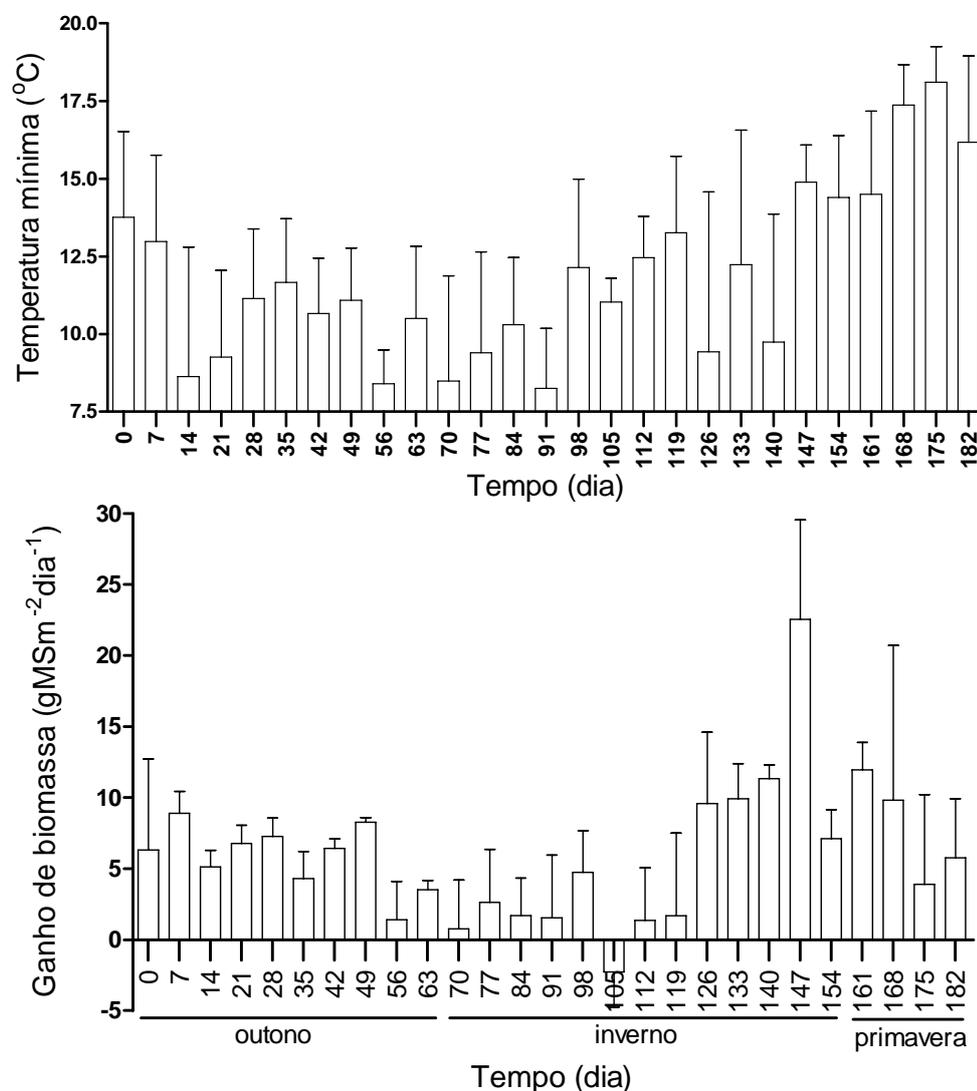
## RESULTADOS

A curva de crescimento de *E. crassipes* ao longo do experimento (figura 1) apresentou três fases de crescimento. A primeira fase de crescimento ocorreu entre o início e o dia 56 de experimento, com biomassa média de  $634,4 \text{ gMSm}^{-2}$ . A segunda fase ocorreu entre os dias 56 e 119 e foi o período com menor ganho de biomassa apresentando biomassa média de  $741,9 \text{ gMSm}^{-2}$ . Já a terceira fase de crescimento ocorreu do dia 119 ao 189 apresentando maior ganho de biomassa. O valor máximo de biomassa foi observado ao final deste período, média de  $1396,5 \text{ gMSm}^{-2}$ .



**Figura 1.** Curva de crescimento de *Eichhornia crassipes* ao longo do experimento.

Os valores de ganho médio de biomassa semanal e da temperatura atmosférica mínima absoluta (média de sete dias) estão apresentados na figura 2. As tendências de diminuição e elevação dos valores de temperatura coincidem com as variações dos valores de ganho de biomassa. Os menores valores médios de ganho de biomassa ocorreram no final do outono e início do inverno, períodos com os menores valores de temperatura atmosférica. Ao final do inverno e início da primavera ocorreram os maiores valores médios de temperatura atmosférica e de ganho de biomassa.



**Figura 2.** Médias e desvios padrão de temperatura atmosférica mínima e de ganho de biomassa obtidas semanalmente.

## DISCUSSÃO

Neste estudo constatou-se variações nos valores de temperatura atmosférica entre as diferentes épocas do ano com menores temperaturas mínimas absolutas entre o final do outono e início do inverno. O ganho de biomassa de *E. crassipes* também foi diferente ao longo do período experimental com menor ganho de biomassa entre o final do outono e início do inverno. As menores temperaturas mínimas absolutas coincidem com os menores ganhos de biomassa, ou seja, as temperaturas mínimas médias dos

meses de junho e julho (9,62°C e 10,03°C, respectivamente) podem ter limitado o crescimento do vegetal. Após este período, os valores de temperatura atmosférica aumentaram o que pode ter favorecido o crescimento do vegetal. Em baixas temperaturas ocorre menor disponibilidade de energia metabólica, bem como redução na absorção de nutrientes, portanto, os processos metabólicos ocorrem em menor intensidade, reduzindo o crescimento do vegetal (Larcher, 2000). De fato, a produtividade de *E. crassipes* pode ser zero quando a temperatura mínima atinge 10°C (Reddy & Sutton, 1984). Camargo *et al.* (2006) encontraram variação sazonal na taxa fotossintética da macrófita submersa *Utricularia foliosa* em rios da planície costeira do estado de São Paulo (Brasil). Os maiores valores de taxa fotossintética foram encontrados no verão e foram positivamente correlacionados com a temperatura.

Embora o crescimento de *E. crassipes* estivesse sendo limitado pela temperatura na fase intermediária do experimento, apresentou valor relativamente elevado de biomassa, aproximadamente 740 gMS m<sup>-2</sup>. Henry-Silva & Camargo (2003) estudando a macrófita *Eichhornia azurea* na bacia hidrográfica do rio Itanhaém, litoral sul do estado de São Paulo (Brasil), não observaram padrão de crescimento sazonal do vegetal, e o maior valor de biomassa encontrado foi 330 gMS m<sup>-2</sup>. O valor máximo de ganho de biomassa encontrado no presente estudo foi de 22,53 gMS m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>, período em que ocorreram os maiores valores de temperatura (média da mínima de 15°C). Resultado semelhante foi encontrado por Reddy & DeBusk (1984), estes autores obtiveram os maiores valores de taxa de crescimento (51,9 gMS m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) de *E. crassipes* no verão, em um trabalho em Sandford, Flórida, e o valor máximo de biomassa foi 2100 gMS m<sup>-2</sup>. A espécie *Pistia stratiotes* também apresentou variação sazonal em um estudo no Reservatório Del Cisne (Uruguai), com valores máximos de produtividade primária na primavera, apresentando temperatura média atmosférica de 18°C (Mazzeo *et al.*, 1993).

O desenvolvimento deste trabalho em microcosmo foi essencial, já que, possibilitou o controle de algumas variáveis fundamentais que influenciam diretamente no crescimento das macrófitas aquáticas como as concentrações de nutrientes e a variação de nível de água.

A biomassa foi, provavelmente, o fator responsável pela queda dos valores de ganho de biomassa na primavera, ao final do experimento. Neste período os valores de temperatura estavam próximos aos considerados ótimos para o desenvolvimento da

espécie, isto é, entre 20°C e 30°C (Reddy & Sutton, 1984), e nutrientes estavam disponíveis para o vegetal em concentrações suficientes para o seu crescimento. Reddy & DeBusk (1984) também observaram diminuição das taxas de crescimento de *E. crassipes* e *P. stratiotes* com o aumento da biomassa. Esses autores constataram que a maior taxa de crescimento específico de *E. crassipes* ocorreu a uma densidade de 400gMSm<sup>-2</sup>. Henry-Silva *et al.* (2002) concluíram que o crescimento da macrófita flutuante *Salvinia molesta* é limitado a uma densidade de aproximadamente 500 gMS m<sup>-2</sup>.

Conclui-se que o final do outono e o início de inverno foram os períodos com os menores valores de ganho de biomassa da macrófita aquática flutuante *Eichhornia crassipes*, provavelmente devido aos menores valores de temperatura atmosférica. Portanto, provavelmente neste período as possibilidades de infestação e prejuízos causados por esta espécie são menores do que na primavera e verão.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agami, M. & Reddy, K.R. 1990. Competition for space between *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes* L. culture in nutrient-enriched water. **Aquatic Botany**. 38:195-208.
- Babu, R.M., Sajeena, A. Seetharaman, K., Vidhyasekaran, P., Rangasamy, P., Som prakash, M., Senthil Raja, A. & Biji, K.R. 2002. Host range of *Alternaria alternata* – a potential fungal biocontrol agents for waterhyacinth in India. **Crop Protection**. 21:1083-1085.
- Bini, L.M. 1996. Influence of flood pulse on the fitomass of three species of aquatic macrophytes in the upper River Parana floodplain. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. 39:715-721.
- Camargo, A.F.M., Henry-Silva, G.G. & Pezzato, M.M. 2003a. Crescimento e produção primária de macrófitas aquáticas em zonas litorâneas (213-232). In: **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos** (Henry, R.). 349p.
- Camargo, A.F.M., Pezzato, M.M. & Henry-Silva, G.G. 2003b. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas (59-83). In: **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. (Thomaz, S.M. & Bini, L.M.). 341p.
- Camargo, A.F.M., Pezzato, M.M., Henry-Silva, G.G. & Assumpção, A.M. 2006. 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. **Hydrobiologia**. 570:35-39.
- Golterman, H.L., Clymo, R.S. & Ohstad, M.A.M. 1978. **Methods for physical and chemical analysis of fresh waters**. 2 ed. Oxford: IBP. 213p. (Handbook 8).
- Henry-Silva, G.G. & Camargo, A.F.M. 2003. Avaliação sazonal da biomassa da macrófita aquática *Eichhornia azurea* em um rio de águas brancas da bacia hidrográfica do rio Itanhaém (litoral sul do estado de São Paulo). **Hoehnea**. 30(1):71-77.
- Henry-Silva, G.G., Camargo, A.F.M. & Pezzato, M.M. 2002. Effect of nutrient concentration on the growth of *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*. **Proceedings of the 11<sup>th</sup> EWRS International Symposium on Aquatic Weeds**. Moliets et Maâ (France). p. 147-150.
- Hoagland, D.R. & Arnon, D.I. 1950. The water culture method of growing plants without soil. **Calif. Agric. Exp. Stn. Circ.** University of California, Berkeley. p.347.
- Klumpp, A., Bauer, K. Franz-Gerstein, C. & Menezes, M. 2002. Variation of nutrient and metal concentration in aquatic macrophytes along the rio Cachoeira in Bahia (Brazil). **Environmental International**. 28:165-171.
- Larcher, W. 2000. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos. 531p.
- Liu, C.H., Wu, G., Yu, D., Wang, D. & Xia, S.L. 2004. Seasonal changes in height, biomass and biomass allocation of two exotic aquatic plants in a shallow eutrophic lake. **Journal of Freshwater Ecology**. 19:41-45.
- Mackreth, F.J.H., Heron, J. & Talling, J.F. 1978. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. London Freshwater Biological Association. 121p. (Scientific Publication, 36).
- Mazzeo, N., Crosa, D & Sommaruga, R. 1993. Productividad y variación estacional de la biomassa de *Pistia stratiotes* L. en el Reservorio del Cisne, Uruguay. **Acta Limnologica Brasiliensia**. 6:186-195.
- Milne, J.M., Murphy, K.L. & Thomaz, S.M. 2006. Morphological variation in *Eichhornia azurea* (Kunth) and *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms in relation to aquatic vegetation type and the environment in the floodplain of the Rio Parana, Brazil. **Hydrobiologia**. 570:19-25.
- Moreira, I., Ferreira, T., Monteiro, A., Catarino, L. & Vasconcelos T. 1999. Aquatic weeds and their management in Portugal: insights and the international content. **Hydrobiologia**. 415:229-234.

- Nimer, E. 1989. **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 422p.
- Pereira, A.M.M. 2004. **Influência da velocidade de corrente no tratamento de efluentes de carcinicultura com a macrófita aquática *Pistia stratiotes***. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 44p.
- Perna, C. & Burrows, D. 2005. Improved dissolved oxygen status following removal of exotic weed mats in important fish habitat lagoons of the tropical Burdekin River floodplain, Australia. **Marine Pollution Bulletin**. 51:138-148.
- Petrucio, M.M. & Esteves, F.A. 2000. Uptake rates of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia molesta*. **Revista Brasileira de Biologia**. 60(2):229-236.
- Pizarro, H. 1999. Periphyton biomass on *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitch of a lake of the Lower Parana River floodplain, Argentina. **Hydrobiologia**. 397:227-239.
- Pott, V.J. & Pott, A. 2000. **Plantas aquáticas do Pantanal**. EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá, MS) - Brasília, 404p.
- Reddy, K.R. & DeBusk, W.F. 1984. Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water: water hyacinth, water lettuce, and pennywort. **Economic Botany**. 38(2):229-239.
- Reddy, K.R. & Sutton, D.L. 1984. Waterhyacinths for water quality improvement and biomass production. **Journal of Environmental Quality**. 13:1-8.
- Ren, M.X. & Zhang, Q.G. 2007. Clonal diversity and structure of the invasive aquatic plant *Eichhornia crassipes* in China. **Aquatic Botany**. 87:242-246.
- Rocha-Ramírez, A., Ramírez-Rojas, A., Chávez-López, R. & Alcocer, J. 2007. Invertebrate assemblages associated with root masses of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach 1883 in the Alvarado lagoonal system, Veracruz, Mexico. **Aquatic Ecology**. 41:319-333.
- Sikoyo, G.M. & Goldman, L. 2007. Assessing the assessments: Case study of an emergency action plant for the control of water hyacinth in Lake Victoria. **International Journal of Water Resources Development**. 23:443-455.
- Underwood, E.C., Muletsch, M.J., Greenberg, J.A., Whiting, M.L., Ustin, S.L. & Keflauver, S.C. 2006. Mapping invasive aquatic vegetation in the Sacramento-San Joaquin delta using hyperspectral imagery. **Environmental Monitoring and Assessment**. 121:47-64.

---

**CAPÍTULO II**

## Crescimento da macrófita aquática flutuante *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms em diferentes cargas de nutrientes

### RESUMO

Baseado na hipótese de que a movimentação moderada da água favorece o crescimento de macrófitas aquáticas devido à quebra da “boundary layer” este trabalho teve por objetivo avaliar a influência de diferentes cargas de nutrientes (concentração de nutrientes por unidade de tempo) sobre o crescimento de *Eichhornia crassipes*. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e constituído de quatro tratamentos e quatro réplicas, totalizando 16 unidades experimentais. A macrófita aquática foi cultivada em um sistema de recirculação de água por uma bomba hidráulica. O sistema de recirculação foi preenchido com solução nutritiva e esta mantida constante através de adição semanal de nutrientes. Os tratamentos consistiram em diferentes cargas de nutrientes que foram obtidas através de controle de vazões por meio de registros hidráulicos. Os tratamentos um, dois, três e quatro apresentaram vazões de: 0,25 L.min<sup>-1</sup>; 1,00 L.min<sup>-1</sup>; 2,00 L.min<sup>-1</sup> e 4,00 L.min<sup>-1</sup>, respectivamente. Em intervalos semanais foram determinados os valores de biomassa do vegetal. Os valores de nitrogênio e fósforo totais (NT e PT) na biomassa vegetal foram obtidos no final do experimento. O crescimento de *E. crassipes* foi significativamente menor na menor carga de nutrientes (tratamento um) quando comparado com o tratamento quatro. Os valores médios de capacidade suporte nos tratamentos um, dois, três e quatro foram, respectivamente, 1074 gMSm<sup>-2</sup>; 1633 gMSm<sup>-2</sup>; 1618 gMSm<sup>-2</sup> e 1836 gMSm<sup>-2</sup>. Os valores de estoque de NT e PT de biomassa do tratamento um foram estatisticamente menores do que nos demais tratamentos. Os resultados confirmam a hipótese de que cargas de nutrientes promovem o crescimento da macrófita aquática *Eichhornia crassipes*.

## INTRODUÇÃO

Algumas espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, em especial *Eichhornia crassipes*, são consideradas bioindicadoras de ambientes eutrofizados, e apresentam capacidade de absorver elevadas concentrações de nutrientes (Reddy & DeBusk, 1984). De fato, trechos do rio Cachoeira, sul do estado da Bahia, eutrofizados por efluentes urbanos e de agricultura são abundantemente colonizados por espécies de macrófitas flutuantes como *E. crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Lemna valdiviana*, *Salvinia* sp. e *Azolla* sp. (Klumpp *et al.*, 2002). As macrófitas aquáticas *E. crassipes* e *Salvinia auriculata* ocorrem abundantemente na lagoa costeira de Imboassica (Macaé, Rio de Janeiro), eutrofizada por efluentes domésticos (Petruccio & Esteves, 2000). O crescimento de *E. crassipes* é estimulado quando exposta a ambiente com aumento gradativo da concentração de nutrientes (Xie *et al.*, 2004). A macrófita *E. crassipes* apresenta valores superiores de taxa de crescimento quando cultivadas em altas concentrações de nutrientes, em relação aos valores de taxa de crescimento em baixas concentrações de nutrientes (nitrogênio e fósforo) (Henry-Silva *et al.*, 2002; Jayaweera & Kasturiarachchi, 2004). No entanto, macrófitas aquáticas flutuantes também são encontradas em ambientes com baixos teores de nutrientes. De fato, a macrófita *E. crassipes* sobreviveu em ambientes pobres em fósforo (Xie & Yu, 2003). Diferentes espécies de macrófitas aquáticas flutuantes foram encontradas em rios da bacia hidrográfica do rio Itanhaém (litoral sul do estado de São Paulo) com baixas concentrações de nutrientes (34,74  $\mu\text{gL}^{-1}$  de nitrato e 15,77  $\mu\text{gL}^{-1}$  de ortofosfato) (Camargo *et al.*, 2002).

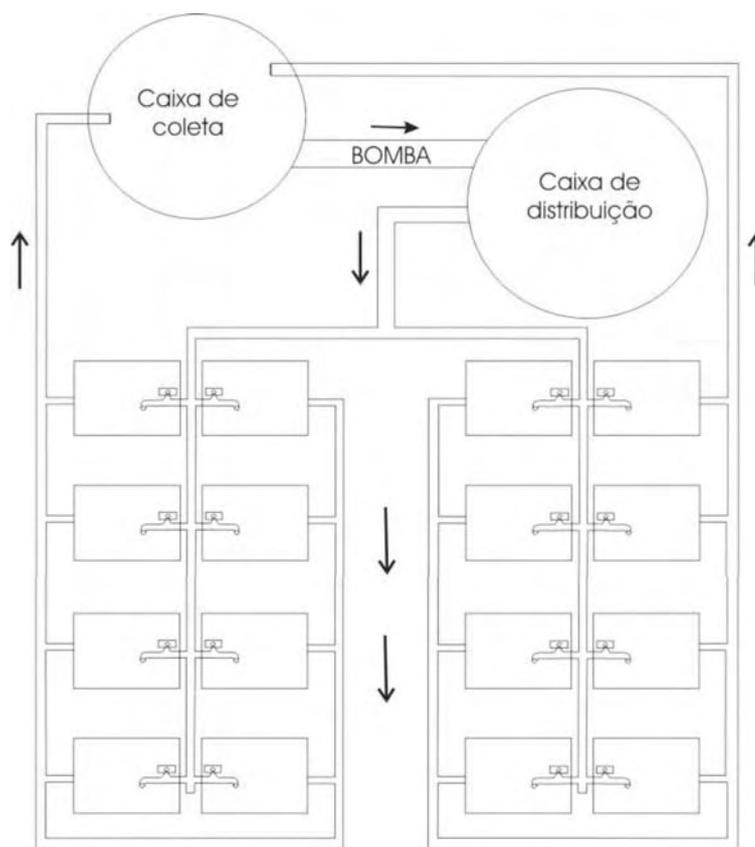
Uma possível explicação para a ocorrência e abundância de *E. crassipes*, e outras espécies de macrófitas aquáticas flutuantes consideradas exigentes nutricionalmente, em ambientes pobres em nutrientes é a movimentação moderada da água dos ambientes lóticos. A movimentação da água provoca redução da espessura da camada de difusão (“boundary layer”) entre o ambiente e os tecidos do vegetal, facilitando as trocas de gases e nutrientes (Westlake, 1967). De fato, o crescimento das folhas de *Zizania texana* foi significativamente superior quando submetidas a velocidades de corrente moderadas (0,12-0,24  $\text{ms}^{-1}$ ) (Power, 1996) e a macrófita aquática emersa *Callitriche cophocarpa*

apresentou relação positiva entre velocidade de corrente e taxa de crescimento de brotos (Madsen & Sondergaard, 1983). Em geral, os efeitos positivos do aumento da velocidade de correnteza na fotossíntese, na absorção de nutrientes e no crescimento das macrófitas aquáticas dependem do aumento do fluxo de solutos devido à redução da “boundary layer” (Madsen *et al.*, 1993). Portanto, a velocidade da correnteza provavelmente influencia a carga de nutrientes (concentração de nutrientes por unidade de tempo). Sendo assim, tanto velocidade de corrente como cargas de nutrientes podem interferir no crescimento das macrófitas aquáticas.

Embora existam diversas pesquisas que abordem a influência da velocidade de correnteza e de nutrientes disponíveis na água no crescimento de macrófitas aquáticas, ainda são inexistentes trabalhos que avaliem o efeito da carga de nutrientes sobre estes vegetais. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes cargas de nutrientes sobre o crescimento da macrófita aquática flutuante *E. crassipes* em condições laboratoriais, baseado na hipótese inicial de que quanto maior a carga de nutrientes maior o crescimento desta espécie.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto de Biociências de Rio Claro (UNESP) nos meses de janeiro a maio de 2007 com duração de 126 dias. O experimento foi desenvolvido em um sistema de recirculação de água composto por 16 unidades experimentais ( $0,12 \text{ m}^2$  de área e  $0,017 \text{ m}^3$  de volume), uma bomba hidráulica e duas caixas (coletora e distribuidora) de 500 litros cada (figura 1). O experimento foi totalmente aleatorizado e composto por quatro tratamentos e quatro réplicas. Cada tratamento apresentou vazão de água diferente tornando diferentes as cargas de nutrientes nas unidades experimentais. Os tratamentos um, dois, três e quatro apresentaram vazões de:  $0,25 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $1,00 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $2,00 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $4,00 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , respectivamente. Os valores de vazão utilizados foram semelhantes aos encontrados nos ambientes naturais. Estas vazões foram mantidas constantes monitorando-se diariamente os registros hidráulicos.



**Figura 1.** Esquema do sistema de recirculação de água.

A água utilizada foi enriquecida artificialmente com os seguintes sais:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , baseados em Hoagland & Arnon (1950) e Fe EDTA. Esta solução nutritiva foi adicionada semanalmente à água nas concentrações de nutrientes indicadas na tabela 1. A tabela 2 apresenta os valores de vazão e cargas de nutrientes de cada tratamento.

A cada sete dias foram obtidos valores das variáveis limnológicas condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), pH, turbidez (NTU), oxigênio dissolvido ( $\text{mgL}^{-1}$ ) e temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) com o multi-sensor marca Horiba U-10. Os valores de ortofosfato foram determinados segundo método de Golterman *et al.* (1978) e as concentrações de nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) foram determinadas pelo método descrito por Mackereth *et al.* (1978).

Exemplares de *E. crassipes* foram coletados em rios da bacia hidrográfica do rio Itanhaém, litoral sul de São Paulo. Em cada unidade experimental foram colocadas quantidades iguais de indivíduos de *E. crassipes* com massas semelhantes,  $415,08 \pm 48,81 \text{ gMS m}^{-2}$ .

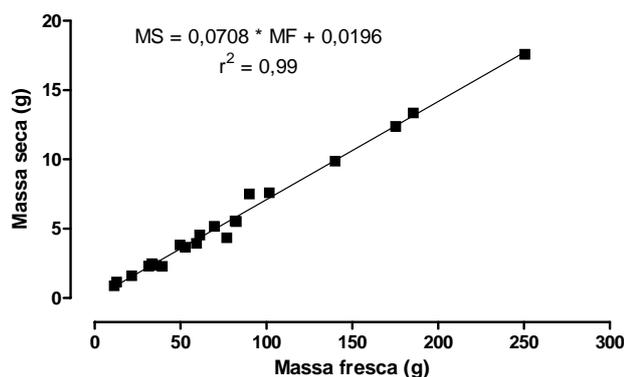
**Tabela 1.** Valores de concentrações de nutrientes adicionadas à água semanalmente.

| Concentração de nutrientes              |      |
|---|------|
| N-NO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) | 0,49 |
| P-PO <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) | 0,08 |
| K (mg L <sup>-1</sup> )                 | 0,59 |
| Ca (mg L <sup>-1</sup> )                | 0,40 |
| Mg (mg L <sup>-1</sup> )                | 0,48 |
| Fe (mg L <sup>-1</sup> )                | 0,65 |
| Cu (µg L <sup>-1</sup> )                | 5,00 |
| Mn (mg L <sup>-1</sup> )                | 0,12 |
| B (mg L <sup>-1</sup> )                 | 0,12 |
| Mo (µg L <sup>-1</sup> )                | 2,50 |
| Zn (mg L <sup>-1</sup> )                | 0,01 |

**Tabela 2.** Valores de vazão e cargas de ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>) e nitrato (N-NO<sub>3</sub>) obtidos durante o experimento em cada tratamento. Valores de desvios padrão entre parênteses.

| Tratamento | Vazão (L min <sup>-1</sup> ) | P-PO <sub>4</sub> (mg min <sup>-1</sup> ) | N-NO <sub>3</sub> (mg min <sup>-1</sup> ) |
|------------|------------------------------|---|---|
| 1          | 0,25                         | 0,011 (0,003)                             | 0,070 (0,021)                             |
| 2          | 1,00                         | 0,046 (0,014)                             | 0,280 (0,083)                             |
| 3          | 2,00                         | 0,092 (0,027)                             | 0,560 (0,166)                             |
| 4          | 4,00                         | 0,184 (0,054)                             | 1,120 (0,332)                             |

A massa fresca foi obtida semanalmente deixando-se escorrer o excesso de água dos indivíduos por cinco minutos, segundo metodologia utilizada por Agami & Reddy (1990), em seguida foram retornadas às unidades experimentais. A massa seca foi calculada a partir da equação de regressão linear entre a massa fresca (MF) e massa seca (MS) de outros indivíduos da mesma população (figura 2). Da biomassa (MS) do vegetal foram obtidos os valores finais de nitrogênio Kjeldahl total e de fosfato total adaptado especificamente para macrófitas aquáticas por Allen *et al.* 1974, separando parte aérea (lâmina foliar e pecíolo) da submersa (raiz e rizoma).



**Figura 2.** Relação entre massa seca e massa fresca e equação da reta correspondente.

Aos dados de biomassa total de cada tratamento foi ajustado um modelo de crescimento logístico através da parametrização da seguinte equação:

$$N_t = K / 1 + e^{a - r_m t}$$

Em que:  $N_t$  = biomassa (g MS m<sup>-2</sup>),  $t$  = tempo,  $K$  = capacidade suporte (máximo valor de  $N_t$ ),  $e$  = 2,71828 (base dos logaritmos naturais),  $a$  = constante de integração que define a posição da curva na origem e  $r_m$  = coeficiente de crescimento intrínseco (Krebs, 1994).

Os coeficientes de crescimento intrínseco ( $r_m$ ) e  $K$  foram estimados a partir dos ajustes das variações temporais de biomassa ao modelo sigmóide e foram efetuados através de regressões não lineares, calculadas pelo algoritmo iterativo de Levenberg-Marquardt (Press *et al.*, 1993).

Ao final do experimento foram calculados os valores de estoque de nitrogênio total e fósforo total de biomassa aérea e biomassa submersa.

Após constatação da distribuição normal e da homogeneidade de variância foi aplicada a análise de variância (ANOVA – one-way) aos resultados de capacidade suporte e composição química da planta com intervalo de confiança de 95% . Posteriormente, foi realizado o teste Tukey (Zar, 1999).

## RESULTADOS

Os valores das variáveis limnológicas apresentaram pouca variação no período do experimento, com exceção da turbidez (tabela 3).

Os valores de biomassa do tratamento com as menores cargas de nutrientes (tratamento 1) atingiram a capacidade suporte no 63º dia de experimento, enquanto que nos demais tratamentos a capacidade suporte foi atingida apenas nos últimos dias de experimento (112º dia), conforme apresentado na figura 3.

Os ajustes do modelo de crescimento logístico aos valores de biomassa dos tratamentos estão apresentados na figura 3. Na tabela 4 estão representados os valores de capacidade suporte, coeficiente de crescimento intrínseco ( $r_m$ ) e o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) dos diferentes tratamentos.

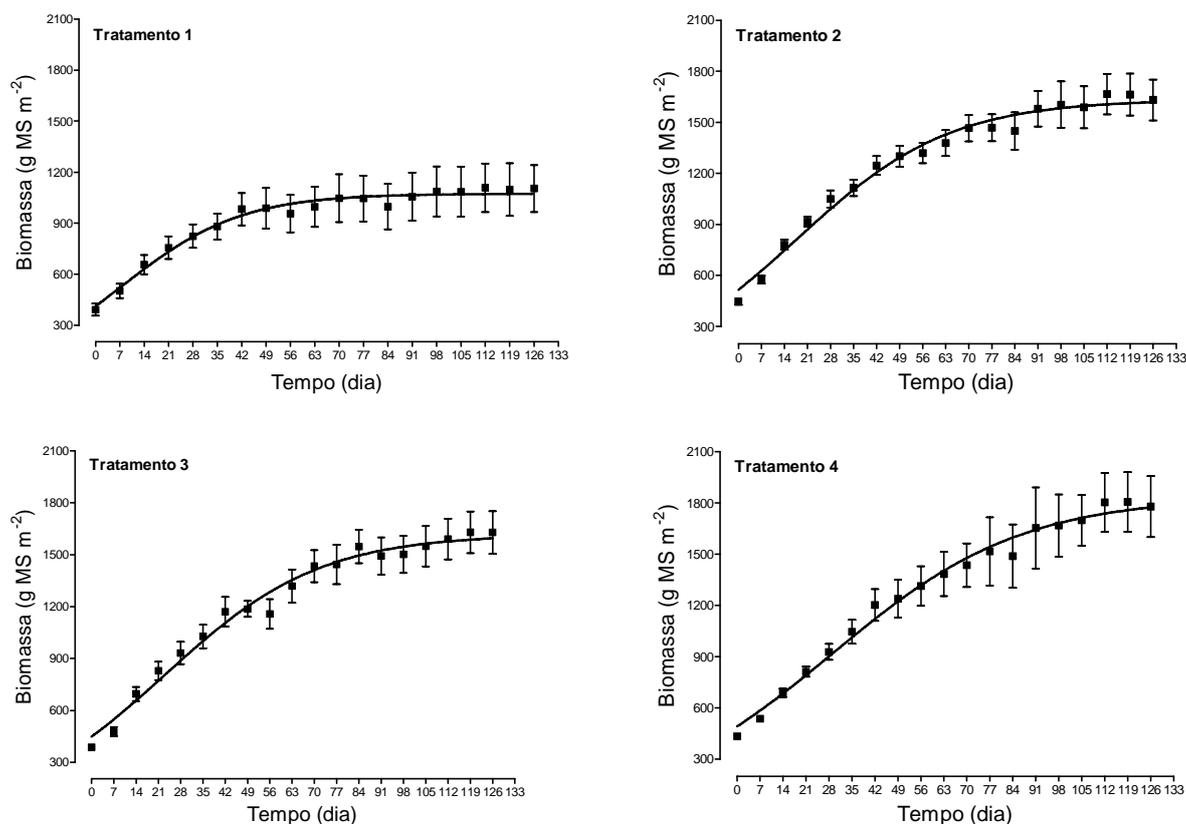
**Tabela 3.** Valores médios e desvios padrão (entre parênteses) das variáveis limnológicas obtidas durante o experimento.

| pH          | Condutividade elétrica (mS cm <sup>-1</sup> ) | Turbidez (NTU) | Temperatura (°C) | Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> ) |
|-------------|---|----------------|------------------|---|
| 7,25 (0,28) | 0,16 (0,06)                                   | 22,42 (15,98)  | 21,98 (1,97)     | 7,67 (0,37)                               |

**Tabela 4.** Valores de capacidade suporte (K), coeficiente de crescimento intrínseco ( $r_m$ ) e coeficiente de determinação dos tratamentos ( $r^2$ ). Valores de erro padrão entre parênteses. Letras distintas indicam diferenças significativas (P<0,05).

|                         | Trat 1         | Trat 2           | Trat 3           | Trat 4         |
|-------------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|
| <b>K</b>                | 1074 (38,19) a | 1633 (41,42) a,b | 1618 (48,77) a,b | 1836 (99,46) b |
| <b><math>r_m</math></b> | 0,06 (0,015)   | 0,04 (0,005)     | 0,04 (0,005)     | 0,03 (0,006)   |
| <b><math>r^2</math></b> | 0,50           | 0,84             | 0,84             | 0,75           |

Os resultados obtidos pela análise de variância (F = 4,375 e P = 0,027) e pelo teste Tukey demonstraram que somente o valor de capacidade suporte do tratamento com as menores cargas de nutrientes (tratamento 1) diferiu significativamente (P = 0,025) do tratamento com as maiores cargas de nutriente (tratamento 4), conforme apresentado na tabela 4.



**Figura 3.** Valores médios e erros padrão de biomassa dos diferentes tratamentos com ajustes de crescimento logístico.

Em todos os tratamentos observou-se maior ganho de biomassa de *E. crassipes* da parte aérea do que de parte submersa. O tratamento com menores cargas de nutrientes apresentou maior valor de porcentagem de biomassa submersa (média de 52%), enquanto que o tratamento 4 obteve o menor valor de porcentagem de biomassa submersa (média de 46%). Os tratamentos 2 e 3 apresentaram valores iguais de porcentagem de biomassa submersa, média de 47%, respectivamente.

Quanto à composição química do vegetal, observa-se que o tratamento 1 apresentou valores de estoque de nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) significativamente menores em relação aos demais tratamentos, tanto da porção submersa de *E. crassipes* como da parte aérea (tabelas 5 e 6). Os valores de estoque de PT da parte aérea e submersa apresentaram valores semelhantes em cada tratamento, o mesmo ocorreu para os valores de estoque de NT. Os valores de estoque de NT da parte submersa do tratamento com as maiores cargas de nutrientes (tratamento 4) diferiram significativamente dos demais tratamentos (tabela 6).

**Tabela 5.** Valores de p obtidos pelo teste Tukey aplicados aos valores de estoque de fósforo total da parte aérea e submersa de *E. crassipes*. Valores em negrito indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ). Valores médios do estoque de PT (em  $\text{g m}^{-2}$ ) entre parênteses.

| Trat | Parte aérea |              |               |               | Parte submersa |              |               |               |
|------|-------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|
|      | 1<br>(1,10) | 2<br>(1,78)  | 3<br>(2,23)   | 4<br>(2,41)   | 1<br>(1,19)    | 2<br>(1,80)  | 3<br>(1,96)   | 4<br>(2,39)   |
| 1    | -           | <b>0,005</b> | <b>0,0002</b> | <b>0,0002</b> | -              | <b>0,011</b> | <b>0,0002</b> | <b>0,0002</b> |
| 2    |             | -            | 0,058         | <b>0,007</b>  |                | -            | 0,77          | <b>0,016</b>  |
| 3    |             |              | -             | 0,66          |                |              | -             | 0,08          |
| 4    |             |              |               | -             |                |              |               | -             |

**Tabela 6.** Valores de p obtidos pelo teste Tukey aplicados aos valores de estoque de nitrogênio total da parte aérea e submersa de *E. crassipes*. Valores em negrito indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ). Valores médios dos valores de estoque de NT (em  $\text{g m}^{-2}$ ) entre parênteses.

| Trat | Parte aérea |              |              |               | Parte submersa |              |               |               |
|------|-------------|--------------|--------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|
|      | 1<br>(3,62) | 2<br>(4,99)  | 3<br>(5,72)  | 4<br>(6,72)   | 1<br>(3,38)    | 2<br>(5,24)  | 3<br>(5,30)   | 4<br>(6,46)   |
| 1    | -           | <b>0,028</b> | <b>0,001</b> | <b>0,0002</b> | -              | <b>0,001</b> | <b>0,0001</b> | <b>0,0001</b> |
| 2    |             | -            | 0,34         | <b>0,006</b>  |                | -            | 0,85          | <b>0,0001</b> |
| 3    |             |              | -            | 0,13          |                |              | -             | <b>0,0001</b> |
| 4    |             |              |              | -             |                |              |               | -             |

## DISCUSSÃO

As condições limnológicas as quais *E. crassipes* foi submetida demonstraram ser favoráveis ao crescimento do vegetal. A faixa de temperatura ótima ao crescimento de *E. crassipes* está entre 20°C e 30°C (Reddy & Sutton, 1984), valores próximos aos obtidos neste experimento, da mesma forma, os valores de pH encontrados também foram muitos próximos ao pH ideal (7,0) para o crescimento do aguapé (Chadwick & Obeid, 1966).

As curvas de crescimento dos tratamentos 2 e 3 apresentaram-se semelhantes ao do tratamento 4. Provavelmente, as cargas de nutrientes obtidas no tratamento 2 já foram suficientes para o crescimento ótimo de *E. crassipes* nas condições limnológicas e climáticas encontradas neste trabalho.

O tratamento 1 apresentou a maior porcentagem de biomassa submersa em comparação com os demais tratamentos, o que confirma a hipótese de que em menores concentrações de nutrientes na água, maior é o investimento em produção de raízes de *E. crassipes* (Xie & Yu, 2003; Jayaweera & Kasturiarachchi, 2004).

O fluxo de água é o principal fator que regula o crescimento das plantas aquáticas submersas nos ambientes lóticos (Chambers *et al.*, 1991), já que correntezas moderadas facilitam o fornecimento de carbono, elemento essencial para a fotossíntese, para a superfície das folhas (Westlake, 1967). Provavelmente, a movimentação de água favorece as trocas de nutrientes nas raízes da macrófitas flutuantes, da mesma forma que facilita as trocas de gases nas folhas das macrófitas submersas. A correnteza proporciona aumento na disponibilidade de nutrientes por unidade de tempo (Calow & Petts, 1992), o que confirma a importância das cargas de nutrientes para o desenvolvimento das macrófitas aquáticas. Portanto, maior disponibilidade de nutrientes para as macrófitas aquáticas pode ser obtida com a elevação das concentrações de nutrientes ou com a movimentação da água. Maiores valores de biomassa de *E. crassipes* foram observados quando cultivadas em maiores concentrações de nutrientes (57,0  $\mu\text{gL}^{-1}$  de nitrato e 30,1  $\mu\text{gL}^{-1}$  de fósforo total dissolvido) (Henry-Silva *et al.*, 2002). Da mesma forma, maiores valores de biomassa e de nutrientes da macrófita aquática submersa *Potamogeton pectinatus* foram encontrados em velocidade de corrente moderada (Chambers *et al.*, 1991).

Os resultados corroboram a hipótese de que o crescimento de *E. crassipes* é maior em maiores cargas de nutrientes, já que os valores de capacidade suporte do tratamento 1 foram significativamente menores ( $P = 0,025$ ) que os valores do tratamento 4. De fato, valores semelhantes de biomassa de *E. crassipes* (aproximadamente 2  $\text{KgMS m}^{-2}$ ) foram obtidos quando submetidas a cargas médias de 0,033  $\text{mg min}^{-1}$  de fósforo total dissolvido e 0,158  $\text{mg min}^{-1}$  de nitrato (Henry-Silva & Camargo, 2008). Maior valor de capacidade suporte (60,84  $\text{gMS m}^{-2}$ ) de *Pistia stratiotes* foi observado quando a espécie foi cultivada nas maiores cargas de nutrientes, em um estudo velocidade de corrente (0,028  $\text{cm s}^{-1}$ ; 0,056  $\text{cm s}^{-1}$ ; 0,112  $\text{cm s}^{-1}$  e 0,223  $\text{cm s}^{-1}$ ) em efluentes de carcinicultura (Pereira, 2004).

No tratamento com as menores cargas de nutrientes (tratamento 1) os valores de estoque de NT e PT da biomassa do vegetal foram significativamente menores em

relação ao tratamento com as maiores cargas de nutrientes (tratamento 4). Menores valores de NT e PT da biomassa de *E. crassipes* foram observados quando cultivada em menores concentrações de nutrientes (5,0 mg L<sup>-1</sup> de N e 0,5 mg L<sup>-1</sup> de P) (Xie *et al.*, 2004). A influência das cargas de nutrientes também é evidenciada quando se observa a tendência de aumento de estoque de NT e PT de biomassa aérea, submersa e total com a elevação das cargas de nutrientes. Portanto, nas mesmas concentrações de nutrientes obteve-se valores diferentes de estoque de nutrientes na biomassa do vegetal em função das diferentes cargas de nutrientes as quais estes vegetais foram submetidos.

Conclui-se que a carga de nutrientes utilizada neste trabalho influenciou no crescimento e na composição química da biomassa de *E. crassipes*. Portanto, carga de nutrientes pode ser considerada um dos fatores que explicam a abundância de espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, consideradas exigentes nutricionalmente, em ambientes pobres em nutrientes.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agami, M. & Reddy, K.R. 1990. Competition for space between *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes* L. culture in nutrient-enriched water. **Aquatic Botany**. 38:195-208.
- Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Parkinson, J.A. & Quarmby, C. 1974. **Chemical analysis of ecological materials**. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 565p.
- Camargo, A.F.M, Pereira, L.A. & Pereira, A.M.M. 2002. Ecologia da bacia hidrográfica do rio Itanhaém (239-286). In: **Conceitos de bacias hidrológicas: teorias e aplicações** (Schiavetti, A. & Camargo, A.F.M.). 289
- Calow, P. & Petts, G.E. 1992. The rivers handbook: hydrological and ecological principles. Blackwell Science. Oxford. Vol. 1. 526p.
- Chadwick, M.J. & Obeid, M. 1966. A comparative study of the growth of *Eichhornia crassipes* Salms and *Pistia stratiotes* L. in water-culture. **Journal Ecology**. 54:563-575.
- Chambers, P.A., Prepas, E.E., Hamilton, H.R & Bothwell, M.L. 1991. Current velocity and its effect on aquatic macrophytes in flowing waters. **Ecological Applications**. 1:249-257.
- Golterman, H.L., Clymo, R.S. & Ohstad, M.A.M. 1978. **Methods for physical and chemical analysis of fresh waters**. 2 ed. Oxford: IBP. 213p. (Handbook 8).

- Henry-Silva, G.G., Camargo, A.F.M. & Pezzato, M.M. 2002. Effect of nutrient concentration on the growth of *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*. **Proceedings of the 11<sup>th</sup> EWRS International Symposium on Aquatic Weeds**. Moliets et Maâ (France). p. 147-150.
- Henry-Silva, G.G. & Camargo, A.F.M. 2008. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 37(2):\*\*\*-\*\*\*.
- Hoagland, D.R. & Arnon, D.I. 1950. The water culture method of growing plants without soil. **Calif. Agric. Exp. Stn. Circ.** University of California, Berkeley. p.347.
- Jayaweera, M.W. & Kasturiarachchi, J.C. 2004. Removal of nitrogen and phosphorus from industrial wastewater by phytoremediation using water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). **Water Science and Technology**. 50(6): 217-225.
- Klumpp, A., Bauer, K., Franz-Gerstein, C. & Menezes, M. 2002. Variation of nutrient and metal concentrations in aquatic macrophytes along the rio Cachoeira in Bahia (Brazil). **Environment International**. 28:165-171.
- Krebs, C.J. 1994. **Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance package**. Pearson Addison Wesley: 5<sup>th</sup> edition, p.816.
- Mackreth, F.J.H., Heron, J. & Talling, J.F. 1978. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. London Freshwater Biological Association. 121p. (Scientific Publication, 36).
- Madsen, T.V. & Sondergaard, M. 1983. The effects of current velocity on the photosynthesis of *Callitriche stagnalis* Scop. **Aquatic Botany**. 15:187-194.
- Madsen, T.V., Enevoldsen, H.O. & Jorgensen, T.B. 1993. Effects of water velocity on photosynthesis and dark respiration in submerged stream macrophytes. **Plant, Cell & Environment**. 16:317-322.
- Petrucio, M.M. & Esteves, F.A. 2000. Uptake rates of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. **Revista Brasileira de Biologia**. 60(2):229-236.
- Pereira, A.M.M. 2004. **Influência da velocidade de corrente no tratamento de efluentes de carcinicultura com a macrófita aquática *Pistia stratiotes***. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 44p.
- Power, P. 1996. Effect of current velocity and substrate composition on growth of Texas wildrice (*Zizania texana*). **Aquatic Botany**. 55:199-204.

- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. & Flannery, B.P. 1993. **Numerical recipes in C: the art of scientific computing**. Cambridge, Univ. Press, New York, 994p.
- Reddy, K.R. & DeBusk. 1984. Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water: I. water hyacinth, water lettuce, and pennywort. **Economic Botany**. 38(2): 229-239.
- Reddy, K.R. & Sutton, D.L. 1984. Waterhyacinths for water quality improvement and biomass production. **Journal of Environmental Quality**. 13:1-8.
- Westlake, D.F. 1967. Some effects of lowvelocity currents on the metabolism of aquatic macrophytes. **Journal of Experimental Biology**. 18:187–205.
- Xie, Y. & Yu, D. 2003. The significance of lateral roots in phosphorus (P) acquisition of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **Aquatic Botany**. 75:311-321.
- Xie, Y., Wen, M., Yu, D. & Li, Y. 2004. Growth and resource allocation of water hyacinth as affected by gradually increasing nutrient concentration. **Aquatic Botany**. 79:257-266.
- Zar, J.H. 1999. **Biostatistical analysis**. 4<sup>o</sup>Edition. Prentice-Hal Inc. New Jersey, USA.