



Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Biológicas  
Departamento de Biologia Geral



**Programa de Pós-Graduação em:  
ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE**



***Utricularia foliosa* L. 1753: PRODUÇÃO PRIMÁRIA SOB EFEITO DE ENRIQUECIMENTO E AUMENTO DE TEMPERATURA, E INVESTIMENTO EM BIOMASSA.**

**Marcela Camargo Matteuzzo**

**Orientadora: Paulina Maria Maia Barbosa  
Co-orientador: Francisco A. R. Barbosa**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Belo Horizonte  
Junho de 2008.**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Biológicas  
Departamento de Biologia Geral

**Programa de Pós-Graduação em:  
ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE**

***Utricularia foliosa* L. 1753: PRODUÇÃO PRIMÁRIA SOB EFEITO DE  
ENRIQUECIMENTO E AUMENTO DE TEMPERATURA, E INVESTIMENTO EM  
BIOMASSA.**

**Marcela Camargo Matteuzzo**

Orientadora: *Paulina Maria Maia Barbosa*  
Co-orientador: *Francisco A. R. Barbosa*

Apoio Institucional:



Financiamento:



**Belo Horizonte  
Junho de 2008.**

### ***Essência***

*O que são as flores  
Senão elas mesmas:  
Anônimas.*

*Fito as flores.  
Meu ocidentalismo doentio  
Requer-me logo os nomes*

### ***A posse***

*No quintal de casa  
Descobri uma flor,  
Inédita!*

*Dei-lhe logo um nome  
(derivado do meu)*

*(In: poesias)  
Anderson de Moura Freitas*

*À humanidade.*

*Que eu nunca me contradiga  
me calando ao sedento de conhecimento  
e de diversidade de pensamentos.  
Pois cada um conhece um mundo,  
e assim eu também sou, conheço um só meu  
e quero conhecer um pouco do seu!*

## AGRADECIMENTOS

- À Paulina, por confiar em meu trabalho. Ao Francisco Barbosa pelo apoio institucional e dicas importantes para o meu trabalho.
- Aos amigos do PERD: Marcos Vinícius, Rangel, Canela, Naná, Tião, secretárias e todos os demais funcionários aqui não citados.
- Aos profissionais da área que receberam meus e-mails e responderam com informações preciosas para a realização deste trabalho. Ao professor Millor/Unileste pelo apoio laboratorial e de sua equipe. Especial ao professor Sidinei Thomaz, por sempre estar disponível em tirar dúvidas e dar sugestões.
- À Luciana Barbosa, companheira no campo e de cálculos estequiométricos, e todos da equipe PELD-Rio Doce, professores, alunos e pesquisadores.
- À Sylvia Meyer pelo apoio e abertura de sempre. Pelo voto de companheirismo profissional e simpatia. Ao Pedralli, por me iniciar no estudo das macrófitas aquáticas.
- À Dodora, pela oportunidade de voltar a trabalhar e residir em Minas Gerais, e crer no meu perfil, além de todos envolvidos no Projeto Minhocuçu: Lívia, Carol, Silvia, Artur, Marlene, Viviane, Beatrix, Maria Raquel, minhoqueiros, comerciantes e moradores de Pontinha, pelo grande aprendizado.
- Aos amigos da Escola Superior em Meio Ambiente/Iguatama pelo ensinamento da “sala de aula”. Especial a todos os meus ex-alunos pelas boas conversas e questionamentos, ao amigo Xikuta pelo apoio de sempre.
- Aos colegas e amigos do Curso de Campo do Pantanal/UFMS, pelo “mosaico cultural” e experiência única. Ao estudante “Japa” de odontologia que costurou meu pé no incidente das palafitas, senão eu não teria mais sangue! E aos minhocuços que lá estavam, pelas boas risadas que promoveram!
- À Vali Joana Pott, pela conferência e identificação de espécies de Utricularias do Rio Doce.
- À Lorena Oporto, pelo acolhimento em sua casa, e pelo ensinamento da estatística necessária para o desenvolvimento deste trabalho.
- À Carmencita, Susie, Grazi e Vivi, pelo silêncio, pela companhia harmoniosa em nosso lar, com aspecto familiar, e pelas refeições regadas em temperos guatemaltecos acompanhadas de boas conversas de cunho freudiano e espirituais. E por me “mandarem ir correr”!
- A todos do laboratório do prof. Parentoni, por me deixarem sempre à vontade.
- Aos amigos do mestrado, principalmente à Dedé, por me receber de braços abertos diante de tão pouca convivência e pela fé pura na cumplicidade feminina.
- Aos amigos tradutores (ou amadores!), pela força no inglês. E aos revisores.
- Aos familiares: pai, mãe, irmãos e “anexos”, pela vida em família deliciosa nos curtos momentos que nós compartilhamos.
- Ao meu companheiro Thiago Metzker, por acreditar que a imaginação e o desejo são os primeiros passos para que a conspiração do universo se realize.
- Aos mistérios do Universo, que me instigam a viver, sentir, percorrer os mundos físico, mental e espiritual, na busca íntima e infinita.
- Aos não citados aqui, meu muito obrigada!

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	5
RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE TABELAS .....	10
INTRODUÇÃO .....	11
Hipóteses .....	16
Objetivos .....	17
MATERIAL E MÉTODOS .....	18
Área de estudo .....	18
Os bancos de <i>Utricularia foliosa</i> .....	20
Sobre <i>Utricularia foliosa</i> .....	23
Desenho experimental .....	24
Montagem do experimento .....	24
Temperaturas utilizadas .....	25
Condições nutricionais .....	26
Experimento piloto para tempo de incubação .....	27
Estimativa da produtividade primária .....	28
Investimento em biomassa .....	30
Análise estatística .....	30
RESULTADOS .....	31
Experimento .....	31
Investimento de <i>Utricularia foliosa</i> em biomassa .....	36
DISCUSSÃO .....	38
Frascos controles .....	38
Produção primária de <i>Utricularia foliosa</i> .....	38
O efeito do aumento de temperatura .....	40
Investimento em biomassa .....	41
CONCLUSÃO .....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44

## RESUMO

Os estudos de produção primária em lagos são importantes, pois permitem conhecer o metabolismo do sistema aquático, bem como a entrada de energia e as influências nos ciclos de carbono e outras variáveis limnológicas. As condições abióticas dos lagos vêm mudando em decorrência das alterações antropogênicas do último século principalmente no que diz respeito à poluição das águas pelo incremento de nutrientes e às alterações climáticas, acarretando impactos nas comunidades aquáticas. Com o objetivo de avaliar a produção primária de uma macrófita aquática submersa livre componente da biota do Lago Dom Helvécio (Parque Estadual do Rio Doce), a espécie *Utricularia foliosa* Linnaeus 1753 foi submetida a diferentes condições de trofia e temperatura. A temperatura foi estabelecida segundo a previsão para o Leste Mineiro (CPTEC/INPE) para o período de 2071 a 2100, baseado no cenário A2 do IPCC. O presente estudo traz as primeiras informações a respeito de possíveis alterações na produtividade das plantas de um ecossistema lêntico como o Lago Dom Helvécio, no caso de mudanças nestes fatores ambientais. Esta espécie é de grande porte e possui extensa interação com outros organismos aquáticos, como o plâncton (predação) e o perifítion (habitat e competição por luz). Foi também investigado o padrão de investimento em biomassa por estrutura vegetal de *U. foliosa*, comparado com outras espécies de utriculárias aquáticas. Os resultados mostram que a temperatura é a variável mais importante para a produtividade a qual a macrófita está submetida, quando comparada ao incremento de nutrientes na água. O efeito da temperatura, cuja previsão do clima pode subir 4°C até o final do século, somada à maior temperatura encontrada comumente em todos os anos do monitoramento PELD-Rio Doce (1999-2006), afetaria negativamente a produtividade da macrófita. Nessa condição a produção primária líquida diminuiu significativamente, enquanto o consumo de oxigênio por meio da respiração aumentou. Quanto à biomassa, *U. foliosa* teve a razãoutrículos/folhas considerada alta (0,53) em relação às outras espécies do mesmo gênero, com exceção de *U. vulgaris*. *U. foliosa* possui ainda maior investimento emutrículos entre as espécies, podendo ter papel importante no controle das comunidades planctônicas.

Palavras-chave: *Utricularia foliosa*, produção primária, macrófita aquática, aquecimento global, mudanças climáticas, biomassa e Lago Dom Helvécio, PERD.

## **ABSTRACT**

Primary production studies in lakes are important because they allow one to understand the aquatic system metabolism through the measurement of the major input of energy arriving to the ecosystems and that influences directly the carbon cycle and other limnological variables. Abiotic conditions of lakes have been changing due to anthropogenic actions specially regarding to water pollution by addition of nutrients and climate changes, resulting in impacts on the aquatic communities. Aiming to evaluate the primary production of a free, submerged macrophyte of Dom Helvécio Lake (Rio Doce State Park) *Utricularia foliosa* (Linnaeus 1753) was submitted to different trophy conditions and temperature considering the IPCC-A2 forecasts for the period 2071 to 2100 for the Eastern part of the state of Minas Gerais. This study provides the first information regarding to possible changes of plant productivity within lentic ecosystems in Brazil. The studied species is formed of big individuals exhibiting wide interaction with other aquatic organisms, such as zooplakton (predation) and periphyton (habitat and light competition). The study investigated the pattern of investment in biomass for each vegetal structure of *U. foliosa* comparing to other species of *Utricularia*. The results showed that temperature is the most important variable, comparing to the addiction of nutrients in the water. The effect of temperature, supposed to rise up to 4°C until the end of the century would decrease this species net productivity as a result of increasing oxygen consumption due to high respiration rates. Such as recorded for *U. foliosa* biomass the bladders/sheets ratio was considerably high (0.53) when compared to other *Utricularia* species. Moreover, *U. foliosa* demonstrated even more investment on bladders between species, developing an important role on the control of plankton communities.

Keywords: *Utricularia foliosa*, primary production, aquatic macrophyte, global warming, climate change, biomass, Dom Helvécio Lake.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formas biológicas (hábito) das macrófitas: 1) anfíbia. 2) emergente. 3) flutuante fixa. 4) flutuante livre. 5) submersa fixa. 6) Submersa livre. 7) epífita. Fonte: Pott & Pott (2000) .....	12
Figura 2: Localização do Parque Estadual do Rio Doce, no Leste Mineiro. Em destaque o Lago Dom Helvécio. Fonte: CDBrasil/Embrapa acessado em 10/2007. ....	19
Figura 3. Índice de Estado Trófico baseado nas concentrações de fósforo total, PO <sub>4</sub> , profundidade do Secchi e Chl-a no lago Dom Helvécio no período de 2000 a 2006. Figura de Barbosa (em prep.) baseado nos modelos simplificados para avaliação da eutrofização em lagos de Toledo <i>et al.</i> , 1984. ....	20
Figura 4: Lago Dom Helvécio com a localização dos bancos de <i>U. foliosa</i> (de 1 a 7). Figura modificada de Miranda & Coutinho (2004). ....	20
Figura 5: a) indivíduo retirado da água deixando à mostra as partes folhosas (cor verde) e utriculadas (cor vinho). b) indivíduos submersos com suas flores amarelas emersas. ....	24
Figura 6: Procedimento de limpeza e corte de fragmento de <i>Utricularia foliosa</i> utilizada na incubação: A) retirada do perifítón com auxílio de pincel e água destilada; B e C) corte do folíolo. ....	25
Figura 7: Variações nas concentrações de oxigênio dissolvido em diferentes tempos (h) de incubação de <i>U. foliosa</i> . ....	28
Figura 8: Incubação dos frascos realizada em duas etapas. Esta representa a incubação à 27°C, que foi repetida à 37°C. Em (a) frascos representando condições oligotrófica, mesotrófica e eutrófica em cada prateleira. Em (b) detalhe dos frascos em réplicas sem macrófita (controle – nano e picoplâncton), e frascos em tréplicas com macrófita. Ao fundo estão os frascos escuros em sacos de pano preto.....	29
Figura 9. Comparação das variações da PPL (mg C.gPS <sup>-1</sup> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> ) de <i>U. foliosa</i> em cada um dos tratamentos (trofia e temperatura).....	32
Figura 10: Diferenças significativas entre a PPL dos tratamentos oligotrófico à 27°C e oligotrófico à 37°C. ....	33
Figura 11: Variação da PPB (mg C.gPS <sup>-1</sup> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> ) entre cada tratamento (trofia e temperatura) testado para <i>U. foliosa</i> . ....	33
Figura 12: Variações da respiração (mg O <sub>2</sub> .g <sup>-1</sup> .L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> ) de <i>U. foliosa</i> nos diferentes tratamentos e temperaturas (a). Em (b): diferenças significativas entre a respiração nos tratamentos oligotrófico à 27°C e oligotrófico à 37°C. ....	34
Figura 13: Em (a) PPL de <i>U. foliosa</i> em temperaturas de 27°C e 37°C. Em (b) R de <i>U. foliosa</i> em temperaturas de 27°C e 37°C. Em (c) PPB de <i>U. foliosa</i> em temperaturas de 27°C e 37°C.....	36
Figura 14: Investimento de biomassa em cada estrutura vegetal de cinco indivíduos de <i>U. foliosa</i> . Em (a) o investimento em gramas (peso seco) por estrutura vegetal/por indivíduo amostrado e em (b) o investimento por estrutura vegetal em porcentagem de biomassa.....	37

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Localização e estimativa da área dos bancos de <i>U. foliosa</i> no Lago Dom Helvécio em julho de 2007 .....	21
Tabela 2: Média das temperaturas anuais ( $^{\circ}\text{C}$ ) registradas no primeiro metro de profundidade do Lago Dom Helvécio (PERD-MG), durante o período de 1999 a 2006.....	26
Tabela 3. Valores de produção primária líquida (PPL) e produção primária bruta (PPB) em $\text{mg C.gPS}^{-1}.\text{m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ , e de respiração (R) em $\text{mg O}_2.\text{g}^{-1}.\text{L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , obtidos para <i>Utricularia foliosa</i> submetida a três condições de trofia e duas temperaturas.....	31
Tabela 4: Investimento em biomassa (gramas e %) por <i>U. foliosa</i> , para cada estrutura vegetal.....	36

## INTRODUÇÃO

O estudo da produtividade primária de uma área pode fornecer informações sobre a entrada de carbono e energia nos ciclos naturais, no caso de ambientes terrestres (Daoust & Childers, 1998) e também em ambientes aquáticos onde promovem alterações das variáveis abióticas, como as concentrações de oxigênio dissolvido na zona eufótica (Esteves, 1998).

Pesquisas sobre medidas de produtividade em comunidades aquáticas foram primeiramente compiladas por Verduin (1950). Ele utilizou conhecimentos de Osterhout & Haas (1918), Moore (1939), Riley (1940) e Welch (1948) para discutir a melhor forma de expressar a produção do fitoplâncton, afirmando ser adequado as unidades de produção primária por volume de água.

A comunidade fitoplanctônica foi considerada por muito tempo a maior responsável pelo incremento de matéria orgânica em sistemas aquáticos, principalmente nas regiões temperadas (Santos, 2004). Mais tarde foi comprovado que macrófitas aquáticas eram mais produtivas que o fitoplâncton em alguns ecossistemas (Moss, 1980; Wetzel, 1983; Moschini-Carlos *et al.*, 1993; Esteves, 1998). Em estudos como o de Vis *et al.* (2007) no sistema de águas correntes e áreas alagadas do Rio St. Lawrence (Canadá), o fitoplâncton contribuiu com 34% da produção primária medida, as macrófitas submersas com 27% e as emergentes com 23%. Segundo Moss (1980) e Calow & Petts (1992), as macrófitas emergentes são mais produtivas, seguidas das macrófitas flutuantes livres e das submersas fixas.

Diante destes trabalhos observa-se, de um modo geral, uma ordem decrescente de produtividade primária referente às formas biológicas (Fig 1) das macrófitas.

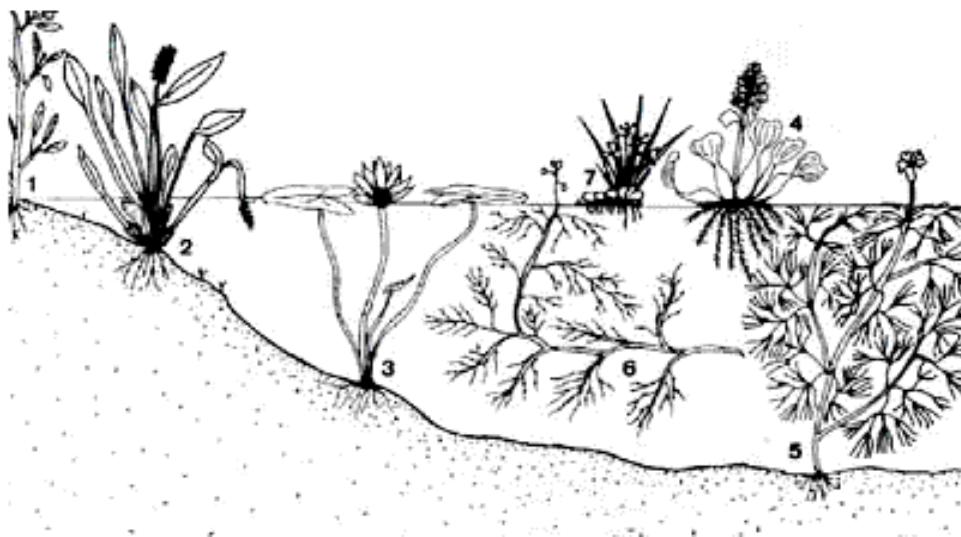


Figura 1: Formas biológicas (hábito) das macrófitas: 1) anfíbia. 2) emergente. 3) flutuante fixa. 4) flutuante livre. 5) submersa fixa. 6) Submersa livre. 7) epífita. Fonte: Pott & Pott (2000).

As emergentes, por exemplo *Eleocharis interstincta*, contam com os nutrientes do sedimento e luz solar direta nas porções fotossintetizantes emersas. As flutuantes fixas, por exemplo *Nymphaea elegans*, assim como as emergentes, se beneficiam dos nutrientes do sedimento e da luz solar, porém seus estolões não apresentam tecidos densamente clorofilados (verdes), e por esta razão produzem menos que as emergentes. As flutuantes livres, por exemplo *Eichhornia crassipes*, se beneficiam da exposição à luz solar, mas dependem das concentrações de nutrientes dissolvidos na água. Em ambientes eutrofizados esta espécie é altamente produtivo, sendo que sua biomassa pode duplicar entre 7,2 e 10 dias (Camargo *et al.*, 2003).

As submersas são restritas em relação à radiação subaquática, seja pela refração da luz, ou por outros fatores como a turbidez, profundidade ou cobertura por outras macrófitas na superfície. Além disso as submersas enraizadas, como a espécie *Egeria densa*, tem maior disponibilidade de nutrientes por absorvê-los do sedimento, do que as submersas livres, como a espécie *Utricularia foliosa*, que absorvem nutrientes somente da água. Entretanto, deve ser levado em consideração o estado trófico do corpo d'água e o porte da macrófita.

A distribuição de macrófitas no ambiente é determinada principalmente pelas condições abióticas, como a luz e a profundidade (Moss, 1980). Titus & Stone (1982), Hough & Fornwall (1988), Feijoo *et al.* (1996), Carr & Chambers (1998), Sand-Jensen (1998), Petrucio & Esteves (2000), Champion & Tanner (2000), Pierini & Thomaz (2004), e Thomaz *et al.* (2007), mostraram que a produção primária é afetada por fatores limitantes, entre eles, os nutrientes (nitrogênio e fósforo), condições de temperatura, luz, pH, condutividade, carbono inorgânico disponível, velocidade da água e retenção de sedimentos.

As alterações antropogênicas do último século, principalmente aquelas que contribuíram com um incremento de nutrientes nos ambientes aquáticos, modificaram a qualidade das águas, com reflexos sobre as comunidades que viviam nestes ambientes (Cruz *et al.*, 1996; Garcia *et al.*, 2002; Prado & Novo, 2007; Maia-Barbosa *et al.*, em prep.). Além destas, o aumento previsto para a temperatura global, e os possíveis efeitos sobre a dinâmica dos ambientes naturais, entre eles o ambiente aquático, tornaram-se, atualmente, objeto de estudos (p. ex. Sand-Jensen & Pedersen, 2005).

No século XX os ecossistemas anteriormente equilibrados e pouco destruídos transformaram-se em ecossistemas altamente degradados, principalmente pelo crescimento populacional mundial, pelos países regidos por modelos de desenvolvimento econômico que incluem muitas atividades extrativistas e pelo uso e ocupação desordenada do solo.

Tendo por fundamento que os ecossistemas são sustentados pelas bases abióticas sobre as quais evoluíram, alterações nestas podem trazer modificações nas comunidades biológicas com consequências em diferentes escalas, destacando-se a perda da estabilidade das florestas, o empobrecimento dos solos, o enriquecimento dos corpos d'água por resíduos orgânicos e não orgânicos, as alterações nos ciclos

hidrológicos, a perda da biodiversidade e as mudanças climáticas (Fearnside, 2002; Rambaldi *et al.*, 2003; Rocha *et al.*, 2007; Barbosa & Peixoto, 2007).

As evidências obtidas por meio de observações em todos os continentes, e na maior parte dos oceanos, indicam que muitos sistemas naturais estão sendo afetados pelas mudanças climáticas regionais, principalmente pelos aumentos de temperatura. Para os lagos foi previsto, por exemplo, alterações na estrutura térmica e na qualidade da água, além dos níveis de oxigênio e circulação, causando aumento nas densidades de algas e zooplâncton (IPCC WG II, 2007).

As projeções do aquecimento para o Leste Mineiro, segundo modelos regionais para cenário de altas emissões (A2) divulgados no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em 2007, determinadas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), estão na ordem de 4°C para o período de 2071 a 2100.

O trabalho de Maia-Barbosa *et al.* (em prep.) analisando dados compilados de estudos realizados em 1978 e 1998 e durante o período de 2000 a 2006 no Lago Dom Helvécio (PERD-MG), sugere que o aumento das concentrações de fósforo, nitrogênio e da condutividade, a diminuição da profundidade do disco de Secchi e as mudanças nas comunidades do fito e zooplâncton, entre outras características, se devem não só à ação antropogênica, como também ao efeito de mudanças climáticas em acontecimentos naturais, como o El Niño. Naquele trabalho nenhuma avaliação foi feita sobre os efeitos na comunidade de macrófitas aquáticas.

Apesar da importância das macrófitas para a dinâmica dos ecossistemas aquáticos, informações sobre respostas desta comunidade às alterações antropogênicas ainda são escassas. Alguns estudos procuraram demonstrar, por exemplo, os efeitos do enriquecimento sobre esta comunidade. Carignan & Kalff (1980) demonstraram que o sedimento é a principal fonte de fósforo (P) para as macrófitas

enraizadas. No entanto, quando em ambientes hipertróficos, a água também passa a funcionar como fonte deste nutriente, que é absorvido pelas folhas. Chambers & Prepas (1989) e Madsen & Cedergreen (2002) confirmaram que as raízes são as principais vias de absorção de nitrogênio (N) e P, contudo, as folhas e/ou brotos podem assimilar os nutrientes em água com altas concentrações de N e P. Petrucio & Esteves (2000) utilizando macrófitas flutuantes livres mostraram que as taxas de assimilação de N e P foram alteradas, com redução na absorção quando níveis altos de nutrientes foram utilizados. Thomaz *et al.* (2007) mostraram uma relação positiva entre disponibilidade de nutrientes e taxa de crescimento da espécie *Egeria najas*, embora a redução de N e P em água não seria suficiente para controlar o crescimento da macrófita.

Considerando que o lago Dom Helvécio apresenta diversos bancos de macrófitas e que as informações sobre esta comunidade ainda são escassas para este lago, a seleção da macrófita foi feita após consulta a relatório técnico (Santos, 2005) e trabalhos acadêmicos (Tavares, 2003; Ferreira, 2005) seguido de um levantamento prévio no Lago Dom Helvécio com o objetivo de avaliar a representatividade das espécies nos bancos e conhecer aquelas potenciais a serem utilizadas na fase experimental do presente estudo.

Assim foi determinada a forma biológica da macrófita a ser estudada, livre (não enraizada) e submersa, garantindo a absorção de nutrientes diretamente da água, e permitindo a manipulação de fragmentos fotossintetizantes que seriam mantidos imersos em frascos tampados para a fase experimental. A espécie escolhida para o experimento foi *Utricularia foliosa* L. 1753, que possui ampla distribuição na América do Sul (Taylor, 1989; Pompêo & Moschini-Carlos, 1997).

*Utricularia foliosa* mantém complexa interação ecológica com a comunidade planctônica, perifítica e de peixes. Exemplos de interações são relatados em Dibble *et*

*al.* (2006) os quais demonstraram a importância da complexidade espacial de *U. foliosa* como habitat potencial e local de forrageamento de pequenos organismos. Sua complexidade favorece a presença de alta diversidade de organismos, inclusive aqueles capturados por *U. foliosa*: Cladocera, Copepoda, Rotifera, Chironomidae, Nematoda, Protozoa, Annelida, Arthropoda, Cyanophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, bactérias, esporos de fungos, além de larvas de insetos e até de alevinos (Pompêo & Bertuga, 1996; Eskinazi-Sant'Anna *et al.*, 2002). Desses, os rotíferos sésseis, os cladóceros, o perifiton e o fitoplâncton demonstram preferência por complexidade arquitetônica de macrófitas (Duggan, 2001; Kuczynska-Kippen & Nagengast, 2006), e aquela oferecida especificamente pela espécie *U. foliosa* (Dibble *et al.*, 2006; Sanabria-Aranda *et al.*, 2006; Díaz-Olarte *et al.*, 2007).

Espécies de *Utricularia* apresentam uma relação mutualística entre a planta e os organismos associados (Richards, 2001). A complexidade da interação entre espécies de *Utricularia* e o perifítion, o zooplâncton e outros organismos aquáticos caracteriza-os como um ecossistema consistente, cujo comportamento ecossistêmico emerge do comportamento coletivo entre os organismos associados (Bosselman, 1983). A complexidade deste ecossistema foi considerada intensa tanto quanto as florestas clímax e recifes de corais (Bosselman *op cit.*).

Desta forma, o presente estudo avaliou as respostas de *Utricularia foliosa* em termos de produção primária e respiração, sob diferentes condições de enriquecimento com N e P e de temperatura.

## Hipóteses

- 1) A produção primária (bruta e líquida), aumenta com o aumento do grau de trofia;
- 2) A produção primária (bruta e líquida) diminui com o aumento da temperatura previsto para o final do século;

- 3) A respiração da comunidade de macrófitas aumenta com o aumento da temperatura previsto para o final do século;
- 4) O investimento em biomassa por estrutura vegetal se dá de forma proporcional, independente do tamanho do indivíduo.

## **Objetivos**

- Avaliar os efeitos do enriquecimento com N e P, e do aumento da temperatura sobre a produção primária e respiração de *U. foliosa*;
- Estimar a produção primária de *U. foliosa* sob diferentes condições de trofia e de temperatura;
- Determinar sob que condições de trofia e de temperatura a capacidade fotossintética e a produção primária de *U. foliosa* são alteradas de forma significativa;
- Quantificar a biomassa investida nas estruturas vegetais: fotossintéticas, utriculadas, inflorescências/infrutescências, brotos e talo dos indivíduos amostrados e avaliar se existe um padrão no investimento de biomassa em cada porção da planta.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O Parque Estadual do Rio Doce, maior remanescente contínuo de Floresta Atlântica do Estado de Minas Gerais, com 35.976,43 ha, está entremeado por um sistema composto por cerca de 130 lagos nos mais variados estágios de sucessão (Barbosa & Moreno, 2002), que representam 6% da área total do parque (IEF, 1994). A precipitação média para a região é de 1.500 mm anuais, com máxima em dezembro, e mínima em julho (Barbosa & Moreno, *op. cit.*), e a altitude varia de 230 a 515 metros (CETEC, 1981).

Dados obtidos através do monitoramento realizado pelo projeto de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD/UFMG) entre os anos de 1999 e 2006 mostraram que o Lago Dom Helvécio (UTM SAD 69: 23K 0752642/7811375, 253 m.s.n.m.), em termos de trofia, pode ser classificado como oligotrófico segundo índice de Carlson modificado (Toledo *et al.*, 1984) e oligotrófico com períodos de mesotrofia segundo índice proposto por Sallas & Martino (1991). O lago apresenta estratificação térmica durante a maior parte do ano, com um curto período de circulação no inverno (Barbosa & Tundisi, 1980).

Este lago, considerado o “cartão-postal” do Parque Estadual do Rio Doce (Fig. 2), foi escolhido para este estudo por ser o único lago aberto ao público, contando com estrutura para acampamento, hospedagem e área de churrasqueira. Apesar de apresentar uma área de 6,872 Km<sup>2</sup>, 45 Km de perímetro e 32,5m de profundidade máxima (Matsumura-Tundisi & Tundisi, 1995; Tavares, 2003), constituindo o lago de maior lâmina d’água dentre todos já estudados na área, a expansão e intensificação do turismo poderão contribuir para alterações da qualidade de suas águas, principalmente pelo acréscimo de nutrientes no lago.

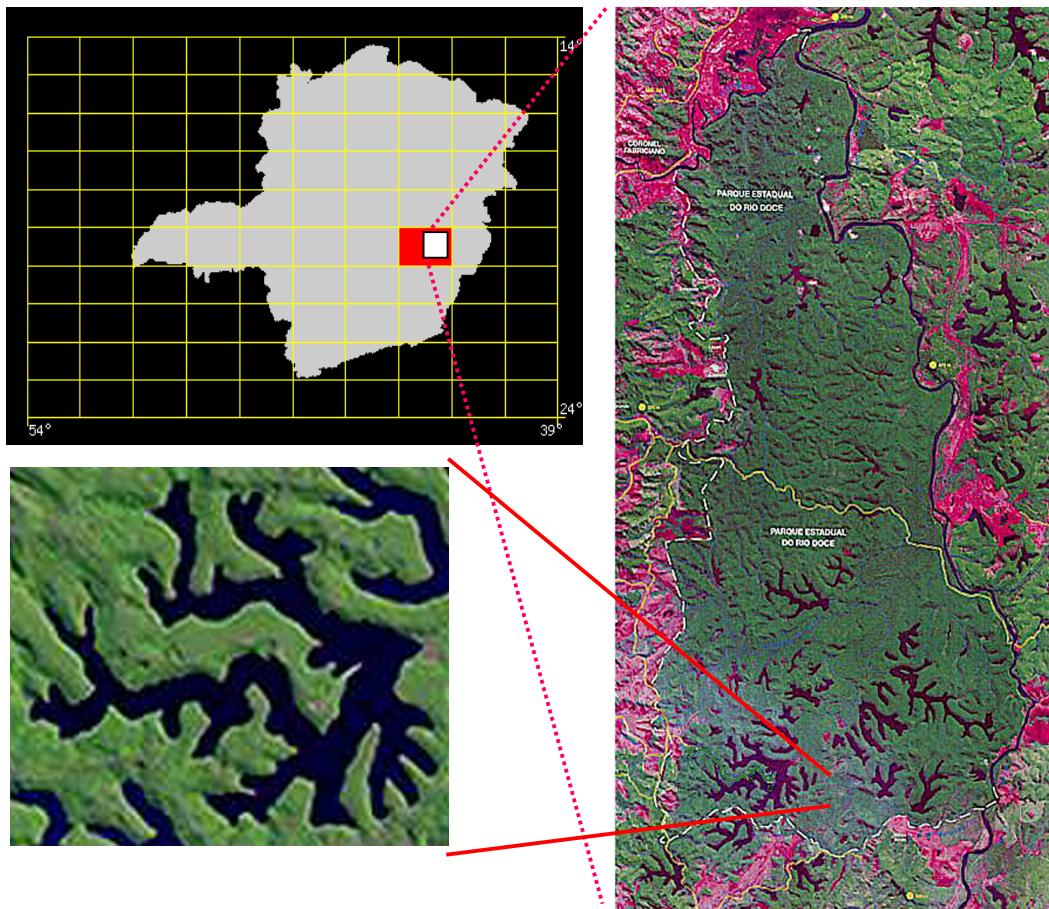


Figura 2: Localização do Parque Estadual do Rio Doce, no Leste Mineiro. Em destaque o Lago Dom Helvécio. Fonte: Miranda & Coutinho (2004) acessado em 10/2007.

Embora em alguns períodos o Lago Dom Helvécio possa apresentar características mesotróficas, principalmente pelas concentrações de fósforo total, no geral é classificado como oligotrófico, segundo os índices de Carlson, modificado de Toledo *et al.* (1984), e o de Sallas & Martino (1991) (Relatórios técnicos do Programa PELD-Rio Doce, não publicados). Pela figura 3 observa-se que no mês de agosto, mesmo período da realização deste estudo, dos sete anos monitorados, o lago Dom Helvécio comportou-se como oligotrófico em seis deles. Por isso, para o experimento de enriquecimento, a água do lago foi utilizada para a condição oligotrófica, e nesta foram adicionados nutrientes para simular as condições mesotróficas e eutróficas.

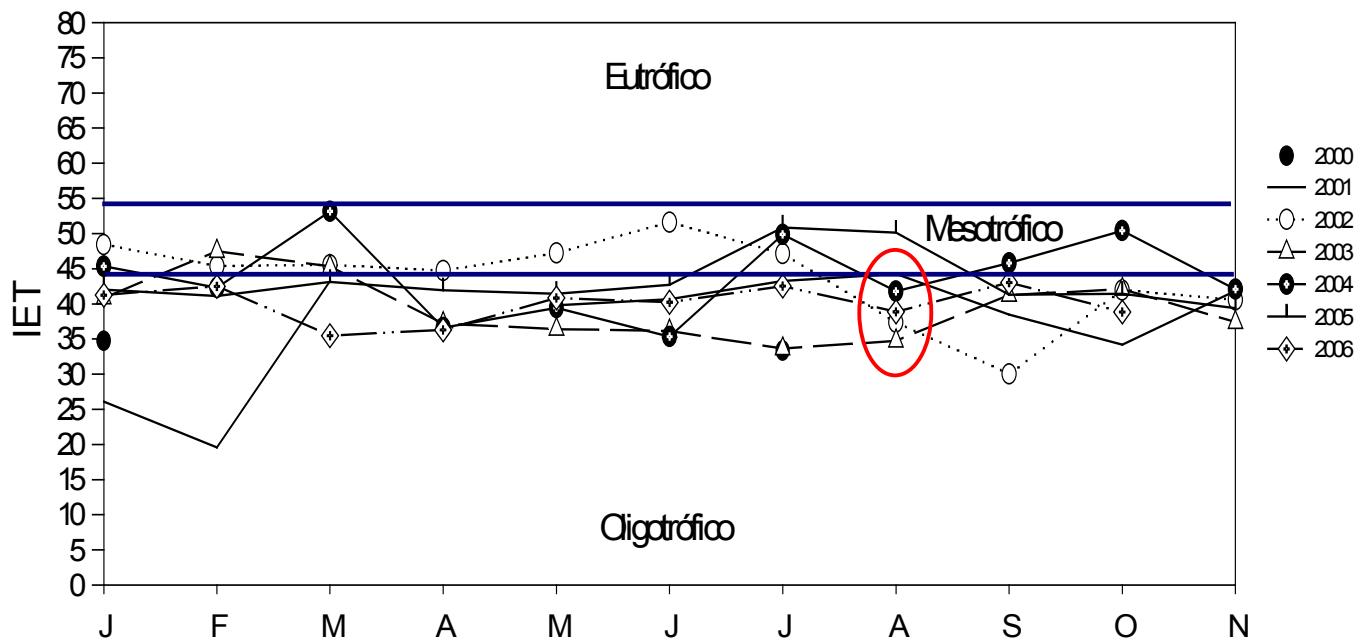


Figura 3. Índice de Estado Trófico baseado nas concentrações de fósforo total, PO<sub>4</sub>, profundidade do Secchi e Chl-a no lago Dom Helvécio no período de 2000 a 2006. Figura de Barbosa (em prep.) baseado nos modelos simplificados para avaliação da eutrofização em lagos de Toledo *et al.*, 1984.

### Os bancos de *Utricularia foliosa*

Todo o perímetro do Lago Dom Helvécio foi percorrido com barco motorizado e os bancos de *U. foliosa* encontrados tiveram sua área de cobertura estimada e sua posição geográfica registrada em UTM-SAD 69 por meio de GPS eTREX Garmin. Foram identificados sete bancos de *U. foliosa* (Fig. 4 e Tab. 1).



Figura 4: Lago Dom Helvécio com a localização dos bancos de *U. foliosa* (de 1 a 7). Figura modificada de Miranda & Coutinho (2004).

Tabela 1. Localização e estimativa da área dos bancos de *U. foliosa* no Lago Dom Helvécio em julho de 2007.

Banco	Área de superfície estimada (m <sup>2</sup> )	Profundidades (m) mín-máx ou média	Georreferência (UTM-SAD 69)
1	387,5	1,00-1,60	23K 0752642 / 7811375
2	462,5	1,60-1,75	23K 0749217 / 7811975
3	1110	1,20-2,05	23K 0750412 / 7809915
4	1425	0,40-1,40	23K 0749200 / 7812018
5*	25	1,3	23K 0748551 / 7810797
6*	10	1,4	23K 0748908 / 7810600
7*	15	1,5	23K 0749739 / 7810818

\* ocorrência esporádica

Os bancos floridos e frutificados, entre eles os de número 1, 2, e 3, encontravam-se mais expostos à radiação subaquática, por ocorrerem em área com menor sombreamento florestal do entorno (margens) e com menos partículas em suspensão. A profundidade na área dos bancos variou de 1,0 a 2,0 m. O banco de número 1 apresentou um grande mosaico de flores emersas de *U. foliosa* e *Nymphaea elegans*. Neste, uma porção da população de *U. foliosa* tinha seus ramos folhosos sombreados pelas folhas de *N. elegans*, podendo promover competição por luz e ainda reduzir a taxa relativa de crescimento dessas macrófitas (Larson, 2007).

Os bancos 2 e 3 apresentaram homogeneidade em sua composição, estando *Eleocharis interstincta* na porção mais rasa e bem delimitada e logo depois *U. foliosa* povoava o espaço aberto até a profundidade máxima de 2 m.

Todos estavam floridos, com exceção de um, encontrado na região do lago denominada “Braço Escuro” (Banco 4). Os bancos de número 5, 6 e 7 apresentaram ocorrência esporádica, sem presença de flores.

No Braço Escuro o banco 4 apresentou duas diferenças em relação aos outros bancos: a) os indivíduos eram menores em comprimento e estavam intensamente cobertos por perifítion e b) nenhum dos indivíduos estava florido. Caracterizou-se por apresentar uma região litorânea de maior extensão e menor declividade. Devido à sua

pequena profundidade (0,4 m), essa região encontrou-se povoada por macrófitas emergentes, entre elas as espécies *Typha domingensis*, *Eleocharis interstincta* e diversa comunidade de Poaceae. A sucessão já permite o estabelecimento de cecropias em meio ao banco de *T. domingensis*. Nitidamente observaram-se muitas partículas em suspensão deixando a água mais turva, e a espécie *U. foliosa* coberta por perifítom. O Braço Escuro é estreito, e sua geografia ocasiona maior sombreamento nos bancos de macrófitas pela cobertura florestal das margens.

A intensa cobertura por perifítom nos ramos folhosos pode conferir competição por luz e é resultante da disponibilidade de nutrientes no ambiente (Díaz-Olarte *et al.*, 2007). Entretanto, a maior colonização do perifítom pode vir a intensificar a eficácia da predação já que a abundância e a riqueza de organismos zooplânctônicos e de macroinvertebrados favorecem *U. foliosa* no seu sucesso de captura (Harms & Johasson, 2000; Richards, 2001; Sanabria-Aranda *et al.*, 2006; Diáz-Olarte, 2007) que é ainda auxiliada pela função das antenas e cerdas dosutrículos, cujos tamanhos se manifestam em função do ambiente (Meyers & Strickler, 1979; Manjarrés-Hernández *et al.*, 2006; Sanabria-Aranda *et al.*, 2006), juntamente com a seleção de presas em função da abundância (Harms & Johansson, 2000).

O Braço Escuro apresenta águas com menor intensidade de circulação, muitas partículas em suspensão e, devido à pequena profundidade e intensa colonização por macrófitas, provavelmente local de acúmulo de ácidos húmicos decorrentes de decomposição de matéria orgânica (Ferreira, 2005), que podem ser responsáveis por aumento da acidez e da condutividade, e que segundo Guisande *et al.* (2000) a alta condutividade induziria *Utricularia* à diminuição de investimento em predação.

Outro padrão de predação observado em *Utricularia* foi apresentado por Kibriya & Jones (2007) e mostra investimento inversamente proporcional à disponibilidade de fósforo. Reforçado pelo estudo de Sirová *et al.* (2003) a enzima mais ativa nosutrículos

de *U. foliosa* é a fosfatase. Supõe-se pelos estudos citados, que o fosfato seja o composto mais importante a ser adquirido através dos utrículos. Outros estudos mostram que a carnívoria em *Utricularia* é essencial para a aquisição de compostos necessários à floração (Pringsheim & Pringsheim, 1962). *Utricularia resupinata* somente floriu em condições ideais de nível d'água e temperatura (Gates, 1929), demonstrando exigência ambiental dessa espécie de *Utricularia*.

Tais observações permitem inferir que um ou mais fatores podem estar interferindo na floração dos indivíduos do banco 4, a saber: i) uma provável maior concentração de compostos húmicos (não avaliada neste estudo), que desfavorece a predação pelo aumento da condutividade (Guisande *et al.*, 2000), ou ii) maior concentração de fósforo que promove a grossa camada de perifítion ocasionando competição por luz e nutrientes (Díaz-Olarte *et al.*, 2007). Estes fatores poderiam ser os responsáveis, independentemente ou em conjunto, pela não ocorrência de flores neste banco.

### **Sobre *Utricularia foliosa***

A espécie utilizada neste estudo, *Utricularia foliosa*, é encontrada formando extensos bancos na região litorânea em alguns pontos do lago Dom Helvécio. Apresenta forma biológica submersa livre, segundo classificação de Pedralli (1990) e Irgang *et al.* (1984). Por não ser enraizada esta espécie absorve todos os nutrientes diretamente da água. O gênero *Utricularia* pode apresentar papel significativo no controle das populações planctônicas (Pompêo & Bertuga, 1996) por possuir estruturas denominadas utrículos, capazes de capturar organismos desta comunidade. Através da digestão destes organismos, estas macrófitas podem suplementar nutrientes, principalmente em ambientes com escassez de nutrientes inorgânicos (Pringsheim & Pringsheim, 1962; Kibriya & Jones, 2007). A espécie *Utricularia foliosa* apresenta

indivíduos de grande porte, podendo uma única planta ocupar uma área de cobertura de até 18 m<sup>2</sup> e investir altas proporções da sua biomassa em utrículos (Fig. 5), sendo que os ramos utriculados podem atingir até 4 m de profundidade (Guisande *et al.*, 2004).

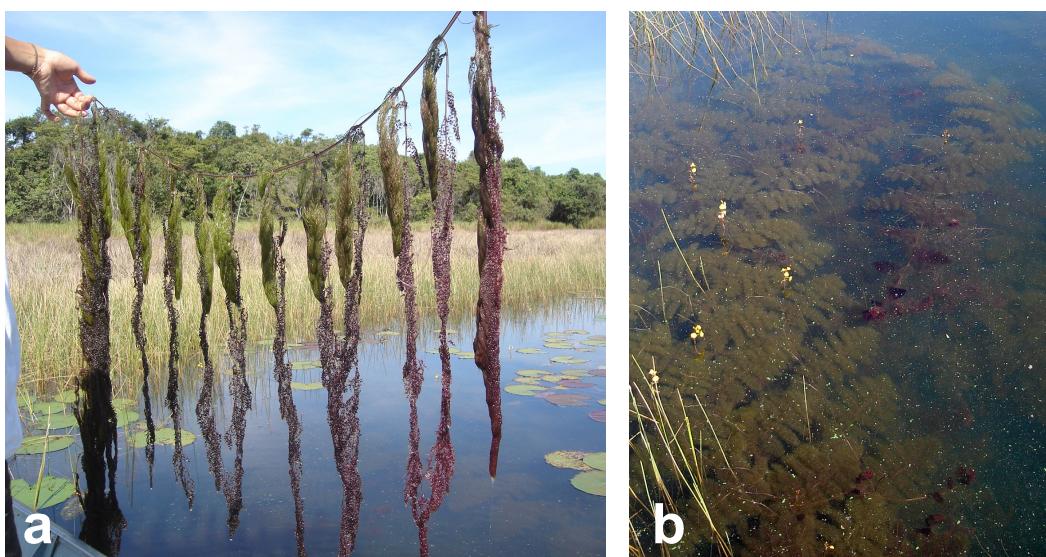


Figura 5: a) indivíduo retirado da água deixando à mostra as partes folhosas (cor verde) e utriculadas (cor vinho). b) indivíduos submersos com suas flores amarelas emersas.

## Desenho experimental

O experimento foi realizado no inverno (agosto de 2007). Foram realizados seis diferentes tratamentos para a avaliação da produtividade primária de *U. foliosa*: três condições nutricionais representativas dos estados oligotrófico, mesotrófico e eutrófico, em duas condições de temperatura (27°C e 37°C). O tratamento oligotrófico à 27°C foi considerado como controle por representar as mesmas condições nutricionais do lago, e temperatura média do lago ao longo dos anos de monitoramento PELD.

## Montagem do experimento

As macrófitas utilizadas no experimento foram coletadas no banco 01, devido à localização mais próxima, e trazidas em balde com água do lago e protegidas da luz solar com saco plástico preto, para o laboratório montado no Parque Estadual do Rio

Doce, onde os ramos folhosos foram previamente limpos, com o auxílio de um pincel e água destilada (Fig. 6a). Os ramos utilizados, com 5 cm de comprimento e contendo 5 ramificações secundárias (Fig. 6b,c), foram colocados em frascos claros e escuros, contendo água do lago filtrada em rede de plâncton de 20 µm de abertura de malha, para a retirada do microplâncton. Toda a água utilizada nos experimentos foi coletada no mesmo banco da macrófita coletada.

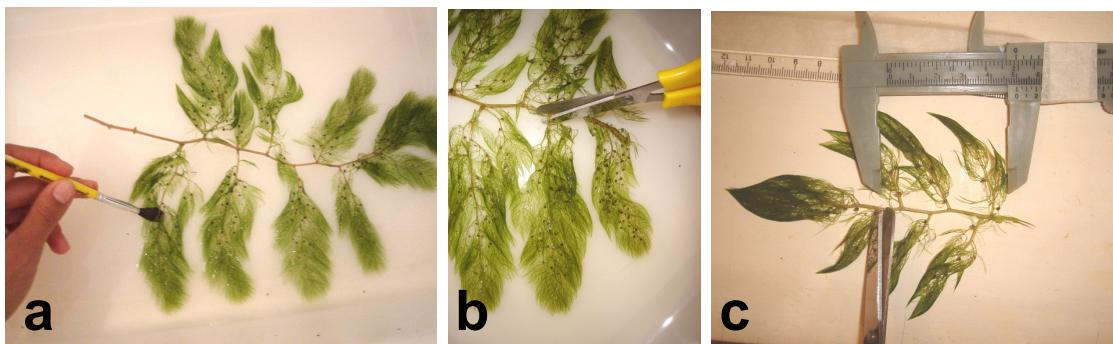


Figura 6: Procedimento de limpeza e corte de fragmento de *Utricularia foliosa* utilizada na incubação: A) retirada do perifítón com auxílio de pincel e água destilada; B e C) corte do ramo.

### Temperaturas utilizadas

Conhecendo as propriedades da água, como calor específico e que uma coluna d'água de um metro absorve em torno de 60% da radiação (Esteves, 1998) e 43,3% em média ( $n=30$ ; máxima de 63,7%), segundo dados do monitoramento realizado pelo Programa PELD/UFMG para o Lago Dom Helvécio, foi assumido que a temperatura do ar influenciaria diretamente na temperatura do primeiro metro deste corpo d'água.

Considerando as projeções de aquecimento global para a região do Leste Mineiro, seguindo modelos regionais para cenários de altas emissões divulgados no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC-A2), determinou-se a temperatura a ser empregada neste estudo, para simulação do aquecimento. As projeções foram determinadas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos-CPTEC do Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE (Ambrizzi *et al.*, 2007), do Ministério da Ciência e Tecnologia-MCT.

Para atender aos objetivos propostos, os experimentos foram realizados sob duas temperaturas:

- 1) 27°C, representativa da média das temperaturas registradas no primeiro metro de profundidade, durante o monitoramento do programa PELD (entre 1999 e 2006), conforme apresentado na tabela 2:

Tabela 2: Média das temperaturas anuais (°C) registradas no primeiro metro de profundidade do Lago Dom Helvécio (PERD-MG), durante o período de 1999 a 2006.

Ano	Temperatura Média (°C)
1999	25,2
2000	26,3
2001	27,4
2002	27,8
2003	27,6
2004	27,0
2005	27,1
2006	28,6
<b>Média 1999-2006</b>	<b>27,1</b>

- 2) 37°C, que corresponde à maior temperatura registrada no corpo d'água em todos os anos deste intervalo de monitoramento (33°C), acrescida de 4°C, aumento previsto para temperatura atmosférica para a região, segundo projeções climáticas para o Leste Mineiro, para o período entre os anos de 2071 e 2100.

## Condições nutricionais

As concentrações de nutrientes (N e P) utilizadas no experimento foram determinadas a partir de valores propostos por Sallas & Martino (1991) para lagos tropicais, e mantendo a razão N:P do lago para o mesmo período, segundo dados dos anos anteriores (Relatório PELD/UFMG).

A água coletada com galões na região limnética do lago foi filtrada cuidadosamente em rede de plâncton de 20 µm de abertura de malha, e acrescentados

80 µg/L de P para o enriquecimento equivalente à condição mesotrófica, e 160 µg/L de P equivalente à condição eutrófica. Ao final, as seguintes concentrações foram usadas para cada uma das condições de trofia:

- 1) oligotrófica: água do lago filtrada e não enriquecida, com concentração de P próxima de 20,3µg/L;
- 2) mesotrófica: água filtrada e enriquecida com 0,4 mg/L de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  e 10,3 mg/L de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ;
- 3) eutrófica: água filtrada e enriquecida com 0,7 mg/L de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  e 19,1 mg/L de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

### **Experimento piloto para tempo de incubação**

O tempo de incubação foi determinado a partir de um experimento-piloto no qual os fragmentos da macrófita foram incubados em réplicas, em frascos claros e escuros. Foi utilizada a média da temperatura dos anos monitorados (27°C). Como não se conhecia a resposta fotossintética da planta, foram incluídos períodos curtos de incubação de 3 e 4 horas, freqüentemente utilizados em experimentos com fitoplâncton, e também períodos longos, de 8 e 12 horas.

Como as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) permaneceram próximas aos valores iniciais dos frascos incubados durante 3 e 4 horas, estes foram descartados. Como os valores de OD registrados nas incubações-piloto de 8 e 12 horas foram semelhantes entre si (Fig. 7), e considerando que o período de exposição da macrófita à radiação solar direta no campo é menor que 12 horas, o período de 8h foi escolhido para a incubação dos experimentos.

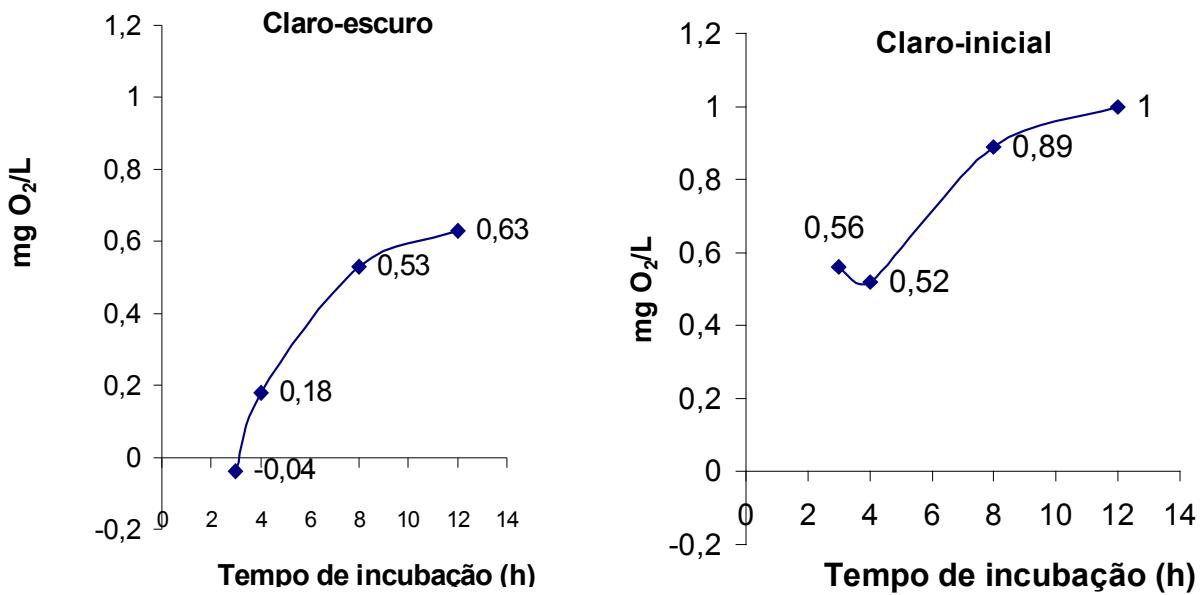


Figura 7: Variações nas concentrações de oxigênio dissolvido em diferentes tempos (h) de incubação de *U. foliosa*.

### Estimativa da produtividade primária

A produtividade primária de *U. foliosa* foi estimada através da determinação das concentrações de OD na água, que corresponde a um produto direto da fotossíntese, através da técnica de Winkler descrita em Golterman *et al.* (1978).

Para os cálculos da produção primária líquida (PPL), produção primária bruta (PPB) e respiração (R) foram utilizadas as equações de Vollenweider (1974). Os resultados foram expressos em  $\text{mg O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

A conversão dos valores de oxigênio para carbono (sugerida pelo IBP – International Biological Programme) foi feita multiplicando-se o valor obtido em  $\text{mg O}_2$  por 0,312 (Vollenweider *op cit.*).

Para cada condição de trofia e temperatura o experimento foi realizado utilizando frascos claros e escuros amostrados em triplicatas para a produtividade da macrófita e em réplicas para concentrações de OD inicial. Os volumes dos frascos foram medidos previamente e variaram de 260 ml a 310 ml. Os frascos escuros (vidro âmbar) foram envolvidos em papel alumínio e fita crepe, e colocados em sacos de pano preto, para evitar entrada de luz.

Para a estimativa da produtividade do nanoplâncton e picoplâncton, que poderia ser significativa (Rahaingomanana *et al.*, 2002), foram utilizadas réplicas de frascos claros e escuros sem a macrófita. Este procedimento foi adotado como controle, pois estes organismos não são retidos pela rede de plâncton de 20 µm.

Os fragmentos da macrófita foram então inseridos nos frascos, em triplicatas, previamente preenchidos com água enriquecida, segundo cada grau de trofia, e tampados. Os frascos escuros foram ensacados. Todos os frascos (inclusive os controles) foram colocados na incubadora, também conhecida como câmara para germinação (Fig. 8). Nesse momento o OD dos frascos iniciais foi fixado, com 2 ml de sulfato manganoso e 2 ml de azida sódica.

Os frascos foram incubados numa Câmara Ambiente para Germinação - Modelo 347-CDG (FANEM), cuja temperatura foi previamente regulada segundo cada temperatura experimental, com variação de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .



Figura 8: Incubação dos frascos realizada em duas etapas. Esta representa a incubação à  $27^{\circ}\text{C}$ , que foi repetida à  $37^{\circ}\text{C}$ . Em (a) frascos representando condições oligotrófica, mesotrófica e eutrófica em cada prateleira. Em (b) detalhe dos frascos em réplicas sem macrófita (controle – nano e picoplâncton), e frascos em tréplicas com macrófita. Ao fundo estão os frascos escuros em sacos de pano preto.

Após oito horas de incubação os fragmentos da planta foram cuidadosamente retirados, e o OD fixado para posterior titulação.

## **Investimento em biomassa**

Para avaliar os investimentos em biomassa de cada porção da planta foram coletados cinco indivíduos escolhidos ao acaso, recolhidos nos bancos 2, 3 e 4, a fim de evitar a coleta de plantas danificadas (coletadas para o experimento no banco 1).

Cada indivíduo foi cuidadosamente coletado e teve suas estruturas separadas em ramos folhosos, ramos utriculados, inflorescência/infrutescência, talo principal e brotos, e secadas em estufa a 80°C até atingir peso constante. Doze fragmentos semelhantes aos utilizados na incubação (5 cm da 1<sup>a</sup> ramificação contendo 5 ramificações secundárias), foram também secados e seus valores em peso seco, testados quanto à normalidade. O valor médio em peso seco dos fragmentos (0,0171g) foi utilizado nas equações de produtividade.

## **Análise estatística**

As análises estatísticas foram realizadas através dos programas Statistica 7.0 e Bioestat 4.0. Para analisar a variação da produção primária líquida e determinar a condição de trofia e temperatura mais importante na alteração da produtividade realizou-se ANOVA seguido de Post-Hoc teste de Tukey. Como a produção primária bruta e respiração não apresentaram curvas normais, realizou-se análise de Kruskal-Wallis, seguido de teste de comparações Student-Newman-Keuls com o mesmo propósito. Foi obtida a influência das variáveis independentes na produção primária de *U. foliosa* de forma isolada (temperatura ou trofia) e em combinação (temperatura + trofia). O intervalo de confiança dos testes foi de 95%.

## RESULTADOS

### Experimento

A média da variação de oxigênio dissolvido nos frascos claros e escuros contendo o nanoplâncton e picoplâncton e utilizados como controle foi de  $0,20 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$  ( $0,06 \text{ mg C.gPS}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

Os valores de produção primária líquida (PPL), produção primária bruta (PPB) e respiração (R) obtidos no experimento com *Utricularia foliosa*, em três condições de trofia e duas temperaturas, são apresentados na tabela 3 e figuras 9 a 13.

Tabela 3. Valores de produção primária líquida (PPL) e produção primária bruta (PPB) em mg C.gPS $^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ , e de respiração (R) em mg O $_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , obtidos para *Utricularia foliosa* submetida a três condições de trofia e duas temperaturas.

Temperatura Trofia		27°C OLIGO	27°C MESO	27°C EUTRO	37°C OLIGO	37°C MESO	37°C EUTRO
Tréplicas							
PPL	A	2,51	2,02	2,19	1,67	1,87	1,95
PPL	B	2,50	2,04	2,22	1,75	1,89	2,22
PPL	C	2,21	1,85	1,81	1,40	1,47	1,64
PPB	A	3,15	2,82	3,17	3,24	3,07	3,94
PPB	B	3,10	2,72	2,96	3,26	3,00	3,96
PPB	C	2,81	2,37	2,37	2,69	2,48	2,37
R	A	2,05	2,58	3,14	5,03	3,85	6,38
R	B	1,94	2,18	2,38	4,84	3,54	5,57
R	C	1,92	1,68	1,79	4,14	3,25	2,35

Observa-se que os valores de PPL foram reduzidos com o aumento do grau de trofia e com o aumento de temperatura. As diferenças obtidas entre os tratamentos foram consideradas estatisticamente significativas (Anova, F=5;12; p=0,0092. Fig 9).

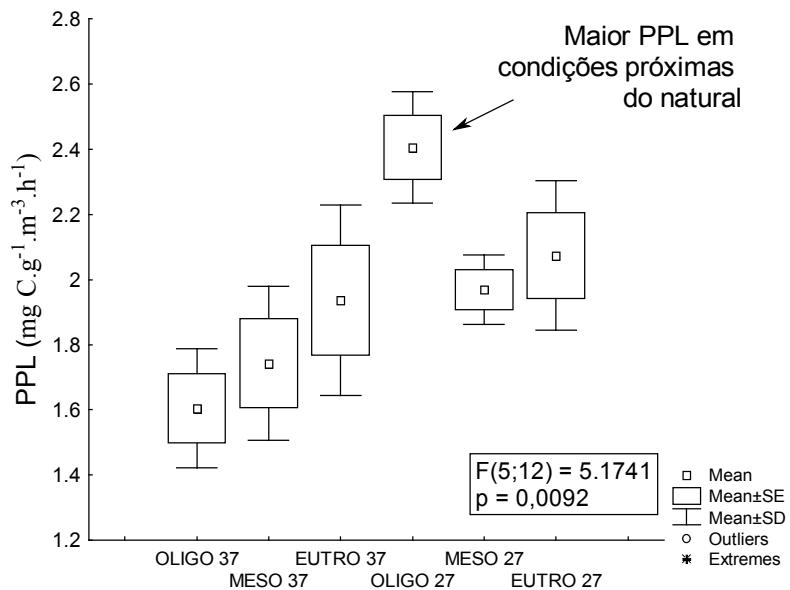


Figura 9. Comparação das variações da PPL ( $\text{mg C.gPS}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de *U. foliosa* em cada um dos tratamentos (trofia e temperatura).

No entanto, apenas as diferenças do estado oligotrófico para mesotrófico a 27°C foram consideradas estatisticamente significativas (Anova,  $F(1;4) = 14.1892$ ;  $p = 0,0197$ ). Considerando os tratamentos à 37°C, as diferenças encontradas para PPL não foram significativas ( $F(2;6) = 1.4272$ ;  $p = 0,3111$ ).

Quando foram comparadas as mesmas condições de trofia em diferentes temperaturas, apenas foram significativas as diferenças entre os tratamentos oligotrófico à 27°C e oligotrófico à 37°C (teste Post-hoc de Tukey,  $p=0,0052$ . Fig 10).

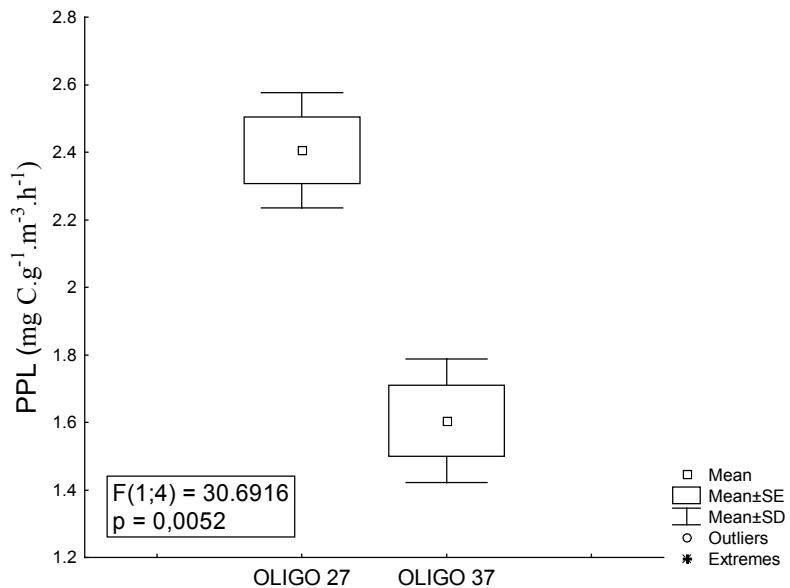


Figura 10: Diferenças significativas entre a PPL dos tratamentos oligotrófico à 27°C e oligotrófico à 37°C.

Para a produção primária bruta não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos testados (Kruskal-Wallis,  $H=3,81$ ;  $p=0,57$ . Fig 11).

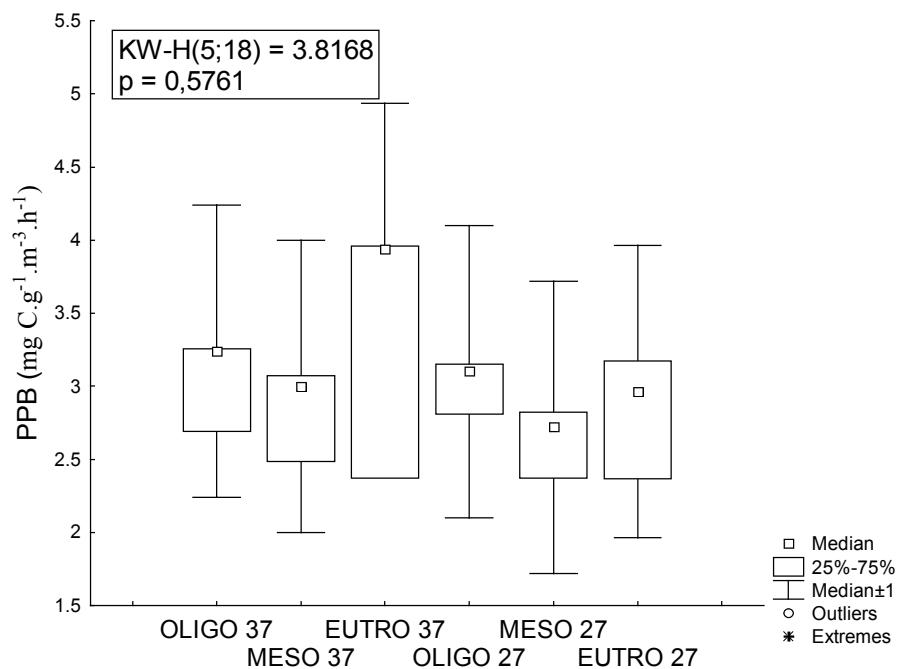


Figura 11: Variação da PPB (mg C.gPS<sup>-1</sup>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>) entre cada tratamento (trofia e temperatura) testado para *U. foliosa*.

Com relação à respiração, as diferenças obtidas entre os tratamentos foram estatisticamente significativas (Kruskal-Wallis,  $H=11,83$ ;  $p=0,03$ . Fig 12a). Nota-se, pela

figura, um consumo de O<sub>2</sub> sempre maior nos tratamentos à 37°C. Quando os tratamentos foram comparados aos pares, diferenças significativas foram encontradas apenas entre os tratamentos oligotrófico a 27°C e oligotrófico a 37°C (Kruskal-Wallis, p=0,04 (KW-H(1;6) = 3.8571. Fig 12b).

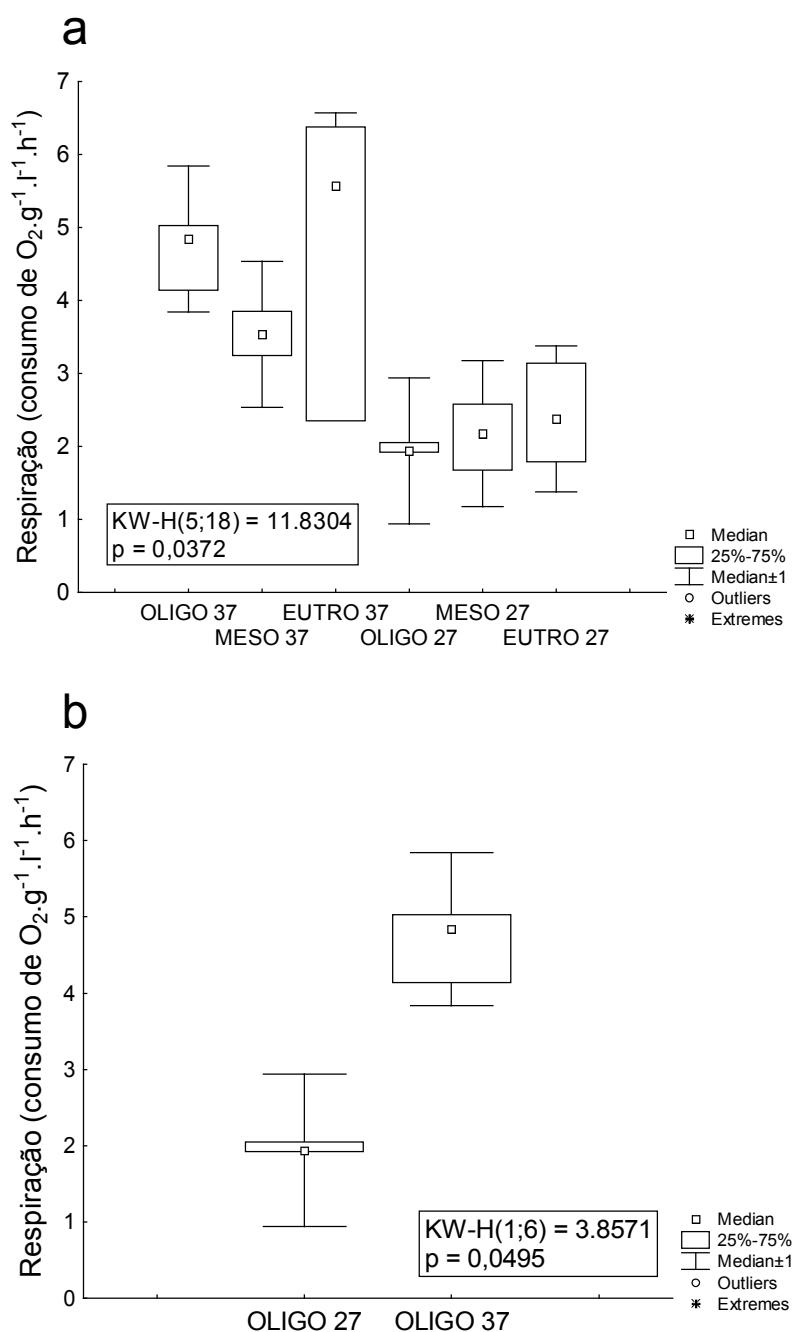
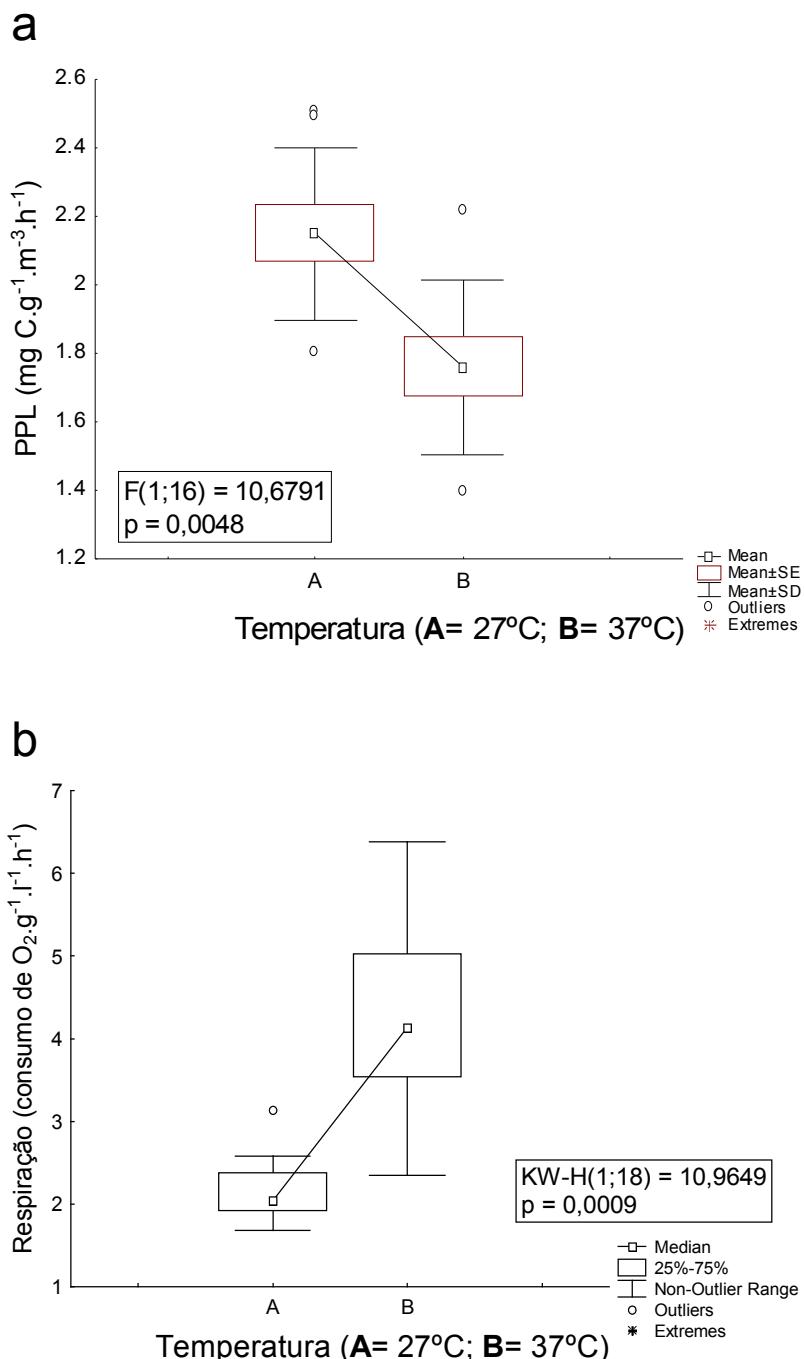


Figura 12: Variações da respiração (mg O<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup>.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) de *U. foliosa* nos diferentes tratamentos e temperaturas (a). Em (b): diferenças significativas entre a respiração nos tratamentos oligotrófico à 27°C e oligotrófico à 37°C.

A influência das temperaturas sobre PPL e respiração foi testada independentemente do grau de trofia, avaliada através de Anova ( $F(1;16) = 10,5791$ ;  $p = 0,0048$ ) e Kruskal-Wallis ( $KW-H(1;18) = 10,9649$ ;  $p = 0,0009$ ), respectivamente. A análise mostrou um decréscimo da PPL (fig. 13a) e um aumento na respiração (fig. 13b) com alto grau de significância. A temperatura não foi importante para PPB (fig. 13c)



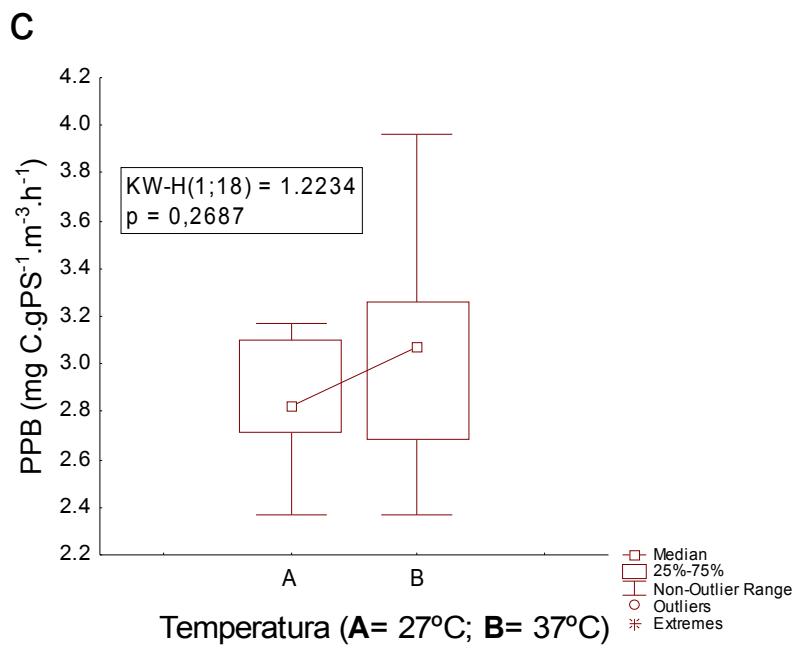


Figura 13: Em (a) PPL de *U. foliosa* em temperaturas de 27°C e 37°C. Em (b) R de *U. foliosa* em temperaturas de 27°C e 37°C. Em (c) PPB de *U. foliosa* em temperaturas de 27°C e 37°C.

### Investimento de *Utricularia foliosa* em biomassa

O investimento em biomassa de *U. foliosa* variou de 14 g a 39,79 g (peso seco) por indivíduo, com comprimento variando de 3 a 7,73 metros e aproximadamente 0,5 m de largura. A estimativa de biomassa foi, em média, de 12,68 g PS/m<sup>2</sup>.

O maior investimento em biomassa de *U. foliosa* foi em ramos folhosos (fotossintetizantes), com média de 51,84% da biomassa total, seguido dos ramos utriculados, com um investimento de biomassa médio de 27,21% (Tab 4).

Tabela 4: Investimento em biomassa (gramas e %) por *U. foliosa*, para cada estrutura vegetal.

Indivíduo	Ramos folhosos	Ramos utriculados	Talo	Brotos	Estolões de inflorescência/infrutescência		Peso total	Comprimento total (m)	Produção em biomassa (g PS/m <sup>2</sup> )
	g (%)	g (%)	g (%)	g (%)	g (%)	g (%)	g	m	
1	20,14 (57,99)	7,49 (21,57)	5,11 (14,71)	1,12 (3,22)	0,87 (2,51)	1,38 (2,51)	34,73	7,73	2 8,99
2	6,85 (48,93)	4,07 (29,07)	2,68 (19,14)	0,4 (2,86)	0 (0,00)	1,07 (0,00)	14,0	3,00	0 9,33
3	20,28 (50,97)	11,3 (28,40)	5,96 (14,98)	1,94 (4,88)	0,31 (0,78)	1,38 (0,78)	39,79	4,20	0 18,95
4	19,22 (50,81)	10,61 (28,05)	5,72 (15,12)	1,82 (4,81)	0,46 (1,22)	1,38 (1,22)	37,83	6,72	2 11,26
5	15,2 (50,53)	8,72 (28,99)	5,0 (16,62)	0,44 (1,46)	0,72 (2,39)	1,07 (2,39)	30,08	4,05	0 14,85
Média (%)	51,84	27,21	16,12	3,45	1,38	1,07	5,14		12,68
Desvio padrão (±)	3,53	3,19	1,85	1,43	1,07				4,21

O menor investimento foi de inflorescências/infrutescências, com média de 1,38% do peso total da planta (Fig. 14a). Apesar do pequeno número de indivíduos utilizados, foi possível visualizar um padrão nítido no investimento por estrutura vegetal com um pequeno desvio padrão (Fig. 14b).

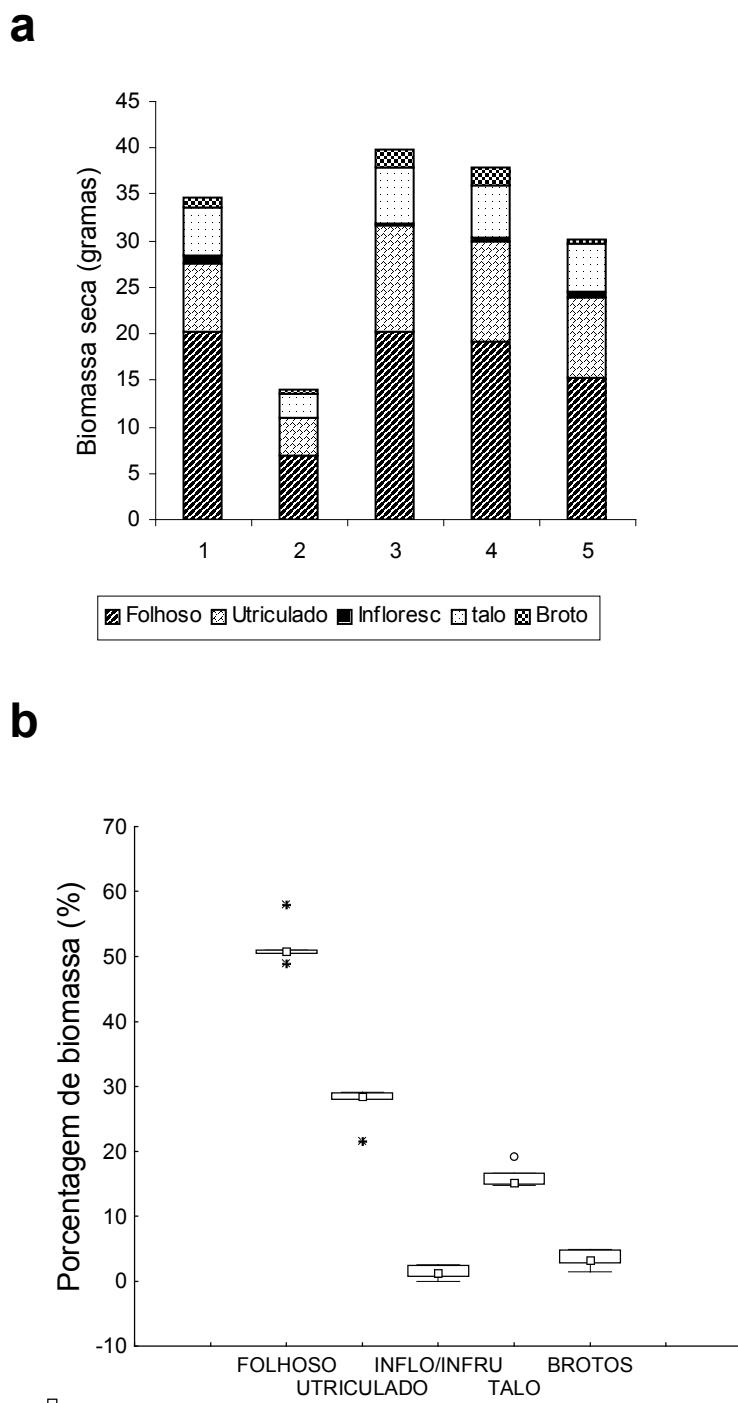


Figura 14: Investimento de biomassa em cada estrutura vegetal de cinco indivíduos de *U. foliosa*. Em (a) o investimento em gramas (peso seco) por estrutura vegetal/por indivíduo amostrado e em (b) o investimento por estrutura vegetal em porcentagem de biomassa.

## **DISCUSSÃO**

### **Frascos controles**

De toda a produção primária por fitoplâncton no Lago Dom Helvécio em período de seca, o nanoplâncton contribui com 73 a 76% e o picoplâncton com 5 a 25% (Rahaingomanana *et al.*, 2002). Apesar disso, os frascos claros e escuros sem o fragmento da macrófita (controles para nano e picoplâncton) mostraram pequena variação nas concentrações de oxigênio dissolvido, sendo considerado de pouca interferência efetiva nos resultados de produção primária de *U. foliosa* neste estudo.

É valido salientar que o Lago Dom Helvécio, entre outros lagos profundos do Médio Rio Doce, apresenta longo período anual de estratificação e anoxia completa no hipolímnio, características exclusivas com relação aos lagos naturais conhecidos no Brasil. Estas propriedades interferem na reciclagem permanente de nutrientes podendo causar limitações na produção primária do fitoplâncton, considerada baixa para este lago (Tundisi *et al.*, 1978).

### **Produção primária de *Utricularia foliosa***

A PPL apresentou alterações sensíveis à variação de trofia e de temperatura, o que nos permite sugerir-la para utilização no monitoramento de mudanças na atividade fotossintética.

Os resultados dos experimentos realizados demonstraram que os maiores valores de PPL foram registrados sob condições próximas à temperatura média, ou seja, no tratamento referente à oligotrofia e submetido à 27°C. Nos demais tratamentos o desempenho da macrófita caiu, seja pelo enriquecimento ou pela temperatura elevada.

Os valores de PPB nas condições de oligotrofia e temperatura à 27°C foram muito próximos àqueles obtidos por Camargo *et al.* (2006). Naquele trabalho, os

valores de PPB registrados para *Egeria densa* e *Cabomba furcata*, e no trabalho de Kemp *et al.* (1986) para *Potamogeton perfoliatus*, submersas fixas, sugerem que estas são menos produtivas que *U. foliosa*, o que pode estar relacionado ao menor porte das plantas em questão, e não à forma biológica. Apenas *Myriophyllum spicatum* (Adams & McCracken, 1974), que é uma submersa fixa de grande porte, apresentou maior PPL que *U. foliosa*.

Os experimentos realizados não mostraram alterações significativas nos valores de PPL entre os tratamentos de enriquecimento testados, excetuando as diferenças observadas entre os tratamentos oligotrófico à 27°C e mesotrófico à 27°C. Esse fato pode estar relacionado à uma baixa absorção dos nutrientes, apesar de simularem os níveis de mesotrofia e eutrofia. Vários autores têm demonstrado que em experimentos de enriquecimento com macrófitas aquáticas os resultados mais evidentes são alcançados apenas quando as concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvidos na água encontram-se muito elevadas, ou seja, em estado de hipertrofia (Carignan & Kalff 1980; Chambers & Prepas, 1989; Madsen & Cedergreen, 2002), que não foi abordado por este estudo. Outro fato é que *Utricularia* é freqüente em ambientes oligotróficos, e neste caso, a carnívoria poderia ser utilizada para suplementação de nutrientes (Pringsheim & Pringsheim, 1962). Então, uma vez que podem contar com esta fonte adicional de nutrientes, apenas sob condições nutricionais excessivas esta espécie absorveria nutrientes através das folhas, respondendo, portanto, de forma mais lenta ao enriquecimento.

O aumento de trofia do lago poderia não afetar *U. foliosa* diretamente, mas favorecer o crescimento de perifítón, acarretando competição por luz e nutrientes com a macrófita (Díaz-Olarte *et al.*, 2007). Além disso, o nitrogênio foi disponibilizado na forma de  $\text{NH}_4^+$ , o que segundo Manjarrés-Hernández *et al.* (2006) pode ser menos

importante na absorção comparado ao  $\text{NO}_3^-$ , inversamente ao que se conhece sobre a fisiologia de outras plantas.

Nota-se relevante produção primária em *Utricularia foliosa*. Esta espécie forma extensos bancos em determinados trechos do Lago Dom Helvécio e sua alta produtividade registrada neste experimento ressalta sua importante contribuição para o metabolismo do corpo d'água.

### O efeito do aumento de temperatura

O aumento de temperatura comprovado ter sido no Brasil de 0,2 a 1°C (0,6°C em média) entre 1970 e 2004 (IPCC WG II, 2007) prevê um aquecimento acelerado e bem maior para este século, permanecendo entre os limites de 1,4 a 5,8°C em 2100 (Ambrizzi *et al.*, 2007).

Os limites de resiliência dos ecossistemas serão provavelmente mais afetados pelo aumento de temperatura, que pelos outros fatores do clima (Ambrizzi *op cit.*). Para os ambientes lênticos, existem evidências de que o aquecimento poderá afetar a estrutura térmica e a qualidade das águas, os níveis de oxigênio dissolvido e sua circulação, e são previstos aumentos nas densidades de algas e zooplâncton (IPCC WG II, 2007).

Apesar de pouco conhecido os efeitos das alterações climáticas sobre a comunidade de macrófitas aquáticas foram possíveis por meio deste estudo avaliar algumas consequências do aumento da temperatura sobre a produção primária de *U. foliosa*. A temperatura interfere diretamente na fotossíntese e respiração da planta, afetando de forma positiva a reação cinética dos eventos químicos e a efetividade de enzimas envolvidas, aumentando sua produtividade até que o limite fisiológico da planta seja atingido, quando ocorre uma inibição fotossintética (Larcher, 1980). No caso de *U. foliosa*, com o aumento de 4°C somados aos dias mais quentes do ano, o

limite fisiológico de produtividade pode vir a ser atingido, visto que a produção primária caiu, enquanto a respiração aumentou à 37°C.

## **Investimento em biomassa**

Dentre as estruturas vegetais, o maior investimento em biomassa foi para os ramos folhosos o que indica, somada às características da arquitetura da planta, uma adaptação à exposição ao sol. Suas folhas altamente recortadas de até 30 cm de comprimento auxiliam em sua sustentação entre as profundidades de 20 a 50 cm, e ocupam preferencialmente espaços ausentes de outras macrófitas.

Quando se relacionou a biomassa de ramos utriculados e ramos folhosos, observou-se uma relação diretamente proporcional semelhante ao encontrado por Friday (1992) para *U. vulgaris*. Porém, enquanto esta última apresentou valores de biomassa semelhantes para folhas eutrículos (1:1), em *U. foliosa* a biomassa dos ramos folhosos foi aproximadamente o dobro da encontrada em ramos utriculados (0,53 partes para 1 parte de ramos folhosos). Outras espécies de *Utricularia* apresentam menores investimentos emutrículos em relação às folhas: *U. purpurea* = 0,41 (Richards, 2001); *U. australis* = 0,18, *U. gibba* = 0,29 e *U. reflexa* = 0,34 (Porembski *et al.*, 2006). Portanto, à exceção de *U. vulgaris* (1:1) a razão do investimento em biomassa deutrículos por biomassa de folhas foi maior em *U. foliosa*. A proporção investida por *U. foliosa* foi 8% menor em folhas e 7% maior emutrículos que *U. reflexa*, espécie mais semelhante em termos de investimentos (Porembski *et al.*, 2006), demonstrando que *U. foliosa* pode ser mais importante no controle de comunidades planctônicas.

O investimento emutrículos para *U. foliosa* pode ser controlado tanto pela disponibilidade de presas como pelas concentrações de nutrientes no ambiente (Guisande *et al.*, 2000). No entanto, segundo Knight & Frost, (1991) a composição

química da água explicaria melhor o investimento em carnívoria do que a disponibilidade de presas.

## CONCLUSÃO

Os experimentos de enriquecimento e aumento da temperatura permitiram verificar que o enriquecimento com N e P para estágios de mesotrofia e eutrofia não alterou de forma significativa a produção primária ou a respiração de *U. foliosa*. Entretanto foi verificada significativa queda na produção primária e no aumento da respiração de *U. foliosa* em condições de altas temperaturas (37°C). Esse fato reforça que a alta temperatura pode ser considerada o fator de maior preocupação com relação ao equilíbrio das comunidades aquáticas.

Com estes resultados supõe-se que, caso se confirmem as previsões de aumento da temperatura regional em 4°C segundo projeções de aquecimento para a região do Leste Mineiro, os indivíduos de *U. foliosa* estarão sujeitos ao estresse fisiológico nos períodos mais quentes do ano, e portanto, mais vulneráveis. Outros organismos da comunidade aquática, mesmo que não sensíveis ao mesmo grau de aquecimento, poderão ser afetados direta ou indiretamente, devido às interações ecológicas com *U. foliosa*.

Este estudo permitiu a previsão de desajustes nas populações de *U. foliosa* frente ao aquecimento global, que pode resultar em mudanças importantes para o ecossistema aquático, destacando-se alterações na demanda de oxigênio na água, na disponibilização de habitats e oferta de nichos e na manutenção da diversidade de organismos aquáticos.

A biomassa da inflorescência não apresentou significativa relação com biomassa dos ramos utriculados ou entre outras estruturas e não foi possível determinar as causas da infertilidade (ausência de flores) no banco 4. O investimento da biomassa por estrutura vegetal nos indivíduos amostrados se apresentou distribuída de forma semelhante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, M. S., McCracken, M. D., 1974. Seasonal production of the *Myriophyllum* component of the littoral of Lake Wingra, Wisconsin. *The Journal of Ecology*, 62 (2), 457-465.
- Ambrizzi, T., Rocha, R. P., Marengo, J. A., Pisnitchenco, I., Nunes, L. A., Fernandez, J. P. R., 2007. Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. *Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI*. Relatório 3. CPTEC/INPE, MMA/SBF/DCBio. 112 pp.
- Barbosa, F. A. R. & Tundisi, J. G., 1980. Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of shallow Quaternary lake at Eastern Brazil. *Arch. Hydrobiol.* 90, 139-161.
- Barbosa, F. A. R. & Moreno, P., 2002. Mata Atlântica e Sistema Lacustre do Médio Rio Doce. In: Os Sites e o Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração. Seeliger, U., Cordazzo, C., Barbosa, F. A. R. Belo Horizonte, 184 pp.
- Barbosa, C. S. S. & Peixoto, P., 2007. O Aquecimento Global. FEUC. Coimbra. 24 pp.
- Bosserman, R. W., 1983. Elemental composition of *Utricularia*-Periphyton ecosystems from Okefenokee Swamp. *Ecology* 64 (4), 1637-1645.
- Calow, P. & Petts, G., 1992. The rivers handbook: hidrological and ecological principles. Vol I. Blackwell Scientific Publications. Oxford, 526 pp.
- Camargo, A.F.M., Pezzato, M.M., & Henry-Silva, G.G., 2003. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas* (Thomaz, S.M. & Bini, L.M.) EDUEM. 59-84.
- 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.
- Carignan, R. & Kalff, J., 1980. Phosphorus sources for aquatic weeds: water or sediments? *Science* 207 (29), 987-989.
- Carr, G. M. & Chambers, P. A., 1998. Macrophyte growth and sediment phosphorus and nitrogen in a Canadian prairie river. *Freshwater Biology* 39, 525-536.
- Cetec, 1981. A vegetação do Parque Estadual do Rio Doce. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Programas de Pesquisas Ecológicas no Parque Estadual do Rio Doce. Belo Horizonte, MG.
- Chambers, P. A. & Prepas, E. E., 1989. Roots versus shoots in nutrient uptake by aquatic macrophytes in flowing waters. *Can. j. Fish. Aquat. Sci.* 46, 435-439.

Champion, P. D. & Tanner, C. C., 2000. Seasonality of macrophytes and interaction with flow in a New Zealand lowland stream. *Hydrobiologia* 441, 1-12.

Cruz, C. B. M., Junior, W. C., Barros, R. S., Argento, M. S. F., Mayr L. M., 1996. Impactos ambientais no sistema lagunar de Maricá-Guarapina. *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, Brasil, 14-19 abril, INPE, 137-141.

Daoust, R. J. & Childers, D. L., 1998. Quantifying aboveground biomass and estimating net aboveground primary production for wetland macrophytes using a non-destructive phenometric technique. *Aquatic Botany* 62, 115-133.

Díaz-Olarte, J., Valoyes-Valois, V., Guisande, C., Torres, N., González-Bermudez, A., Sanabria-Aranda, L., Manjarrés-Hernandez, A. M., Duque, S. R., Marciales, L. J., Nunez-Avellaneda, M., 2007. Periphyton and phytoplankton associated with the tropical carnivorous plant *Utricularia foliosa*. *Aquatic Botany* 87, 285-291.

Dibble, E. D., Thomaz, S. M., Padial, A. A., 2006. Spatial complexity measured at a multi-scale in three aquatic plant species. *Journal of Freshwater Ecology* 21 (2), 239-247.

Duggan, I. C., 2001. The ecology of periphytic rotifers. *Hydrobiology* 446/447, 139-148.

Eskinazi-Sant'Anna, E. M., Maia-Barbosa, P. M., Braz, S. A., Faria, V. R., Barbosa, F. A. R., 2002. Conteúdo alimentar em macrófitas aquáticas carnívoras: *Utricularia foliosa* L. e *U. hydrocarpa* Vahl. (Tubiflorae, Lentibulariaceae). *Acta Scientiarum* 24 (2), 297-301.

Esteves, F. A., 1998. Fundamentos de Limnologia. 2<sup>a</sup> Ed. Interciência. Rio de Janeiro, 602 pp.

Fearnside, P. M., 2002. A Espécie Humana como Componente do Ecossistema Global no Século XXI. INPA. 16 pp.

Feijoó, C. S., Momo, F. R., Bonetto, C. A., Tur, N. M., 1996. Factors influencing biomass and nutrient content of the submersed macrophyte *Egeria densa* Planch. in a pampasic stream. *Hydrobiologia* 341, 21-26.

Ferreira, F. A., 2005. Comunidades de macrófitas aquáticas e aspectos físico-químicos de três lagoas do Parque Estadual do Rio Doce, MG. *Dissertação de Mestrado*. UFV, Viçosa, 92 pp.

Friday, L. E., 1992. Measuring investment in carnivory: seasonal and individual variation in trap number and biomass in *Utricularia vulgaris* L. *New Phytologist* 121, 439-445.

Garcia, F. C., Petrucio, M. M., Barbosa, F. A. R., 2002. Caracterização física e química e qualidade da água de lagos do médio Rio Doce. In Dinâmica biológica e a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica do médio Rio Doce, MG. Peld/UFMG.

Gates, F. C., 1929. Heat and the flowering of *Utricularia resupinata*. *Ecology* 10 (3), 353-354.

Golterman, H. L., Clyno, R. S., Ohsntad, M. A. M., 1978. Methods for chemical analusis of fresh waters. Boston, Blackwell, 214 pp.

Guisande, C., Andrade, C., Granado-Lorencio, C., Duque, S. R., Núñez-Avellaneda, M., 2000. Effects of zooplankton and conductivity on tropical *Utricularia foliosa*. *Aquatic Ecology* 34, 137-142.

Guisande, C., Aranguren, N., Andrade-Sossa, C., Prat, N., Granado-Lorencio, C., Barrios, M. L., Bolivar, A., Núñez-Avellaneda, M., Duque, S. R., 2004. Relative balance of the cost and benefit associated with carnivory in the tropical *Utricularia foliosa*. *Aquatic Botany* 80, 271-282.

Harms, S. & Johansson, F., 2000. The influence of prey behaviour on prey selection of the carnivorous plant *Utricularia vulgaris*. *Hydrobiologia* 427, 113-120.

Hough, R. A. & Fornwall, M. D., 1988. Interactions of inorganic carbon and light availability as controlling factors in aquatic macrophyte distribution and productivity. *Limnol. Oceanogr.* 33 (5), 1202-1208.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.

Instituto Estadual de Florestas / IEF, 1994. *Pesquisas prioritárias para o Parque Estadual do Rio Doce*, Brasil. Belo Horizonte. 35 pp.

Irgand, B. E., Pedralli, G., Waechter, J.L. 1984. Macrófitos Aquáticos da Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil. *Roessleria*, 6:395-404. Porto Alegre-RS.

Kemp., W. M., Lewis, M. R., Jones, T. W., 1986. Comparison of methods for measuring production by the submerged macrophyte, *Potamogeton perfoliatus* L. *Limnology and Oceanography* 31 (6), 1322-1334.

Kibriya, S. & Jones, J. I, 2007. Nutrient availability and the carnivorous habit in *Utricularia vulgaris*. *Freshwater Biology* 52, 500-509.

Knight, S. E. & Frost, T. M., 1991. Bladder control in *Utricularia macrorhiza*: lake-specific variation in plant investment in carnivory. *Ecology* 72 (2), 728-734.

Kuczynska-Kippen, N. M. & Nagengast, B., 2006. The influence of the spacial structure of hydromacrophytes and differentiating habitat on the structure of rotifer and cladoceran communities. *Hydrobiologia* 559, 203-212.

Larcher, W., 1980. *Physiological Plant Ecology*. Spring-Verlag, Berlin.

Larson, D., 2007. Growth of three submerged plants below different densities of *Nymphoides peltala* (S. G. Gmel) Kuntze. *Aquatic Botany* 86, 280-284.

Madsen, T. V. & Cedergreen, N., 2002. Sources of nutrients to rooted submerged macrophytes growing in a nutrient-rich stream. *Freshwater Biology* 47, 283-291.

Manjarrés-Hernandez, A., Guisande, C., Torres, N. N., Valoyes-Valois, V., González-Bermudez, A., Díaz-Olarte, J., Sanabria-Aranda, L., Duque, S. R., 2006. Temporal and spatial change of the investment in carnivory of the tropical *Utricularia foliosa*. *Aquatic Botany* 85, 212-218.

Matsumura-Tundisi, T. & Tundisi, J. C., 1995. Limnology of a warm monomitic lake at rio Doce Forest Park (Lake Dom Helvécio, MG, Eastern Brazil). In: Tundisi, J. G.; Bicudo, C. E. M. & Matsumura-Tundisi, T. Limnology in Brazil. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências/Sociedade Brasileira de Limnologia, p. 245-256.

Meyers, D. G., Strickler, J. R., 1979. Capture enhancement in a carnivorous aquatic plant: function of antennae and bristles in *Utricularia vulgaris*. *Science* 203, 1022-1025.

Miranda, E. E. de, Coutinho, A. C. (Coord.), 2004. Brasil Visto do Espaço. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: <[www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br](http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br)>. Acesso em: 12 out. 2007.

Moore, E. W., 1939. Graphic determination of carbon dioxide and the three forms of alkalinity. *Amer. Water Works Assoc. Jour.* 31, 51-66.

Moschini-Carlos, V., Soares, J. J., Pompêo, M. L. M., 1993. Variação temporal da biomassa em uma comunidade vegetal aquática. *Rev. Bras. Biol.* 53 (3), 501-509.

Moss, B., 1980. Ecology of fresh waters. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 332 pp.

Osterhout, W. J. V. & Haas, A. R. C., 1918. On the dynamics of photosynthesis. *Jour. Gen. Physiol* 1, 1-16.

Pedralli, G., 1990. Macrófitos Aquáticos: Técnicas e Métodos de Estudos. *Estudos de Biologia* 26, 5-24.

Petrucio, M. M. & Esteves, F. A., 2000. Uptake rates of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. *Rev. Bras. Biol.* 60 (2), 229-236.

Pierini, S. A. & Thomaz, S. M., 2004. Adaptações de plantas submersas à absorção do carbono inorgânico. *Acta bot. bras.* 18 (3), 629-641.

Pompêo, M. L. M. & Bertuga, M., 1996. Captura de organismos planctônicos pelas plantas carnívoras do gênero *Utricularia* (Angiospermae, Dicotyledonea). *Rev. Bras. Biol.* 56 (4), 697-703.

Pompêo, M. L. M., Moschini-Carlos, V., 1997. Ocorrência de espécies de *Utricularia* em sistemas lênticos dos Estados de São Paulo e Minas Gerais. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, 10: 37-49.

Porembski, S., Theisen, I., Barthlott, W., 2006. Biomass alloc patterns in terrestrial, epiphytic and aquatic species of *Utricularia* (Lentibulariaceae). *Flora* 201, 477-482.

Pott, V.J. & Pott, A. 2000. Plantas Aquáticas do Pantanal. Brasília. Embrapa. 404pp.

Prado, R. B., Novo, E. M. L. M., 2007. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trofico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidroráfica. *Sociedade & Natureza* 19(2), 5-18.

Pringsheim, E. G. & Pringsheim, O., 1962. Anoxic culture of *Utricularia*. *American Journal of Botany* 49, 898-901.

Rambaldi, D. M., Magnanini, A., Ilha, A., Lardosa, E., Figueiredo, P., Oliveira, R. F., 2003. A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. CNRBMA. Rio de Janeiro.

Rahaingomanana, R., Barbosa, F.A.R., Petrucio, M.M., 2002. Fractionated primary production of phytoplankton in lakes of the Rio Doce Valley (south-eastern Brazil). *Verh. Internat. Verein Limnol.* v 28: 695-699.

Richards, J. H., 2001. Bladder function in *Utricularia purpurea* (Lentibulariaceae): is carnivory important? *American Journal of Botany* 88 (1), 170-176.

Riley, G. A., 1940. Limnological studies in Connecticut. Part III. The plankton of Linsley Pond. *Ecol. Monogr.* 10: 281-306.

Rocha, H. R., Carvalho, L.V., Siqueira, E.S., Cabral, O.M.R., Freitas, E., Lima, W.P., Lobo, G.A., Uvo, C.B., Silva, F.P., Soto, M., Kiang, C.H., Krusche, A., Borma, L.S., Aidar, M.P.M., Silva, E., Nouvellon, Y., Ometto, J.P., Ligo, M.V., 2007. Interação Biosfera-Atmosfera Fase 2: Cerrados e Mudanças de Uso da Terra. *Relatório Científico-Fapesp* 02/09289-9. 58pp.

Sallas, H. J. & Martino, P., 1991. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Wat. Res.* 25 (3), 341-350.

Sanabria-Aranda, L., González-Bermudez, A., Torres, N. N., Guisande, C., Manjarrés-Hernandez, A., Valoyes-Valois, V., Díaz-Olarre, J., Andrade-Sossa, C., Duque, S. R., 2006. Predation by the tropical plant *Utricularia foliosa*. *Freshwater Biology* 51, 1999-2008.

Sand-Jensen, K., 1998. Influence os submerged macrophytes on sediment composition and near-bed flow in lowland streams. *Freshwater Biology* 39, 663-679.

Sand-Jensen, K., Pedersen, N. L., 2005. Differences in temperature, organic carbon and oxygen consumption among lowland streams. *Freshwater Biology* 50, 1927-1937.

Santos, A. M., 2004. Produtividade de Macrófitas Aquáticas. *Limnotemas* 4.

Santos, A. M., 2005. Biodiversidade de Macrófitas Aquáticas no Médio Rio Doce. Relatório Técnico, Convênio 5734, Fapemig/Rio Doce.

Sirová, D., Adamec, L., Vrba, J., 2003. Enzymatic activites in traps of four aquatic species of the carnivorous genus *Utricularia*. *New Phytologist* 159, 669-675.

Tavares, K. S., 2003. A comunidade de macrófitas aquáticas em reservatórios do médio e baixo Rio Tietê (SP) e em lagos da bacia do médio Rio Doce (MG). *Dissertação de Mestrado*. UFSCar, São Carlos. 138 pp.

Taylor, P., 1989. The genus *Utricularia*: a taxonomic monograph. Kew Bulletin, Additional Series XIV London.

Thomaz, S. M., Chambers, P. A., Pierini, S. A., Pereira, G., 2007. Effects of phosphorus and nitrogen amendments on the growth of *Egeria najas*. Aquatic Botany 86, 191–196.

Titus, J. E. & Stone, W. H., 1982. Photosynthetic response of two submersed macrophytes to dissolved inorganic carbon -concentration and pH. *Limnol. Oceanogr.*, 27 (1), 151-160.

Toledo, A.P, Agudo, E.G., Tolarico, M., Chinez, S.J., 1984. Aplicação de modelos simplificados para avaliação da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais, CETESB.

Tundisi, J., Matsumura Tundisi, T.; Barbosa, F. A. Gentil, J.G., Rugani, C., Forte Pontes, M. C., Aleixo, R. C., Okano, W. Y., dos Santos, L. C., 1978. Estudos Limnológicos no Sistema de Lagos no Parque Florestal do Rio Doce, M.G. Convênio CETEC/UFSCar. 147 pp.

Verduin, J., 1950. Photosynthesis In Naturally Reared Aquatic Communities. *Plant Physiol.* 26 (1): 45-49.

Vis, C, Hudon, C., Carignan, R. Gagnon, P., 2007. Spatial Analysis of Production by Macrophytes, Phytoplankton and Epiphyton in a Large River System under Different Water-Level Conditions. *Ecosystems*, Vol 10 (18), nº 2, 293-310.

Vollenweider, R. A., 1974. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. Oxford. Blackwell, 225 pp.

Welch, P. S., 1948. Limnological Methods. The Blakiston Company. *Philadelphia*, Pa.

Wetzel, R. G., 1983. Limnology. 2<sup>a</sup> Ed. CBS College Publishing.