

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

**MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS: FOTOSSÍNTESE,
CRESCIMENTO E VARIÁVEIS ABIÓTICAS DA ÁGUA**

MAURA MARIA PEZZATO

São Carlos - SP

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

**MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS: FOTOSSÍNTESE,
CRESCIMENTO E VARIÁVEIS ABIÓTICAS DA ÁGUA**

MAURA MARIA PEZZATO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de concentração Ecologia e Recursos Naturais.

São Carlos - SP

2007

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

P522ma

Pezzato, Maura Maria.

Macrófitas aquáticas submersas : fotossíntese,
crescimento e variáveis abióticas da água/ Maura Maria
Pezzato. -- São Carlos : UFSCar, 2008.
118 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos,
2007.

1. Fotossíntese. 2. Coeficiente de crescimento. 3. Luz. 4.
Temperatura. I. Título.

CDD: 581.13342 (20^a)

Maura Maria pezzato

**MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS: FOTOSSÍNTESE, CRESCIMENTO E
VARIÁVEIS ABIÓTICAS DA ÁGUA**

Tese apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovada em 06 de junho de 2007

BANCA EXAMINADORA

Presidente



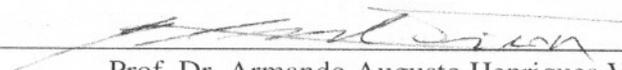
Prof. Dr. Irineu Bianchini Júnior
(Orientador)

1º Examinador



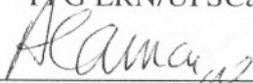
Profa. Dra. Odete Rocha
PPG ERN/UFSCar

2º Examinador



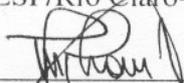
Prof. Dr. Armando Augusto Henriques Vieira
PPG ERN/UFSCar

3º Examinador



Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo
UNESP/Rio Claro-SP

4º Examinador



Prof. Dr. Sidinei Magela Thomaz
UEM/Maringá-PR

Orientador: Prof. Dr. Irineu Bianchini Júnior

Co-Orientador: Prof. Dr. Antonio F. M. Camargo

“É com uma alegria tão profunda. É uma tal aleluia. Aleluia, grito eu, aleluia que se funde com o mais escuro uivo humano da dor de separação, mas é grito de felicidade diabólica. Porque ninguém me prende mais. Continuo com capacidade de raciocínio - já estudei matemática que é uma loucura do raciocínio - mas agora quero o plasma - quero me alimentar diretamente da placenta. Tenho um pouco de medo: medo ainda de me entregar pois o próximo instante é o desconhecido. O próximo instante é feito por mim? Ou se faz sozinho? Fazemo-lo juntos com a respiração. E com uma desenvoltura de toureiro na arena”

(ÁGUA VIVA, Clarice Lispector, agosto de 1973).

Agradecimento.....

A todas as pessoas que conviveram e contribuíram nas várias etapas deste trabalho, nos 4 anos que se passaram! Gostaria agradecer também àquelas pessoas que não estão citadas aqui em nome, mas que estão guardadas no coração, obrigada a todos!

Aos meus pais, Pedro Pezzato Neto e Deolinda Carlos Pezzato, pela educação, AMOR, esforço e dedicação com os filhos, Amo vocês!

Aos meus irmãos, João, Luciane, Leila e André por todo NOSSO AMOR, aos meus cunhados, Guilherme, Nádia, Maria José e Wolf, pela presença agradável!

Aos meus sobrinhos mais lindos e fofos, Manuela, Felipe e Alice, pela sinceridade, leveza, graça e alegria!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Irineu Bianchini Junior, pela oportunidade, sugestões e orientação

Ao meu Co-Orientador, Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo, pela orientação, sugestões e, sobretudo, pela amizade

A banca examinadora: Prof. Dr. Irineu Bianchini Jr., Prof. Dr. Antonio F. M. Camargo, Prof. Dr. Sidinei M. Thomaz, Profa. Dra. Odete Rocha, Prof. Dr. Armando A. H. Vieira

Ao Prof. Dr. Macelo Pompêo e a Profa. Dra. Viviane Moschini-Carlos pelas sugestões, discussões e apoios prestados durante a análise dos resultados

Ao Prof. Dr. Sergio Tadeu Meireles pelas sugestões

A Dra. Roseli F. Benassi pelas contribuições e "discussões" em praticamente todos os momentos deste trabalho! Comadre, amiga e querida, Valeu!!

Ao Prof. Dr. Armando A. H. Vieira pela concessão do aparelho Biospherical Instruments™ QSL-100

Ao Prof. Dr. Alberto Peret e a Dra. Fernanda Marciano pela ajuda nas discussões das análises estatísticas

Aos Srs. H. Gomes (EEJ), A. S. Soares (DEBE/UFSCar), Luiz A. Joaquim (DEBE/UFSCar), Airton S. Soares (DEBE/UFSCar) e Benedito A. Bassetti (*in memorian*) (DHb/UFSCar) e Carlos F. Sanches (UNESP/Rio Claro) pelos auxílios prestados na execução das atividades de campo e de laboratório, convívio e bons momentos.

Ao CNPq pela bolsa de estudo (processo 140406/2003-4)

Ao Francisco Romeiro e Wolfgang Lenk pela tradução do abstract. Obrigada!

A Secretaria da Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais e do Depto de Hidrobiologica da UFSCar, São Carlos

Aos colegas de laboratório, Chico, Rogerinho, Marcela, Luciana, Mariana, Mayra, Leandro e Renato

Aos queridos de Rio Claro, Carlinhos, Gustavo, Raquel, Lu Crema, Soraia, Renata, Leo

Ao Rafael, pela amizade, boas conversas e risadas sempre agradáveis, aos momentos que passamos ouvindo *rock in roll* e outros discutindo a vida e a ciência!!!!

Ao Renato Siman, pelos vários momentos de diversões, discussões sérias, capoeira e amizade

A querida Renata Datrino pela companhia de morada e grande amizade

A Paula Petracco pela amizade, convivência e bons momentos em São Carlos!

Aos meus amigos queridos de São Carlos, Fernanda, Flavinha, Rodrigo, Rodolfo, Gláucio, Jucélia, André (da Vila); Sabrina, Léo e os lindinhos Ângelo e Vicenti; Dani, André e Pedro, Sheila, Geli, Thais, Tati, Ana Thé, Zé, Paulinho

Ao querido Cris, sua boa energia e seus discos, obrigada pela força no final da viagem!

As queridas, Mari e Katiuscia pelo abrigo e amizade nos últimos meses, obrigada!

A Catarina, pela amizade, companheirismo e carinho

As grandes amigas, amigas de muitos anos, as gêmeas: Roseli e Simone, Mari, Pitch, Sofia, Roberta.

Aos amigos de Pira pela amizade e carinho sempre!

Aos cães que me acompanharam, tornando meus dias mais felizes Taurus, Nina,
Judith, Afonsinha e Kathi.

Muito Obrigada!

O tema desenvolvido nesta tese foi sobre a fotossíntese e o crescimento de plantas aquáticas submersas e as relações com as variáveis abióticas da água, sendo os resultados baseados em experimentos realizados em campo e em laboratório. A fotossíntese é um processo essencial para todos os organismos vivos, compreendendo o primeiro nível trófico da cadeia alimentar: os produtores primários (plantas, algas e algumas bactérias). Segundo Majerowicz (2004), a fotossíntese se processa em vários níveis de organização, de dimensões e complexidades diferentes, que funcionam de modo cooperativo e integrado ao meio ambiente. Esta autora ressalta ainda que: “esse processo pode abranger desde a planta como todo (p. ex. área total de absorção da luz solar), a eventos que ocorrem em escala de tempo compreensível para os sentidos humanos (p. ex. acúmulo de biomassa) e processos que ocorrem em bilionésimos de segundo (fluxo fotossintético de elétrons)”. Neste contexto, acredito ser relevante enfatizar que nesta tese vamos nos limitar a examinar alguns aspectos da produção de oxigênio dissolvido (fotossíntese líquida) de *Cabomba furcata* e *Egeria najas* (macrófitas aquáticas submersas), o acúmulo de biomassa de *E. najas*, assim como interações com alguns fatores abióticos da água (por ex. luz e temperatura).

Deste modo, esta tese foi estruturada por uma Introdução que se refere à base teórica que sustenta os temas abordados, ou seja, produção primária de macrófitas submersas (crescimento e fotossíntese), enfocando aspectos relacionados a experimentos de campo e de laboratório. E ainda, relata alguns dos fatores limitantes à fotossíntese líquida e a dinâmica hidrológica de planícies de inundação. Na seqüência, os objetivos da tese. Nos Materiais e Métodos descreve-se a caracterização da área de estudo, os procedimentos metodológicos abordados na pesquisa e as análises estatísticas utilizadas nos dados relativos ao estudo. Os métodos adotados para avaliar os temas foram descritos em itens: i) taxa fotossintética de *C. furcata* e relações com as variáveis abióticas da lagoa do Óleo,

ii) a influência do tempo de incubação na fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas*, iii) fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas* em função do pH, iv) respostas fotossintéticas de *C. furcata* e *E. najas* à intensidade luminosa, v) crescimento de *E. najas* em diferentes temperaturas e vi) efeito da temperatura na taxas fotossintéticas de *E. najas*. Os Resultados e as Discussões foram organizados de acordo com os itens adotados nos Materiais e Métodos, na seqüência estão as Conclusões da pesquisa. Por último encontram-se as referências bibliográficas, de acordo com as normas da ABNT e em seguida, os anexos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Carta de planialtimetria, hidrografia e sistemas ambientais da Estação Ecológica de Jataí	10
Figura 02. Vista aérea da lagoa do Óleo, localizada na planície de inundação do rio Mogi-Guaçu	11
Figura 03. Esquema de um ramo de <i>Cabomba</i> sp. em fase reprodutiva, em detalhe a flor	13
Figura 04. Esquema de um ramo de <i>Egeria</i> sp. em fase reprodutiva, em detalhe a flor masculina e feminina	14
Figura 05. Relação dos valores de carbono inorgânico dissolvido (CID) obtidos pelo método de combustão	27
Figura 06. Precipitação pluviométrica diária durante o período de Dezembro/05 a Dezembro/06	28
Figura 07. Profundidade máxima no local de incubação de <i>C. furcata</i> (lagoa do Óleo), no período de Dezembro/05 a Dezembro/06	29
Figura 8. Profundidade do desaparecimento do disco de Secchi e profundidade da zona eufótica na lagoa do Óleo, no local de incubação de <i>C. furcata</i> , no período chuvoso e seco.	30
Figura 09. Coeficiente de extinção vertical da luz na lagoa do Óleo, no local de incubação de <i>C. furcata</i> , no período chuvoso e seco	31
Figura 10. Valores médios e desvios padrão da temperatura da água na superfície e no fundo, nos locais de incubação de <i>C. furcata</i> na lagoa do Óleo, no período chuvoso e seco	32
Figura 11. Valores médios e desvios padrão da condutividade elétrica da água, na superfície e no fundo, nos locais de incubação de <i>C. furcata</i> na lagoa do Óleo, no período seco chuvoso e seco	33
Figura 12. Perfis verticais da condutividade elétrica e da temperatura da água na lagoa do Óleo, durante o período chuvoso e o período seco	34
Figura 13. Valores médios e desvios padrão do pH da água, superfície e fundo, nos locais de incubação de <i>C. furcata</i> na lagoa do Óleo, no período chuvoso e seco	35
Figura 14. Valores médios e desvios padrão do oxigênio dissolvido da água, na superfície e no fundo, nos locais de incubação de <i>C. furcata</i> na lagoa do Óleo, no período chuvoso e seco	36

Figura 15. Valores médios e desvios padrão do material em suspensão total da água, superfície e fundo, apresentado na forma inorgânico e orgânico, nos locais de incubação de <i>C. furcata</i> na lagoa do Óleo, no período chuvoso e seco	37
Figura 16. Valores médios e desvios padrão das concentrações de carbono inorgânico dissolvido da água, na superfície e no fundo, apresentado nas formas CO ₂ livre e HCO ₃ ⁻ , nos locais de incubação de <i>C. furcata</i> na lagoa do Óleo, no período chuvoso e seco	38
Figura 17. Valores médios e desvios padrão das concentrações de nitrogênio orgânico total, amônio e fósforo total da água, na superfície e no fundo, nos locais de incubação de <i>C. furcata</i> na lagoa do Óleo, no período chuvoso e seco .	39
Figura 18. Valores médios e desvios padrão das porcentagens de matéria orgânica no sedimento, no local de incubação de <i>C. furcata</i> na lagoa do Óleo, no período chuvoso e no seco	40
Figura 19. Ordenação dos meses estudados, chuvoso: Dez/05 a Mar/06 e seco: Jun/06 a Set/06, pela análise dos componentes principais (PCA) utilizando as variáveis limnológicas da água na superfície (S) no fundo (F) da lagoa do Óleo	41
Figura 20. Fotossíntese líquida, respiração e fotossíntese bruta de <i>C. furcata</i> na lagoa do Óleo, na superfície e no fundo, durante o período chuvoso e seco	43
Figura 21. Valores médios e desvios padrão da fotossíntese líquida de <i>C. furcata</i> incubada na superfície e no fundo da lagoa do Óleo e os obtidos através das simulações do modelo de FL em função das variáveis abióticas em todo o período de estudo	44
Figura 22. Fotossíntese líquida de <i>C. furcata</i> e <i>E. najas</i> em função do tempo, sob intensidade luminosa de 177 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e temperatura de 25 °C	46
Figura 23. Fotossíntese líquida de <i>C. furcata</i> e <i>E. najas</i> em função do pH, sob intensidade luminosa de 177 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e temperatura de 25 °C	47
Figura 24. Curvas Fotossíntese-Irradiância de <i>C. furcata</i> e <i>E. najas</i> incubadas com água da lagoa do Óleo (L. Óleo) e meio nutritivo (M. Nutritivo), sob temperatura de 25 °C	51
Figura 25. Biomassa de <i>Egeria najas</i> durante 48 dias crescendo em diferentes temperaturas (15, 20, 25 e 30 °C), sob 177 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	53
Figura 26. Coeficiente de crescimento e tempo de duplicação de <i>E. najas</i> em diferentes temperaturas (15, 20, 25 e 30 °C)	54
Figura 27. Taxa de produção primária líquida de <i>E. najas</i> durante 48 dias em diferentes temperaturas (15, 20, 25 e 30 °C), sob intensidade luminosa de 177 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	55
Figura 28. Valores de fotossíntese bruta de <i>E. najas</i> para os quatro experimentos em diferentes temperaturas de incubação (15, 20, 25 e 30 °C)	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Variáveis físicas e químicas determinadas na água, unidades e métodos utilizados nos experimentos em campo e em laboratório	16
Tabela 02. Correlações das variáveis limnológicas da água na superfície no fundo da lagoa do Óleo com os componentes principais 1 e 2 da PCA para os meses estudados	42
Tabela 03. Modelos de fotossíntese líquida de <i>C. furcata</i> , incubada na superfície e no fundo, em função das variáveis abióticas obtidas pela análise de regressão múltipla, em todo o período de estudo	45
Tabela 04. Características físicas e químicas da água da lagoa do Óleo nos experimentos de fotossíntese líquida em função do tempo de incubação e do pH ...	48
Tabela 05. Variáveis limnológicas da água da lagoa do Óleo e do meio nutritivo utilizados nos experimentos de fotossíntese líquida em função da luz	49
Tabela 06. Parâmetros fotossintéticos de <i>C. furcata</i> e <i>E. najas</i> obtidos a partir do ajuste da curva Fotossíntese-Irradiância gerada pela equação de Platt et al.(1980) e de Michaelis-Menten	52
Tabela 07. Valores físicos e químicos da água e matéria orgânica do sedimento, durante os experimentos de crescimento em função da temperatura	56
Tabela 08. Comparações entre os valores de temperatura, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido em algumas lagoas marginais do rio Mogi-Guaçu (EEJ) nos períodos de chuva e seca	61
Tabela 09. Comparação dos valores de fotossíntese líquida de <i>C. furcata</i> , <i>E. najas</i> e <i>E. densa</i> na superfície e no fundo na lagoa do Óleo (planície de inundação, ambiente lêntico) e rios de águas claras e pretas (bacia hidrográfica do rio Itanhaém-SP, ambiente lótico) em diferentes períodos do ano	65
Tabela 10. Comparações entre o ponto de compensação a luz, eficiência fotossintética, fotoinibição e constante da $\frac{1}{2}$ saturação luminosa de várias espécies de macrófitas aquáticas submersas	71
Tabela 11. Comparações entre os valores de coeficiente de crescimento e tempo de duplicação, em diferentes temperaturas e intensidades luminosas para espécies de macrófitas aquáticas submersas da família Hydrocharitaceae	75

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

EEJ = Estação Ecológica de Jataí “Conde Augusto Ribeiro do Vale”;
L.O. = lagoa do Óleo;
M.N. = meio nutritivo;
 Z_{DS} = profundidade do desaparecimento visual do disco de Secchi;
 K_d = coeficientes de atenuação vertical da radiação fotossinteticamente ativa;
 Z_{eu} = zona eufótica;
 Z_{max} = profundidade máxima;
T = temperatura;
Cond. El. = condutividade elétrica;
OD = oxigênio dissolvido;
CID = carbono inorgânico dissolvido;
 CO_2 livre = dióxido de carbono;
 HCO_3^- = bicarbonato;
 CO_3^{-2} = carbonato;
Alcal_T = alcalinidade total;
RFA = radiação fotossinteticamente ativa;
MST = material em suspensão total;
MSI = material em suspensão inorgânico;
MSO = material em suspensão orgânico;
NTK = nitrogênio orgânico total Kjeldahl;
PT = fósforo total;
MO = matéria orgânica;
FL = fotossíntese líquida;
R = respiração;

FB = fotossíntese bruta;
c = concentrações de OD no frasco claro;
e = concentrações de OD no frasco escuro;
i = concentrações de OD no frasco inicial;
v = volume do frasco;
t = tempo;
MS = massa seca;
PCA = Análise de Componentes Principais;
F-I = curva de Fotossíntese-Irradiância
F = fotossíntese;
 F_{max} = fotossíntese máxima;
 α = eficiência fotossintética;
 I_c = ponto de saturação a luz;
 β = fotoinibição;
I = irradiação luminosa;
 K_S = metade da constante de saturação da luz;
N = biomassa;
 r_m = coeficiente de crescimento;
K = máximo valor de biomassa (capacidade suporte);
TD = tempo de duplicação
 Q_{10} = incremento do processo metabólico (crescimento e fotossíntese) em função da temperatura (coeficiente de temperatura).

Cabomba furcata e *Egeria najas* são espécies de macrófitas aquáticas submersas enraizadas que ocorrem na lagoa do Óleo (21° 36' S e 47° 49' W), situada na planície de inundação do rio Mogi-Guaçu (Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP). A caracterização limnológica da água e a fotossíntese líquida de *C. furcata* foram determinadas nesta lagoa no período chuvoso (verão) e seco (inverno), com o objetivo de avaliar a influência das variáveis abióticas sobre as taxas de fotossíntese *in situ*. No período seco a água da lagoa apresentou grande transparência; por outro lado, no período chuvoso apresentou elevadas concentrações de material em suspensão, aumentando a turbidez e diminuindo a transparência da água. No laboratório, foram realizados experimentos para verificar os efeitos do pH e da luz nos processos de fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas*. Além disso, foi analisado o efeito da temperatura no crescimento e na taxa de fotossíntese de *E. najas*. Para determinar a fotossíntese e a respiração foi utilizado o método dos frascos claros e escuros, avaliada pela medida das concentrações de oxigênio dissolvido (método de Winkler) e para a taxa de crescimento, o método de incremento de biomassa. As variáveis físicas e químicas da água e a fotossíntese líquida de *C. furcata* apresentaram padrão sazonal bem definido. *C. furcata* e *E. najas* apresentaram capacidade em utilizar tanto o CO₂ livre como HCO₃⁻ disponíveis na água. Ambas as espécies mostraram-se adaptadas a baixas intensidades de luz, podendo ser consideradas espécies de sombra. Entretanto, *C. furcata* apresentou menores valores de K_s do que *E. najas* (25 e 55 μmol m⁻² s⁻¹, respectivamente), provavelmente por ser menos tolerante a altas intensidades luminosas. A temperatura ótima de crescimento de *E. najas* foi 25 °C e, de maneira geral, apresentou elevado ganho de biomassa na faixa entre 20 - 30 °C. Os maiores valores de fotossíntese líquida de *E. najas* também foram obtidos a 25 °C, independente da temperatura em que foi aclimatada (15 - 30 °C). *E. najas* apresentou capacidade de se adaptar aos efeitos da variação de temperatura, os baixos valores de Q₁₀ obtidos nos experimentos de crescimento e fotossíntese (1,85 e 1,17, respectivamente), mostraram pequena sensibilidade a mudanças de temperatura.

ABSTRACT

Cabomba furcata and *Egeria najas* are rooted submerged species of aquatic macrophytes that occurred in Oleo Lagoon (21° 36' S e 47° 49' W), Mogi-Guaçu river floodplain (Ecological Station of Jataí, Luiz Antônio, SP). Limnological characteristics of the water and the net photosynthesis of *C. furcata* were determined in Oleo lagoon at the rainy and the dry periods (summer and winter, respectively); aiming to evaluate the influence of abiotic variables on photosynthetic rates *in situ*. The dry season, the lagoon's water was highly transparent, conversely, at the rainy season, the water presented high amounts of suspended matter, which decreased the water transparency. In laboratory, experiments were performed with *C. furcata* and *E. najas* to verify the influence of pH and light on net photosynthesis. Besides, the effect of temperature on growth rates and net photosynthesis were analyzed for *E. najas*. Photosynthesis rates were determined by changes in dissolved oxygen concentration using the light and dark bottles technique (Winkler's method). The growth rates were estimated by increment of biomass. The abiotic variables examined and the net photosynthesis of *C. furcata* presented clear seasonal pattern. *C. furcata* and *E. najas* were capable to use only free CO₂ dissolved in the water. Both species showed adaptability to low intensities of light and perhaps considered shade species. Nevertheless, *C. furcata* presented lower values of K_s than *E. najas* (25 and 55 μmol m⁻² s⁻¹, respectively), probably because it is less tolerant to high light intensities. The optimal temperature for *E. najas* growth rate was 25 °C; with generally higher biomass gain between 20 and 30 °C. The largest values of net photosynthesis of *E. najas* were obtained to 25 °C, independent of the temperature it was acclimated (15 - 30 °C). The processes of photosynthesis and growth of *E. najas* presented low sensibility to the temperature increase (Q₁₀ = 1.85 and 1.17, respectively).

SUMÁRIO

1.	Introdução	01
2.	Objetivos	08
3.	Materiais e Métodos	09
3.1.	Área de estudo	09
3.2.	Variáveis climatológicas	14
3.3.	Variáveis físicas e químicas da água	14
3.4.	Experimento em campo	17
3.5.	Experimento em laboratório	19
3.6.	Modelos matemáticos	26
3.7.	Relação entre o método de combustão e o método de titulação Gran	26
4.	Resultados	28
4.1.	Variáveis climatológicas	28
4.2.	Experimento de campo	30
4.3.	Experimento de laboratório	46
5.	Discussão	59
5.1.	Caracterização limnológica da lagoa do Óleo	59
5.2.	Experimento em campo	64
5.3.	Experimento de laboratório	66
6.	Conclusões	79
7.	Referências bibliográficas	81
8.	Anexos	95

1. INTRODUÇÃO

As plantas aquáticas ou macrófitas aquáticas ocorrem em áreas ou zonas úmidas que segundo definição estabelecida na Convenção de Ramsar, Irã, de 1971 (São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1997), são: “áreas de pântano, charco, turfa ou com água, naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias, com água corrente ou parada, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas marinhas cuja profundidade na maré baixa não exceda seis metros”.

Alguns pesquisadores consideram que as áreas úmidas são sistemas de transição entre os ambientes aquático e terrestre (ecótono), em que a periodicidade de inundação causa a flutuação do nível das águas, devido à precipitação direta, a enchente lateral de rios e lagos ou por águas subterrâneas, modificando as características físicas, químicas e biológicas do ambiente. Dessa forma, os organismos vivos respondem a essas modificações através de adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas do meio (Cowardin et al., 1979; Junk et al., 1989). Em adição, as planícies de inundação possuem funções estruturais e funcionais que diferem umas das outras, sendo difícil generalizar conceitos sobre o tema (Neiff, 2003). Desse modo, alguns pesquisadores consideram que nem todas as planícies de inundação podem ser consideradas como ecótonos, uma vez que as fisionomias e populações possuem estruturas e estratégias demográficas próprias e especializadas (Tiner, 1993; Neiff, 1999). Para esses autores, as áreas úmidas são “sistemas de extensão sub-regional em que a presença de uma lâmina de água de cobertura espacial e temporal variável produz fluxos biogeoquímicos próprios, solos com acentuado hidromorfismo e uma biota cuja estrutura e dinâmica estão bem adaptadas a amplas classes de disponibilidade de água”.

As planícies de inundação ocorrem em trechos de rios com baixas declividades e topografias planas das áreas terrestres adjacentes, conferindo caráter permanente ou temporário, determinados de acordo com a geomorfologia e o regime de flutuação do nível de água (Henry, 2003). A Estação Ecológica de Jataí (EEJ) possui ampla planície de inundação, com várias lagoas marginais ao longo do rio Mogi-Guaçu; essas lagoas apresentam diversas espécies e tipos ecológicos de macrófitas aquáticas, em diferentes estágios de sucessão (Pires et al., 2000).

Estudos nesta Unidade de Conservação foram resultantes do Programa de Análise de Ecossistemas e Monitoramento Ambiental para a Estação Ecológica de Jataí e município de Luiz Antônio, iniciado em 1987. Diversas publicações científicas, resultantes de trabalhos de mestrado e de doutorado produzidos no PPG-ERN/UFSCar, foram registradas em quatro volumes. Os volumes 1, 2, 3 e 4 abordam várias áreas da ecologia, entre eles a ecologia de população e de comunidade (vegetal e animal), ecossistemas terrestres e aquáticos, fisiologia, bioquímica, genética, planejamento ambiental, educação ambiental, ecologia humana, conservação da biodiversidade (Santos & Pires, 2000a; 2000b; Santos et. al., 2006a; 2006b).

As macrófitas aquáticas são plantas em que suas partes fotossinteticamente ativas estão permanentemente ou por alguns meses do ano, submersas em água ou flutuantes em sua superfície (Cook et al., 1974). Esse termo, macrófitas aquáticas, refere-se a formas macroscópicas de vegetação aquática, englobando macroalgas, algumas espécies de musgos, pteridófitas e angiospermas (Wetzel, 1993). Com exceção das macroalgas, estes vegetais são originários de ambientes terrestres, se adaptaram e se especializaram no ambiente aquático, descendendo por evolução de muitos e variados grupos vegetais. Portanto, possuem plasticidade de estruturas e de morfologias em relação às condições ambientais a que estão sujeitas, sendo classificadas em cinco grupos ecológicos: as emergentes (emersas), as com folhas flutuantes, as flutuantes, as submersas fixas e submersas livres (Esteves, 1998).

As macrófitas aquáticas caracterizam-se por serem vegetais com elevadas taxas de produção primária, principalmente em ambientes rasos e com baixa turbulência (Wetzel, 1993; Esteves 1998). A produtividade primária de espécies de macrófitas aquáticas de diferentes grupos ecológicos apresenta grande variação interespecífica, sendo as espécies emersas e flutuantes as mais produtivas, principalmente quando comparados com espécies submersas e com folhas flutuantes (Barko & Smart, 1983; Esteves, 1988). Além dos fatores, espécie e tipo ecológico, as características abióticas do ambiente (radiação solar, transparência da água, temperatura, variação do nível de água, velocidade de corrente, tipo de substrato e concentrações de nutrientes) e a competição intra e interespecífica são determinantes nos processos de crescimento e desenvolvimento destes vegetais (DeBusk & Reddy, 1987; Madsen, 1998).

Variáveis abióticas tais como intensidade luminosa, temperatura e nutrientes, podem se constituir em fator limitante para os vegetais, pois quando se encontram acima ou abaixo dos limites de tolerância (inferiores ou superiores) para uma determinada espécie, impedem-na de alcançar plenamente seus potenciais bióticos, diminuindo as suas taxas de crescimento (Odum, 1988). Conhecer tais fatores limitantes é de extrema relevância em estudos sobre produção primária de macrófitas aquáticas. Em condições muito próximas ao limite de tolerância, esses vegetais podem realizar o processo fotossintético apenas o suficiente para sua sobrevivência, ou então, ocorrer uma elevação das taxas de crescimento e fotossíntese e conseqüentemente, um aumento da reprodução vegetativa e sexuada (Gopal, 1990).

Para as macrófitas aquáticas submersas a radiação subaquática, temperatura e disponibilidade de nutrientes são os fatores primários que usualmente condicionam as taxas de fotossíntese destes vegetais (Kirk, 1994; Madsen & Sand-Jensen, 1994; Camargo et al., 2003). Essas variáveis podem influenciar (em conjunto ou isoladamente) as características fotossintéticas dos vegetais, tanto sazonalmente quanto diariamente (Sand-Jensen, 1989).

A disponibilidade de luz, além de ser um dos principais fatores que limitam a fotossíntese em ecossistemas aquáticos, exerce grande influência na distribuição das espécies, assim como na adaptação morfológica e fisiológica das plantas quando expostas a diferentes intensidades luminosas (Sand-Jensen, 1989; Kirk, 1994; Bini & Thomaz, 2005). A radiação que é transformada em energia potencial por reações bioquímicas (fotossíntese) ou é transformada em calor é parte da energia radiante do espectro eletromagnético. A parte utilizada pelos vegetais no processo fotossintético compreende a faixa de 400 a 700 nm. Desta forma, a energia radiante do sol possui um papel fundamental na dinâmica dos ecossistemas de água doce, influenciando a estrutura térmica, a estratificação da massa de água e os padrões de circulação das massas de água (Wetzel, 1993). Para macrófitas aquáticas submersas a quantidade de luz disponível para o processo fotossintético resulta do balanço da radiação incidente, da refletância pela superfície da água e da atenuação vertical de luz (Kirk, 1994).

As respostas fisiológicas das macrófitas aquáticas em relação à temperatura podem variar intra e interespecificamente, dependendo da localização geográfica ou da sazonalidade (Wetzel, 1993). A temperatura é um dos fatores que determinam a velocidade dos processos metabólicos nas plantas (Berry & Björkman, 1980), sendo considerada uma variável importante no controle do crescimento e da atividade fotossintética das macrófitas aquáticas (Sand-Jensen, 1989; Camargo et al., 2003). Além disso, a temperatura influencia a distribuição dos vegetais tanto nos ecossistemas aquáticos como nos terrestres (Madsen & Sand-Jensen, 1991).

Os estudos experimentais de ecofisiologia de plantas aquáticas, *in situ*, são importantes para identificar quais são os fatores limitantes ao crescimento destas; os realizados em laboratório, ou seja, sob condições controladas, possibilitam conhecer a tolerância da espécie quanto à amplitude de variação de cada fator limitante testado. As

concentrações de nutrientes, luminosidade, temperatura, pH, turbidez e oxigênio dissolvido no ambiente natural são diferentes do ambiente controlado, sendo ambos importantes para o conhecimento dos limites inferiores e superiores dos fatores que controlam o crescimento das macrófitas aquáticas. Portanto, quanto mais estudos forem realizados em ambos os ambientes maiores as contribuições sobre o conhecimento dos processos fotossintéticos, assim como sobre as diferentes condições ambientais em que esses vegetais sobrevivem e se adaptam.

Poucos estudos sobre a atividade fotossintética de organismos pertencentes ao gênero *Cabomba* foram encontrados na literatura, destacando-se o realizado por Camargo et. al. (2006) com *C. furcata*, em ambiente lótico no estado de São Paulo. Entretanto, para aqueles relativos ao gênero *Egeria* várias pesquisas foram realizadas, sendo a maioria com a espécie *E. densa*. Os estudos com este gênero abordaram a influência da intensidade luminosa e/ou da concentração de carbono inorgânico dissolvido nos processos de fotossíntese e crescimento, sob condições de laboratório (Browse et al., 1979; Casati, et. al., 2000; Lara et al., 2002; Pezzato, 2002; Tavechio & Thomaz, 2003; Pierini & Thomaz, 2004a). Pesquisas verificando as relações da fotossíntese líquida de *E. najas* e *E. densa* com as variáveis limnológicas no campo foram estudados por Pezzato & Camargo (2004) e Petracco (2006), respectivamente. Destacam-se também os estudos sobre o crescimento de *E. najas* quanto à disponibilidade de nutrientes no sedimento e na água (Barko & Smart, 1983; Bianchini Jr. et. al., 2006 e Thomaz et. al., 2007), e também o que avaliou a influência da luz e da temperatura no metabolismo de crescimento de *E. densa* (Barko & Smart, 1981).

O maior interesse científico com o gênero *Egeria* em relação ao gênero *Cabomba*, tanto em regiões tropicais como temperadas, provavelmente, seja devido aos elevados registros de ocorrência e abundância de *Egeria* sp. em diversos tipos de ecossistemas aquáticos (como espécie nativa ou introduzida) (Browse et al., 1979; Barko & Smart, 1981; Barko & Smart, 1983; Cook & Urmi-Konig, 1984; Spencer & Bowes, 1990; Casati, et. al.,

2000; Lara et al., 2002; Pezzato, 2002; Tavechio & Thomaz, 2003; Pezzato & Camargo, 2004; Pierini & Thomaz, 2004a; Bianchini Jr. et al., 2006; Petracco, 2006; Thomaz et al., 2007; entre outros). A espécie *E. densa* foi relatada como daninha em muitos ecossistemas aquáticos por prejudicar os usos múltiplos desses ambientes (por ex., geração de energia elétrica, navegação, suprimento de água, usos recreativo e controle de cheias) (Cook & Urmikönig, 1984; Spencer & Bowes, 1990; Barreto, 2000; Marcondes et al., 2003). Como observado por Camargo et al. (2003), “toda macrófita aquática pode ser considerada espécie daninha em potencial, pois se as condições ambientais são favoráveis, ou seja, se não existem fatores limitantes ao seu crescimento, esta tenderá a proliferar ocupando extensas áreas”. Os autores ressaltaram ainda que, normalmente, as proliferações indesejadas desses vegetais ocorrem em ambientes submetidos a alterações antrópicas (e.g. modificações hidrológicas do ecossistema aquático e eutrofização artificial). Embora, até o momento, as espécies *E. najas* e *E. densa* não apresentaram proliferação excessiva, nem danos aos usos múltiplos no reservatório de Itaipu Binacional (Brasil/Paraguai), pesquisas monitorando a ecologia, o manejo, a distribuição, o crescimento e a ocorrência do gênero, neste reservatório, são freqüentes (Thomaz et al., 1999; Thomaz & Bini, 1999; Thomaz et al., 2003; Thomaz & Pagioro, 2005; Bini & Thomaz, 2005).

Na lagoa do Óleo já foram estudadas as comunidades de Copepoda, Rotifera e Cladocera que habitam ambientes rasos e abrigam-se nos bancos de macrófitas aquáticas (Guntzel et al., 2000; Wisniewski et al., 2000; Rocha et al., 2000). Também foram abordados processos de decomposição com espécies submersas (*E. najas*, *Cabomba furcata* e *Utricularia breviscapa*), flutuantes (*Salvinia auriculata*) e emersas (*Cyperus giganteus*) (Bitar, 2003; Cunha-Santino, 2003; Romeiro, 2005; Sciessere, 2007). Experimentos de fotossíntese *in situ* com as macrófitas *Egeria najas* e *Utricularia breviscapa* foram realizados neste ambiente por Petracco (2006). Esta autora relacionou as influências do pulso de

inundação e das variáveis físicas e químicas da água com as taxas de fotossíntese líquida. Bianchini Jr. et. al. (2006) descreveram o crescimento de *E. najas* em laboratório, coletadas na mesma lagoa, verificando o potencial de absorção de nutrientes em meios com e sem sedimentos.

Embora estudos de produção primária com macrófitas aquáticas submersas tenham sido abordados na lagoa do Óleo, nenhuma pesquisa sobre a fotossíntese líquida de *C. furcata* foi ainda realizada. Além disso, poucos estudos abordaram os processos fisiológicos de *E. najas* e *C. furcata* em função da luz e da temperatura. Portanto, são relevantes estudos neste sentido, para ampliar o conhecimento ecofisiológico destas espécies, assim como, aprofundar o conhecimento sobre as influências das planícies de inundação em relação às variáveis físicas, químicas e biológicas.

2. OBJETIVOS

➤ Experimento de campo

- 1- Caracterizar o ambiente colonizado pela macrófita aquática (lagoa do Óleo) por meio das variáveis físicas e químicas da água e do sedimento;
- 2- Avaliar a influência de variáveis abióticas e do pulso de inundação nas taxas de fotossíntese da macrófita aquática submersa *C. furcata* na lagoa do Óleo;

➤ Experimento de laboratório

- 3- Verificar o tempo de incubação das macrófitas aquáticas submersas *C. furcata* e *E. najas* necessário para avaliar as taxas de fotossíntese;
- 4- Verificar a influência do pH na atividade fotossintética de *C. furcata* e *E. najas*;
- 5- Avaliar a influência de diversas intensidades luminosas nas taxas de fotossíntese das macrófitas aquáticas submersas *C. furcata* e *E. najas*;
- 6- Avaliar os efeitos da temperatura nas taxas de crescimento e de fotossíntese da espécie submersa *E. najas*.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O rio Mogi-Guaçu embora possua nascente no estado de Minas Gerais (região de Pouso Alegre) possui sua maior extensão no estado de São Paulo (Cetesb, 1985). Este rio apresenta três trechos distintos; a nascente, com declive acentuado; o trecho médio, com inúmeros meandros e lagoas marginais e o trecho final que se une com o rio Pardo (Noroeste Paulista), não apresentando meandros nem lagoas marginais. Basicamente três tipos de lagoas marginais estão associados ao trecho médio do rio Mogi-Guaçu: as mais antigas, permanentemente isoladas do rio; as que se ligam ao rio apenas nos períodos de inundação; e as que se encontram permanentemente ligadas as calhas do rio por um canal.

A lagoa do Óleo (21° 36' S e 47° 49' W) foi a área de estudo escolhida nessa pesquisa. Esta lagoa é uma das 14 lagoas marginais que compõem a planície de inundação no trecho médio da bacia do rio Mogi-Guaçu, localizada na região Sudeste da Estação Ecológica de Jataí “Conde Augusto Ribeiro do Vale” (EEJ) no município de Luiz Antonio, SP, BR (Figura 1). As menores temperaturas ocorrerem no inverno (17 °C), período seco com pouca precipitação e as temperaturas mais elevadas no verão (28 °C), período chuvoso com elevada precipitação. A pluviosidade média mensal no período chuvoso em questão (Dez/05 a Mar/06) foi 301 mm e no período seco (Jun/06 a Set/06) 27 mm. Nesta região ocorrem intensas atividades agroindustriais e, portanto, considerou-se importante estudar as características abióticas e bióticas da lagoa do Óleo, uma vez que esta se encontra dentro de uma área de preservação ambiental (Unidade de Conservação).

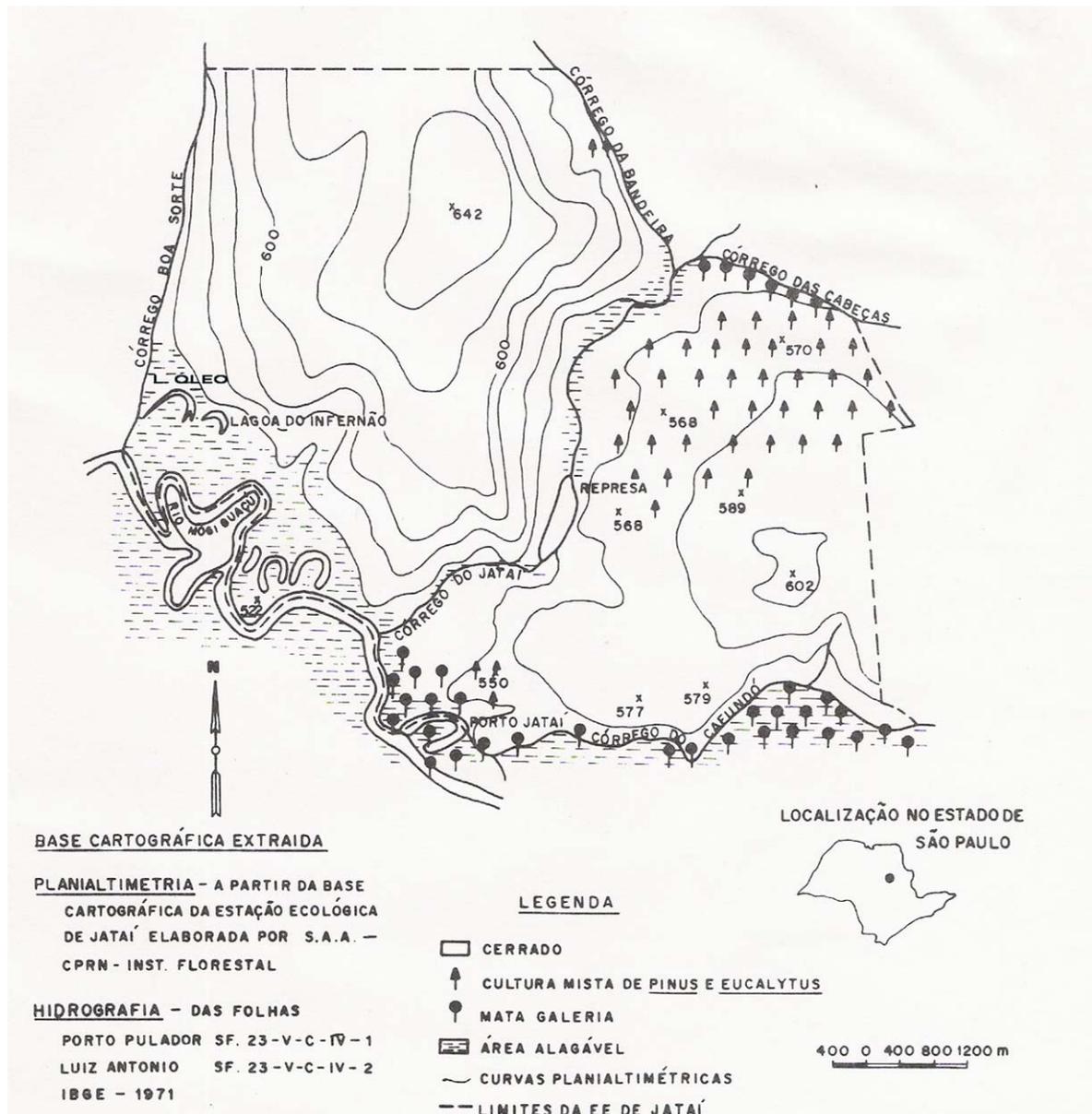


Figura 1. Carta de planialtimetria, hidrografia e sistemas ambientais da Estação Ecológica de Jataí (Modificada de Cavalheiro et. al., 1990).

A lagoa do Óleo possui a forma de U; tais lagos são usualmente conhecidos como *oxbow lakes* ou *horseshoes lakes* (Forbes, 1925; Ward & Stanford, 1995). Não apresenta conexão direta com o canal principal do rio, ligando-se a este somente em períodos de intensa precipitação (Figura 2). No período seco esta lagoa pode ser caracterizada como oligotrófica e no chuvoso entre mesotrófica e eutrófica. A lagoa possui relevo irregular, com profundidade

mínima de 0,2 m (margens) e máxima de 5 m (antiga calha do rio Mogi-Guaçu), e apresenta as seguintes características morfométricas (Petracco, 2006):

- Área 19.470 m²
- Volume 49.613 m³
- Perímetro 1.500 m
- Comprimento máximo 710 m
- Largura máxima 60 m
- Desenvolvimento de margem 3,08
- Desenvolvimento de volume 1,50



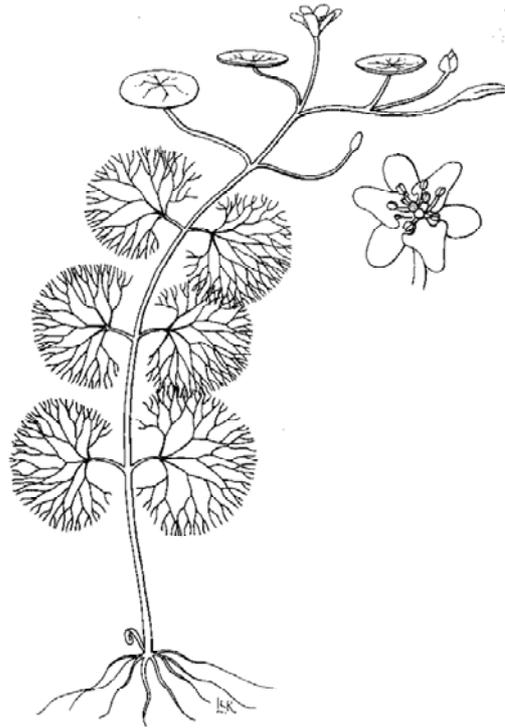
Figura 2. Vista aérea da lagoa do Óleo, localizada na planície de inundação do rio Mogi-Guaçu (Acervo LAPA/DHb/UFSCar).

As espécies de macrófitas aquáticas já catalogadas nesta lagoa foram: *Egeria najas*, *Cabomba furcata*, *Ceratophyllum submersum* (Gray) Wilmot-Dear, *Utricularia breviscapa* Wright ex Griseb, *Utricularia foliosa* L. *Eicchornia azurea* (Sw.) Kunth, *Salvinia auriculata* Aubl., *Najas conferta* (A. Braun) A. Braun, *Ricciocarpus natans* (L.) Corda, *Scirpus cubensis* Poepp & Kunth, *Cyperus giganteus* Vahl e *Ludwigia inclinata* (L.f.) P.H. Raven (Cunha-Santino, 2003; Romeiro, 2005; Petracco, 2006).

Atualmente *C. furcata* e *E. najas* são as duas macrófitas aquáticas submersas e enraizadas que colonizam e formam extensos bancos na lagoa do Óleo (na maioria das vezes monoespecíficos).

Cabomba furcata Schult. & Schult.f.

C. furcata (= *C. piauihyensis* Gardner) pertence à família Cabombaceae, é uma espécie angiosperma, submersa enraizada (Anexo 1). Possui folhas de aproximadamente 1cm de comprimento, sagitadas, que mantêm a flor fora da água, floresce de setembro a maio. A espécie se distribui na América do Sul, com registros de ocorrência também na América Central, sendo comum em brejos e pântanos (Fassett, 1953; Pott & Pott, 2000). Na Figura 3 apresenta-se o esquema de um ramo do gênero *Cabomba*.

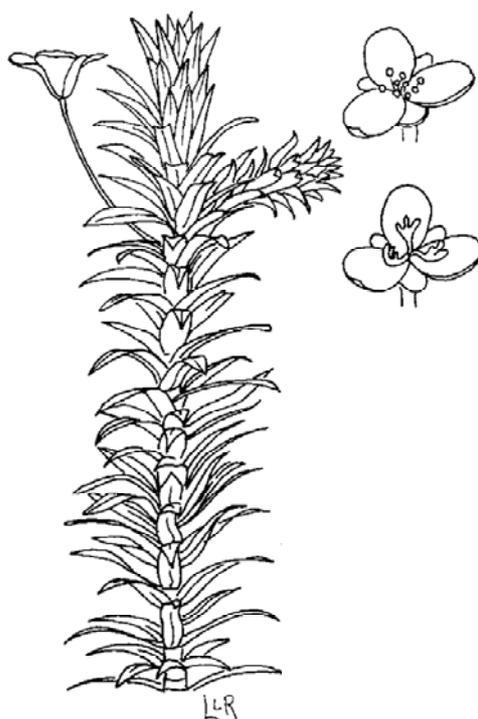


www.cedareden.com

Figura 3. Esquema de um ramo de *Cabomba* sp. em fase reprodutiva, em detalhe a flor.

Egeria najas Planch.

E. najas é uma espécie angiosperma, dióica, submersa enraizada e perene, pertence à família Hydrocharitaceae, nativa da América do Sul (Cook & Urmi-Konig, 1984) (Anexo 2). Esta espécie foi registrada em alagados do Pantanal Matogrossense (Da Silva & Pinto-Silva, 1989), no reservatório de Itaipu (Thomaz et al, 1999), no reservatório de Jupiá (Marcondes et al., 2003), no reservatório de Rosana (Pierini & Thomaz, 2005), em lagoas da planície de inundação do rio Paraná (Neiff, 1986) e em lagoas da planície de inundação do rio Mogi-Guaçu (Cunha-Santino, 2003; Petracco, 2006). Na Figura 4 mostra-se o esquema de um ramo do gênero *Egeria*, evidenciando em detalhe a flor masculina e feminina.



www.cedareden.com

Figura 4. Esquema de um ramo de *Egeria* sp. em fase reprodutiva, em detalhe a flor masculina e feminina.

3.2. Variáveis climatológicas

Os dados de precipitação pluviométrica diária de Dez/05 a Dez/06 foram obtidos na Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (Cati), Casa de Agricultura do Município de Luiz Antônio, SP.

3.3. Variáveis físicas e químicas da água e do sedimento

Experimento em Campo: As medidas das variáveis físicas e químicas da água e do sedimento foram realizadas na lagoa do Óleo, uma vez por mês durante quatro meses do período chuvoso (19/12/05, 17/01/06, 13/02/06, 13/03/06) e quatro do período seco (12/06/06, 15/07/06, 07/08/06, 26/09/06). As variáveis pH, temperatura e condutividade elétrica da água da lagoa do Óleo foram determinadas na sub-superfície até 1 m (intervalos

de 0,1 m) e após essa até a profundidade máxima 1,5 - 2,5 m, dependendo do mês (intervalos de 0,5 m). A transparência da água foi avaliada através da profundidade do desaparecimento visual do disco de Secchi (Z_{DS}).

Os coeficientes de atenuação vertical da radiação fotossinteticamente ativa (K_d) foram calculados a partir da seguinte igualdade: $K_d = 2,47/Z_{DS}$ (Petracco, 2006). Essa relação foi estimada dos perfis da radiação fotossinteticamente ativa e Z_{DS} (Kirk, 1994). A profundidade da zona eufótica (Z_{eu}) foi calculada pela igualdade: $Z_{eu} = \ln(0,01)/-K_d$. Para as quantificações do carbono inorgânico dissolvido (CID) as amostras de água foram filtradas em membrana de fibras de vidro (AP20) e determinadas por meio de combustões em altas temperaturas (TOC Shimadzu, modelo 5000A). As especiações das formas inorgânicas de carbono, CO_2 livre e HCO_3^- , foram efetuadas utilizando-se equações derivadas do equilíbrio dos carbonatos em função do pH (Hutchinson, 1957; Stumm & Morgan, 1981).

Amostras de água na superfície (0,1 m) e no fundo (1 m) foram coletadas na lagoa para determinações do material em suspensão e dos nutrientes. Em amostras de água não filtradas foram determinados as concentrações de nitrogênio orgânico total Kjeldahl (NTK) e fósforo total (P-Total) e para as amostras de água filtradas (AP20) foram analisadas as concentrações de amônio (NH_4).

Amostras de sedimento foram coletadas com draga de Eckman-Birge e utilizadas para determinação dos teores de matéria orgânica por meio de incineração a $550^\circ C$ (Allen et al., 1974). Todas as determinações e análises da água e do sedimento foram feitas em triplicata e próximo ao banco de ocorrência de *C. furcata*.

Experimento em Laboratório: Os valores de pH, condutividade elétrica e alcalinidade total foram determinados na água de todos os experimentos realizados em laboratório. As

determinações e os cálculos das concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID), ácido carbônico (H_2CO_3 ou CO_2 livre) e bicarbonato (HCO_3^-) foram realizados por dois métodos: i) por combustão em altas temperaturas e detecção em infravermelho e ii) titulação Gran.

Na Tabela 1 apresentam-se as variáveis físicas e químicas determinadas na água, as unidades e os respectivos métodos utilizados nos experimentos em campo e em laboratório.

Tabela 1. Variáveis físicas e químicas determinadas na água, unidades e métodos utilizados nos experimentos em campo e em laboratório.

<i>Experimento Campo</i>		
<i>Variáveis</i>	<i>Unidades</i>	<i>Métodos</i>
Oxigênio Dissolvido	mg L^{-1}	Winkler
pH		Horiba (modelo U 10)
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Horiba (modelo U 10)
Condutividade Elétrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$	Horiba (modelo U 10)
Z_{DS}	m	Disco de Secchi
K_d	m^{-1}	Kirk, 1994
Material em Suspensão	mg L^{-1}	Gravimétrico (Teixeira et al., 1965)
CID	mg L^{-1}	Combustão (TOC Shimadzu® - 5000A)
CO_2 livre	mg L^{-1}	Hutchinson, 1975; Stumm & Morgan, 1981
HCO_3^-	mg L^{-1}	Hutchinson, 1975; Stumm & Morgan, 1982
N-NH_4	$\mu\text{g L}^{-1}$	Espectrofotométrico (Mackereth et al., 1978)
NTK	mg L^{-1}	Titulométrico (Mackereth et al., 1979)
P-Total	$\mu\text{g L}^{-1}$	Espectrofotométrico (Golterman et al., 1978)
<i>Experimento Laboratório</i>		
<i>Variáveis</i>	<i>Unidades</i>	<i>Métodos</i>
Oxigênio Dissolvido	mg L^{-1}	Winkler
pH		Potenciométrico
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Potenciométrico
Condutividade Elétrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$	Potenciométrico
Alcal_T	meq L^{-1}	Titulação Gran (Carmouze, 1995)
CID	mg L^{-1}	Combustão (TOC Shimadzu® - 5000A) e Titulação Gran (Carmouze, 1995)
CO_2 livre	mg L^{-1}	Hutchinson, 1975; Stumm & Morgan, 1981 e Titulação Gran (Carmouze, 1995)
HCO_3^-	mg L^{-1}	Hutchinson, 1975; Stumm & Morgan, 1981 e Titulação Gran (Carmouze, 1995)
RFA	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Biospherical Instruments TM QSL-100

No estudo em campo foram realizadas incubações para avaliar as taxas fotossintéticas da macrófita aquática submersa *C. furcata* e determinadas variáveis físicas e químicas da água e do sedimento da lagoa do Óleo. No laboratório foram realizados cinco experimentos visando: 1) avaliar o tempo de incubação mais adequado para determinar as taxas de fotossíntese de *C. furcata* e *E. najas*, 2) avaliar a influência do pH nas taxas de fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas*, 3) avaliar o efeito da intensidade luminosa nas taxas fotossintéticas de *C. furcata* e *E. najas*, 4) verificar o crescimento de *E. najas* em diferentes temperaturas e 5) verificar o efeito da temperatura nas taxas de fotossíntese de *E. najas*.

3.4. Experimento em campo

3.4.1. Taxa fotossintética de C. furcata e relações com as variáveis abióticas da lagoa do Óleo

As taxas de fotossíntese e de respiração de *C. furcata* na lagoa do Óleo foram realizadas concomitantemente à obtenção das medidas das variáveis físicas e químicas da água e do sedimento. Os experimentos de fotossíntese foram realizados no local de ocorrência de *C. furcata*, utilizando água do próprio ambiente, coletada com garrafa de van Dorn. As incubações foram realizadas na superfície (0,1 m) e no fundo (1,0 m), por um período de uma hora (de 12 às 13 horas, aproximadamente).

Para determinar as taxas de fotossíntese e respiração utilizou-se o método de frascos claros e escuros (Volleweider, 1974), com base nas variações das concentrações de oxigênio dissolvido, determinadas pelo método de Winkler de acordo com os procedimentos utilizados por Menendez & Peñuelas (1993); Menendez & Sanches (1998).

Os frascos claros (97 % de transparência) e os escuros (recobertos por densa camada plástica preta) de aproximadamente 300 ml de capacidade foram completados com água por meio de sifão e adicionados ramos apicais dos vegetais, com aproximadamente 8,0 cm de

comprimento, em triplicata. As plantas foram lavadas com água para retirada do material aderido. Frascos, claro e escuro sem o vegetal, foram utilizados para determinar a fotossíntese e a respiração do fitoplâncton para posterior correção da fotossíntese da macrófita aquática. Para tanto, os valores de oxigênio dos frascos sem plantas foram descontados dos valores de oxigênio dos frascos com plantas. Após as incubações, o material vegetal utilizado nas incubações foi seco em estufa a 60° C até peso constante (Pompêo & Moschini, 2003).

Os cálculos de fotossíntese e respiração foram feitos de acordo com as equações descritas por Littler & Arnold (1985):

$$FL = \frac{(c - i) \times v}{(t \times MS)} \quad (\text{Eq. 1}),$$

$$RE = \frac{(i - e) \times v}{(t \times MS)} \quad (\text{Eq. 2}),$$

$$FB = FL + RE \quad (\text{Eq. 3}),$$

em que:

FL = fotossíntese líquida;

R = respiração;

FB = fotossíntese bruta;

c = concentrações de O₂ no frasco claro;

e = concentrações de O₂ no frasco escuro;

i = concentrações de O₂ no frasco inicial;

v = volume do frasco de incubação;

t = tempo de incubação;

MS = massa seca da planta incubada.

Os resultados das variáveis abióticas e bióticas foram submetidos análise de variância unidirecional (ANOVA) (Zar, 1999) para verificar a existência de diferenças significativas entre o período chuvoso e seco (efeitos da sazonalidade), e também entre a superfície e o fundo (efeitos da profundidade) ($P < 0,05$). Os dados foram log-transformados e em seguida aplicados os testes de D'Agostinho e de Bartlett para avaliar a normalidade e a homocedasticidade, respectivamente (Zar, 1999). O nível de significância utilizado foi de $P < 0,05$. A partir dos resultados obtidos anteriormente, realizou-se ainda uma Análise de Componentes Principais (PCA), hierarquizando as variáveis abióticas para o conjunto de dados (Ludwig & Reynolds, 1988).

Com a finalidade de avaliar as relações entre as variáveis abióticas e os valores de fotossíntese líquida foi realizada a análise de regressão parcial múltipla *stepwise* (RPMS) (Zar, 1999). Os coeficientes gerados nessa análise geram os “pesos” de cada variável ambiental sobre os valores de fotossíntese. A partir das seleções das variáveis, ou seja, aquelas que relacionaram-se com as taxas fotossintéticas, a análise gerou equações que descreveram as taxas de fotossíntese em função das variáveis abióticas selecionadas. O nível de significância utilizado foi $P < 0,05$.

3.5. Experimento em Laboratório

Os ramos de *C. furcata* e *E. najas* foram coletados na lagoa do Óleo e transportados para laboratório, em seguida selecionados e lavados cuidadosamente com água para remover os organismos perifíticos e materiais aderidos. Os experimentos em laboratório foram realizados em uma câmara de incubação, com temperatura controlada ($\pm 0,5$ °C) e iluminação horizontal com suporte para quatro lâmpadas frias fluorescentes. O método utilizado para determinar as taxas fotossintéticas em laboratório foi o mesmo utilizado no campo, descrito no item 3.4.1.

Alguns experimentos foram realizados com água da lagoa do Óleo e outros com meio nutritivo Hoagland-Arnon (1950) diluído a 10% (Barko & Smart, 1981). As concentrações dos nutrientes e micronutrientes do meio nutritivo Hoagland-Arnon foram: N-NH₄ = 1,4 mg L⁻¹; N-NO₃ = 19,6 mg L⁻¹; P-PO₄ = 3,1 mg L⁻¹; K = 23,4 mg L⁻¹; Ca = 16,0 mg L⁻¹; Mg = 4,8 mg L⁻¹; Fe = 0,07 mg L⁻¹; B = 0,05 mg L⁻¹; Mn = 0,05 mg L⁻¹; Zn = 0,005 μg L⁻¹; Cu = 0,002 μg L⁻¹; Mo = 0,001 μg L⁻¹; Cl = 0,07 mg L⁻¹ e S = 0,03 mg L⁻¹.

3.5.1. A influência do tempo de incubação na fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas*

O primeiro experimento realizado em laboratório visou determinar o tempo de incubação mais adequado para avaliação das taxas de fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas*. Assim, foram determinadas as taxas de fotossíntese líquida em tempo de incubação de 0,5, 1, 2, 3 h, 4 e 5 horas, com temperatura de 25 °C e intensidade luminosa de 177 μmol m⁻² s⁻¹ e água da lagoa do Óleo.

A análise de variância (ANOVA) foi empregada para verificar possíveis diferenças significativas entre o tempo de incubação e a fotossíntese líquida, para *C. furcata* e *E. najas*. Os dados foram log-transformados e em seguida aplicados os testes de D'Agostinho e de Bartlett para avaliar a normalidade e a homocedasticidade, respectivamente (Zar, 1999). O nível de significância utilizado foi P < 0,05.

3.5.2. Fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas* em função do pH

Experimentos de fotossíntese em função do pH foram realizados com *C. furcata* e *E. najas*, utilizando água da lagoa do Óleo, a fim de verificar a influência do pH na atividade fotossintética destes vegetais. A temperatura e a luz selecionadas neste experimento foram 25 °C e 177 μmol m⁻² s⁻¹, respectivamente. Deste modo foram realizados experimentos com três valores de pH (4,0; 6,5 e 8,5), baseados na relação entre pH e formas de carbono inorgânico

em águas doces (Wetzel & Likens, 1991). Para o ajuste do pH foram adicionadas soluções de HCl ou KOH (0,5 N) nas amostras de água.

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para verificar a ocorrência de diferença significativa entre o pH e as taxas de fotossíntese líquida, para *C. furcata* e *E. najas*. Os dados foram log-transformados e em seguida aplicados os testes de D'Agostinho e de Bartlett para avaliar a normalidade e a homocedasticidade, respectivamente (Zar, 1999). O nível de significância utilizado foi de $P < 0,05$.

3.5.3. Respostas fotossintéticas de *C. furcata* e *E. najas* à intensidade luminosa

Nestes experimentos foram utilizados dois meios para realizar as incubações em função da luz, para ambas as espécies: i) água da lagoa do Óleo e ii) meio nutritivo Hogland-Arnon (10%). A finalidade de realizar as incubações em dois meios distintos foi verificar a resposta fotossintética das espécies em um meio com poucos nutrientes (água da lagoa do Óleo) e um com elevados valores de nutrientes (meio nutritivo).

Para avaliar a resposta das taxas fotossintéticas de *C. furcata* e *E. najas* em relação à luz foram realizados experimentos com diferentes intensidades luminosas, usando nove níveis de RFA (10, 16, 27, 45, 75, 100, 177, 275, 390 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperatura de 25 °C e tempo de incubação de 1 hora. Os níveis de RFA na incubadora foram ajustados pelo movimento da posição dos frascos em intervalos regulares, para garantir a obtenção de uma mesma média de exposição de luz nos frascos. Os níveis de luz foram obtidos usando uma, duas lâmpadas ou filtros neutros apropriados de acordo com Menendez & Sanches (1998).

Para os valores de fotossíntese líquida (FL) em função da luz foram ajustados duas equações que contemplam as taxas fotossintéticas em função de parâmetros relacionados à intensidade de luz, gerando curvas de Fotossíntese-Irradiância (F-I) (equação de Platt et. al. (1980) (Eq. 4) e a equação de Michaelis-Menten (Carr et. al. (1997) (Eq. 5)). Na equação de

Platt et. al. (1980) os valores de FL em função da luz são ajustados de acordo com os seguintes parâmetros: fotossíntese máxima (F_{\max}), eficiência fotossintética (α) e ponto de saturação a luz (I_c), inclui o fator fotoinibição (β) sugerido por Henley (1993). Na equação de Michaelis-Menten, são abordadas a fotossíntese máxima (F_{\max}) e a constante de $\frac{1}{2}$ saturação luminosa (K_S). Para os ajustes das curvas de F-I foram utilizados o algoritmo iterativo de Levenberg-Marquardt (Press et al., 1993).

$$F_{\max} (1^{\alpha(x-I_c)\beta}) \quad (\text{Eq. 4}),$$

em que:

F_{\max} = a fotossíntese máxima

I_c = ponto de compensação luminosa

α = eficiência fotossintética

β = fotoinibição

$$F = F_{\max} \left(\frac{I}{K_S + I} \right) \quad (\text{Eq. 5}),$$

em que:

F = fotossíntese;

F_{\max} = fotossíntese máxima;

I = irradiação luminosa;

K_S = constante da metade da saturação da luz.

Aos dados ajustados das curvas F-I, geradas pelas equações 4 e 5, foram realizados testes de Mann-Whitney, com o intuito de verificar possíveis diferenças significativas nas taxas fotossintéticas em meios com maiores e menores concentrações de nutrientes. Para tanto, as curvas utilizadas foram: i) curvas de F-I de *C. furcata* na lagoa do Óleo versus curvas de F-I de *C. furcata* no meio nutritivo e ii) curvas de F-I de *E. najas* na lagoa do Óleo x curvas de F-I de *E. najas* no meio nutritivo).

A fim de verificar as respostas fisiológicas entre as espécies, em função da luz, foram realizados os mesmo testes, desta vez sem alterar o mesmo meio aquoso. As curvas ajustadas utilizadas foram: iii) curvas de F-I de *C. furcata* na lagoa do Óleo *versus* curvas de F-I de *E. najas* na lagoa do Óleo e iv) curvas de F-I de *C. furcata* no meio nutritivo x curvas de F-I de *E. najas* no meio nutritivo. Todos estes testes foram feitos para as duas equações. Para todas as análises realizadas foram utilizados nível de significância $P < 0,05$.

3.5.4. Crescimento de *E. najas* em diferentes temperaturas

Em aquários de 0,5 m² e 5,5 litros foram acompanhados os crescimentos de *E. najas* com temperatura controlada de 15, 20, 25 e 30 °C ($\pm 0,5$ °C) e fotoperíodo de 12 horas, durante 48 dias (quatro aquários para cada temperatura). Vinte e oito ramos apicais de *E. najas*, de oito centímetros e meio (8,5 cm), foram plantados em vasos de 30 ml com sedimento da lagoa e a superfície recoberta com areia lavada para reduzir os distúrbios no sedimento durante a manipulação. A água utilizada neste experimento foi meio nutritivo Hogland-Arnon (10%) para garantir nutrientes suficientes para o desenvolvimento das plantas.

Uma vez que a luz também representa um fator limitante para o crescimento e fotossíntese de macrófitas submersas (Spencer & Bowes, 1990), foi utilizada uma intensidade de luz não-limitante ($177 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 400 a 700 nm) (c.a. $120\text{-}300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; Tavechio & Thomaz, 2003; Pierini & Thomaz, 2004a).

A cada quatro dias as plantas foram medidas e a cada 10 dias a água renovada para repor os nutrientes e para limpeza dos aquários. Após 48 dias os experimentos foram finalizados devido à falta de incremento no comprimento observada nos indivíduos a partir do 40º dia, com exceção da temperatura de 15 °C. No entanto, com o intuito de padronizar a metodologia optou-se por finalizá-lo ao mesmo tempo.

A biomassa de *E. najas* foi estimada a partir da equação de regressão linear entre o comprimento (C) e a massa seca (MS) de indivíduos coletados na lagoa do Óleo. Para tanto foram selecionados 70 ramos da espécie entre 2 e 32 cm e, em seguida, estes foram secos (60 °C) até massa constante (Eq. 6).

$$MS = 0,0133 + 0,0025C \quad (r^2 = 0,88) \quad (\text{Eq. 6})$$

Para todas as temperaturas os resultados de biomassa total foram ajustados ao modelo de crescimento logístico de Verhulst (1834; Krebs, 1972; Pianka, 1994); Eq. 7. Este modelo foi considerado adequado e usualmente utilizado para descrever o crescimento de macrófitas aquáticas (Bianchini Jr., 2003; Bianchini Jr. et. al., 2006). A obtenção dos parâmetros cinéticos dos incrementos de biomassa, a partir de regressões não lineares, foi calculada pelo algoritmo iterativo de Levenberg-Marquardt (Press et al., 1993).

$$\frac{dN}{dt} = r_m \left(1 - \frac{N}{K} \right) \quad (\text{Eq. 7}),$$

em que:

N = biomassa;

r_m = coeficiente de crescimento;

K = máximo valor de N (capacidade suporte);

t = tempo.

O valor máximo de biomassa (K) foi considerado constante para todas as temperaturas selecionadas (15, 20, 25 e 30 °C), sendo que o valor obtido pela curva a 25 °C foi utilizado para as demais temperaturas, uma vez que esta apresentou valor estatisticamente maior. O tempo de duplicação (TD, dia) foi estimado com base na Equação 8 (Mitchell, 1974):

$$TD = \frac{\ln(2)}{r_m} \quad (\text{Eq. 8}),$$

Para quantificar os efeitos da temperatura no crescimento de *E. najas* foram calculados os valores do coeficiente de temperatura (Q_{10}); para tanto, se utilizou a relação exponencial entre a temperatura e os valores de biomassa.

Aos dados das variáveis limnológicas da água, do sedimento e aos valores de ganho de biomassa de *E. najas* nas diferentes temperaturas foram aplicados análise de variância unidirecional (ANOVA, one-way) (Zar, 1999). Os dados foram log-transformados e em seguida aplicados os testes de D'Agostinho e de Bartlett para avaliar a normalidade e a homocedasticidade, respectivamente (Zar, 1999). Para os dados ajustados das curvas de crescimento (biomassa) em função da temperatura foram aplicados o teste de Kruskal-Wallis. O nível de significância utilizado em todos os testes foi de $P < 0,05$.

3.5.5. Efeito da temperatura na taxas fotossintéticas de *E. najas*

Os indivíduos de *E. najas* utilizados no experimento de crescimento (item 2.5.4) foram incubados para determinação das taxas de fotossíntese. Com o objetivo de avaliar a adaptação da espécie à variação de temperatura, com as plantas ($n = 28$) que cresceram durante os 48 dias a 15 °C foram determinadas as taxas de fotossíntese líquida e de respiração em quatro temperaturas: 15, 20, 25 e 30 °C. O mesmo procedimento foi adotado para os indivíduos que cresceram nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C.

Os experimentos de fotossíntese e respiração foram feitos com $177 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de RFA e a água utilizada foi o meio nutritivo Hogland-Arnon (10%). Os valores do coeficiente de temperatura (Q_{10}) foram obtidos através da relação exponencial entre a temperatura e as taxas de fotossíntese.

Aos valores de fotossíntese de *E. najas* nas diferentes temperaturas foi aplicada a análise de variância unidirecional (ANOVA, one-way) (Zar, 1999). Os dados foram log-transformados e em seguida aplicados os testes de D'Agostinho e de Bartlett para avaliar a

normalidade e a homocedasticidade, respectivamente (Zar, 1999). O nível de significância utilizado em todos os testes foi de $P < 0,05$.

3.6. Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos constituem-se em valiosas ferramentas para o gerenciamento ambiental, podem ser utilizados para simular reações do sistema em resposta a diferentes funções de força (ou variáveis externas) em condições variadas. Com isso é possível estabelecer efeitos de variáveis potencialmente impactantes sobre o sistema, subsidiando ferramentas de medidas de controle e limites de tolerância referentes ao objeto de estudo (Jørgensen, 1994).

Os modelos utilizados neste estudo foram não lineares, uma vez que os sistemas ecológicos apresentam processos fundamentais que são não-lineares por natureza. Para o efeito da radiação sobre as taxas de fotossíntese foram utilizadas duas equações; a proposta por Platt et al. (1980) que considera a ocorrência de fotoinibição e a de Michaelis-Menten que é indicada quando não ocorre fotoinibição. Com a finalidade de verificar qual modelo melhor se ajusta aos valores de fotossíntese em função da luz, foram utilizadas ambas as equações.

Para os modelos de crescimento utilizou-se o modelo de curva logística proposto em 1834 por P. F. Verhulst, que implica o conhecimento da densidade (e ou biomassa) da população estudada (Krebs, 1972; Pianka, 1994).

3.7. Relação entre o método de combustão e o método de titulação Gran

No experimento de campo o cálculo das formas inorgânicas de carbono dissolvido (CID) foi feito por meio de combustão a altas temperaturas. As especiações das formas inorgânicas de carbono, CO_2 livre e HCO_3^- , foram efetuadas utilizando-se equações derivadas

do equilíbrio dos carbonatos em função do pH (Hutchinson, 1957; Stumm & Morgan, 1981). Nos experimentos de laboratório os cálculos do carbono inorgânico dissolvido foram realizados por dois métodos, o primeiro como descrito anteriormente (item 3.3.) e o segundo pelo método descrito em Carmouze (1994), que considera os valores de alcalinidade, condutividade elétrica e temperatura.

Com o intuito de estabelecer comparações entre os valores de CID e suas formas no decorrer deste trabalho, foi realizada uma relação entre os valores de carbono inorgânico obtidos pelos dois métodos, durante os experimentos de laboratório. A Figura 5 mostra que uma boa relação foi obtida ($r^2 = 0,85$) possibilitando assim a comparação entre os dois métodos.

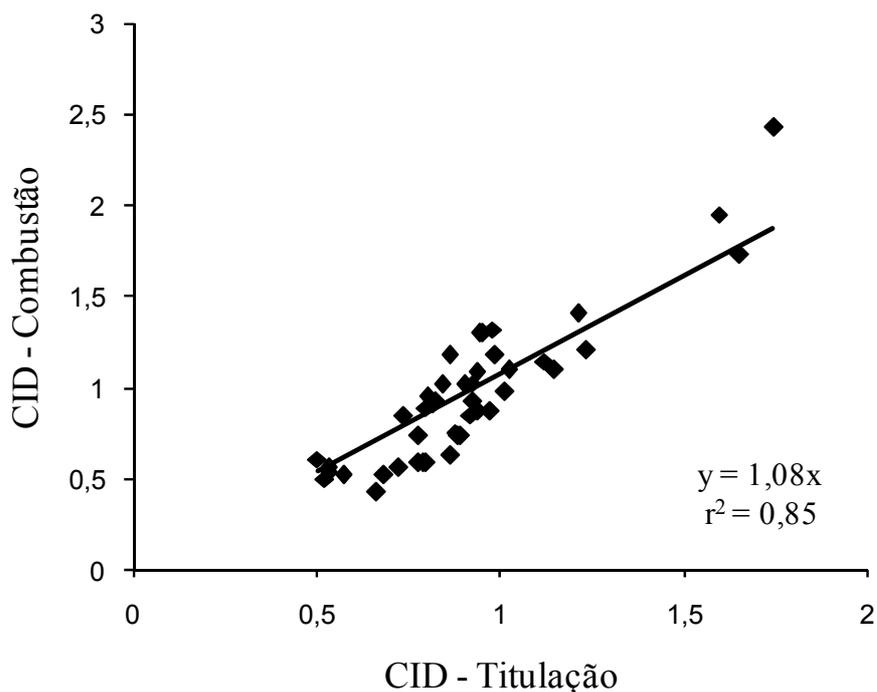


Figura 5. Relação dos valores de carbono inorgânico dissolvido (CID) obtidos pelo método de combustão (TOC Shimadzu[®] - 5000A) e de titulação Gran (Carmouze, 1994).

4. RESULTADOS

4.1. Variáveis Climatológicas

As precipitações pluviométricas diárias durante os meses de Dez/05 a Dez/06 estão apresentadas na Figura 6, e indicados os dias de coleta (setas) no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e no período seco (Jun/06 a Set/06). Na Figura 7 apresentam-se as profundidades máximas no local de incubação de *C. furcata* (lagoa do Óleo) e as precipitações pluviométricas mensais médias durante o período de Dez/05 a Dez/06.

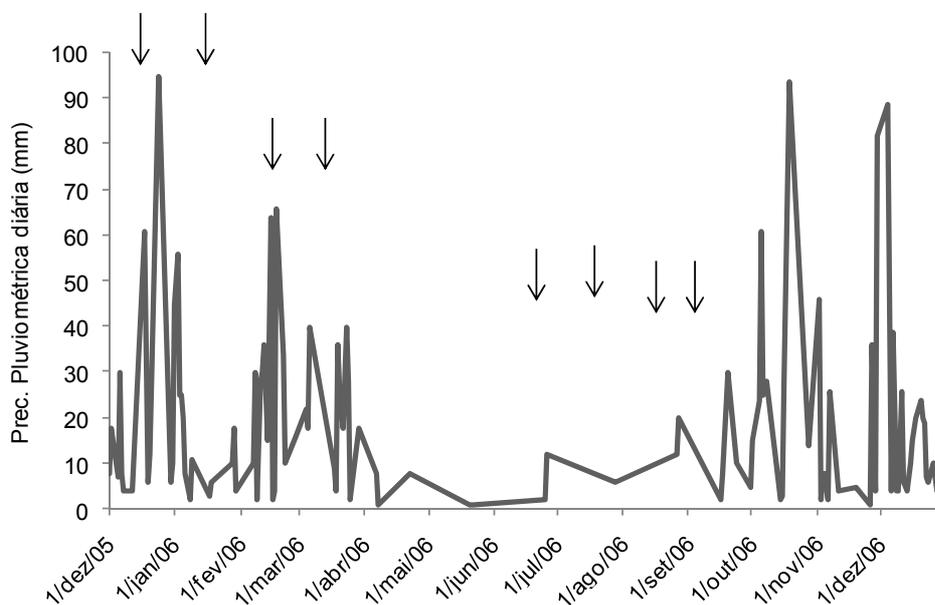


Figura 6. Precipitação pluviométrica diária (mm) durante o período de Dez/05 a Dez/06, as setas indicam o período da coleta (período chuvoso, Dez/05 a Mar/06 e período seco, Jun/06 a Set/06).

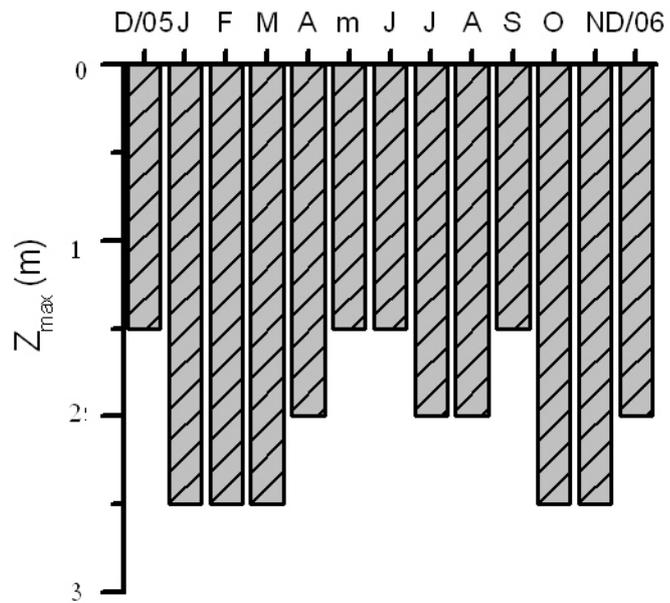


Figura 7. Profundidades máximas (Z_{max} , m) no local de incubação de *C. furcata* (lagoa do Óleo), no período de Dez/05 a Dez/06.

4.2. Experimento em campo

4.2.1. Taxa Fotossintética de *C. furcata* e relações com as variáveis abióticas da lagoa do Óleo

4.2.1.1. Variáveis físicas e químicas

I. Transparência da água (Z_{DS})

Os valores de transparência da água (Z_{DS}) apresentaram diferenças significativas sazonalmente. Os menores valores de transparência na coluna da água foram obtidos no período chuvoso (0,47 - 0,62 m), período de intensas precipitações e maior profundidade (Dez/05 a Mar/06) e os maiores no período seco (0,97 - 1,45 m), com baixas precipitações e menor profundidade da lagoa (Jun a Set/06) (Figura 8; Anexos 3 e 16).

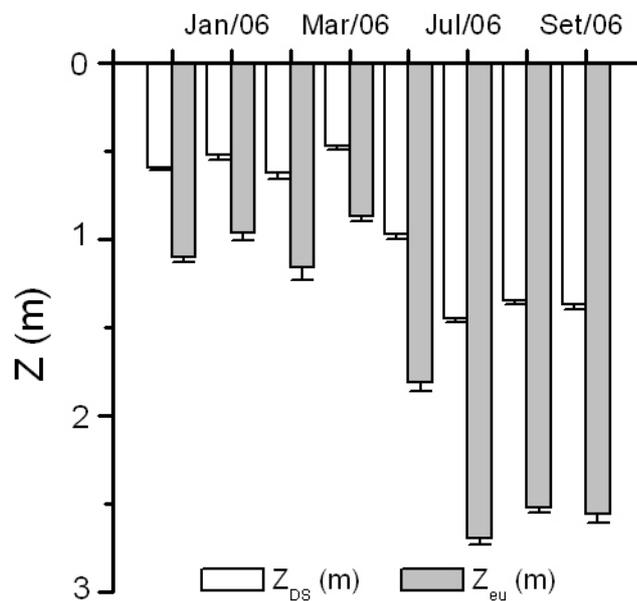


Figura 8. Profundidade do desaparecimento do disco de Secchi (Z_{DS} , m) e profundidade da zona eufótica (Z_{eu} , m) na lagoa do Óleo, no local de incubação de *C. furcata*, no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06).

II. Coeficiente de extinção vertical da luz (K_d) na água

Os valores de coeficientes de extinção vertical da luz (K_d) apresentaram diferenças entre o período seco e chuvoso. Os maiores valores foram obtidos no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) (3,97 - 5,30 m^{-1}) e os menores no período seco (Jun a Set/06) (1,71 - 2,54 m^{-1}) (Figura 9; Anexos 3 e 16).

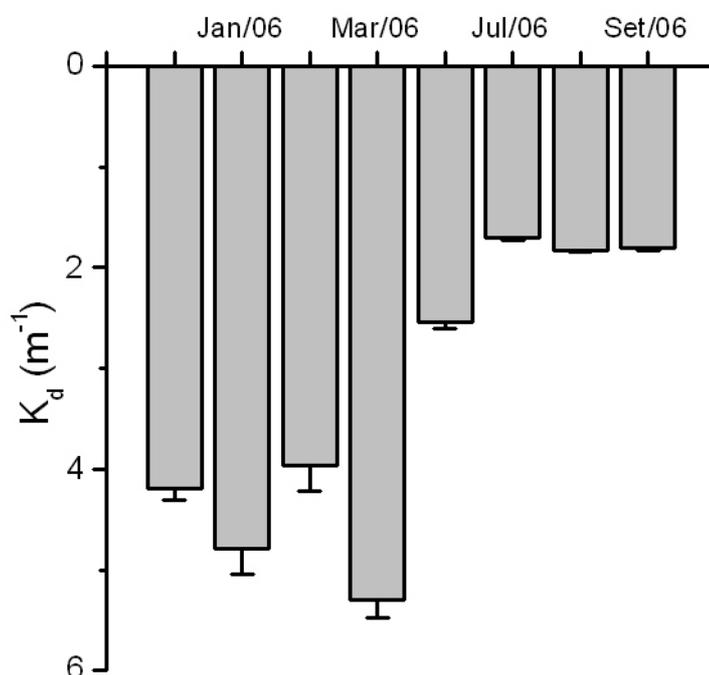


Figura 9. Coeficiente de extinção vertical da luz (K_d , m^{-1}) na lagoa do Óleo, no local de incubação de *C. furcata*, no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06).

III. Temperatura da água

A temperatura da água apresentou padrão sazonal, com valor significativamente maior no período chuvoso (26 °C, Dez/05 a Mar/06) e menor no período seco (19 °C, Jun/06 a Set/06). Os valores de temperatura também apresentaram diferenças significativas entre as

profundidades (superfície e fundo) (Anexos 3 e 4). Os maiores e menores valores de temperatura na superfície da água na lagoa do Óleo foram 28,5 (Jan/06) e 19 °C (Jun e Jul/06), respectivamente. Enquanto que no fundo os valores variaram entre 25,8 (Dez/05) e 17 °C (Jul/06) (Figura 10 e Anexo 17).

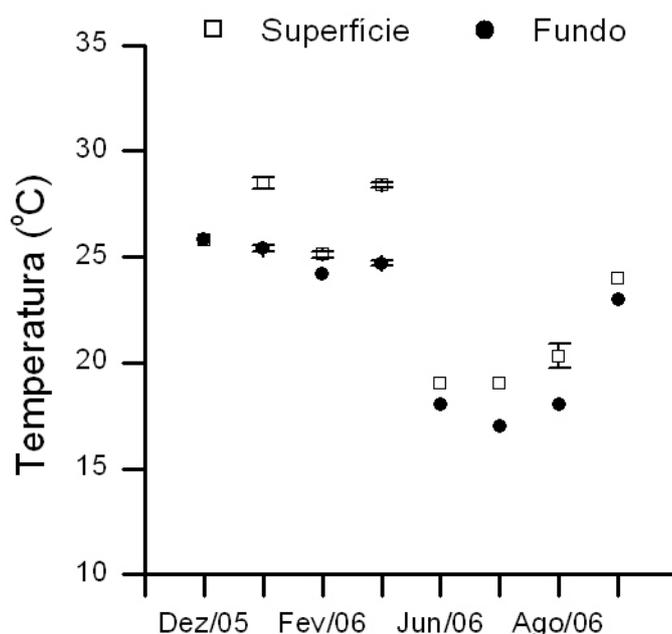


Figura 10. Valores médios e desvios padrão da temperatura (°C) da água na **superfície** e no **fundo (1m)**, nos locais de incubação de *C. furcata* na lagoa do Óleo, no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06).

IV. Condutividade elétrica da água

Os valores de condutividade elétrica da água apresentaram diferenças significativas sazonalmente, com valores mais elevados no período chuvoso do que no período seco. Houve também diferença significativa entre a superfície e o fundo, apresentando maiores valores no fundo (57 e 42 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em Jan/06 e Mar/06, respectivamente) do que na superfície (14 e 13 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em Jan/06 e Mar/06, respectivamente) (Figura 11; Anexos 3, 4 e 17).

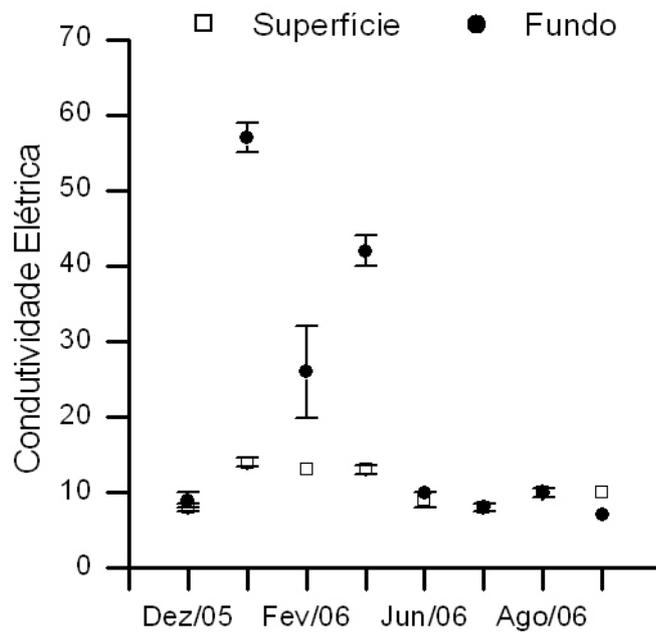


Figura 11. Valores médios e desvios padrão da condutividade elétrica (Cond. El., $\mu\text{S cm}^{-1}$) da água, na **superfície** e no **fundo (1m)**, nos locais de incubação de *C. furcata* na lagoa do Óleo, no período seco chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06).

Os perfis verticais da condutividade elétrica e da temperatura na água, no período seco e chuvoso, estão representados na Figura 12. No período chuvoso a condutividade elétrica aumentou com a profundidade, por outro lado, no período seco observa-se um perfil homogêneo. Com relação à temperatura, o período chuvoso manteve-se estável ao longo da coluna da água, no entanto, no período seco houve estratificação térmica com redução desta variável de até 7 °C ao longo da coluna d'água (Anexos 18 e 19).

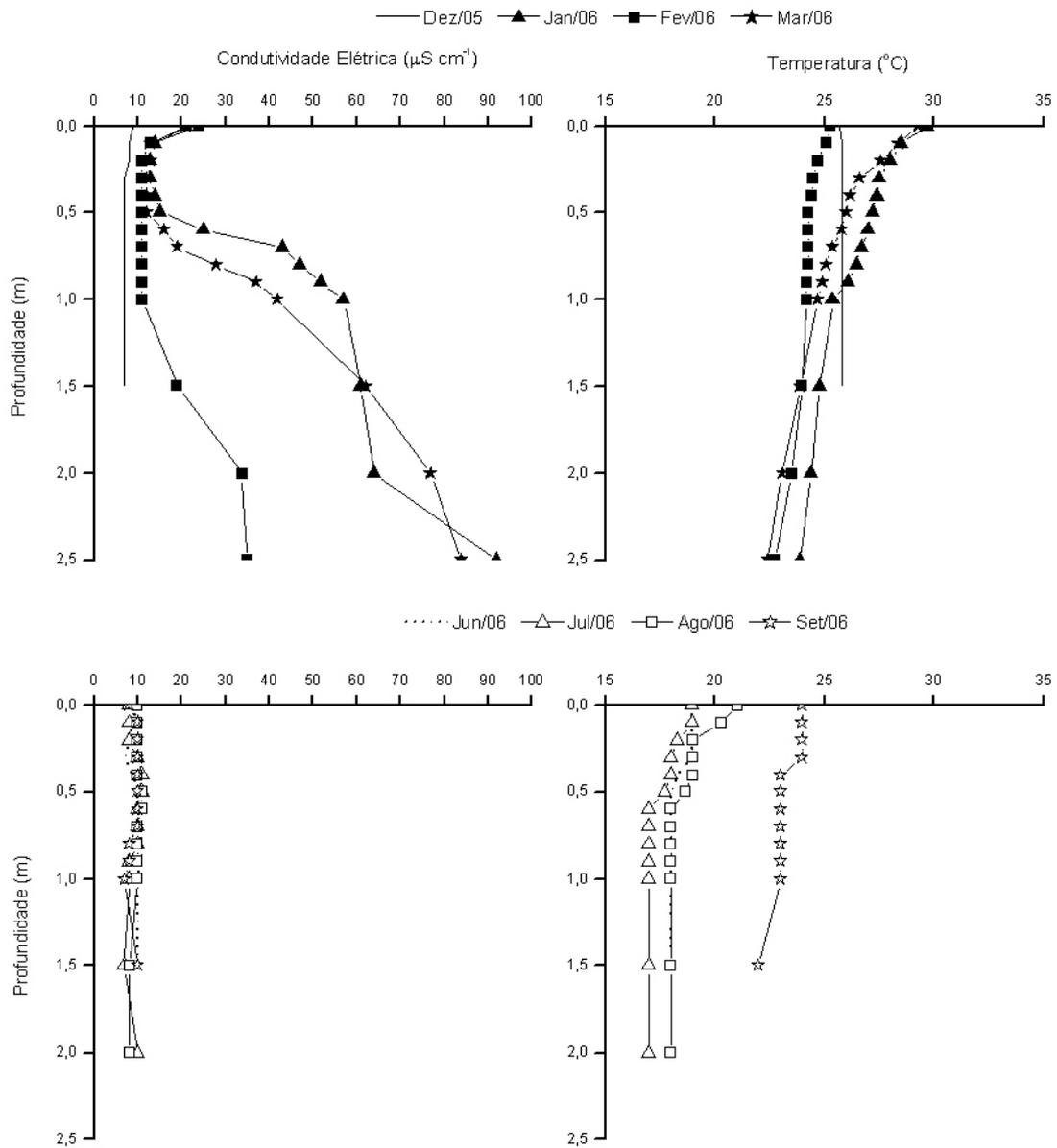


Figura 12. Perfis verticais da condutividade elétrica e da temperatura da água na lagoa do Óleo, durante o período chuvoso (Dez/05, Jan/06, Fev/06, Mar/06) e o período seco (Jun/06, Jul/06, Ago/06, Set/06).

V. pH

Os valores de pH da água durante o período de estudo apresentaram diferenças significativas quanto a sazonalidade, apresentando maiores valores no período seco do que no

chuvoso. No entanto, em relação à profundidade não foi observada diferença significativa, na superfície os valores variaram entre $4,00 \pm 0,02$ (Fev/06) e $5,73 \pm 0,06$ (Set/06) e no fundo entre $4,08 \pm 0,01$ (Dez/05) e $5,49 \pm 0,01$ (Mar/06) (Figura 13; Anexos 3, 4 e 17).

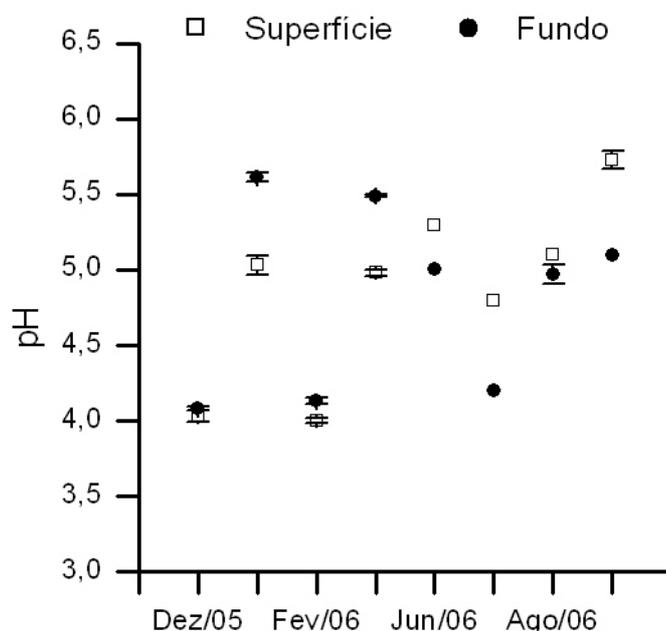


Figura 13. Valores médios e desvios padrão do pH da água, na **superfície** e no **fundo (1m)**, nos locais de incubação de *C. furcata* na lagoa do Óleo, no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06).

VI. Oxigênio dissolvido

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) apresentaram diferenças significativas entre a superfície e o fundo. Os maiores valores foram obtidos na superfície e os menores no fundo, com exceção dos meses Dez/05, Jan/06 e Mar/06. Na superfície as concentrações de OD variaram entre 2,33 a 12,39 mg L⁻¹ e no fundo entre 2,19 a 11,32 mg L⁻¹. Houve também diferença significativa sazonalmente, sendo que os valores mais elevados foram determinados no período seco e os mais baixos no período chuvoso. (Figura 14; Anexos 3, 4 e 17).

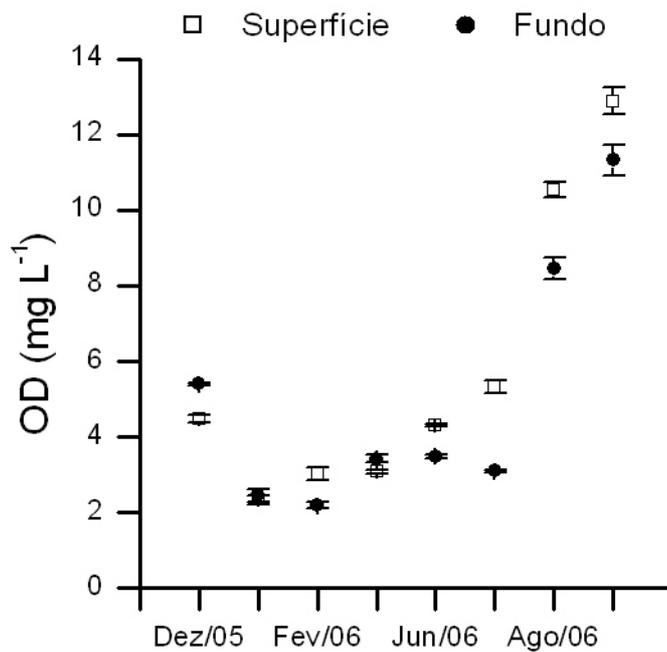


Figura 14. Valores médios e desvios padrão do oxigênio dissolvido (OD, mg L⁻¹) da água, na **superfície** e no **fundo (1m)**, nos locais de incubação de *C. furcata* na lagoa do Óleo, no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06).

VII. Material em Suspensão

As concentrações de material em suspensão total (MST) foram estatisticamente diferentes quanto à sazonalidade, com maiores registros no período chuvoso, principalmente em Jan/06 e Mar/06. No entanto, para a superfície e o fundo não apresentou diferença significativa (Anexos 3 e 4). Na superfície os valores oscilaram entre 4,09 e 17,22 mg L⁻¹, e no fundo entre 4,93 e 30,12 mg L⁻¹. Nota-se ainda que as maiores contribuições de material em suspensão nos meses de Fev/06, Jun/06 e Ago/06 na superfície e Mar/06 no fundo foram pela fração orgânica (MSO) (Figura 15 e Anexo 20).

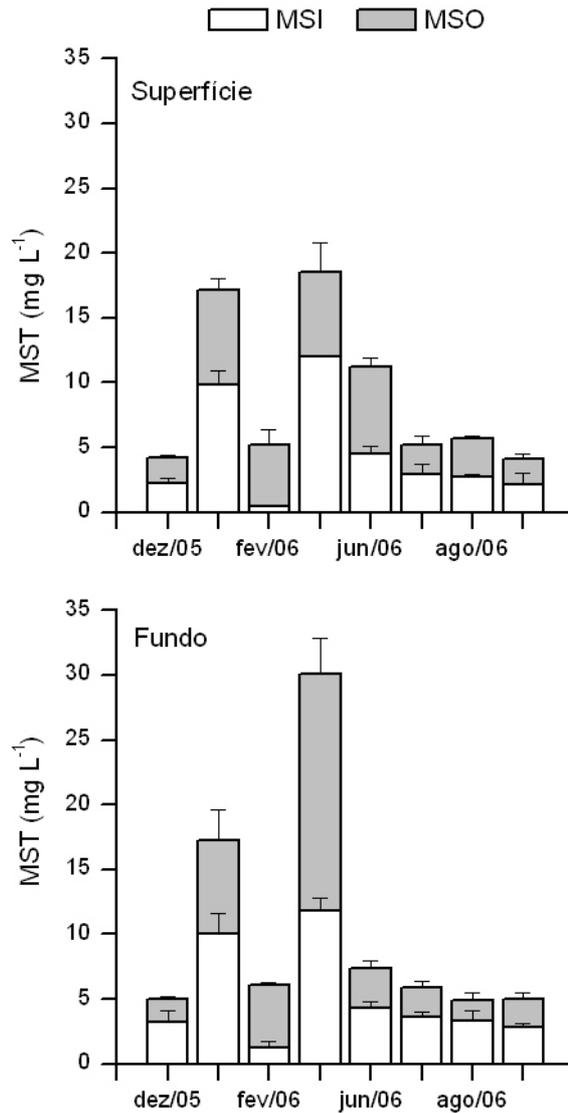


Figura 15. Valores médios e desvios padrão do material em suspensão total (MST, mg L⁻¹) da água, **superfície** e **fundo (1m)**, apresentado na forma inorgânico (MSI) e orgânico (MSO), nos locais de incubação de *C. furcata* na lagoa do Óleo, no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06).

VIII. Carbono inorgânico dissolvido

O carbono inorgânico dissolvido na água apresentou-se principalmente na forma de CO₂ livre, inclusive em Dez/05, Fev/06 e Jun/06 os valores de HCO₃⁻ foram nulos. Sazonalmente, as concentrações de CID foram estatisticamente diferentes, apresentando os

maiores valores no período chuvoso. Não houve diferença significativa das concentrações de CID entre a superfície e o fundo (Figura 16; Anexos 3, 4 e 21).

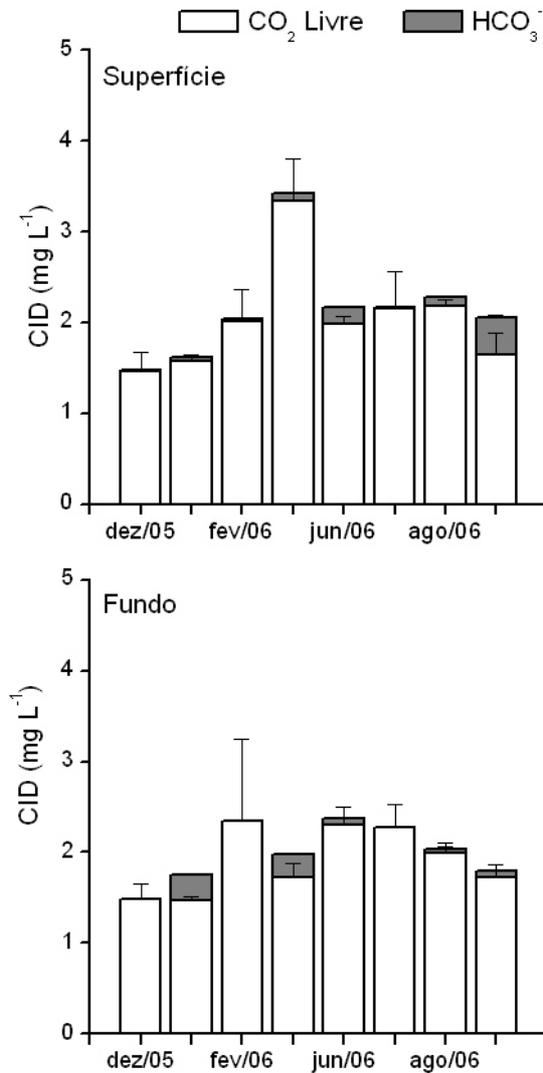


Figura 16. Valores médios e desvios padrão das concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID, mg L⁻¹) da água, na **superfície** e no **fundo (1m)**, apresentado nas formas CO₂ livre e HCO₃⁻, nos locais de incubação de *C. furcata* na lagoa do Óleo, no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06).

IX. Nutrientes

As concentrações de nitrogênio orgânico total Kjeldhal (NTK), amônio (NH_4) e fósforo total (PT) apresentaram padrão sazonal, com valores significativamente superiores no período chuvoso do que no período seco. Não foi verificada diferença significativa entre a superfície e o fundo (Figura 17; Anexos 3, 4 e 22).

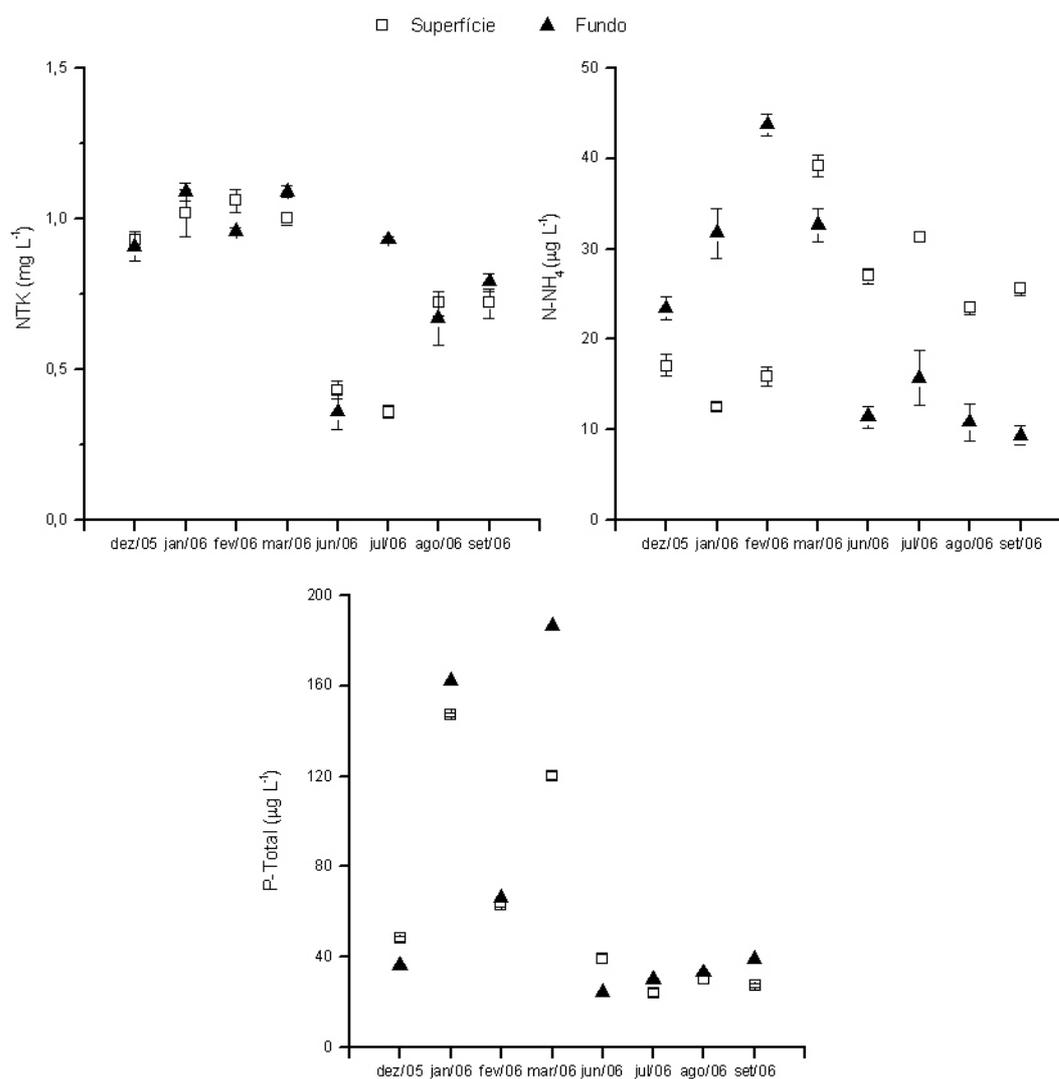


Figura 17. Valores médios e desvios padrão das concentrações de nitrogênio orgânico total (Kjeldhal) (NTK, mg L^{-1}), amônio (NH_4 , $\mu\text{g L}^{-1}$) e fósforo total (P-Total, $\mu\text{g L}^{-1}$) da água, na **superfície** e no **fundo (1m)**, nos locais de incubação de *C. furcata* na lagoa do Óleo, no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06).

X. Matéria orgânica no sedimento

Para a porcentagem de matéria orgânica no sedimento não foram observadas diferenças significativas sazonalmente, as porcentagens variaram entre 23,24 a 28,01 % ao longo do período de estudo (Figura 18 e Anexo 23).

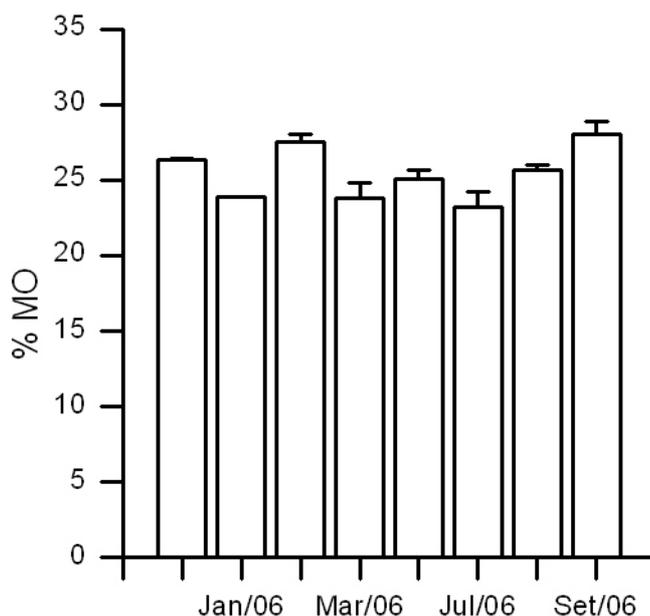


Figura 18. Valores médios e desvios padrão das porcentagens de matéria orgânica no sedimento, no local de incubação de *C. furcata* na lagoa do Óleo, no período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e no seco (Jun a Set/06).

4.2.1.2. Análise dos Componentes Principais (PCA)

Como a maioria das variáveis físicas e químicas não apresentou diferença significativa entre superfície e fundo, foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) com ambas as profundidades, tendo em vista hierarquizar o conjunto de variáveis sazonalmente. Analisando a PCA pode-se observar o efeito da sazonalidade, agrupando os meses do período de seca do lado esquerdo e os meses do período chuvoso do lado direito. Os componentes

principais 1 e 2 explicaram conjuntamente 72,59% da variabilidade dos agrupamentos, sendo que o eixo das abscissas é o responsável por 57,05% e o eixo das ordenadas por 15,53%. A temperatura, condutividade elétrica, coeficiente de extinção de luz, material em suspensão total, nitrogênio total e fósforo total foram positivamente correlacionados com o componente principal 1, o componente principal 2 foi correlacionado positivamente com o carbono inorgânico dissolvido. Portanto, pode-se inferir que estas variáveis contribuem, conjuntamente, para identificar o período chuvoso e o período seco (Figura 19 e Tabela 2).

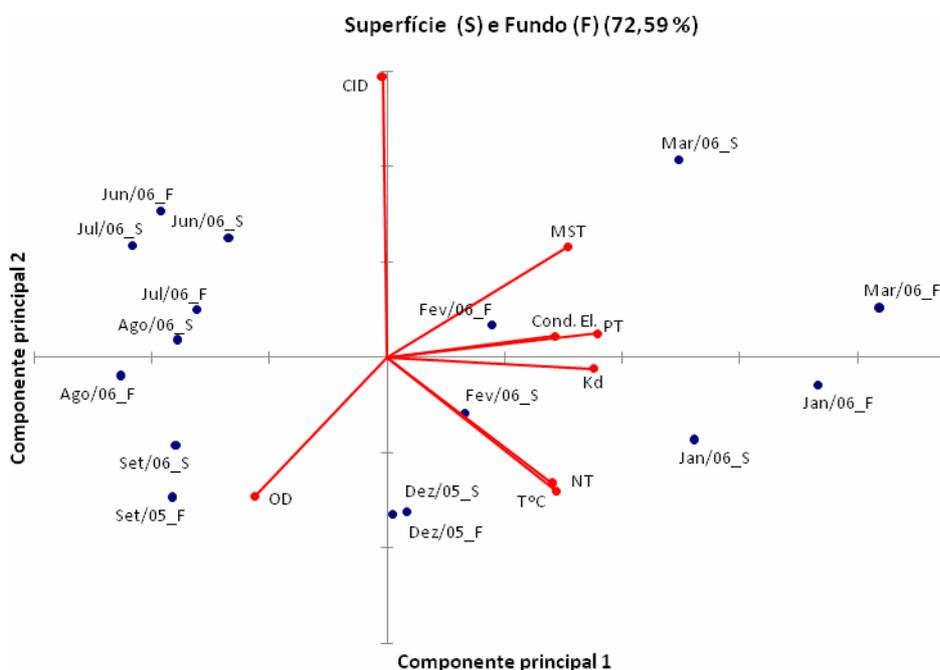


Figura 19. Ordenação dos meses estudados, chuvoso: Dez/05 a Mar/06 e seco: Jun/06 a Set/06, pela análise dos componentes principais (PCA) utilizando as variáveis limnológicas da água na **superfície (S)** no **fundo (F)** da lagoa do Óleo. (Dez/05_S representa o mês de dezembro de 2005 na superfície; Dez/05_F representa o mês de dezembro de 2005 no fundo; os outros meses seguem o mesmo procedimento).

Tabela 2. Correlações das variáveis limnológicas da água na **superfície** no **fundo** da lagoa do Óleo com os componentes principais 1 e 2 da PCA para os meses estudados (Dez/05 a Mar/06 e Jun/06 a Set/06). (valores em cinza indicam alta correlação entre as variáveis limnológicas e os componentes principais 1 ou 2).

Variável	Componente principal 1	Componente principal 2
Temperatura (°C)	0,752	-0,370
Cond. El. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	0,761	0,063
OD (mg L^{-1})	-0,601	-0,405
K_d (m^{-1})	0,937	-0,032
CID (mg L^{-1})	-0,020	0,821
MST (mg L^{-1})	0,823	0,324
NT (mg L^{-1})	0,769	-0,390
PT ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,954	0,070
% Var. Explicada	57,05	15,53

4.2.1.3. Fotossíntese e Respiração

Os valores de fotossíntese líquida (FL), respiração (RE) e fotossíntese bruta (FB) de *C. furcata* apresentaram diferenças significativas sazonalmente, assim como para superfície e fundo (Anexo 5). Nos meses de Dez/05 a Mar/06 (período chuvoso) as taxas fotossintéticas foram maiores do que nos meses de Jun/06 a Set/06 (período seco). Na superfície os valores de FL foram superiores quando comparadas aos valores no fundo, no entanto, para RE ocorreu o inverso (Figura 20 e Anexo 24).

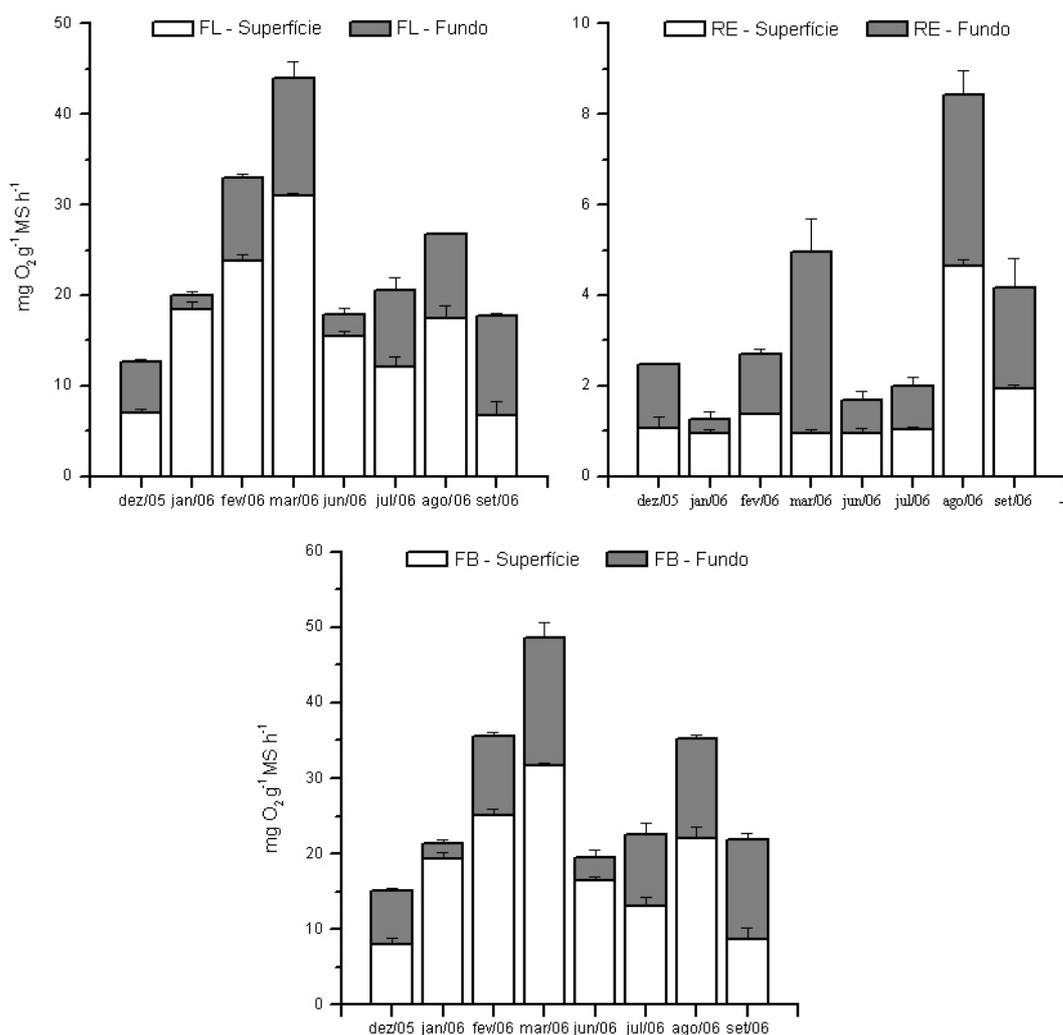


Figura 20. Fotossíntese líquida (FL), respiração (RE) e fotossíntese bruta (FB) de *C. furcata* na lagoa do Óleo, na superfície e no fundo (1m), durante o período chuvoso (Dez/05 a Mar/06) e seco (Jun a Set/06). As barras indicam médias \pm desvios padrão da FL, RE e FB.

4.2.1.4. Fotossíntese líquida de *C. furcata* e variáveis abióticas

Aos valores de FL foram verificados os efeitos da sazonalidade e da profundidade, sendo assim, a análise de regressão múltipla *stepwise* foi realizada para os dados de superfície e de fundo separadamente (Anexos 6 e 7). A condutividade elétrica, temperatura, coeficiente de extinção de luz e CO_2 livre foram correlacionados com os valores de FL na superfície, gerando equações que possibilitaram a modelagem matemática das taxas de fotossíntese de *C.*

furcata na superfície da lagoa do Óleo ($r^2 = 0,98$). Por outro lado, as variáveis, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, coeficiente de extinção de luz, amônia e material em suspensão total, foram correlacionados com os valores de FL no fundo, proporcionando uma equação que representa as variáveis limnológicas que relacionaram-se com as taxas de fotossíntese de *C. furcata* no fundo da lagoa do Óleo ($r^2 = 0,95$). A Figura 21 apresenta os valores de FL observados e os valores simulados e a Tabela 3 mostra a equação gerada pela regressão múltipla.

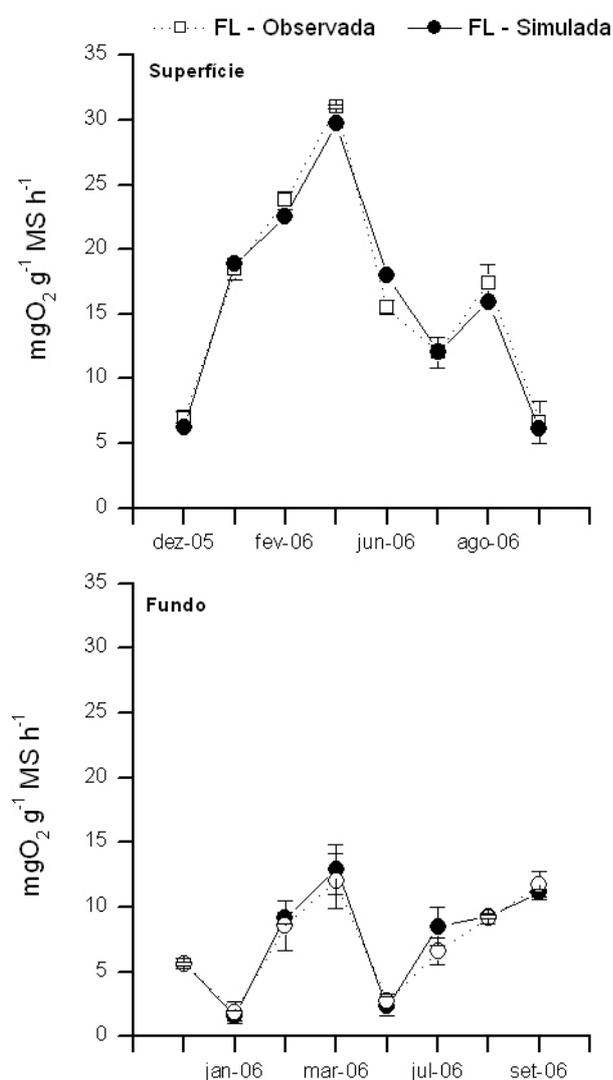


Figura 21. Valores médios e desvios padrão da fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata* incubada na superfície e no fundo da lagoa do Óleo (□, linha pontilhada) e os obtidos através das simulações do modelo de FL em função das variáveis abióticas (●, linha contínua), em todo o período de estudo (Dez/05 a Mar/06 e Jun/06 a Set/06).

Tabela 3. Modelos de fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata*, incubada na superfície e no fundo, em função das variáveis abióticas obtidas pela análise de regressão múltipla, em todo o período de estudo (Dez/05 a Mar/06 e Jun/06 a Set/06). (Cond. El. = condutividade elétrica, K_d = coeficiente de atenuação vertical da luz, CO₂ livre = gás carbono, OD = oxigênio dissolvido, NH₄ = amônio, MST = material em suspensão total; RPMS = regressão parcial múltipla *stepwise*).

Variável	Variáveis selecionadas por RPMS	Coefficientes padrões da RPMS	Equações (Modelos)
FL - Superfície	Cond. El.	0,580	FL = 10,68 + 2,45*Cond El - 1,89* T □ C + 4,27*K _d + 5,20*CO ₂ Livre
	T	0,932	
	K _d	0,956	
	CO ₂ Livre	0,849	
FL - Fundo	Cond. El.	0,918	FL = -4,88 - 0,20*Cond El + 1,09*OD - 1,53*K _d + 0,44*NH ₄ + 0,51*MST
	OD	0,146	
	K _d	0,795	
	NH ₄	0,427	
	MST	0,946	

4.3. Experimento de Laboratório

4.3.1. A influência do tempo de incubação na fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas*

Para ambas as espécies as taxas de fotossíntese líquida foram significativamente maiores quando incubadas de 1 a 4 horas, apresentando valores menores quando incubadas por 30 minutos e por 5 horas (Figura 22; Anexos 8 e 25). Com base nesses resultados adotou-se para os demais experimentos o período de 1 hora de incubação.

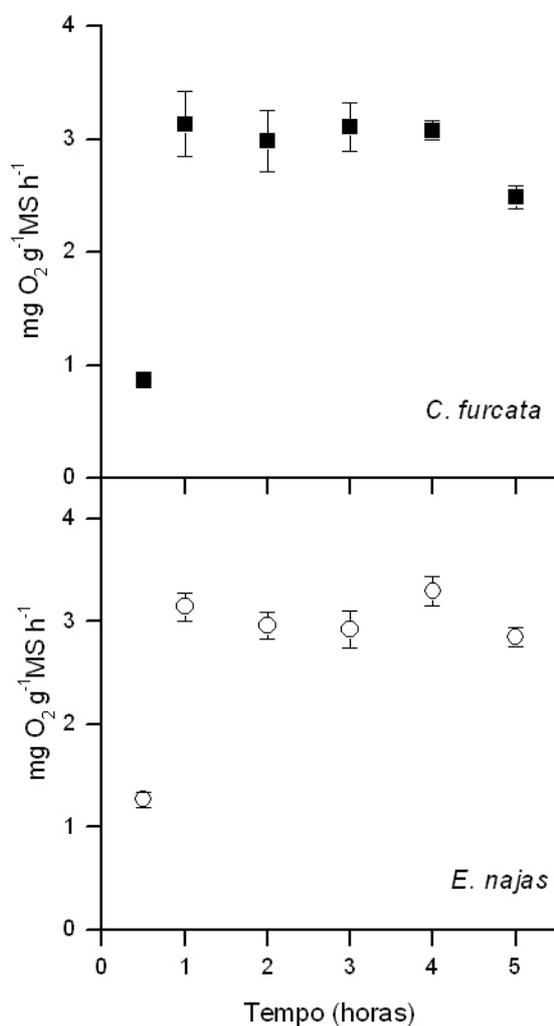


Figura 22. Fotossíntese líquida (FL, mgO₂ g⁻¹ MS h⁻¹) de *C. furcata* e *E. najas* em função do tempo (horas), sob intensidade luminosa de 177 μmol m⁻² s⁻¹ e temperatura de 25 °C. As barras indicam média ± desvio padrão.

4.3.2. Fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas* em função do pH

Ambas as espécies mostraram maior afinidade para carbono inorgânico dissolvido na forma de CO₂ livre, diminuindo pela metade seu desempenho fotossintético quando na água a forma de carbono foi 50% CO₂ livre e 50% HCO₃⁻ e não produziu quando o HCO₃⁻ foi predominante (Figura 23). Os valores de fotossíntese líquida foram significativamente superiores em pH 4,0 para as duas espécies (Anexo 9). Vale ressaltar que na água da lagoa do Óleo a principal forma de carbono inorgânico dissolvido é o CO₂ livre (Anexo 26).

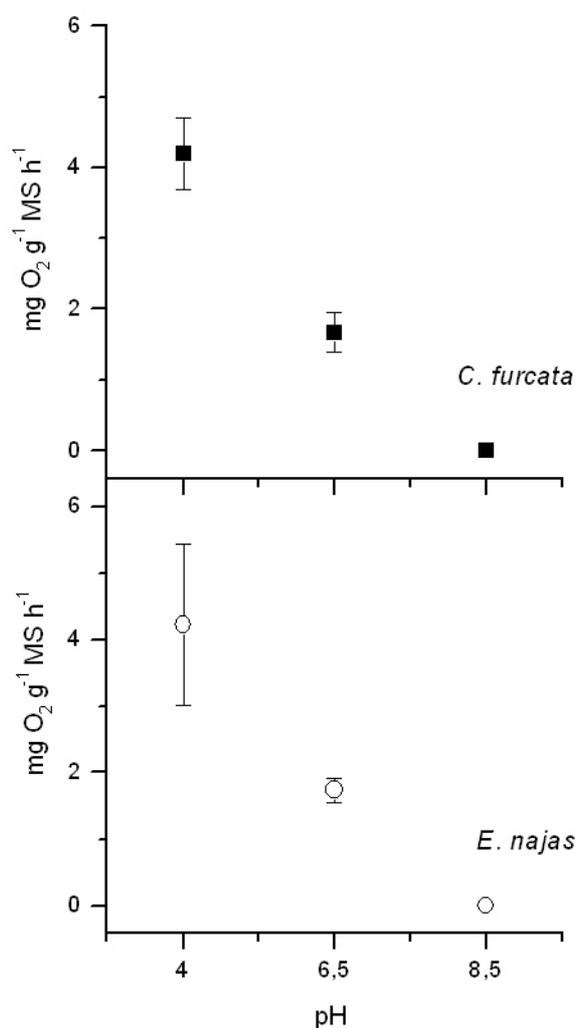


Figura 23. Fotossíntese líquida (FL, mgO₂ g⁻¹ MS h⁻¹) de *C. furcata* e *E. najas* em função do pH, sob intensidade luminosa de 177 μmol m⁻² s⁻¹ e temperatura de 25 °C. As barras indicam média ± desvio padrão.

Na Tabela 4 apresentam-se as características físicas e químicas das amostras de água da lagoa do Óleo utilizadas nos experimentos de fotossíntese líquida da *C. furcata* e *E. najas* em função do tempo de incubação e do pH.

Tabela 4. Características físicas e químicas da água da lagoa do Óleo nos experimentos de fotossíntese líquida (FL) em função do tempo de incubação e do pH. (Cond. El. = condutividade elétrica, RFA = radiação fotossinteticamente ativa, Alcal_T = alcalinidade total, CID = carbono inorgânico dissolvido, CO₂ livre = gás carbônico, HCO₃⁻ = bicarbonato).

Variáveis	<i>lagoa do Óleo</i>	
	FL -Tempo	FL - pH
Temperatura (°C)	25	25
RFA (μmol m ⁻² s ⁻¹)	177	177
pH	4,56 ± 0,10	4,87 ± 0,05
Cond. El. (μS cm ⁻¹)	15 ± 0,01	19 ± 0,07
Alcal _T (meq L ⁻¹)	0,10 ± 0,01	0,14 ± 0,01
CID (mg L ⁻¹)	1,46 ± 0,08	1,85 ± 0,11
CO ₂ livre (mg L ⁻¹)	1,37 ± 0,05	1,67 ± 0,12
HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,09 ± 0,00	0,18 ± 0,04

4.3.3. Respostas fotossintéticas de *C. furcata* e *E. najas* à intensidade luminosa

As características da água da lagoa do Óleo e do meio nutritivo utilizadas neste experimento estão apresentadas na Tabela 5. A água da lagoa do Óleo foi considerada neste estudo o meio com baixas concentrações de nutrientes (macro e micronutrientes), por conseguinte o meio nutritivo foi considerado com elevadas concentrações de nutrientes, com exceção do ferro (Fe). Nota-se que a condutividade elétrica, nitrogênio total, amônio, fósforo

total, magnésio e potássio foram bem mais elevados no meio nutritivo do que na lagoa do Óleo.

Tabela 5. Variáveis limnológicas da água da lagoa do Óleo e do meio nutritivo utilizados nos experimentos de fotossíntese líquida em função da luz. (Cond. El. = condutividade elétrica, Alcal_T = alcalinidade total, CID = carbono inorgânico dissolvido, CO₂ livre = gás carbônico, HCO₃⁻ = bicarbonato, NT = nitrogênio total, NH₄ = amônio e PT = fósforo total, Fe = ferro, Mg = magnésio, K = potássio).

Variáveis	Fotossíntese líquida - Luz	
	lagoa do Óleo	meio nutritivo
Temperatura (°C)	25	25
pH	4,16 ± 0,08	5,87 ± 0,05
Cond. El. (μS cm ⁻¹)	17 ± 0,00	190 ± 0,05
Alcal _T (meq L ⁻¹)	0,07 ± 0,01	0,14 ± 0,01
CID (mg L ⁻¹)	1,16 ± 0,07	0,85 ± 0,10
CO ₂ livre (mg L ⁻¹)	1,06 ± 0,07	0,70 ± 0,11
HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,10 ± 0,00	0,15 ± 0,03
NT (mg L ⁻¹)	0,40	21,00
NH ₄ (mg L ⁻¹)	0,02	1,40
PT (mg L ⁻¹)	0,03	3,10
Fe (mg L ⁻¹)	3,22 ⁽¹⁾	0,07
Mg (mg L ⁻¹)	0,40 ⁽¹⁾	4,80
K (mg L ⁻¹)	0,61 ⁽¹⁾	23,40

⁽¹⁾ Petracco (2006)

As curvas de F-I de *C. furcata* não registraram diferenças significativas quanto ao meio aquoso, ou seja, a espécie apresentou respostas fotossintéticas semelhantes em meios com altas (meio nutritivo) e baixas (lagoa do Óleo) concentrações de nutrientes, para ambas as equações (Figuras 24; Anexos 10, 11, 12 e 13). Em relação à equação de Platt et. al. (1980), a fotossíntese máxima (F_{max}) e a eficiência fotossintética (α) de *C. furcata* foram semelhantes nos dois meios, no entanto, o ponto de compensação luminosa (I_c) foi menor

quando incubada com água da lagoa do Óleo ($4,22 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do que com o meio nutritivo ($11,04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). *C. furcata* apresentou fotoinibição para ambos os meios, sendo que na água da lagoa do Óleo esse valor foi mais baixo ($-0,06 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ PS h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$) do que no meio nutritivo ($-0,09 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ PS h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$). Para a equação de Michaelis-Menten os valores de F_{max} e metade da constante de saturação (Ks) foram semelhantes para ambos os meios (Tabela 8; Anexo 27).

Para *E. najas* pode-se constatar atividade fotossintética distinta, sendo os valores de fotossíntese líquida no meio nutritivo significativamente superiores, para ambas as equações (Figura 24; Anexos 10, 11, 12 e 13). Na equação de Platt et. al. (1980), a F_{max} e o I_c foram maiores quando incubadas no meio nutritivo do que com água da lagoa do Óleo, a eficiência fotossintética (α) foi semelhante entre os meios ($0,02 - 0,06 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ PS h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$). A fotoinibição foi levemente menor no meio com menos nutrientes (lagoa do Óleo = $-0,03 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ PS h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$) do que no meio com mais nutrientes (meio nutritivo = $-0,04 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ PS h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$). Na equação de Michaelis-Menten a F_{max} e a Ks foram maiores no meio nutritivo ($3,38 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MS h}^{-1}$ e $55,04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente) do que na água da lagoa do Óleo ($1,00 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MS h}^{-1}$ e $31,01 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente) (Tabela 6 e Anexo 27).

Os maiores coeficientes de correlação (r^2) foram obtidos utilizando a equação de Platt et. al. (1980), provavelmente porque inclui o fator fotoinibição, evidenciado em todos os experimentos (Tabela 6).

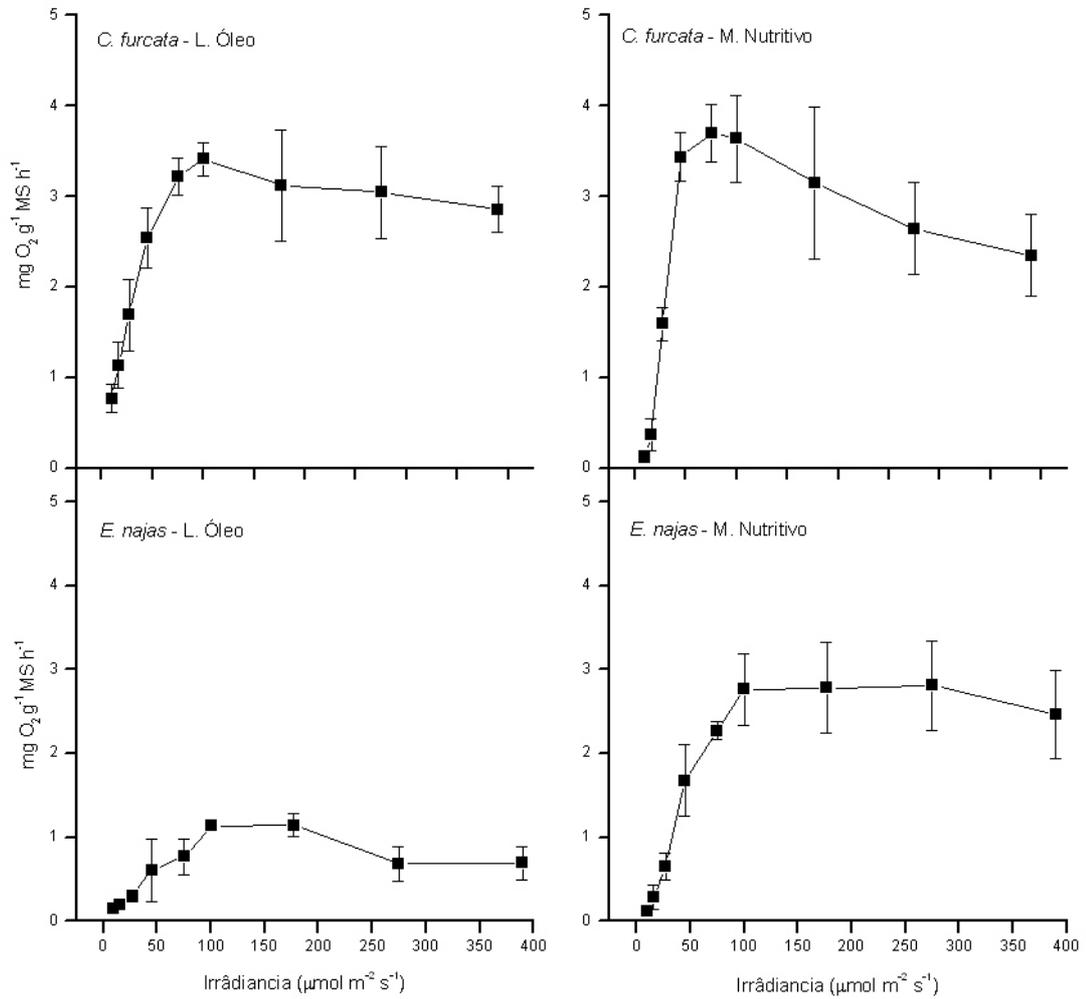


Figura 24. Curvas Fotossíntese-Irradiância (F-I) de *C. furcata* e *E. najas* incubadas com água da lagoa do Óleo (L. Óleo) e meio nutritivo (M. Nutritivo), sob temperatura de 25 °C.

Tabela 6. Parâmetros fotossintéticos de *C. furcata* e *E. najas* obtidos a partir do ajuste da curva Fotossíntese-Irradiância (F-I) gerada pela equação de Platt et al.(1980) e de Michaelis-Menten (L.O. = lagoa do Óleo, M.N. = meio nutritivo). r^2 = coeficiente de correlação obtido para cada curva F-I, F_{\max} = fotossíntese líquida máxima, RE = respiração ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MS h}^{-1}$); $K_S = \frac{1}{2}$ da constante de saturação luminosa, I_c = ponto de compensação luminosa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); α = eficiência quântica e β = fotoinibição ($\text{mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ PS h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$).

Equação	Parâmetros	<i>C. furcata</i> - L.O.	<i>C. furcata</i> - M.N.	<i>E. najas</i> - L.O.	<i>E. najas</i> - M.N.
	r^2	0,96	0,83	0,87	0,97
Platt et al.	F_{\max}	$3,50 \pm 0,49$	$3,39 \pm 0,23$	$1,21 \pm 0,75$	$2,86 \pm 0,67$
	α	$0,04 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,02$	$0,02 \pm 0,01$
	I_c	$4,22 \pm 3,12$	$11,04 \pm 2,94$	$7,60 \pm 7,82$	$10,96 \pm 2,51$
	β	-0,06	-0,09	-0,03	-0,04
	r^2	0,85	0,58	0,64	0,86
M.-Menten	F_{\max}	$3,77 \pm 0,29$	$3,62 \pm 0,73$	$1,00 \pm 0,27$	$3,38 \pm 0,46$
	K_S	$25,44 \pm 9,40$	$23,58 \pm 19,89$	$31,01 \pm 49,10$	$55,04 \pm 24,23$

4.3.4. Crescimento de *E. najas* em diferentes temperaturas

A biomassa de *E. najas* apresentou diferença significativa em função da temperatura, sendo que a 25 °C o crescimento foi significativamente maior do que a 15, 20 e 30 °C. Desta forma, admitiu-se que para as condições ambientais adotadas o ganho de biomassa (máximo valor obtido) foi de $8,27 \pm 0,20 \text{ mg MS}$ a 25 °C e consideramos esse valor constante, utilizado-o para os ajustes das curvas de crescimento a 15, 20 e 30 °C. Na Figura 25 são apresentadas as curvas de crescimento (biomassa) de *E. najas* em diferentes temperaturas (Anexos 14 e 28).

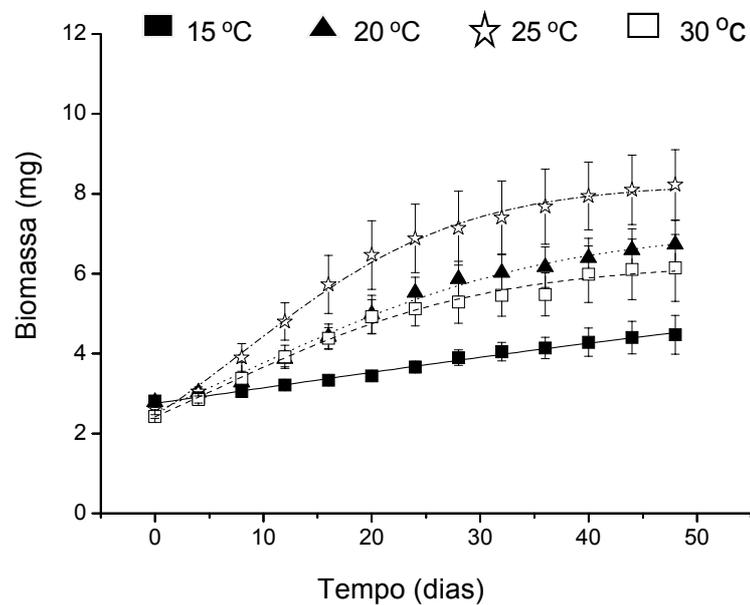


Figura 25. Biomassa (mg) de *Egeria najas* durante 48 dias crescendo em diferentes temperaturas (15, 20, 25 e 30 °C), sob $177 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As linhas representam os ajustes do modelo da curva logística.

Na Figura 26 apresentam-se os valores dos coeficientes de crescimento e o tempo de duplicação da espécie para as diferentes temperaturas. Ambas as variáveis apresentaram valores significativamente superiores a 25 °C. Os tempos de duplicação variaram entre 7,1 a 31,7 dias, e os coeficientes de crescimento variaram de 0,02 a 0,10 dia^{-1} .

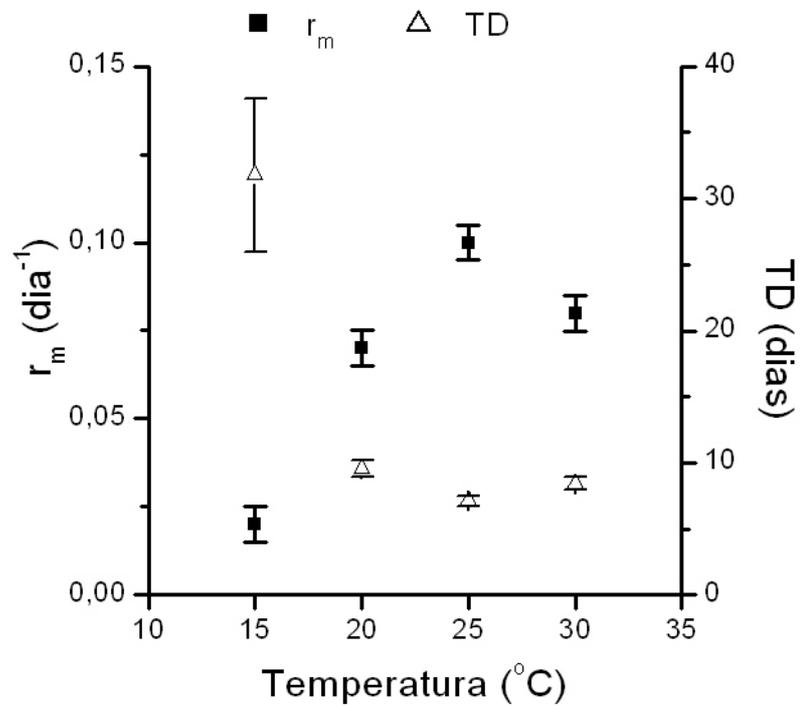


Figura 26. Coeficiente de crescimento (r_m , dia^{-1}) e tempo de duplicação (TD, dia) de *E. najas* em diferentes temperaturas (15, 20, 25 e 30 $^{\circ}\text{C}$).

Nos estudos de crescimento de macrófitas aquáticas os resultados podem ser estimados em produtividade ($\Delta\text{Biomassa}/\Delta t$). Pode-se observar na Figura 27 que a produtividade começou a declinar depois de 30 dias de crescimento para todas as temperaturas, e que a 25 $^{\circ}\text{C}$ *E. najas* apresentou produtividade significativamente maior do que a 15, 20 e 30 $^{\circ}\text{C}$.

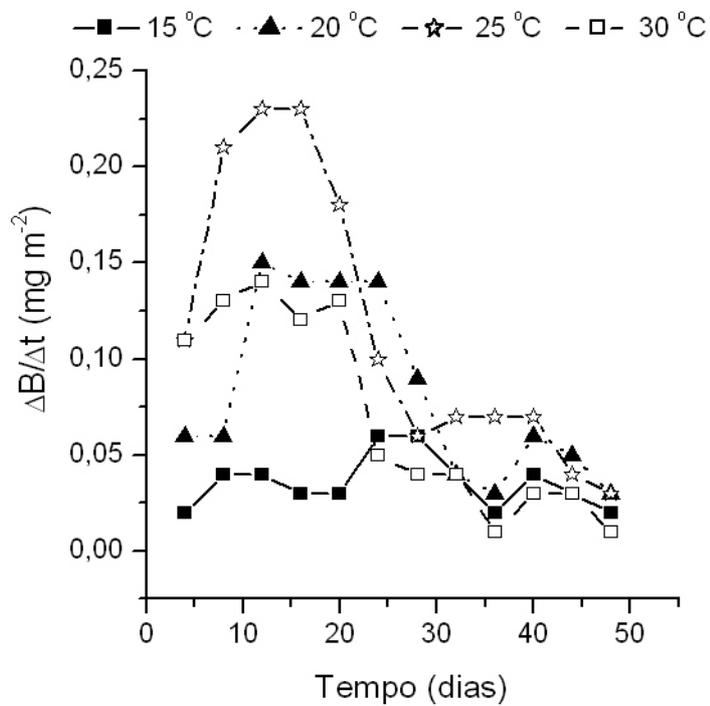


Figura 27. Taxa de produção primária líquida ($\Delta B/\Delta t$, mg m^{-2}) de *E. najas* durante 48 dias em diferentes temperaturas (15, 20, 25 e 30 °C), sob intensidade luminosa de $177 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

As variáveis físicas e químicas do meio nutritivo e do sedimento, utilizados nos experimentos de crescimento de *E. najas* em função da temperatura, estão apresentadas na Tabela 7. Não foram verificadas diferenças significativas das variáveis físicas e químicas na água (meio nutritivo), nem da porcentagem de matéria orgânica no sedimento nas diferentes temperaturas.

Tabela 7. Valores físicos e químicos da água (meio nutritivo) e matéria orgânica do sedimento, durante os experimentos de crescimento em função da temperatura. (RFA = radiação fotossinteticamente ativa, Cond. El. = condutividade elétrica, CID = carbono inorgânico dissolvido, CO₂ livre = gás carbônico, HCO₃⁻ = bicarbonato e Alcal_T = alcalinidade total, MO = matéria orgânica).

<i>Experimento de Crescimento</i>				
Variáveis	Água (meio nutritivo)			
Temperatura (°C)	15	20	25	30
RFA (μmol m ⁻² s ⁻¹)	177	177	177	177
pH	6,61 ± 0,12	6,16 ± 0,05	6,24 ± 0,16	6,25 ± 0,07
Cond. El. (μS cm ⁻¹)	190 ± 0,01	180 ± 0,00	218 ± 0,01	224 ± 0,01
CID (mg L ⁻¹)	0,97 ± 0,12	0,99 ± 0,16	0,97 ± 0,20	0,92 ± 0,16
CO ₂ livre (mg L ⁻¹)	0,83 ± 0,12	0,86 ± 0,17	0,82 ± 0,20	0,79 ± 0,16
HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,14 ± 0,00	0,13 ± 0,00	0,15 ± 0,01	0,13 ± 0,00
Alcal _T (meq L ⁻¹)	0,14 ± 0,00	0,13 ± 0,00	0,14 ± 0,00	0,13 ± 0,00

Variáveis	Sedimento			
Temperatura (°C)	15	20	25	30
% MO	24,78 ± 0,38	23,46 ± 0,95	22,40 ± 0,64	20,76 ± 0,32

4.3.5. Efeito da temperatura na taxas fotossintéticas de *E. najas*

Os valores de fotossíntese líquida (FL) apresentaram diferenças significativas quanto ao regime térmico adotado. Para as quatro temperaturas selecionadas, as taxas de fotossíntese aumentaram de acordo com a elevação da temperatura, de 15° a 25 °C. No entanto, os valores de fotossíntese líquida de *E. najas* diminuíram quando incubada a 30 °C, exceto para os indivíduos que cresceram nesta temperatura. (Anexo 15).

As taxas de fotossíntese líquida, das plantas que cresceram a 15 °C, aumentaram com a elevação da temperatura até 25 °C (6,0 ± 1,28 mgO₂ g⁻¹MS h⁻¹), diminuindo

acentuadamente a 30 °C ($1,52 \pm 1,01 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$) ($F=31,15$; $P<0,05$). Para a respiração ocorreu o inverso, os valores diminuíram com o aumento da temperatura até 25 °C ($0,44 \pm 0,11 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$) e aumentaram a 30 °C ($1,69 \pm 0,32 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$) ($F= 15,12$; $P<0,05$). Na temperatura de crescimento a 20 °C, observou-se aumento dos valores de FL com a temperatura, sendo que a 20° e 25 °C significativamente maiores ($F= 30,40$; $P<0,05$); os valores mínimos e máximos variaram entre 1,77 a 3,84 $\text{mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$. Os valores de RE variaram entre 0,42 a 1,45 $\text{mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$, sendo o maior valor observado a 30 °C ($1,45 \pm 0,68 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$) ($F= 27,29$; $P<0,05$) (Figura 28).

As plantas que cresceram a 25 °C apresentaram os maiores valores de taxas fotossintéticas na mesma temperatura de crescimento, ou seja, 25 °C ($7,38 \pm 0,38 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$) ($F= 34,64$; $P<0,05$) e para a respiração os valores foram semelhantes, variando entre 0,89 a 1,60 $\text{mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$ ($F= 2,79$; $P>0,05$). As taxas de FL, das plantas que cresceram a 30 °C, aumentaram com o aumento da temperatura, sendo significativamente maiores a 25 °C ($5,77 \pm 0,76 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$) e a 30 °C ($6,04 \pm 1,07 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$) ($F= 31,56$; $P<0,05$). As taxas de RE foram maiores a 20 °C ($1,51 \pm 0,42 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$) e 30 °C ($1,94 \pm 0,28 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1}\text{MS h}^{-1}$) ($F= 15,63$; $P<0,05$) (Figura 28).

Portanto, para os indivíduos que cresceram nas temperaturas de 15° e 25 °C apresentaram taxas fotossintéticas significativamente maiores a 25 °C. Por outro lado, os indivíduos que cresceram a 20 °C apresentaram valores de fotossíntese significativamente maiores a 20 e 25 °C. O mesmo padrão foi observado para os indivíduos que cresceram a 30 °C, maiores valores quando incubados a 25 e 30 °C (Figura 28 e Anexo 29).

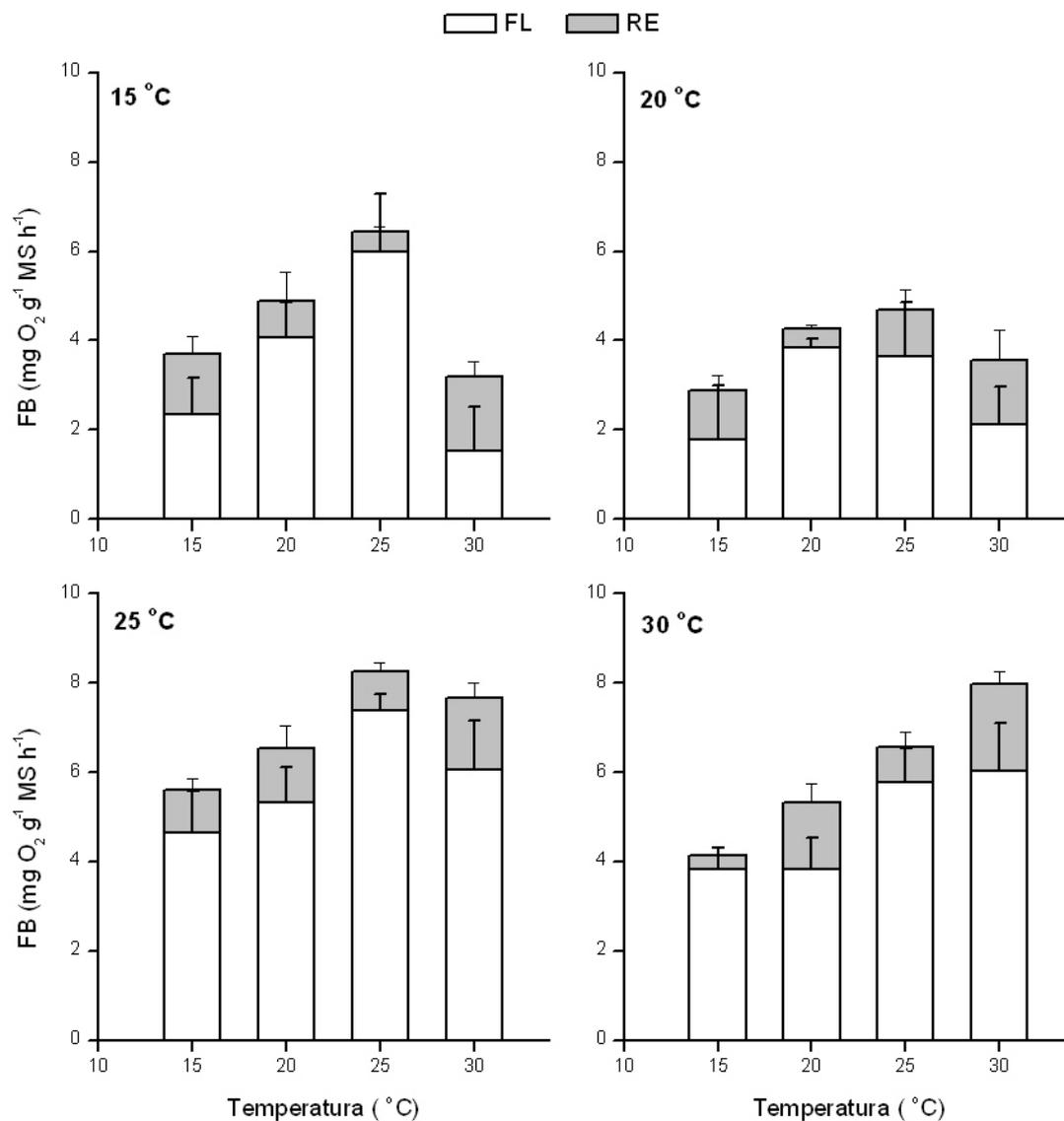


Figura 28. Valores de fotossíntese bruta (FB) (fotossíntese líquida (FL) + respiração (RE)) de *E. najas* para os quatro experimentos em diferentes temperaturas de incubação (15°, 20° 25° e 30 °C). As barras indicam médias \pm desvios padrão.

5.1. Caracterização limnológica da lagoa do Óleo

Os resultados das variáveis físicas e químicas da água da lagoa do Óleo demonstraram que este ambiente possui sazonalidade bem definida. Tal variação sazonal é marcada pelas elevadas precipitações e conseqüentemente pela flutuação do nível de água que, por sua vez, conferem características limnológicas distintas no verão (período chuvoso) e no inverno (período de seca). A análise multivariada (PCA) agrupou os meses do período chuvoso com o aumento de matéria orgânica advindas das enxurradas e do regime de águas altas na lagoa (alóctone e autóctone), com valores mais elevados de temperatura, condutividade elétrica, coeficiente de extinção de luz (K_d), material em suspensão e nutrientes (Figura 19).

No período de maior precipitação pluviométrica (chuvoso) a lagoa do Óleo apresentou baixa transparência (Z_{DS}) da água e maior profundidade máxima (Z_{max}). O coeficiente de extinção vertical da luz (K_d) foi inversamente proporcional a Z_{DS} . A atenuação vertical de luz representa a diminuição da energia radiante com a profundidade, por mecanismos de absorção e dispersão, sendo, portanto, influenciada pela absorção de luz pelos organismos aquáticos fotossintetizantes e pela qualidade e quantidade de material em suspensão no ambiente (Kirk, 1994). O material em suspensão total na água da lagoa do Óleo apresentou maiores teores nos meses que procederam aos de intensas precipitações, tanto na superfície como no fundo. Nestes períodos foram observadas maiores concentrações de frações orgânicas nos sólidos suspensos, provavelmente, tanto pela entrada de água do rio Mogi-Guaçu como pelo carreamento de material alóctone por enxurradas. Neste contexto, a sazonalidade observada

nas características físicas e químicas da água na lagoa do Óleo foi influenciada pelo pulso de inundação.

Em sistemas rio-planície de inundação a amplitude, a frequência e a duração da inundação dependem da quantidade e distribuição da precipitação, do clima, da geomorfologia, do tamanho do rio e tipo de vegetação na área de drenagem (Junk & Welcomme, 1990). As intensas precipitações verificadas em planícies de inundação refletem um incremento na vazão do rio, conseqüentemente podem ocasionar aduções superficiais de materiais nas lagoas marginais pelo extravasamento das águas do rio ou por infiltração subterrânea (Henry, 2003), possibilitando modificações nas características físicas, químicas e biológicas desses ambientes (Junk et. al., 1989).

O regime hidrológico interanual da lagoa do Óleo foi analisado por Petracco (2006). A autora utilizou o programa PULSO (Neiff & Neiff, 2003) para avaliar através de dados diários de cotas, o regime de pulso de inundação no período de Jan/03 a Mar/05. A partir de níveis de transbordamentos propostas por Krusche (1989), Simões-Filho (2000) e observações *in situ* durante a pesquisa (H. Gomes com. pess.), a autora caracterizou o período de águas altas do rio Mogi-Guaçu como um sistema de múltiplos eventos de inundação de curta duração, em que as frequências dos pulsos diminuem com o aumento do nível de transbordamento. E ainda, constatou que na lagoa do Óleo existem três fases limnológicas; fase seca, fase chuvosa sem inundações e fase com chuvas e inundações. A autora verificou o mesmo padrão sazonal de transparência, K_d e material em suspensão na água, com transparência até o fundo em alguns meses do período seco e altos valores de K_d nos meses chuvosos nas quais houve aportes das águas do rio Mogi-Guaçu para a lagoa, sendo que a precipitação contribuiu para a elevação da turbidez na água e conseqüentemente maiores teores de material em suspensão.

Outros autores também verificaram que a planície de inundação do rio Mogi-Guaçu apresentou forte relação entre a precipitação pluviométrica, o regime de inundação e as

modificações das características físicas e químicas das lagoas marginais na EEJ, conferindo sazonalidade aos ambientes (períodos de chuva e de seca) (Camargo, 1991; Taniguchi, 1998, Ballester, 2000; Nogueira et. al., 2000; Rocha et. al., 2000; Suzuki & Esteves, 2000; Bitar, 2003; Cunha-Santino, 2003; Petracco, 2006; Mozeto & D'Elia Sampaio, 2006). A Tabela 8 apresenta valores de temperatura, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido no período chuvoso e seco obtidos nas lagoas: do Óleo, do Infernã, do Diogo e do Mato.

Tabela 8. Comparações entre os valores de temperatura (°C), condutividade elétrica (C.El., $\mu\text{S cm}^{-1}$), pH e oxigênio dissolvido (OD, mg L^{-1}) em algumas lagoas marginais do rio Mogi-Guaçu (EEJ) nos períodos de chuva e seca.

Local	Temperatura		C. El.		pH		OD	
	chuva	seca	chuva	seca	chuva	seca	chuva	seca
Lagoa do Óleo (1)	29	19	8-57	7-10	4,0-5,6	4,2-5,6	2,2-5,4	3,1-13,0
Lagoa do Óleo (2)	30	17	5-66	5-9	4,6-6,1	3,8-5,3	2,5-7,2	3,5-4,7
Lagoa do Óleo (3)	25	22	30-38	75-82	-	-	0,7-2,1	3,4-4,4
Lagoa do Infernã (3)	25	18	41-66	79-93	-	-	0,6-2,3	0,8-1,2
Lagoa do Óleo (4)	30	17	35	11	-	-	0,70	5,74
Lagoa do Diogo (5)	32	26	67	15	5,9	6,8	6,2-8,3	7,1-7,9
Lagoa do Mato (6)	25	20	48	17	6,3	5,7	1,7-5,9	4,2-7,8

Legenda: 1- este estudo, 2- Petracco (2006), 3- Mozeto & D'Elia Sampaio (2006), 4- Cunha-Santino (2003), 5- Taniguchi (1998), 6- Camargo (1991).

Os valores de temperatura e condutividade elétrica nas lagoas marginais do rio Mogi-Guaçu foram maiores no período chuvoso. Provavelmente os maiores valores de condutividade elétrica registrados no período de chuvas ocorram pela remoção do sedimento provocada pelas chuvas, enxurradas, entrada de água do rio e decomposição da matéria orgânica, elevando as concentrações de íons. A lagoa do Óleo caracterizou-se por apresentar baixos valores de pH, inclusive menores do que os observados para as lagoas do Diogo e do Mato. Em meio ácido (pH entre 4 e 6) o carbono inorgânico dissolvido (CID) apresenta-se predominante na forma de CO_2 livre, com pequena capacidade de tamponamento, enquanto que valores de pH entre 7 e 9 predomina o HCO_3^- e acima de pH 9,5 o $\text{CO}_3^{=}$ (Wetzel, 1993).

Na lagoa do Óleo foi determinada maior concentração de CO₂ livre em todo período de estudo, como verificado também por Petracco (2006) para a mesma lagoa. Maiores valores de oxigênio dissolvido (OD), no período seco do que no chuvoso, foram verificados neste estudo, provavelmente pelas maiores concentrações de saturação de OD em temperaturas mais frias. Cunha-Santino (2003) e Mozeto & D'Elia Sampaio (2006) observaram o mesmo padrão para a lagoa do Óleo e Camargo (1991) para a lagoa do Mato. Esses autores atribuíram esse comportamento as maiores concentrações de saturação de OD em temperaturas baixas, assim como aos baixos processos de decomposição durante o período seco. No entanto, Petracco (2006) e Mozeto & D'Elia Sampaio (2006) encontraram menores valores de concentração de OD durante o período seco, nas lagoas do Óleo e do Infernã, sugerindo que, provavelmente, sejam decorrentes de elevadas taxas de decomposição.

Benassi (2006) também observou sazonalidade no sistema de áreas alagáveis, localizado na planície de inundação do rio Jacupiranguinha no Vale do Ribeira do Iguape, SP. A diferença entre o período seco e chuvoso, observada pela autora neste sistema de áreas alagáveis, ocorreu provavelmente pela entrada da água do rio Jacupiranguinha no sistema durante o pulso de inundação, ocasionando turbulência na água, ressuspensão de materiais no interior do corpo de água, assim como uma relação inversa entre a transparência da água e os níveis hidrométricos.

Na lagoa do Óleo, observou-se estratificação térmica ao longo da coluna de água, com variações de até 7 °C entre a superfície e o fundo no período chuvoso (Mar/06) e de 3 °C no período seco (Ago/06). Em lagos tropicais, diferenças de 2 °C entre a temperatura de superfície e fundo na coluna de água são consideradas suficientes para serem estabelecidas estratificação térmica (De Meis & Tundisi, 1986). Os perfis de condutividade no período seco apresentaram-se homogêneos, enquanto que, no período de chuvas os valores aumentaram com a profundidade, promovendo uma maior heterogeneidade da coluna de água.

Provavelmente, a ressuspensão do sedimento provocado pela enxurrada e por infiltração subterrânea, tenha aumentado a turbulência no fundo, aumentando as concentrações de íons nesta região da lagoa. Resultados semelhantes foram observados em áreas alagáveis no vale do Ribeira do Iguape, SP e em uma lagoa marginal do rio Paranapanema, SP (Benassi, 2006; Moschini-Carlos, et al., 1998). Os autores sugerem que esse aumento ocorreu porque próximo ao sedimento os processos de decomposição da matéria orgânica foram mais intensos, contribuindo com um aumento da disponibilidade de íons nesta interface.

Os teores de matéria orgânica no sedimento não apresentaram diferenças entre o período seco e chuvoso (mínima de 23 % e máxima de 28 %). Resultados semelhantes foram obtidos por Scilessere (2007) na mesma lagoa e por Benassi (2006) na planície de inundação do rio Jacupiranguinha. Na lagoa do Infernã os valores de matéria orgânica no sedimento foram mais elevados do que os obtidos neste estudo, com mínima de 28 % e máxima de 36 % de massa seca (Suzuki & Esteves, 2000). Provavelmente a abundância de macrófitas aquáticas na lagoa do Óleo e principalmente, na lagoa do Infernã seja um fator que contribua com os elevados teores de matéria orgânica no sedimento (> 20% Massa Seca). Vale ressaltar que atualmente a lagoa do Infernã encontra-se totalmente coberta por macrófitas aquáticas (por ex. *Scirpus cubensis*) não sendo possível visualizar o espelho d'água. Durante o período chuvoso as concentrações de nutrientes (CID, NTK, NH₄ e PT) foram significativamente superiores aos encontrados no período seco, provavelmente, pelo aporte de matéria orgânica (alóctone e autóctone) e pela ressuspensão dos sedimentos, como verificado por Nogueira et. al. (2000), Simoes-Filho, et. al. (2000) e Petracco (2006). Segundo Santos & Mozeto (1992) o pulso de inundação promove um enriquecimento das lagos marginais do rio Mogi-Guaçu em termos de disponibilidade de nutrientes.

De acordo com o exposto, pode-se concluir que as alterações nas características limnológicas da água na lagoa do Óleo, distinguindo o período seco do chuvoso, estão

associadas à precipitação pluviométrica e ao pulso de inundação, modificando a profundidade, as concentrações de nutrientes e o predomínio dos processos biológicos.

5.2. Experimento em campo

5.2.1. Taxa Fotossintética de *C. furcata* e relações com as variáveis abióticas da lagoa do Óleo

A fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata* apresentou padrão sazonal, com valores mais elevados no período chuvoso. Isso provavelmente ocorreu devido às características limnológicas da água no período chuvoso, como por exemplo, menor transparência e maiores concentrações de íons e nutrientes. Nesse contexto, *C. furcata* pode ser considerada uma espécie submersa de sombra, em que, os tecidos fotossintetizantes maximizam a obtenção de pequenas quantidades de radiação luminosa. Essas diferenças nas características da água em ambos os períodos estão diretamente relacionados com o regime hidrológico da planície de inundação do rio Mogi-Guaçu, como relatado. De fato, a ocorrência do pulso de inundação tem um efeito direto no aumento da disponibilidade de nutrientes e indiretos para o aumento da produtividade do sistema, uma vez que a velocidade dos processos de produção da matéria orgânica é condicionada pelo regime hidrológico (Junk, 1989; Neiff, 1999; Mozeto & D'Elia Sampaio, 2006).

Pela análise de regressão múltipla *stepwise* foi possível verificar que variáveis abióticas (K_d , condutividade elétrica, temperatura, CO_2 livre e NH_4) foram relacionadas com as taxas de fotossíntese de *C. furcata* (Figura 21). Os valores de FL observados e simulados pelo modelo foram altamente correlacionados ($r^2 = 0,95$) tanto para as simulações realizadas na superfície como no fundo. Este modelo (*stepwise*) foi utilizado também no estudo realizado com *E. najas* por Petracco (2006), que observou maiores valores de FL geralmente no período seco. Pelo modelo, a autora verificou que as variáveis abióticas que apresentaram

correlações com os valores de fotossíntese líquida de *E. najas* foram; nitrogênio total, amônia, carbono inorgânico dissolvido, sódio, potássio, condutividade elétrica, material em suspensão, transparência e profundidade máxima (Petracco, 2006).

Pesquisas avaliando a taxas de fotossíntese de macrófitas aquáticas submersas enraizadas em experimentos de campo, utilizando o método do oxigênio dissolvido, foram comparadas com este estudo (Tabela 9). Pode-se observar que independente do ambiente, *C. furcata* apresentou maiores valores de taxas fotossintéticas quando comparadas às espécies *E. najas* e *E. densa*. Camargo et. al. (2006) verificaram correlação negativa da fotossíntese bruta e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) para *C. furcata*, sugerindo que altas intensidades de luz podem inibir a produção primária desta espécie. Entretanto, Petracco (2006) atribuiu os maiores valores de fotossíntese líquida de *E. najas* na lagoa do Óleo à maior disponibilidade de luz no ambiente. Estudo realizado com *E. densa* verificou correlação positiva entre a fotossíntese bruta e a RFA, sugerindo que baixa intensidade luminosa pode ser limitante para a espécie (Pezzato & Camargo, 2004; Camargo et. al., 2006).

Tabela 9. Comparação dos valores de fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata*, *E. najas* e *E. densa* na superfície e no fundo na lagoa do Óleo (planície de inundação, ambiente lêntico) e rios de águas claras e pretas (bacia hidrográfica do rio Itanhaém-SP, ambiente lótico) em diferentes períodos do ano.

Espécie	FL (mg O ₂ g ⁻¹ MS h ⁻¹)		Período	Local	Autores
	Superfície	Fundo			
<i>C. furcata</i>	7,0 - 31,0	1,6 - 12,9	Dez/05 a Mar/06	lagoa do Óleo	este trabalho
<i>C. furcata</i>	6,7 - 17,4	2,3 - 11,1	Jun/06 a Set/06	lagoa do Óleo	este trabalho
<i>E. najas</i>	5,7 - 10,3	1,4 - 12,3	Dez/03 a Mar/04	lagoa do Óleo	Petracco, 2006
<i>E. najas</i>	2,3 - 19,5	4,5 - 14,9	Jun/04 a Set/04	lagoa do Óleo	Petracco, 2006
<i>C. furcata</i>	10,1 - 15,6	4,7 - 15,4	Fev/99 e Maio/99	rio águas claras	Camargo et. al., 2006
<i>C. furcata</i>	5,2 - 7,5	1,9 - 4,7	Ago/99 e Nov/99	rio águas claras	Camargo et. al., 2006
<i>E. densa</i>	2,7 - 5,4	2,1 - 3,6	Fev/98 e Maio/98	rio águas claras	Camargo et. al., 2006
<i>E. densa</i>	3,3 - 3,4	1,2 - 3,3	Ago/98 e Nov/98	rio águas claras	Camargo et. al., 2006
<i>E. densa</i>	7,9 - 9,2	0,5 - 4,1	Fev/98 e Maio/98	rio águas pretas	Pezzato & Camargo, 2004
<i>E. densa</i>	5,8 - 7,4	2,3 - 3,1	Ago/98 e Nov/98	rio águas pretas	Pezzato & Camargo, 2004

Provavelmente, além da intensidade luminosa, outros fatores, como, por exemplo, estrutura, morfologia e características fisiológicas entre *C. furcata* e o gênero *Egeria*, possam explicar as diferenças observadas nas taxas fotossintéticas das espécies e as relações com a intensidade luminosa. A variação sazonal das variáveis abióticas na lagoa do Óleo e as distintas respostas fisiológicas de *C. furcata* e *E. najas* ao requerimento luz possam ser responsáveis pela coexistência das espécies neste ambiente. Neste sentido, Camargo et. al. (2006) também relataram a ocorrência de bancos mistos de *C. furcata* e *E. densa* e distintas relações entre a fotossíntese e a radiação fotossinteticamente ativa, em um rio de águas claras (rio Mambu, bacia do rio Itanhaém, SP).

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que as variáveis físicas e químicas da água são influenciadas diretamente pelo pulso de inundação (apresentando sazonalidade) e este exerce indiretamente efeitos nos valores de fotossíntese de *C. furcata*. A menor transparência da água e os maiores valores de temperatura, condutividade elétrica e concentração de nutriente apresentaram importante participação na determinação de elevadas taxas fotossintéticas observadas para esta espécie na lagoa do Óleo.

5.3. Experimento de laboratório

5.3.1. A influência do tempo de incubação na fotossíntese líquida de C. furcata e E. najas

Os estudos que avaliam a fotossíntese líquida de macrófitas aquáticas submersas, pelo método dos frascos claros e escuros, realizam os experimentos com medidas de tempo (horas de incubação) variadas, tanto nas pesquisas em campo como em laboratório. Deste modo, este experimento procurou verificar o tempo de incubação das macrófitas aquáticas submersas *C. furcata* e *E. najas* necessário para avaliar as taxas de fotossíntese em condições controladas. A partir dos resultados, foi possível observar que medidas entre 1 a 4 horas de incubação não apresentaram diferenças significativas da FL para ambas as espécies. No entanto, as taxas

fotossintéticas foram 50% inferiores quando incubadas por 30 minutos, e medidas realizadas com 5 horas de incubação também apresentaram menores taxas de fotossíntese líquida, tanto para *C. furcata* como para *E. najas*.

A faixa de variação do tempo de incubação obtidos em outros estudos realizados no campo foi de 1 a 4 horas (Menezes, 1984; Menendez & Peñuelas, 1993; Pômpeo & Moschini-Carlos, 1997; Menendez & Sanches, 1998; Pezzato & Camargo, 2004; Camargo et. al., 2006; Petracco, 2006). Esses autores utilizaram as seguintes espécies de macrófitas aquáticas submersas: *Utricularia breviscapa*, *Ruppia cirrhosa*, *U. gibba*, *E. densa*, *Cabomba furcata*, *U. foliosa*, *E. najas*. Por outro lado, experimentos realizados em laboratório utilizaram tempo de incubação menor, com variação de 30 minutos a 2 horas, com as espécies: *E. densa*, *Chara guaiensis*, *C. braunii*, *Nitella subglomerata* (Pezzato, 2002; Vieira & Necchi, 2003). Todos os experimentos de fotossíntese líquida citados acima foram realizados pelo método de frascos claros e escuros através da variação do OD na água.

Cabe ressaltar, que este experimento foi realizado com as medidas de OD determinadas pelo método de Winkler e que alguns experimentos de laboratório utilizam medidas de OD feitas com oxímetro. O método químico é considerado mais preciso (Wetzel, 1993), no entanto, o método analítico permite leituras em menores intervalos de tempo, possibilitando determinar pequenas variações nas medidas de concentração de oxigênio. Experimentos similares foram realizados utilizando um oxímetro para determinar as taxas de fotossíntese líquida com macrófitas submersas em laboratório, concluindo que de 30 minutos a 2 horas os valores de FL não apresentaram diferenças significativas (J. Vieira com. pess.).

Outro fator importante que deve ser considerado em pesquisas sobre este tema é a relação biomassa seca/volume do frasco de incubação. Neste estudo, foram utilizados 0,57 gMS L⁻¹ de *E. najas*. Esta relação influencia o tempo de incubação nestes experimentos, uma vez que a quantidade de biomassa resultará em maior ou menor produção/consumo de OD,

que por sua vez, está relacionado com o volume de água utilizado. Além disso, as concentrações iniciais de OD também podem interferir nos resultados, pois concentrações muito altas de OD inicial podem formar bolhas de oxigênio, supersaturando o meio e subestimando as medidas de OD final dos frascos. Comparações com outros estudos não são possíveis devido à ausência de informação sobre biomassa e volume do frasco.

Com base nestes resultados, pode-se verificar que a faixa entre 1 hora e 4 horas de incubação foi adequada para avaliar as taxas fotossintéticas de *C. furcata* e *E. najas*, uma vez que o método de Winkler foi utilizado para determinar o OD da água. No entanto, sugere-se que estudos que avaliem o tempo de incubação e relação biomassa seca/volume do frasco de incubação sejam realizados para se obter resultados mais acurados sobre taxas fotossintéticas de macrófitas aquáticas submersas.

5.3.2. Fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas* em função do pH

C. furcata e *E. najas* mostraram habilidade em utilizar apenas o CO₂ livre na água durante a atividade fotossintética (em meio ácido e com 1,85 mg L⁻¹ de CID). Ambas as espécies produziram o dobro quando a forma predominante na água foi o CO₂ livre. Estudos relataram que as macrófitas submersas desempenharam melhor performance fotossintética quando a forma predominante no ambiente foi o CO₂ livre (Sand-Jensen, 1983; Spencer & Maberly, 1985; Jones, 2000). No entanto, algumas pesquisas verificaram que muitas espécies conseguiram incorporar HCO₃⁻ como fonte adicional de carbono durante o processo de fotossíntese, quando as concentrações de CO₂ livre foram baixas (Spencer & Maberly, 1985; Pierini & Thomaz, 2004a).

Estudos realizados com macrófitas aquáticas submersas verificaram que diferentes espécies diferem quanto ao uso das formas de carbono inorgânico na fotossíntese. Alguns pesquisadores estudaram *E. najas* e *E. densa* em ambientes tropicais e registraram que estas

espécies possuem habilidade em utilizar tanto o CO₂ livre como o HCO₃⁻ durante as reações de fixação de carbono nos processos de fotossíntese (Pezzato, 2002; Vieira, 2003 e Pierini & Thomaz, 2004a). Da mesma forma, estudos realizados em ambientes temperados observaram que *E. densa* e *Elodea canadensis* também apresentaram habilidade de assimilar tanto bicarbonato como CO₂ livre, enquanto que, *Callitriche cophocarpa* se restringiu somente ao uso de CO₂ livre (Browse et al., 1979; Madsen & Sand-Jensen, 1994).

Pierini & Thomaz (2004a) realizaram experimentos com *E. najas* e *E. densa* em condições de baixa disponibilidade de CO₂ livre e alto valor de pH. Os autores constataram que *E. najas* desempenhou melhor performance fotossintética no uso do HCO₃⁻ do que *E. densa*. Vários mecanismos fisiológicos e morfológicos, como por exemplo, a utilização do bicarbonato, foram desenvolvidos pelas macrófitas aquáticas submersas para maximizar o aproveitamento do carbono inorgânico na água (Pierini & Thomaz, 2004b). Nesse contexto, sugerem que em ambientes com essas características, como o reservatório de Itaipu, *E. najas* possua vantagem competitiva em função da habilidade em utilizar o íon HCO₃⁻, podendo explicar a predominância desta espécie neste reservatório.

Considerando as condições experimentais adotadas, a fotossíntese líquida de *C. furcata* e *E. najas* foram maiores quando a forma predominante na água foi o CO₂ livre. Além disso, as espécies apresentaram capacidade em utilizar apenas o CO₂ livre disponível na água. Deste modo, pode-se explicar a ocorrência de espécies submersas em ambientes oligotróficos, como por ex. a lagoa do Óleo no inverno (período seco) (*C. furcata* e *E. najas*) e o rio Mambu (bacia do rio Itanhaém, SP, *C. furcata*) (Camargo et. al., 2006), pois nos dois ambientes a forma de carbono inorgânico é o CO₂ livre.

5.3.3 Respostas fotossintéticas de *C. furcata* e *E. najas* à intensidade luminosa

Os parâmetros derivados da curva F-I (baixos I_c , K_s , α e ocorrência de fotoinibição) sugerem adaptações a baixas intensidades de luz para as duas espécies estudadas. Esses resultados corroboram os obtidos em estudos com outras espécies de macrófitas aquáticas submersas (Menedez & Sanches, 1998; Calado & Duarte, 2000; Pezzato, 2002; Tavechio & Thomaz, 2003; Vieira & Necchi, 2003; Vieira, 2003).

No geral, os pontos de compensação a luz (I_c) e a constante de $\frac{1}{2}$ saturação luminosa (K_s) obtidos para *C. furcata* e *E. najas* foram semelhantes aos observados para espécies submersas, por outros autores (Tabela 10). Os valores de eficiência fotossintética (α), para ambas as espécies, apresentaram-se dentro dos limites reportados por Menedez & Sanches (1998); Vieira & Necchi (2003) e Pezzato (2002). No entanto, Vieira (2003) observou valores muito superiores para *E. najas*, coletada em um riacho no noroeste do estado de São Paulo. A ocorrência de fotoinibição foi menos pronunciada neste estudo, apresentando menores valores do que os obtidos para as espécies *E. densa*, *E. najas* e *Chara guairensis*, provavelmente porque os experimentos com estas espécies utilizaram maiores intensidade de luz ($\cong 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; Pezzato, 2002; Vieira, 2003; Vieira & Necchi, 2003). Esses resultados reforçam a adaptação das macrófitas aquáticas submersas às condições de sombra.

A fotoinibição (β) é um parâmetro que raramente é medido, existindo poucos trabalhos que reportam essa variável. Os experimentos realizados em laboratório, geralmente, utilizam baixos níveis de luz e, deste modo, as condições experimentais não permitem verificar ocorrência de fotoinibição (Sand-Jensen & Madsen, 1991; Madsen & Sand-Jensen, 1994; Tavechio & Thomaz, 2003). Ambas as espécies selecionadas apresentaram fotoinibição, provavelmente por terem sido expostas a intensidades de luz relativamente altas (max. $390 \mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$) por um longo período de tempo. No ambiente natural, as plantas são expostas a intensidades luminosas ainda maiores, no entanto, ao penetrar na coluna de água ocorrem

alterações quanto à intensidade e a qualidade espectral da radiação (p. ex. $\cong 2000 \mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ na superfície e $\cong 80 \mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ no fundo (1 m) (lagoa do Óleo em abril de 2003, dado não publicado)). Essas alterações dependem de fatores como a concentração do material dissolvido e do material em suspensão, sendo que a absorção da radiação solar na água ocorre de maneira exponencial com a profundidade (Esteves, 1998).

Tabela 10. Comparações entre o ponto de compensação a luz (I_c , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência fotossintética (α , $\text{mg O}_2 \text{g}^{-1} \text{PS h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$), fotoinibição (β , $\text{mgO}_2 \text{g}^{-1} \text{PS h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$) e constante da $\frac{1}{2}$ saturação luminosa (K_s , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de várias espécies de macrófitas aquáticas submersas. Métodos: Fot-Luz, curvas de fotossíntese luz através de medidas de alteração de OD na água; Cres-Luz, curvas de crescimento luz. Valor 1- Tavecchio & Thomaz (2003); 2- Pezzato (2002); 3- Vieira (2003); 4- Vieira & Necchi (2003); 5- Menezes & Sanches (1998); 6- Sand-Jensen & Madsen (1991); 7- Madsen & Sand-Jensen (1994).

Espécie	I_c	α	β	K_s	T (°C)	Método
<i>C. furcata</i> (este trabalho)	4,0 - 11,0	0,04 - 0,06	(-0,06)-(-0,09)	25,0	25	Fot-Luz
<i>E. najas</i> (este trabalho)	7,6 - 10,96	0,03 - 0,04	(-0,03)-(-0,04)	30,0-55,0	25	Fot-Luz
<i>E. najas</i> (1)	22,0	-	-	32,0	25	Fot-Luz
<i>E. densa</i> (2)	1,9 - 6,4	0,08 - 0,24	(-0,3)-(-0,53)	-	15	Fot-Luz
<i>E. najas</i> (3)	-	0,19 - 0,24	0,01-0,07	-	20	Fot-Luz
<i>Chara guairensis</i> (4)	10,0	0,03	-0,20	-	20	Fot-Luz
<i>Potamogeton pectinatus</i> (5)	26-150	-	-	-	20	Fot-Luz
<i>Elodea canadensis</i> (6)	5,1 - 10,1	-	-	-	7	Cres-Luz
<i>Elodea canadensis</i> (7)	3,1 - 4,4	-	-	-	8	Cres-Luz
<i>Callitriche cophocarpa</i> (7)	5,1 - 17,8	-	-	-	8	Cres-Luz

O ponto de compensação a luz (I_c) e a constante de $\frac{1}{2}$ saturação luminosa (K_s) para *C. furcata* e *E. najas* foram baixos (Tabela 6), podendo considerá-las espécies fisiologicamente de sombra. Nas plantas de sombra a fotossíntese máxima ocorre em baixa intensidade luminosa, sendo, os pontos de compensação e saturação luminosa, em geral, bastante baixos (Sand-Jensen, 1989; Spencer & Bowes, 1990). No entanto, os resultados sugerem que *C. furcata* seja mais sensível à luz do que *E. najas*, ou seja, intensidade luminosa elevada pode ser limitante para os processos fotossintéticos da *Cabomba*. De fato, *C. furcata* apresentou menores valores de K_s (24-25 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do que *E. najas* (este trabalho = 31-55 $\mu\text{mol m}^{-2}$

s^{-1} ; Tavechio & Thomaz (2003) = $32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e portanto, a fotossíntese máxima foi obtida em menores intensidades luminosas.

Como o observado tanto nos experimentos em laboratório como *in situ*, as taxas fotossintéticas de *C. furcata* foram maiores nos períodos de menor transparência da água (Figuras 8 e 20) e baixos valores de radiação fotossinteticamente ativa (Figura 24; Camargo et. al., 2006).

Embora os resultados de experimentos de laboratório demonstrem que *E. najas* possa apresentar elevadas taxas fotossintéticas em baixas intensidades luminosas como observado, neste trabalho (Figura 24) e por Tavechio & Thomaz (2003), esta espécie também é capaz de realizar fotossíntese em altas irradiâncias. Experimentos realizados com *E. najas* e *E. densa* no campo demonstraram que períodos com altas intensidades luminosas (Pezzato & Camargo, 2004) e elevadas transparências da água (Petracco, 2006) apresentaram taxas elevadas de fotossíntese líquida. Outros fatores como as concentrações de nutrientes e materiais em suspensão na água podem contribuir para o aumento das taxas de fotossíntese destas espécies.

Muitos estudos foram realizados com *E. najas* e *E. densa* no reservatório de Itaipu, por apresentarem ampla distribuição, taxas de crescimento e fotossíntese elevadas e colonização em altas profundidades (Thomaz & Bini, 1999; Tavechio & Thomaz, 2003; Pierini & Thomaz, 2004a; Bini & Thomaz, 2005). Nesse reservatório, tais estudos registraram maior frequência da espécie *E. najas*, provavelmente por possuir maior tolerância a turbidez, baixos requerimentos de luz durante os processos de crescimento e fotossíntese, bem como o uso mais eficiente de HCO_3^- em relação a *E. densa*.

C. furcata não apresentou diferenças significativas quando incubadas em diferentes meios (com maiores e menores concentrações de nutrientes na água). Por outro lado, *E. najas* apresentou fotossíntese líquida mais elevada quando incubadas em meios com concentrações de nutrientes mais elevadas. Como relatado, esta espécie tolera RFA elevadas apresentando

outras variáveis que são primariamente condicionantes, como as concentrações de nutrientes e materiais em suspensão na água. Estudo que tratou da absorção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) no crescimento de *E. najas* foi realizado por Thomaz et al. (2007). Com base em experimentos com adição destes nutrientes no sedimento, os autores observaram que esta espécie incorporou-os quando as concentrações no ambiente foram baixas. Além disso, foi observado que *E. najas* apresentou maior afinidade ao N do que ao P. No entanto, os autores relatam que esta espécie possui vantagens competitivas em relação a outras espécies em ambientes pouco férteis. Bianchini Jr. et al. (2006) verificaram que *E. najas* apresentou comportamento semelhante quando cresceram sob condições de laboratório com e sem sedimento, sugerindo que esta espécie utilizou tanto os nutrientes disponíveis no sedimento quanto na água. De fato, a maioria das espécies submersas consegue mobilizar os nutrientes inorgânicos do sedimento assim como da água (Barko & Smart, 1981; Wetzel, 1993). Neste sentido, sugere-se que mais pesquisas sobre o papel do N e P nos processos de crescimento e de fotossíntese sejam realizadas, abordando aspectos ecofisiológicos das espécies de macrófitas aquáticas submersas enraizadas, tanto em campo como em laboratório.

Pelo exposto, pode-se concluir que ambas as espécies são adaptadas a baixas intensidades de luz (baixo I_c e K_s), sendo, portanto consideradas espécies de sombra. No entanto, os menores valores de K_s obtidos para *C. furcata* sugerem que esta espécie possua menor tolerância a altas intensidades luminosas do que *E. najas*. Além disso, para *E. najas* as concentrações de nutrientes mostraram ser limitantes para os processos fotossintéticos da espécie, não apresentando-se como fator limitante para *C. furcata*.

5.3.4. Crescimento de *E. najas* em diferentes temperaturas

E. najas apresentou maior ganho de biomassa a 25 °C, conferindo maior coeficiente de crescimento e menor tempo de duplicação quando comparadas com as temperaturas de 15, 20

e 30 °C. Observou-se durante os experimentos de crescimento que as plantas que cresceram em baixas temperaturas (15 °C) apresentaram menor produção de ramos novos (brotos). Os elevados valores de desvios padrão observados em todos os experimentos indicam que indivíduos da mesma espécie e sob as mesmas condições ambientais possam taxas de crescimentos diferentes, devido provavelmente, às condições fisiológicas dos organismos.

O modelo matemático empregado foi adequado para descrever as variações temporais dos crescimentos, uma vez que os ajustes geraram coeficientes de determinação elevados (r^2 para todas as temperaturas: 0,99). Resultados sobre a quantidade máxima de biomassa para *E. najas* foram obtidos em experimentos realizados em laboratório e *in situ*, sendo que Bianchini Jr. et. al. (2006) verificaram valores entre 1.159 - 1.419 g MS m⁻². Em outros experimentos foram encontrados valores maiores ou menores de biomassa para o gênero *Egeria*, por exemplo: Thomaz et. al. (1999) observaram para *E. najas*: 234 g MS m⁻² e Beyruth (2002) observou para *E. densa* valores entre 977 a 2.027 g MS m⁻². Como ressaltado por Bianchini Jr. et. al. (2006), o parâmetro K pode variar intraespecificamente em função das condições ambientais, como por exemplo, estado trófico, *fetch* e variações climáticas.

A partir das estimativas dos coeficientes de crescimento ($r_m = 0,02$ a $0,10$ dia⁻¹), verificou-se que as plantas apresentaram tempos de duplicação que variaram entre 7 a 35 dias. Considerando que esses resultados sejam registros de experimentos em laboratório, com nutrientes e intensidades luminosas controladas, pode-se inferir que essas diferenças sejam explicadas pelas condições de temperatura (Tabela 7). Resultados semelhantes de coeficientes de crescimento, sob condições de temperatura similares a este estudo, foram obtidos para *E. najas* (0,04 dia⁻¹; Tavechio & Thomaz, 2003) e *E. densa* (0,06 dia⁻¹; Pistori, et.al., 2004). No entanto, maiores valores de r_m foram determinados em experimentos com *E. najas* sem sedimento, ou seja, quando os requerimento nutricionais estavam disponíveis somente na água (0,17 dia⁻¹; Bianchini Jr., et al., 2006).

A Tabela 11 apresenta valores de coeficiente de crescimento e tempo de duplicação para espécies de macrófitas aquáticas submersas, em diferentes temperaturas e intensidades luminosas. *E. najas*, *E. canadensis*, *Ranunculus aquatilis* e *Callitriche cophocarpa* apresentaram coeficientes de crescimento semelhantes a 25 °C, além disso, maiores do que os obtidos em outras temperaturas (este estudo; Madsen & Brix, 1997; Olesen & Madsen, 2000). Neste contexto, estes resultados sugerem que temperaturas mais elevadas favorecem o crescimento e desenvolvimento destas espécies submersas, e que possuem capacidade de adaptação à variação de temperatura.

Tabela 11. Comparações entre os valores de coeficiente de crescimento (r_m , dia⁻¹) e tempo de duplicação (TD, dia), em diferentes temperaturas (°C) e intensidades luminosas (RFA, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em espécies de macrófitas aquáticas submersas.

Espécies	Temperatura	r_m	TD	RFA	Autor
<i>Ranunculus aquatillis</i>	5	0,03	27	300	Madsen &Brix, 1997
<i>Ranunculus aquatillis</i>	10	0,03	21	300	Madsen &Brix, 1997
<i>Ranunculus aquatillis</i>	15	0,06	12	300	Madsen &Brix, 1997
<i>Elodea canadensis</i>	5	0,01	139	300	Madsen &Brix, 1997
<i>Elodea canadensis</i>	10	0,03	25	300	Madsen &Brix, 1997
<i>Elodea canadensis</i>	15	0,06	13	300	Madsen &Brix, 1997
<i>Callitriche cophocarpa</i>	7	0,07	10	300	Olesen & Madsen, 2000
<i>Callitriche cophocarpa</i>	15	0,08	9	300	Olesen & Madsen, 2000
<i>Callitriche cophocarpa</i>	25	0,11	6	300	Olesen & Madsen, 2000
<i>Elodea canadensis</i>	7	0,05	14	300	Olesen & Madsen, 2000
<i>Elodea canadensis</i>	15	0,07	10	300	Olesen & Madsen, 2000
<i>Elodea canadensis</i>	25	0,10	7	300	Olesen & Madsen, 2000
<i>Egeria najas</i>	15	0,02	35	177	Este trabalho
<i>Egeria najas</i>	20	0,07	10	177	Este trabalho
<i>Egeria najas</i>	25	0,10	7	177	Este trabalho
<i>Egeria najas</i>	30	0,08	9	177	Este trabalho

O valor de Q_{10} para o crescimento de *E. najas* no intervalo de temperatura entre 15 - 25 °C foi 1,85. Esse resultado foi menor do que os obtidos para *E. canadensis* e *R. aquatilis*: Q_{10} (10-15 °C) = 3,9 e Q_{10} (5-15 °C) = 2,3, respectivamente. Baixos valores de Q_{10} significam menor sensibilidade ao aumento de temperatura, sugerindo, eventualmente, maior adaptação

às mudanças de temperatura. Considerando a ampla distribuição geográfica e ocorrência do gênero *Egeria* em regiões quentes e frias (Cook & Urmi-Konig, 1984), pode-se inferir que este gênero possua características fisiológicas, morfológicas e anatômicas capazes de tolerar e se adaptar mais eficientemente às mudanças de temperaturas do que outras espécies de macrófitas aquáticas submersas. Em regiões tropicais e subtropicais foi relatada ocorrência deste gênero em elevadas altitudes (por exemplo, 1560 m na Colômbia), bem como a resistência de órgãos como rizomas e bulbos por um tempo embaixo do gelo, no entanto não se conhece o tempo máximo e mínimo que a espécie sobrevive em baixas condições de temperaturas (Cook & Urmi-Konig, 1984).

Pelo exposto, pode-se concluir que a temperatura ótima de *E. najas* foi 25 °C, e de uma maneira geral, apresentou elevado ganho de biomassa na faixa de temperatura de 20 a 30 °C. Embora com baixos coeficientes de crescimento e tempos de duplicação altos, esta espécie mostrou-se capaz de se adaptar a baixas temperaturas (15 °C), apresentando aumento de biomassa. Estes resultados podem explicar a ampla colonização de *E. najas* nas regiões tropicais e subtropicais, bem como adaptação desta espécie a uma faixa de temperatura de 15 a 30 °C.

5.3.5. Efeito da temperatura nas taxas fotossintéticas de *E. najas*

As taxas de fotossíntese líquida de *E. najas* foram maiores em temperaturas mais elevadas, independentes das temperaturas a que estavam aclimatadas (15, 20, 25 ou 30 °C). Os indivíduos que estavam aclimatados a 20, 25 e 30 °C apresentaram taxas elevadas de fotossíntese líquida a 25 °C e na temperatura correspondente às condições em que cresceram. No entanto, os valores de fotossíntese líquida para a temperatura de crescimento a 15 °C não apresentou o mesmo padrão, as repostas fotossintéticas aumentaram com o aumento da temperatura, sendo maiores a 25 °C. Neste contexto, pode-se sugerir que esta espécie possua

tolerância a temperaturas baixas, mas se desenvolvem melhor na faixa de temperatura entre 20-30 °C.

Outros autores pesquisando as taxas de fotossíntese de macrófitas submersas em diferentes temperaturas registraram atividade fotossintética mais elevada na faixa entre 15 - 35 °C para as espécies: *E. densa*, *Chara hispida*, *Potamogeton pectinatus* e *Ruppia cirrhosa* (Pezzato, 2002; Menendez & Sanchez, 1998; Menendez & Peñuelas, 1993). Esses resultados foram atribuídos à adaptação destas espécies a ampla faixa de variação de temperatura. Experimentos de fotossíntese com *Ruppia drepanensis*, utilizando dois lotes de plantas que cresceram em diferentes condições (20 e 30 °C) e foram incubadas em três temperaturas (10, 20 e 30 °C), constataram que 20 °C foi a temperatura mais adequada para os processos fotossintéticos desta espécie, e que temperaturas baixas podem inibir o florescimento das plantas (Santamaria & Hootsmans, 1998). Os estudos realizados em laboratório ajudam a elucidar a amplitude de temperatura que favorecem, inibem ou ainda, degradam as estruturas vegetais durante as fases de desenvolvimento das espécies submersas.

Neste estudo o valor de Q_{10} das taxas de fotossíntese de *E. najas* [Q_{10} (15-25 °C) = 1,17] foi semelhante ao obtido para *C. hispida* [Q_{10} (10-30 °C) = 1,16], no entanto menor quando comparada com *P. pectinatus* [Q_{10} (10-30 °C) = 2,16] (Menendez & Sanchez, 1998). Estes baixos valores indicam que esta espécie responde menos eficientemente às variações de temperatura durante a atividade fotossintética do que outras espécies submersas. As reações físicas, químicas e biológicas, com o aumento de 10 °C, ocorrem por processos que dependem da luz e da temperatura, e provavelmente, podem ser percebidas pelo efeito da temperatura na velocidade das reações, e conseqüentemente, podem influenciar o aparato fotossintético destes vegetais de maneiras diferentes (Berry & Björkman, 1980).

A respiração e a fotorrespiração aumentam em temperaturas mais elevadas (Wetzel, 1993), para *E. najas* foram observados maiores valores de respiração a 30 °C, independentes

das temperaturas de crescimento (15 a 30 °C). Santamaría & Hootsmans (1998) observaram comportamento semelhante para *R. drepanensis*, maiores valores de RE quando incubada a 30 °C, para ambas temperaturas de crescimento da planta (20 e 30 °C).

Em espécies da família Hydrocharitaceae (*E. densa*, *Hydrilla verticillata* e *E. canadensis*) alguns estudos evidenciaram a participação de enzimas do ciclo C₄ (NADP-ME e PEPCarboxilase) na fixação de CO₂, sob altas temperaturas e intensidades de luz (30 °C e 300 μmol m⁻² s⁻¹) e baixas concentrações de carbono na água (Casati, et. al., 2000; Lara et al., 2002). Barko & Smart (1981) observaram que a biomassa de *E. densa* diminuiu sob temperatura elevada (32 °C), restringindo seu crescimento nos períodos mais quentes. Estes relatos indicam que, provavelmente, estas espécies possuam vantagens adaptativas quanto ao uso e fixação de carbono em ambientes sujeitos a mudanças de temperatura, luz e quantidade de carbono inorgânico, apresentando metabolismos C₃ e C₄ (Lara et. al., 2002).

Com base no exposto, pode-se inferir que a temperatura ótima de fotossíntese para *E. najas* seja 25 °C, independente da temperatura de crescimento (15 - 30 °C). Além disso, os resultados sugerem que *E. najas* seja uma espécie pouco sensível à variação de temperatura (baixo valor de Q₁₀). Provavelmente, esta espécie possua capacidade de se adaptar aos efeitos da variação de temperatura durante os processos fotossintéticos, podendo ser considerado um dos fatores que favorecem a sua ampla ocorrência e capacidade de colonizar diferentes ambientes aquáticos.

6. CONCLUSÕES

- ✓ As variáveis abióticas: transparência (Z_{DS}) da água, coeficiente de extinção vertical da luz (K_d), material em suspensão total, temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e os nutrientes na água da lagoa do Óleo apresentaram padrão sazonal, sendo possível identificar dois períodos distintos, chuvoso e seco.
- ✓ As alterações nas características limnológicas da água na lagoa do Óleo, distinguindo o período seco do chuvoso, estão associadas a precipitação pluviométrica e ao pulso de inundação, modificando a profundidade e a hidrodinâmica da lagoa.
- ✓ As variáveis abióticas influenciaram as taxas fotossintéticas de *C. furcata*, sendo que menor transparência da água e maiores valores de temperatura, condutividade elétrica e concentração de nutriente apresentaram importante participação na determinação de elevadas taxas fotossintética observada para esta espécie na lagoa do Óleo, no período chuvoso.
- ✓ O pulso de inundação influenciou as modificações nas características físicas e químicas da água na lagoa do Óleo (apresentando sazonalidade), exercendo indiretamente efeitos nos valores de fotossíntese de *C. furcata*.
- ✓ A faixa entre 1 hora e 4 horas de incubação foi adequada para avaliar as taxas fotossintéticas de *C. furcata* e *E. najas*.

- ✓ *C. furcata* e *E. najas* apresentaram capacidade em utilizar somente o CO₂ livre disponível na água durante a atividade fotossintética.

- ✓ *C. furcata* e *E. najas* são espécies adaptadas a baixas intensidades de luz (baixo I_c e K_s), sendo, portanto consideradas espécies de sombra. No entanto, os menores valores de K_s obtidos para *C. furcata* sugerem que esta espécie possua menor tolerância a altas intensidades luminosas do que *E. najas*. Além disso, para *E. najas* as concentrações de nutrientes na lagoa mostraram ser limitantes para os processos fotossintéticos da espécie, não apresentando ser um fator limitante primário para *C. furcata*.

- ✓ *E. najas* apresentou temperatura ótima de crescimento a 25 °C, e de uma maneira geral, elevado ganho de biomassa na faixa de temperatura entre 20 - 30 °C. No entanto, mostrou-se capaz de se adaptar em baixas temperaturas (15 °C), apresentando aumento de biomassa.

- ✓ Os maiores valores de fotossíntese líquida de *E. najas* foram obtidos a 25 °C, independente da temperatura em que estava aclimatada (15 - 30 °C).

- ✓ *E. najas* possui capacidade de se adaptar aos efeitos da variação de temperatura durante os processos de crescimento e fotossíntese, apresentando pequena sensibilidade a variação de temperatura (baixo valor de Q₁₀).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, S.E.; GRINSHAW, H.M.; PARKINSON, J.A.; QUARMBY, C. **Chemical analysis of ecological materials**. Oxford Blackwell Scientific Publications, 1974. 565 p.
- BALLESTER, M.V.R.; SANTOS, J.E. Biogenic gases (CH₄, CO₂ e O₂) distribution in a riverine wetland system. In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estudos integrados em ecossistemas - Estação Ecológica de Jataí**. Editora RiMa, 2000. V. 2, p. 675-684.
- BARKO, J.W.; SMART, R.M. Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed freshwater macrophytes. **Ecological Monographs**, v. 51, n. 2, p. 210-235, 1981.
- BARKO, J.W.; SMART, R.M. Effects of organic matter additions to sediment on the growth of aquatic plants. **Journal of Ecology**, v. 71, p. 161-175, 1983.
- BARRETO, R.; CHARUDATTAN, R.; POMELLA, A.; HANADA, R. Biological control of neotropical aquatic weeds with fungi. **Crop protection**, v. 19, p. 697-703, 2000.
- BENASSI, R.F. **Dinâmica espaço-temporal de um sistema de áreas alagáveis na planície de inundação do rio Jacupiranguinha, Vale do Ribeira de Iguape, SP**. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
- BERRY, J.; BJÖRKMAN, O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 31, p. 491-543, 1980.
- BEYRUTH, Z. Macrófitas aquáticas de um lago marginal do rio Embui-Mirim, São Paulo, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 26, p. 272-282, 2002.
- BIANCHINI Jr., I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. In THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá EDUEM, 2003. 85-126 p.

- BIANCHINI Jr., I.; BITAR, A.L.; CUNHA-SANTINO, M.B. Crescimento de *Egeria najas* Planchon da lagoa do Óleo em condições de laboratório. In SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R.; MOSCHINI, L.E. **Estudos integrados em ecossistemas - Estação Ecológica de Jataí**. Editora RiMa, 2006. V. 4, p. 99-112.
- BINI, L.M.; THOMAZ, S.M. Prediction of *Egeria najas* and *Egeria densa* occurrence in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay). **Aquatic Botany**, v. 83, p. 227-238, 2005.
- BITAR, A.L. **Mineralização e formação de gases da degradação de *Eichhornia azurea* Kunth e *Egeria najas* Planch.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2003.
- BROWSE, J. A.; DROMGOOLE, F. I.; BROWN, J. M. A. Photosynthesis in the aquatic macrophyte *Egeria densa*. III. Gas exchange studies. **Aust. J. Plant Physiol.**, v. 6, p. 499-512, 1979.
- CALADO, G.; DUARTE, P. Modelling growth of *Ruppia cirrhosa*. **Aquatic Botany**, v. 68, p. 29-44, 2000.
- CAMARGO, A.F.M.; PEZZATO, M.M.; HENRY-SILVA, G.G.; ASSUMPÇÃO, A.M. Primary production of *Utricularia foliosa*, *Egeria densa* and *Cabomba furcata* from rivers of the coastal plain of the State of São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 570, p. 35-39, 2006.
- CAMARGO, A.F.M.; PEZZATO, M.M.; HENRY-SILVA G.G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá EDUEM, 2003. 59-83 p.
- CARMOUZE, J.P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. São Paulo, Edgard Bucher/FAPESP, 1994. 254 p.

- CARR, G.M.; DUTHIE H.C.; TAYLOR W.D. Models of aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth. **Aquatic botany**, v. 59, p. 195-215, 1997.
- CASATI, P.; LARA, M. V.; ANDREO, C. S., Induction of a C4-like mechanism of CO₂ fixation in *Egeria densa*, a submerged aquatic species. **Plant Physiology**, v. 123, p. 1611-1622, 2000.
- CAVALHEIROS, F.; BALLESTER, M.V.R.; KRUSCHE, A.V.; MELO, S.A.; BOZELLI, R.; JESUS, T.P.; SANTOS, J.E. Propostas preliminares referentes ao plano de zoneamento e manejo da Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP. **Acta Limnol. Brasil.**, v. 3, p. 951-968, 1990.
- CETESB. Qualidade das águas do Estado de São Paulo para o desenvolvimento e preservação de peixes. In: **Congr. Bras. Eng. Sanit. e Amb**, Santa Catarina, 1993.
- COOK, C.D.K.; GUT ,B.J.; RIX, E.M.; SCHNELLER, J.; SEITZ, M. **Water plants of the world**. The Hague, The Netherlands: Fr. Junk B.V. Publishers, 1974. 561 p.
- COOK, C.D.K.; URMI-KONIG, K. A revision of the genus *Egeria* (Hydrocharitaceae). **Aquatic Botany**, v. 19, p. 73-96, 1984.
- COWARDIN, L.M.; CARTER, V.; GOLET, F.C.; LAROE, E.T. **Classification of wetlands and deepwater habitats of the United State**. U.S. Fish and wildlife service biological program report FWS/OBS - 79/31, Washington, DC, 1979.
- CUNHA-SANTINO, M.B. **Cinética da decomposição aeróbia de *Utricularia breviscapa* Wright ex Griseb da Lagoa do Óleo**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2003.
- DA SILVA,C.J.; PINTO-SILVA, V. Macrófitas aquáticas e as condições físicas e químicas dos Alagados, Corixos e rios, ao longo da rodovia Transpantaneira-PantanalMatogrossense (Poconé-MT). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 49, p. 691-697, 1989.

- DEBUSK, W.F.; REDDY, K.R. Wastewater treatment using floating aquatic macrophytes: contaminant removal process and management strategies. In: REDDY, K.R.; SMITH, W.H. **Aquatic plants for water treatment and resource recovery**. Magnolia Publishing Inc. Florida, 1987. 643-656 p.
- ESTEVEZ, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro. Interciência, FINEP. 1998. 575 p.
- FASSETT, N.C. A monograph of *Cabomba*. **Castanea**, v. 14, p. 116-128, 1953.
- FORBES, S.A. The lake as a microcosm. State of Illinois. Department of registration and education. Division of the Natural History Survey. **Bulletin. Article IX**, v. XV, p. 535-550, 1925.
- GOPAL, B. Biology and ecology. In: PATTEN, B.C. **Wetlands and shallow continental water bodies**. The Hague: SPB Academic Publishing. 1990. V. I, p. 9-15.
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHMSTAD, M.A.M. **Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters**. Blackwell, Oxford. 1978. 213 p.
- GUNTZEL, A.M.; ROCHA, O.; RIETZLER, A.C.; ESPÍNDOLA, E.L.G. Diversidade do zooplâncton de lagoas marginais do rio Mogi-Guaçu: I. Rotífera. In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estudos integrados em ecossistemas - Estação Ecológica de Jataí**. Editora RiMa. 2000. V. 2, p. 537-558.
- HENLEY, W.J. Measurement and interpretation of photosynthetic light-responses curves in algae in the context of photoinhibition and diel changes. **J. Phycol.**, v. 29, p.729-739, 1993.
- HENRY, R. Os ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos: conceitos, tipos, processos e importância. Estudo de aplicação em lagoas marginais ao rio Paranapanema na zona de sua desembocadura na represa de Jurumirim. In: **Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos**. Editora RiMa, São Carlos. 2003. 1-28 p.

- HOGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method of growing plants without soil**. California Agricultural Experimental Station Circular 374, University of California, Berkeley, 1950.
- HUTCHINSON, G.E. **A treatise on limnology**. Vol. 1. Geography, Physics and Chemistry. Wiley, New York, 1957.
- JONES, J.I.; EATON, J.W.; HARDWICK, K. The effects of changing environmental variables in surrounding water of physiology of *Elodea nuttalli*. **Aquatic Botany**, v. 66, p. 115-129, 2000.
- JØRGENSEN, S.E. **Fundamentals of ecological modeling**. 2nd Ed., Amsterdam, Elsevier Science B. V, 1994.
- JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river - floodplain systems. **Can Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.**, v. 106, p. 110-127, 1989.
- JUNK, W.J.; WELCOMME, R.L. Floodplains. In: Patten, B.C. **Wetlands and shallow continental water bodies**. The Hague: SPB Academic Publishing, 1990. V. 1, p. 491-524.
- KIRK, J.T.O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2nd Ed. Cambridge University Press, Cambridge. 1994. 509 p.
- KREBS, C.J. **Ecology - the experimental analysis of distribution and abundance**. Harper & Ron, New York. 1972. 1611-1622 p.
- KRUSCHE, A.V. **Caracterização biogeoquímica da lagoa do Diogo, uma lagoa marginal do rio Mogi-Guaçu (Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio-SP)**. Tese (Dissertação), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1989.
- LARA, M.V.; CASATI, P.; ANDREO, C.S. CO₂-concentration mechanisms in *Egeria densa*, a submerged aquatic plant. **Physiologia Plantarum**, v. 115, p. 487-495, 2002.

- LITTLER, M.M.; ARNOLD, K.E. Electrodes and chemicals. In LITTLER, M. M.; LITTLER, D. S. **Handbook of phycological methods; ecological field methods: macroalgas**. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 1985. 349-375 p.
- LUDWIG, J. A.; REYNOLDS, J. F. **Statistical Ecology**. A primer on Methods and Computing. John Wiley & Sons Inc., New York, 1988.
- MABERLY, S.C.; MADSEN, T.V. Freshwater angiosperm carbon concentrating mechanisms: processes and patterns. **Functional Plant Biology**, v. 29, p. 393-405, 2002.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. **Water Analysis: Some revised methods for limnologists**. Freshwater Biological Association, Scientific Publication. 1978. 36- 121 p.
- MADSEN, J. D. Overview of the Ecological Assessment Technology Area. **Aquat. Plant Manage**, v. 36, p. 25-27, 1998.
- MADSEN, T. V.; BRIX, H. Growth, photosynthesis and acclimation by two submerged macrophytes in relation to temperature. **Oecologia** (Berlin), v. 110, n. 3, p. 320-327, 1997.
- MADSEN, T V.; SAND-JENSEN, K. The interactive effects of light and inorganic carbon on aquatic plant growth. **Plant, Cell and Environment**, v. 17, p. 955-962, 1994.
- MADSEN, T.V.; SAND-JENSEN, K. Photosynthetic carbon assimilation in aquatic macrophytes. **Aquatic Botany**, v. 41, p. 5-40, 1991.
- MAJEROWISZ, N. Fotossíntese. In. KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Editora Guanabara Koogan S. A. Rio de Janeiro. 2004. 114-178 p.
- MARCONDES, D.A.S.; MUSTAFÁ, A.L.; TANAKA, R.H. Estudos para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupuíá. In: THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá EDUEM. 2003. 299-317 p.

- MENENDEZ, M.; PEÑUELAS, J. Seasonal photosynthetic and respiratory responses of *Ruppia cirrhosa* (Petagna) Grande to changes in light and temperature. **Archives Hydrobiologia**, v. 129, n. 2, p. 221-230, 1993.
- MENENDEZ, M.; SANCHES, A. Seasonal variations in P-I responses of *Chara hispida* L. and *Potamogeton pectinatus* L. from stream Mediterranean ponds. **Aquatic botany**, v. 6, p. 1-15, 1998.
- MENEZES, C.F.S. **Estudo da biomassa e da produtividade primária de algumas espécies de macrófitas aquáticas na represa do Lobo (Brotas-Itirapina-SP)**. Tese (Dissertação). Universidade Federal de São Carlos, 1984.
- MITCHELL, D. S. **Aquatic vegetation and its use and control**. UNESCO, Paris, 1974.
- MOSCHINI-CARLOS, V.; PÔMPEO, M.; HENRY, R. Caracterização limnológica de uma baía marginal ao rio Paranapanema (Zona de Desembocadura na represa de Jurumirim, SP). **Acta Limnol. Brasil.**, v. 10, n. 2, p. 1-19, 1998.
- MOSETO, A.A.; D'ELIA SAMPAIO, C.T. Gradientes espaço-temporais nas propriedades biogeoquímicas das águas superficiais e subterrâneas da área alagável da Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio, SP). In: SANTOS, J.E., PIRES, J.S.R.; MOSCHINI, L.E. **Estação Ecológica de Jataí - estudos integrados em ecossistemas**. Editora RiMa - São Carlos, 2006. V. 4, p. 275-300.
- NEIFF, J.J. Aquatic plants of the Paraná river system. In: Davies, B.R.; Walker, K.F. **The ecology of river systems**. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1986. 557-571 p.
- NEIFF, J.J. El regime de pulsos em rios y grandes humedales de Sulamérica. In: MALVAREZ, A.I.; KANDAUS, P. **Tópicos sobre humedales subtropicales y temperados de Sulamérica**. Ed. Universidade de Buenos Aires, UNESCO, Montevideo, 1999. 97-146 p.

- NEIFF, J.J. Planícies de inundação são ecótonos? In: HENRY, R. **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. Editora RiMa, São Carlos, 2003. 29-45 p.
- NEIFF, J.J.; NEIFF, M. **PULSO, softwar para análisis de fenômenos recorrentes**. Dir. Nac. Derecho de Autor No 236164 (Argentina), Bueno Aires, 17 de febrero. (disponível em <http://www.neiff.com.ar>), 2003.
- NOGUEIRA, F.; ESTEVES, F.A.; COUTINHO, O. Importância dos estandes de macrófitas aquáticas para as características e para a ciclagem de nutrientes da lagoa do Infernã. In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estudos integrados em ecossistemas - Estação Ecológica de Jataí**, 2000. V. 2, p. 599-612.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução: Christopher J. Tribe. Supervisão da tradução Ricardo Iglesias Rios. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, il. Título do original em ingles: Basic Ecology, 1988. 434 p.
- OLESEN, B.; MADSEN, T. V. Growth and physiological acclimation to temperature and inorganic carbon availability by two submerged aquatic macrophyte species, *Callitrich cophocarpa* and *Elodea canadensis*. **Funcional Ecology**, v. 14, p. 252-260, 2000.
- PETRACCO, P. **Efeitos das variáveis abióticas na produção primária de *Egeria najas* e *Utricularia breviscapa* da lagoa do Óleo (Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antonio-SP)**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, 2006.
- PEZZATO, M. M. **Efeitos da radiação fotossinteticamente ativa, temperatura, pH e concentrações de carbono inorgânico na produção primária da macrófita aquática *Egeria densa*, Planch. Jaboticabal**. Tese (Dissertação). Jaboticabal. Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista, 2002.
- PEZZATO, M.M.; CAMARGO, A.F.M. Photosynthetic rate of the aquatic macrophyte *Egeria densa* Planch. (Hydrocharitaceae) in two rivers from the Itanhaém River Basin in

- São Paulo State, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 1, p. 153-162, 2004.
- PIANKA, E.R. **Evolutionary Ecology**. 15 nd ed. The University of Texas at Austin, 1994. 486 p.
- PIERINI, S.A. **Fatores determinants da distribuição de plantas submerses e dos atributos ds assembléias de macrófitas aquáticas no Reservatório de Rosana**. Tese (Doutorado), NUPÉLIA, Universidade Estadual de Maringá, 2005.
- PIERINI, S.A.; THOMAZ, S.M. Effects of inorganic carbon source on photosynthesis rates of *Egeria najas* Planchon and *Egeria densa* Planchon (Hydrocharitaceae). **Aquatic Botany**, v. 78, p.135-146, 2004a.
- PIERINI, S.A.; THOMAZ S.M. Adaptações de plantas submerses à absorção do carbono inorgânico. **Acta Bot. Bras.**, v. 18, p. 629-641, 2004b.
- PISTORI, R.E.T.; CAMARGO, A.F.M; HENRY-SILVA, G.G. Relative growth and doubling time of the submerged aquatic macrophyte *Egeria densa* Planch. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 16, n. 1, p. 77-84, 2004.
- PLATT, T., GALLEGOS, C.L.; HARRISON, W.G. Photoinhibition of Photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. **J. Mar. Res.**, v. 38, p. 687-701, 1980.
- PIRES, A.M.Z.C.R.; SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. Caracterização e diagnóstico ambiental de uma unidade da paisagem. Estudo de caso: Estação Ecológica de Jataí e Estação Experimental de Luiz Antônio. In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estudos integrados em ecossistemas - Estação Ecológica de Jataí**. 2000. V. 1, p. 1-26.
- POMPÊO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS V. Produtividade primária da macrófita aquática submersa livre *Utricularia gibba* L. na lagoa Dourada (Brotas-SP). **Acta limnológica Brasiliensia**, v. 9, p. 1-9, 1997.

- POMPÊO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS V. **Macrófitas aquáticas e perifiton, aspectos ecológicos e metodológicos**. Editora Rima. São Carlos, SP, 2003. 124 p.
- POTT, V.J.; POTT, A. **Plantas Aquáticas do Pantanal**. EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília, 2000. 404 p.
- PRESS, W.H.; TEUKOLSKY, S.A.; VETTERLING, W.T.; FLANNERY, B.P. **Numerical recipes in C: The art of scientific computing**. Cambridge University Press, New York, 1993.
- ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E.L.G.; RIETZLER, A.C.; WISNIEWSKI, M.J. Diversidade do zooplankton nas lagos marginais do rio Mogi-Guaçu: III Copepoda (Crustacea). In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estudos integrados em ecossistemas - Estação Ecológica de Jataí**, 2000. V. 2, p. 587-598.
- ROMEIRO, F. **Bioensaios de decomposição anaeróbia de macrófitas aquáticas da Lagoa do Óleo (Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio-SP)**. Tese (Dissertação). Universidade Federal de São Carlos, 2005.
- SAND-JENSEN, K. Environmental variables and their effect on photosynthesis of aquatic plant communities. **Aquatic botany**, v. 34, p. 5-25, 1989.
- SANTAMARÍA, L.; HOOTSMANS, M. J. M. The effect of temperature on the photosynthesis, growth and reproduction of a Mediterranean submerged macrophyte, *Ruppia drepanensis*. **Aquatic Botany**, v. 60, p. 169-288, 1998.
- SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estação Ecológica de Jataí - estudos integrados em ecossistemas**. Editora RiMa -São Carlos, 2000a, v. 1.
- SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estação Ecológica de Jataí - estudos integrados em ecossistemas**. RiMa Editora -São Carlos, 2000b, v. 2.
- SANTO, J.E.; PIRES J.S.R.; MOSHINI L.E. **Estação Ecológica de Jataí - estudos integrados em ecossistemas**. RiMa Editora -São Carlos, 2006a, v. 3.

- SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R.; MOSHINI, L.E. **Estação Ecológica de Jataí - estudos integrados em ecossistemas**. RiMa Editora -São Carlos, 2006b, v. 4.
- SÃO PAULO (Estado). **Convenção de Ramsar - sobre zonas úmidas de importância internacional, especialmente como habitat de aves aquáticas**. Série Entendendo o meio ambiente, v. 3. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 1997.
- SCIESSERE, L. **Demanda de oxigênio da mineralização de detritos de refratários de macrófitas aquáticas**. Tese (Dissertação). Universidade Federal de São Carlos, 2007.
- SIMÕES-FILHO, F.F.L.; ALBUQUERQUE, A.L.S.; MOZETO, A.A.; GODOY, J.M.O. Role of Mogi-Guaçu flood-pulse on sedimentation and particulate composition in the Infernão Lake. In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estação Ecológica de Jataí - estudos integrados em ecossistemas**., RiMa Editora -São Carlos, 2000. V. 2, p. 347-358.
- SPENCER, W., BOWES, G. Ecophysiology of the world's most troublesome aquatic weeds. In: PIETERSE A.H.; MURPHY K.J. **Aquatic weeds. The ecology and management of nuisance aquatic vegetation**. Oxford Science Publications, New York, 1990. 40-51 p.
- SPENCER, D.H.N.; MABERLY, S.C. Occurrence and ecological importance of HCO₃ use among aquatic higher plants. In: LUCAS, W. J., BERRY, J. A. **Inorganic carbon uptake by aquatic photosynthetic organisms**. America society of plant physiologists, Rockville, Maryland, 1985. 125-143 p.
- STUMM, W.; MORGAN, J.J. **Aquatic chemistry**. Wiley, New York, 1981.
- SUZUKI, M.S.; ESTEVES, F. A. Influence of water level on the dynamics of the organic matter, macronutrients and phaeopigments of the sediment of a tropical lake. Lagoa do Infernão, São Paulo, Brazil. In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estudos integrados em ecossistemas - Estação Ecológica de Jataí**, 2000. V. 2, p. 365-375.
- TANIGUCHI, G.M. **Variação espacial e temporal de características limnológicas abióticas e de comunidade de algas planctônicas e perifíticas no gradient litorâneo-**

- limnetico de uma lagoa marginal do rio Mogi-Guaçu.** Tese (Dissertação), Universidade Federal de São Carlos, Brasil, 1998.
- TAVECCHIO, W.L.G.; THOMAZ, S.M. Effects of light on the growth and photosynthesis of *Egeria najas* Planchon. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 2, p. 203-209, 2003.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J.G.; KUTNER, M.B. Plankton studies in a mangrove In: The standing - stock and some ecological factories. **Boletim Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 24, p. 23-41, 1965.
- TINER, R.W. Wetlands are ecotone: reality or myth? In: GOPAL, B., HILLBRICHT, A.; WETZEL, R.G. **Wetlands and ecotones: individualistic studies on land-water interactions**. National Inst. of Ecol., N. Decchi, 1993. 1-15 p.
- THOMAZ, S.M.; CHAMBERS, P.A.; PIERINI, S.A.; PEREIRA, G. Effects of phosphorus and nitrogen amendments on the growth of *Egeria najas*. **Aquatic botany**, v. 86, p. 191-196, 2007.
- THOMAZ, S.M.; PAGIORO, T.A. Estudo das macrófitas aquáticas no reservatório de Itaipu Binacional/UEM. Nupélia, Itaipu Binacional. Maringá (**Relatório do projeto 5ª Etapa: Janeiro de 2003 a Janeiro de 2005**), 2005.
- THOMAZ, S.M.; SOUZA, M.C.; BINI, L.M. Species richness and beta diversity of aquatic macrophytes in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil): the influence of limnology and morphometry. **Hydrobiologia**, v. 505, p. 119-128, 2003.
- THOMAZ, S.M.; BINI, L.M.; SOUZA, M.C.; KITA, K. K.; CAMARGO, A.F.M. Aquatic Macrophytes of Itaipu Reservoir, Brazil: Survey of Species and Ecological Considerations. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 42, n. 1, p. 15-22, 1999.

- THOMAZ, S.M. ;BINI, L.M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na represa de Itaipu. In: HENRY R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu, 1999. 599-625 p.
- WARD, J.V.; STANFORD, J.A. The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain rivers. **Regulated rivers: Research & Management**, v. 10, p. 159-168, 1995.
- WETZEL, R.G. **Limnologia**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1993.
- WISNIEWSKI, M.J.S.; ROCHA, O.; RIETZLER, A.C.; ESPÍNDOLA, E.L.G. Diversidade do zooplâncton nas lagoas marginais do rio Mogi-Guaçu: II. Cladocera (Crustácea, Branchiopoda). In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estudos integrados em ecossistemas - Estação Ecológica de Jataí**, 2000. V. 2, p. 559-586.
- VIEIRA, J.Jr. **Estratégias de vida de *Nitella cernua* A. Braun (Characea, Chlorophyta) em regia tropical: características fotossintéticas e dinâmica espaço-temporal**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Rio Claro-SP, 2003.
- VIEIRA, J.Jr.; NECCHI, O.Jr. Photosynthetic characteristics of Charophytes from tropical lotic ecosystems. **Phycological research**, v. 51, p. 51-60, 2003.
- VOLLENWEIDER, R.A. **A manual on methods for Measuring Primary Production in Aquatic Enviroments**. Oxford, Blackweed Scientific Publications Osney Mead, 1974.
- ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. Prentice Hall, New Jersey, 1999.

*“ninguém precisa
ter talento
pra transformar
caso em descaso
já o contrário
é que é o caso
se você não tem
lamento
mas é preciso ser forte
é preciso ser fraco
é preciso ganhar
e perder o juízo
sai dessa pose
para de pensar no prejuízo
e vai em frente
tem hora pra se chegar
tem hora pra se afastar
e o resto, é largar ou pegar
não sabe como?
é só começar”*

(É SÓ COMEÇAR, Alice Ruiz)

8. ANEXOS

www.ecomarine.com.br



Anexo 1. Ramos de *Cabomba furcata*, flor em detalhe.

www.amazoneweb.be



Anexo 2. Ramos de *Egeria najas*, flor em detalhe.

Anexo 3. Resultado da ANOVA para testar o efeito da sazonalidade sobre as variáveis físicas e químicas da lagoa do Óleo.

Test for effect called: SAZONALIDADE

Univariate F Tests

	SS	df	MS	F	P
PH	0.010	1	0.010	5.624	0.022
Error	0.078	46	0.002		
COND_EL	0.978	1	0.978	22.848	0.000
Error	1.968	46	0.043		
OD	0.820	1	0.820	32.197	0.000
Error	1.171	46	0.025		
TEMP	0.159	1	0.159	108.246	0.000
Error	0.068	46	0.001		
Kd	0.139	1	0.139	105.233	0.000
Error	0.086	46	0.001		
ZDS	0.151	1	0.151	101.112	0.000
Error	0.061	46	0.001		
MST	0.546	1	0.546	11.154	0.002
Error	2.251	46	0.049		
MSI	0.155	1	0.155	2.129	0.441
Error	3.345	46	0.073		
MSO	0.698	1	0.698	15.007	0.000
Error	2.140	46	0.047		
CID	0.600	1	0.600	15.281	0.050
Error	0.733	46	0.050		
CO2_LIV	0.006	1	0.006	1.281	0.264
Error	0.233	46	0.005		
HCO3	0.001	1	0.001	0.479	0.492
Error	0.086	46	0.002		
NTOTAL	0.110	1	0.110	63.424	0.000
Error	0.080	46	0.002		
NH4	0.242	1	0.242	6.895	0.012
Error	1.613	46	0.035		
PTOTAL	2.529	1	2.529	72.253	0.000
Error	1.610	46	0.035		

Multivariate Test Statistics

Value	F-Statistic	Prob
0.016	178.960	0.000
0.984	178.960	0.000
61.358	178.960	0.000

Anexo 4. Resultado da ANOVA para testar o efeito da profundidade sobre as variáveis físicas e químicas da lagoa do Óleo.

Test for effect called: PROFUNDIDADE

Univariate F Tests

	SS	df	MS	F	P
PH	0.510	1	0.510	4.625	0.058
Error	0.078	46	0.082		
COND_EL	0.978	1	0.978	22.848	0.000
Error	1.968	46	0.043		
OD	0.820	1	0.820	32.197	0.000
Error	1.171	46	0.025		
TEMP	0.159	1	0.159	108.246	0.000
Error	0.068	46	0.001		
MST	0.546	1	0.546	11.154	0.330
Error	2.251	46	0.049		
MSI	0.155	1	0.155	2.129	0.150
Error	3.345	46	0.073		
MSO	0.698	1	0.698	15.007	0.000
Error	2.140	46	0.047		
CID	0.003	1	0.003	1.183	0.360
Error	0.733	46	0.007		
CO2_LIV	0.006	1	0.006	1.281	0.260
Error	0.233	46	0.005		
HCO3	0.001	1	0.001	0.479	0.499
Error	0.086	46	0.002		
NTOTAL	0.110	1	0.110	63.424	0.211
Error	0.080	46	0.002		
NH4	0.242	1	0.242	6.895	0.055
Error	1.613	46	0.035		
PTOTAL	2.529	1	2.529	72.253	0.065
Error	1.610	46	0.035		

Multivariate Test Statistics

Value	F-Statistic	Prob
0.416	6.970	0.000
0.984	6.970	0.000
61.358	6.970	0.000

Anexo 5. Resultado da ANOVA para testar o efeito da sazonalidade e da profundidade sobre a fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata* na lagoa do Óleo.

Test for effect called: SAZONALIDADE

Univariate F Tests

Effects	SS	df	MS	F	P
FL	3288.499	1	3288.499	89.177	0.000
Error	7222.788	46	39.911		
RE	3076.822	1	3076.822	67.922	0.002
Error	8991.388	46	21.355		
FB	4220.333	1	4220.333	77.911	0.000
Error	8112.788	46	32.744		

Multivariate Test Statistics

Value	F-Statistic	Prob
0.012	131.760	0.000
0.889	131.760	0.000
60.481	131.760	0.000

Test for effect called: PROFUNDIDADE

Univariate F Tests

Effects	SS	df	MS	F	P
FL	3100.499	1	3100.499	69.288	0.000
Error	5222.766	46	19.912		
RE	2066.522	1	2066.522	66.522	0.002
Error	4191.221	46	11.884		
FB	3110.330	1	3110.330	69.977	0.000
Error	5112.533	46	13.522		

Multivariate Test Statistics

Value	F-Statistic	Prob
0.010	130.055	0.000
0.775	130.055	0.000
65.442	130.055	0.000

Anexo 6. Resultado da RPMS para verificar quais variáveis físicas e químicas influenciam a fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata* na superfície da lagoa do Óleo.

Stepwise Regression Multiple - **Superfície**
Iteration Detail Section

Iter.	Action	Variable	R-Squared	Sqrt(MSE)	Max R-Squared Other X's
0	Unchanged		0,000000	7,928831	0,000000
1	Added	cond el	0,580490	5,250892	0,000000
2	Unchanged		0,580490	5,250892	0,000000
3	Added	CO2 L	0,849369	3,220479	0,097879
4	Unchanged		0,911136	2,534672	0,958895
5	Added	temp	0,932162	2,272123	0,959199
6	Unchanged		0,932162	2,272123	0,959199
7	Added	kd	0,956167	1,876451	0,979602
8	Unchanged		0,956167	1,876451	0,979602

Robust Regression Report, Dependent FL

Regression Equation Section

Independent Variable	Regression Coefficient	Standard Error	T-Value (Ho: B=0)	Prob Level	Decision (5,0%)	Power (5,0%)
Intercept	10,68395	2,669539	4,0022	0,00076	Reject Ho	0,966584
Cond.el	2,453802	0,1549578	15,8353	0,00000	Reject Ho	1,000000
Temp	-1,890198	0,1582761	-11,9424	0,00000	Reject Ho	1,000000
Kd	4,266953	0,3579871	11,9193	0,00000	Reject Ho	1,000000
CO2Liv	5,202291	0,4172816	12,4671	0,00000	Reject Ho	1,000000
R-Squared	0,983159					

Regression Coefficient Section

Independent Variable	Regression Coefficient	Standard Error	Lower 95,0% C.L.	Upper 95,0% C.L.	Standardized Coefficient
Intercept	10,68395	2,669539	5,096536	16,27135	0,000000
Cond.el	2,453802	0,1549578	2,129472	2,778132	0,787280
Temp	-1,890198	0,1582761	-2,221473	-1,558922	-0,892636
Kd	4,266953	0,3579871	3,517678	5,016229	0,781869
CO2Liv	5,202291	0,4172816	4,32891	6,075671	0,408301
T-Critical	2,093024				

Analysis of Variance Section

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (5,0%)
Intercept	1	409	1,099	4091,099		
Model	4	937,8394	234,4599 2	77,2937	0,000000	1,000000
Error	19	16,06505	0,8455288			
Total(Adjusted)	23	953,9044	41,47411			

Root Mean Square Error	0,9195265	R-Squared	0,983159
Mean of Dependent Variable	16,08173	Adj R-Squared	0,979613
Coefficient of Variation	5,717833E-02		

Anexo 7. Resultado da RPMS para verificar quais variáveis físicas e químicas influenciam a fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata* no fundo da lagoa do Óleo.

Stepwise Regression Multiple - **Fundo**
Iteration Detail Section

Iter.				Max R-Squared	
No.	Action	Variable	R-Squared	Sqrt(MSE)	Other X's
0	Unchanged		0,000000	3,941412	0,000000
1	Added	OD	0,146367	3,723404	0,000000
2	Unchanged		0,146367	3,723404	0,000000
3	Added	NH4	0,427537	3,120901	0,571518
4	Unchanged		0,730245	2,195259	0,741986
5	Added	kd	0,794905	1,963888	0,814588
6	Unchanged		0,794905	1,963888	0,814588
7	Added	cond el	0,917681	1,278294	0,849480
8	Unchanged		0,917681	1,278294	0,849480
9	Added	MST	0,946504	1,060361	0,955978
10	Unchanged		0,946504	1,060361	0,955978

Robust Regression Report, Dependent FL

Regression Equation Section

Independent Variable	Regression Coefficient	Standard Error	T-Value (Ho: B=0)	Prob Level	Decision (5,0%)	Power (5,0%)
Intercept	-4,88324	1,236695	-3,9486	0,00094	Reject Ho	0,961672
Cond. el	-0,2022651	2,443733E-02	-8,2769	0,00000	Reject Ho	1,000000
OD	1,087885	8,625862E-02	12,6119	0,00000	Reject Ho	1,000000
Kd	-1,528759	0,348435	-4,3875	0,00035	Reject Ho	0,985494
NH4	0,4425136	3,489581E-02	12,6810	0,00000	Reject Ho	1,000000
MST	0,5097284	4,123145E-02	12,3626	0,00000	Reject Ho	1,000000
R-Squared	0,952256					

Regression Coefficient Section

Independent Variable	Regression Coefficient	Standard Error	Lower 95,0% C.L.	Upper 95,0% C.L.	Standardized Coefficient
Intercept	-4,88324	1,236695	-7,481441	-2,28504	0,000000
Cond. el	-0,2022651	2,443733E-02	-0,2536061	-0,1509242	-0,864958
OD	1,087885	8,625862E-02	0,906662	1,269107	1,051936
Kd	-1,528759	0,348435	-2,260794	-0,7967242	-0,530894
NH4	0,4425136	3,489581E-02	0,3692002	0,5158269	1,358289
MST	0,5097284	4,123145E-02	0,4231043	0,5963524	1,225777
T-Critical	2,100922				

Analysis of Variance Section

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (5,0%)
Intercept	1	893,2281	893,2281			
Model	5	214,2247	42,84494	71,8014	0,000000	1,000000
Error	18	10,74087	0,596715			
Total(Adjusted)	23	224,9656	9,781113			
Root Mean Square Error			0,7724733	R-Squared	0,952256	
Mean of Dependent Variable			7,463768	Adj R-Squared	0,938993	
Coefficient of Variation			0,1034964			

Anexo 8. Resultado da ANOVA para verificar a influencia do tempo de incubação na fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata* e *E. najas*.

C. furcata

Effects coding used for categorical variables in model.

Categorical values encountered during processing are:

TEMPO (6 levels)

0.5, 1, 2, 3, 4, 5

Dep Var: FL N: 18 Multiple R: 0.981 Squared multiple R: 0.963

Analysis of Variance

Source	Sum-of-Squares	Mean-Square	F-ratio
TEMPO	11.743	2.349	62.024
Error	0.454	0.038	

E. najas

Effects coding used for categorical variables in model.

Categorical values encountered during processing are:

TEMPO (6 levels)

0.5, 1, 2, 3, 4, 5

Dep Var: FL N: 18 Multiple R: 0.988 Squared multiple R: 0.976

Analysis of Variance

Source	Sum-of-Squares	Mean-Square	F-ratio
TEMPO	8.218	1.644	96.506
Error	0.204	0.017	

Anexo 9. Resultado da ANOVA para verificar a influência do pH na atividade fotossintética de *C. furcata* e *E. najas*.

C. furcata

Effects coding used for categorical variables in model.

Categorical values encountered during processing are:

PH (3 levels)

4, 6.5, 8.5

Dep Var: FL N: 9 Multiple R: 0.988 Squared multiple R: 0.976

Analysis of Variance

Source	Sum-of-Squares	Mean-Square	F-ratio
PH	26.780	13.390	121.389
Error	0.662	0.110	

E. najas

Effects coding used for categorical variables in model.

Categorical values encountered during processing are:

PH (3 levels)

4, 6.5, 8.5

Dep Var: FL N: 9 Multiple R: 0.911 Squared multiple R: 0.829

Analysis of Variance

Source	Sum-of-Squares	Mean-Square	F-ratio
PH	21.013	10.507	14.587
Error	4.321	0.720	

Anexo 10. Resultado do teste Mann-Whitney nos ajustes das curvas F-I (Platt et. al., 1908), para verificar a influência dos meios aquosos utilizados, água da lagoa do Óleo e meio nutritivo, para *C. furcata* e *E. najas*.

Equação de Platt et.al. (1980)

Ajustes das curvas de F-I de: *C. furcata* na lagoa do Óleo x *C. furcata* no meio nutritivo

Mann-Whitney Test

FL_ *C. furcata* _L. Óleo and FL_ *C. furcata* _M. Nutritivo differ significantly?

The two-tailed P value is 0.8633, considered not significant.

Calculation details

Mann-Whitney U-statistic = 38.500

U' = 42.500

Summary of Data

Parameter:	FL_ <i>C. furcata</i> _L. Óleo	FL_ <i>C. furcata</i> _M. Nutritivo
Mean:	2.429	2.337
# of points:	9	9
Std deviation:	0.9612	1.242
Std error:	0.3204	0.4141
Minimum:	0.6500	-0.2000
Maximum:	3.170	3.160
Median:	2.980	3.090
Lower 95% CI:	1.690	1.382
Upper 95% CI:	3.168	3.292

Equação de Platt et.al. (1980)

Ajustes das curvas de F-I de: *E. najas* na lagoa do Óleo x *E. najas* no meio nutritivo

Mann-Whitney Test

FL_ *E. najas* _L. Óleo and FL_ *E. najas* _M. Nutritivo differ significantly?

The two-tailed P value is 0.0440, considered significant.

Calculation details

Mann-Whitney U-statistic = 8.000

U' = 61.000

Summary of Data

Parameter:	FL_ <i>E. najas</i> _L. Óleo	FL_ <i>E. najas</i> _M. Nutritivo
Mean:	0.6189	1.754
# of points:	9	9
Std deviation:	0.3245	1.176
Std error:	0.1082	0.3919
Minimum:	0.06000	-0.06000
Maximum:	0.9000	2.950
Median:	0.7800	2.130
Lower 95% CI:	0.3694	0.8507
Upper 95% CI:	0.8683	2.658

Anexo 11. Resultado do teste Mann-Whitney nos ajustes das curvas F-I (Platt et. al., 1908), para verificar a resposta das taxas de fotossíntese entre as espécies, *C. furcata* e *E. najas*, utilizando o mesmo meio aquoso.

Equação de Platt et.al. (1980)

Ajustes das curvas de F-I de: *C. furcata* na lagoa do Óleo x *E. najas* na lagoa do Óleo

Mann-Whitney Test

FL_ *C. furcata*_L Óleo and FL_ *E. najas*_L. Óleo differ significantly?

The two-tailed P value is 0.0008, considered extremely significant.
(The P value is exact.)

Calculation details

Mann-Whitney U-statistic = 5.000

U' = 76.000

Summary of Data

Parameter:	FL_ <i>C. furcata</i> _L Óleo	FL_ <i>E. najas</i> _L. Óleo
Mean:	2.429	0.6189
# of points:	9	9
Std deviation:	0.9612	0.3245
Std error:	0.3204	0.1082
Minimum:	0.6500	0.06000
Maximum:	3.170	0.9000
Median:	2.980	0.7800
Lower 95% CI:	1.690	0.3694
Upper 95% CI:	3.168	0.8683

Equação de Platt et.al. (1980)

Ajustes das curvas de F-I de: *C. furcata* no M. Nutritivo x *E. najas* no M. Nutritivo

Mann-Whitney Test

FL_ *C. furcata*_M.Nutritivo and FL_ *E. najas*_M. Nutritivo differ significantly?

The two-tailed P value is 0.1359, considered not significant.
(The P value is exact.)

Calculation details

Mann-Whitney U-statistic = 23.500

U' = 57.500

Summary of Data

Parameter:	FL_ <i>C. furcata</i> _M.Nutritivo	FL_ <i>E. najas</i> _M. Nutritivo
Mean:	2.337	1.754
# of points:	9	9
Std deviation:	1.242	1.176
Std error:	0.4141	0.3919
Minimum:	-0.2000	-0.06000
Maximum:	3.160	2.950
Median:	3.090	2.130
Lower 95% CI:	1.382	0.8507
Upper 95% CI:	3.292	2.658

Anexo 12. Resultado do teste Mann-Whitney nos ajustes das curvas F-I (Michaelis-Menten), para verificar a influência dos meios aquosos utilizados, água da lagoa do Óleo e meio nutritivo, para *C. furcata* e *E. najas*.

Equação de Michaelis-Menten

Ajustes das curvas de F-I de: *C. furcata* na lagoa do Óleo x *C. furcata* no meio nutritivo

Mann-Whitney Test

FL_ *C. furcata* _L. Óleo and FL_ *C. furcata* _M. Nutritivo differ significantly?

The two-tailed P value is 0.7304, considered not significant.
(The P value is exact.)

Calculation details

Mann-Whitney U-statistic = 36.500

U' = 44.500

Summary of Data

Parameter:	FL_ <i>C. furcata</i> _L. Óleo	FL_ <i>C. furcata</i> _M. Nutritivo
Mean:	2.554	2.496
# of points:	9	9
Std deviation:	0.8970	0.8424
Std error:	0.2990	0.2808
Minimum:	1.060	1.080
Maximum:	3.540	3.410
Median:	2.820	2.750
Lower 95% CI:	1.865	1.848
Upper 95% CI:	3.244	3.143

Equação de Michaelis-Menten

Ajustes das curvas de F-I de: *E. najas* na lagoa do Óleo x *E. najas* no meio nutritivo

Mann-Whitney Test

FL_ *E. najas* _L. Óleo and FL_ *E. najas* _M. Nutritivo differ significantly?

The two-tailed P value is 0.0040, considered very significant.
(The P value is exact.)

Calculation details

Mann-Whitney U-statistic = 9.500

U' = 71.500

Summary of Data

Parameter:	FL_ <i>E. najas</i> _L. Óleo	FL_ <i>E. najas</i> _M. Nutritivo
Mean:	0.6433	1.822
# of points:	9	9
Std deviation:	0.2491	0.8966
Std error:	0.08303	0.2989
Minimum:	0.2400	0.5200
Maximum:	0.9300	2.960
Median:	0.7100	1.950
Lower 95% CI:	0.4519	1.133
Upper 95% CI:	0.8348	2.511

Anexo 13. Resultado do teste Mann-Whitney nos ajustes das curvas F-I (Platt et. al., 1908), para verificar a resposta das taxas de fotossíntese entre as espécies, *C. furcata* e *E. najas*, utilizando o mesmo meio aquoso.

Equação de Michaelis-Menten

Ajustes das curvas de F-I de: *C. furcata* na lagoa do Óleo x *E. najas* na lagoa do Óleo

Mann-Whitney Test

FL_ *C. furcata*_L. Óleo and FL_ *E. najas*_L. Óleo differ significantly?

FL_ *E. najas*_L. Óleo

The two-tailed P value is < 0.0001, considered extremely significant.

(The P value is exact.)

Calculation details

Mann-Whitney U-statistic = 0.000

U' = 81.000

Summary of Data

Parameter:	FL_ <i>C. furcata</i> _L. Óleo	FL_ <i>C. furcata</i> _L. Óleo
Mean:	2.554	0.6433
# of points:	9	9
Std deviation:	0.8970	0.2491
Std error:	0.2990	0.08303
Minimum:	1.060	0.2400
Maximum:	3.540	0.9300
Median:	2.820	0.7100
Lower 95% CI:	1.865	0.4519
Upper 95% CI:	3.244	0.8348

Equação de Michaelis-Menten

Ajustes das curvas de F-I de: *C. furcata* no M. Nutritivo x *E. najas* no M. Nutritivo

Mann-Whitney Test

FL_ *C. furcata*_M.Nutritivo and FL_ *E. najas*_M. Nutritivo differ significantly?

The two-tailed P value is 0.1615, considered not significant.

(The P value is exact.)

Calculation details

Mann-Whitney U-statistic = 24.000

U' = 57.000

Summary of Data

Parameter:	FL_ <i>C. furcata</i> _M.Nutritivo	FL_ <i>E. najas</i> _M. Nutritivo
Mean:	2.496	1.822
# of points:	9	9
Std deviation:	0.8424	0.8966
Std error:	0.2808	0.2989
Minimum:	1.080	0.5200
Maximum:	3.410	2.960
Median:	2.750	1.950
Lower 95% CI:	1.848	1.133
Upper 95% CI:	3.143	2.511

Anexo 14. Resultado da ANOVA não paramétrica Kruskal-Wallis nos ajustes das curvas de crescimento (Biomassa) em função da temperatura (15, 20, 25 e 30 °C) para *E. najas*.

Kruskal-Wallis Test (Nonparametric ANOVA)

The P value is 0.0014, considered very significant.

Calculation detail

Group	Number of Points	Sum of Ranks	Mean of
Biomassa_15	13	180.00	13.846
Biomassa_20	13	380.50	29.269
Biomassa_25	13	479.50	36.885
Biomassa_30	13	338.00	26.000

Kruskal-Wallis Statistic KW = 15.617

Dunn's Multiple Comparisons Test

Comparison	Mean Rank Difference	P value
Biomassa_15 vs. Biomassa_20	-15.423	ns P>0.05
Biomassa_15 vs. Biomassa_25	-23.038	*** P<0.001
Biomassa_15 vs. Biomassa_30	-12.154	ns P>0.05
Biomassa_20 vs. Biomassa_25	-7.615	ns P>0.05
Biomassa_20 vs. Biomassa_30	3.269	ns P>0.05
Biomassa_25 vs. Biomassa_30	10.885	ns P>0.05

Summary of Data

Group	Number of Points	Median	Minimum	Maximum
Biomassa_15	13	3.510	2.750	4.220
Biomassa_20	13	5.370	2.560	6.750
Biomassa_25	13	6.810	2.460	8.110
Biomassa_30	13	5.090	2.410	6.090

Anexo 15. Resultado da ANOVA para verificar a influência da temperatura (15, 20, 25 e 30 °C) nas taxas de fotossíntese líquida (FL).

FL - Temperature 15 °C

Effects coding used for categorical variables in model.

Categorical values encountered during processing are:

TEMPERATURA (4 levels)

15, 20, 25, 30

Dep Var: FL N: 12 Multiple R: 0.960 Squared multiple R: 0.921

Analysis of Variance

	Sum-of-Squares	Mean-Square	F-ratio
TEMPERATU	62.814	20.938	31.155
E	5.376	0.672	

FL - Temperature 20 °C

Effects coding used for categorical variables in model.

Categorical values encountered during processing are:

TEMPERATURA (4 levels)

15, 20, 25, 30

Dep Var: FL N: 12 Multiple R: 0.911 Squared multiple R: 0.912

Analysis of Variance

	Sum-of-Squares	Mean-Square	F-ratio
TEMPERATU	61.140	16.011	30.143
E	6.160	0.522	

FL - Temperature 25 °C

Effects coding used for categorical variables in model.

Categorical values encountered during processing are:

TEMPERATURA (4 levels)

15, 20, 25, 30

Dep Var: FL N: 12 Multiple R: 0.911 Squared multiple R: 0.912

Analysis of Variance

	Sum-of-Squares	Mean-Square	F-ratio
TEMPERATU	68.251	26.061	34.644
E	4.960	0.851	

FL - Temperature 30 °C

Effects coding used for categorical variables in model.

Categorical values encountered during processing are:

TEMPERATURA (4 levels)

15, 20, 25, 30

Dep Var: FL N: 12 Multiple R: 0.911 Squared multiple R: 0.912

Analysis of Variance

	Sum-of-Squares	Mean-Square	F-ratio
TEMPERATU	62.731	22.109	31.562
E	5.186	0.743	

Variáveis Físicas e Químicas da água - Lagoa do Óleo

Anexo 16. Valores médios e desvio padrão (DP) da profundidade do desaparecimento do disco de Secchi (Z_{DS} , m), profundidade máxima (Z_{max} , m) e coeficiente de extinção da luz (K_d , m^{-1}) na água da lagoa do óleo, local de incubação de *C. furcata*, no período seco (Jun a Set/06) e chuvoso (Dez/05 a Mar/06).

Mês/Ano	Z_{DS}		Z_{max}	$k_D (m^{-1})$	
	Média	DP		Média	DP
dez/05	0,59	0,02	1,50	4,19	0,13
jan/06	0,52	0,03	2,50	4,79	0,26
fev/06	0,62	0,04	2,50	3,97	0,25
mar/06	0,47	0,02	2,50	5,30	0,18
jun/06	0,97	0,03	1,50	2,54	0,07
jul/06	1,45	0,02	2,00	1,71	0,02
ago/06	1,35	0,02	2,00	1,83	0,02
set/06	1,37	0,03	1,50	1,80	0,03

Anexo 17. Valores médios e desvio padrão (DP) da temperatura ($^{\circ}C$), pH, condutividade elétrica (Cond. El., $\mu S cm^{-1}$) e oxigênio dissolvido (OD, $mg L^{-1}$) na água da lagoa do óleo, na **superfície** e no **fundo**, locais de incubação de *C. furcata*, no período seco (Jun a Set/06) e chuvoso (Dez/05 a Mar/06).

Superfície								
Mês/Ano	Temperatura		pH		Cond. El.		OD	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
dez/05	25,8	0,00	4,03	0,04	8	0,58	4,48	0,10
jan/06	28,5	0,26	5,03	0,06	14	0,58	2,33	0,12
fev/06	25,1	0,17	4,00	0,02	13	0,00	3,02	0,16
mar/06	28,4	0,12	4,98	0,02	13	0,58	3,08	0,05
jun/06	19,0	0,00	5,30	0,00	9	1,00	4,31	0,05
jul/06	19,0	0,00	4,80	0,00	8	0,58	5,34	0,02
ago/06	20,3	0,58	5,10	0,00	10	0,00	10,53	0,28
set/06	24,0	0,00	5,73	0,06	10	0,00	12,89	0,40
Fundo (1m)								
dez/05	25,8	0,00	4,08	0,01	9	1,00	5,40	0,03
jan/06	25,4	0,15	5,61	0,03	57	2,00	2,45	0,18
fev/06	24,2	0,00	4,13	0,02	26	6,08	2,19	0,07
mar/06	24,7	0,10	5,49	0,01	42	2,08	3,42	0,10
jun/06	18,0	0,00	5,00	0,00	10	0,00	4,31	0,04
jul/06	17,0	0,00	4,20	0,00	8	0,00	3,09	0,17
ago/06	18,0	0,00	4,97	0,06	10	0,58	8,45	0,21
set/06	23,0	0,00	5,10	0,00	7	0,00	11,32	0,34

Anexo 18. Perfis dos valores médios e desvios padrão da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) na água da lagoa do Óleo, nos meses de estudo.

Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)								
Prof. (m)	Dez/05	Jan/06	Fev/06	Mar/06	Jun/06	Jul/06	Ago/06	Set/06
0,0	07 ± 0,00	21 ± 1,73	11 ± 0,00	11 ± 0,44	10 ± 0,00	08 ± 0,00	10 ± 0,00	08 ± 1,73
0,1	08 ± 0,58	14 ± 0,58	13 ± 0,00	13 ± 0,58	09 ± 1,00	08 ± 0,58	10 ± 0,00	10 ± 0,00
0,2	08 ± 0,00	13 ± 0,00	11 ± 0,58	13 ± 0,58	08 ± 0,00	08 ± 1,73	10 ± 0,00	10 ± 0,00
0,3	07 ± 0,00	13 ± 0,58	11 ± 0,58	12 ± 0,00	07 ± 0,58	10 ± 0,00	10 ± 0,00	10 ± 0,00
0,4	07 ± 0,00	14 ± 0,00	11 ± 0,00	12 ± 0,00	09 ± 1,73	11 ± 1,00	10 ± 0,00	10 ± 0,00
0,5	07 ± 0,00	15 ± 1,53	11 ± 0,00	12 ± 0,00	10 ± 0,00	11 ± 0,58	11 ± 0,58	10 ± 0,00
0,6	07 ± 0,00	25 ± 5,00	11 ± 0,00	16 ± 2,08	10 ± 0,00	10 ± 0,58	11 ± 0,58	10 ± 0,00
0,7	07 ± 0,00	43 ± 1,00	11 ± 0,00	19 ± 1,15	11 ± 1,15	10 ± 0,00	10 ± 0,00	10 ± 0,00
0,8	07 ± 0,00	47 ± 0,58	11 ± 0,00	28 ± 2,52	11 ± 0,58	10 ± 0,00	10 ± 0,00	08 ± 0,58
0,9	07 ± 0,00	52 ± 0,58	11 ± 0,00	37 ± 1,53	11 ± 0,58	08 ± 0,58	10 ± 0,00	08 ± 0,00
1,0	09 ± 1,00	57 ± 2,00	26 ± 6,08	42 ± 2,08	10 ± 0,00	08 ± 0,00	10 ± 0,58	07 ± 0,00
1,5	09 ± 1,00	61 ± 1,53	26 ± 5,57	62 ± 2,52	10 ± 0,58	07 ± 0,00	08 ± 0,00	10 ± 0,00
2,0		64 ± 1,00	34 ± 5,86	77 ± 4,36		10 ± 0,00	08 ± 0,00	
2,5		92 ± 2,65	35 ± 3,46	84 ± 1,15				

Anexo 19. Perfis dos valores médios e desvios padrão da temperatura (°C) na água da lagoa do Óleo, nos meses de estudo.

Prof. (m)	Temperatura (°C)							
	Dez/05	Jan/06	Fev/06	Mar/06	Jun/06	Jul/06	Ago/06	Set/06
0,0	26 ± 0,06	30 ± 0,55	25 ± 0,10	29 ± 0,10	19 ± 0,00	19 ± 0,00	21 ± 0,00	24 ± 0,06
0,1	26 ± 0,00	29 ± 0,26	25 ± 0,17	28 ± 0,12	19 ± 0,00	19 ± 0,00	20 ± 0,00	24 ± 0,06
0,2	26 ± 0,00	28 ± 0,29	25 ± 0,12	28 ± 0,25	19 ± 0,00	18 ± 0,58	19 ± 0,00	24 ± 0,12
0,3	26 ± 0,00	28 ± 0,15	24 ± 0,06	27 ± 0,00	19 ± 0,00	18 ± 0,00	19 ± 0,00	24 ± 0,10
0,4	26 ± 0,00	27 ± 0,00	24 ± 0,00	26 ± 0,10	18 ± 0,58	18 ± 0,00	19 ± 0,00	23 ± 0,06
0,5	26 ± 0,00	27 ± 0,06	24 ± 0,06	26 ± 0,10	18 ± 0,00	18 ± 0,58	19 ± 0,00	23 ± 0,15
0,6	26 ± 0,00	27 ± 0,06	24 ± 0,00	26 ± 0,12	18 ± 0,00	17 ± 0,00	18 ± 0,00	23 ± 0,06
0,7	26 ± 0,00	27 ± 0,12	24 ± 0,00	25 ± 0,15	18 ± 0,00	17 ± 0,00	18 ± 0,00	23 ± 0,06
0,8	26 ± 0,00	27 ± 0,10	24 ± 0,00	25 ± 0,06	18 ± 0,00	17 ± 0,00	18 ± 0,55	23 ± 0,06
0,9	26 ± 0,00	26 ± 0,06	24 ± 0,06	25 ± 0,00	18 ± 0,00	17 ± 0,06	18 ± 0,26	23 ± 0,10
1,0	26 ± 0,00	25 ± 0,15	24 ± 0,00	25 ± 0,10	18 ± 0,00	17 ± 0,00	18 ± 0,29	23 ± 0,17
1,5	26 ± 0,00	25 ± 0,06	24 ± 0,00	24 ± 0,06	18 ± 0,00	17 ± 0,00	18 ± 0,15	22 ± 0,12
2,0		24 ± 0,06	24 ± 0,06	23 ± 0,12		17 ± 0,00	18 ± 0,00	
2,5		24 ± 0,06	23 ± 0,00	22 ± 0,06				

Anexo 20. Valores médios e desvio padrão (DP) do material em suspensão total (MST), inorgânico (MSI) e orgânico (MSO) (mg L^{-1}) na água da lagoa do óleo, na **superfície** e no **fundo**, locais de incubação de *C. furcata*, no período seco (Jun a Set/06) e chuvoso (Dez/05 a Mar/06).

Superfície						
Mês/Ano	MST		MSI		MSO	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
dez/05	4,23	0,50	2,25	0,43	1,98	0,23
jan/06	17,11	0,70	9,89	1,02	7,22	0,96
fev/06	5,25	1,25	0,42	0,14	4,83	1,13
mar/06	18,50	2,29	12,00	0,00	6,50	2,29
jun/06	11,23	0,35	4,48	0,63	6,75	0,71
jul/06	5,23	0,85	2,96	0,73	2,27	0,62
ago/06	5,73	0,12	2,73	0,23	3,00	0,20
set/06	4,09	0,47	2,18	0,82	1,91	0,38

Fundo (1m)						
dez/05	5,00	1,09	3,25	0,87	1,75	0,25
jan/06	17,22	1,83	10,00	1,67	7,22	2,36
fev/06	6,11	0,51	1,22	0,51	4,89	0,19
mar/06	30,12	3,02	11,78	1,02	18,34	2,74
jun/06	7,36	0,18	4,34	0,52	3,02	0,58
jul/06	5,87	0,31	3,67	0,31	2,20	0,53
ago/06	4,93	0,31	3,33	0,81	1,60	0,53
set/06	5,02	0,61	2,84	0,28	2,18	0,47

Anexo 21. Valores médios e desvio padrão (DP) das concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID), CO₂ livre e HCO₃⁻ (mg L⁻¹) na água da lagoa do óleo, na **superfície**, local de incubação de *C. furcata*, no período seco (Jun a Set/06) e chuvoso (Dez/05 a Mar/06).

Superfície						
Mês/Ano	CID		CO ₂ livre		HCO ₃ ⁻	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
dez/05	1,48	0,20	1,47	0,20	0,01	0,01
jan/06	1,62	0,06	1,57	0,07	0,05	0,02
fev/06	2,04	0,36	2,02	0,35	0,02	0,01
mar/06	3,43	0,46	3,34	0,46	0,08	0,01
jun/06	2,16	0,09	1,99	0,08	0,18	0,01
jul/06	2,17	0,40	2,16	0,40	0,01	0,00
ago/06	2,28	0,09	2,18	0,08	0,10	0,01
set/06	2,05	0,25	1,65	0,24	0,40	0,03
Fundo (1m)						
dez/05	1,49	0,16	1,49	0,16	0,00	0,00
jan/06	1,75	0,04	1,47	0,04	0,28	0,01
fev/06	2,34	0,91	2,34	0,91	0,00	0,00
mar/06	1,97	0,16	1,73	0,15	0,25	0,01
jun/06	2,37	0,20	2,30	0,20	0,07	0,01
jul/06	2,27	0,26	2,27	0,26	0,00	0,00
ago/06	2,04	0,12	1,99	0,11	0,05	0,02
set/06	1,80	0,16	1,72	0,15	0,08	0,01

Anexo 22. Valores médios e desvio padrão (DP) das concentrações de nitrogênio orgânico total (Kjeldhal) (NTK, mg L⁻¹), amônio (N-NH₄, µg L⁻¹) e fósforo total (P-Total, µg L⁻¹) na água da lagoa do óleo, na **superfície** e no **fundo**, locais de incubação de *C. furcata*, no período seco (Jun a Set/06) e chuvoso (Dez/05 a Mar/06).

Superfície						
Mês/Ano	NTK		N-NH ₄		P-Total	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
dez/05	0,93	0,02	17,10	1,18	48,14	1,01
jan/06	1,02	0,08	12,54	0,50	147,43	1,01
fev/06	1,06	0,04	15,87	1,09	63,19	1,41
mar/06	1,00	0,02	39,20	1,21	120,35	1,56
jun/06	0,43	0,03	27,02	0,86	39,12	2,02
jul/06	0,36	0,02	31,36	0,54	24,07	1,79
ago/06	0,72	0,04	23,50	0,68	30,09	2,01
set/06	0,72	0,05	25,60	0,67	27,08	1,02

Fundo (1m)						
dez/05	0,91	0,05	23,37	1,28	36,11	1,02
jan/06	1,09	0,03	31,80	2,76	162,48	1,00
fev/06	0,96	0,01	43,70	1,19	66,19	1,21
mar/06	1,09	0,02	32,60	1,79	186,55	1,76
jun/06	0,36	0,06	11,40	1,23	24,07	2,01
jul/06	0,93	0,01	15,70	3,01	30,09	2,02
ago/06	0,67	0,09	10,80	2,01	33,10	1,90
set/06	0,79	0,03	9,32	1,01	39,12	1,82

Anexo 23. Valores médios e desvio padrão (DP) das porcentagens de matéria orgânica (MO) no sedimento da lagoa do óleo, no local de incubação de *C. furcata*, no período seco (Jun a Set/06) e chuvoso (Dez/05 a Mar/06).

Mês/Ano	MO	
	Média	DP
dez/05	26,36	0,09
jan/06	23,89	0,03
fev/06	27,54	0,54
mar/06	23,84	1,00
jun/06	25,05	0,60
jul/06	23,24	0,99
ago/06	25,69	0,32
set/06	28,01	0,86

Taxas Fotossintéticas - Lagoa do Óleo

Anexo 24. Médias e desvios padrão (DP) da fotossíntese líquida (FL), respiração (RE) e fotossíntese bruta (FB) na **superfície** e no **fundo** da lagoa do Óleo, locais de incubação da *C. furcata*, no período seco e chuvoso.

Superfície						
Mês/Ano	FL		RE		FB	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Dez/05	7,01	0,44	1,07	0,25	8,08	0,59
Jan/06	18,45	0,83	0,95	0,10	19,40	0,97
Fev/06	23,78	0,71	1,38	0,00	25,16	0,73
Mar/06	31,04	0,17	0,94	0,09	31,98	0,24
Jun/06	15,51	0,54	0,95	0,11	16,46	0,60
Jul/06	12,05	1,18	1,04	0,06	13,09	1,21
Ago/06	17,43	1,42	4,65	0,13	22,08	1,52
Set/06	6,67	1,64	1,94	0,08	8,61	1,70
Fundo (1m)						
						0,33
Dez/05	5,64	0,36	1,41	0,02	7,05	
Jan/06	1,59	0,40	0,30	0,17	1,89	0,52
Fev/06	9,16	0,44	1,33	0,09	10,49	0,53
Mar/06	12,92	1,91	4,03	0,71	16,95	1,76
Jun/06	2,33	0,76	0,74	0,20	3,07	0,91
Jul/06	8,47	1,48	0,95	0,19	9,42	1,57
Ago/06	9,30	0,15	3,79	0,52	13,09	0,63
Set/06	11,10	0,27	2,23	0,64	13,33	0,90

Taxas Fotossintéticas e Biomassa - Laboratório

Anexo 25. Médias e desvios padrão da fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata* e *E. najas* em função do tempo de incubação (horas).

Tempo	FL - <i>C. furcata</i>	
	Média	DP
0,5	0,87	0,07
1	3,13	0,29
2	2,98	0,27
3	3,11	0,22
4	3,08	0,09
5	2,48	0,10

FL - <i>E. najas</i>		
0,5	1,27	0,08
1	3,15	0,14
2	2,97	0,13
3	2,93	0,18
4	3,30	0,14
5	2,85	0,09

Anexo 26. Médias e desvios padrão da fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata* e *E. najas* em função do pH.

pH	FL - <i>C. furcata</i>	
	Média	DP
4,0	4,20	0,50
6,5	1,67	0,28
8,5	0,00	0,00

FL - <i>E. najas</i>		
4,0	4,22	1,21
6,5	1,74	0,18
8,5	0,00	0,00

Anexo 27. Médias e desvios padrão da fotossíntese líquida (FL) de *C. furcata* e *E. najas* em função da luz, com água da lagoa do Óleo e meio nutritivo (RFA = radiação fotossinteticamente ativa, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

FL - <i>C. furcata</i>				
RFA	L. Óleo		Meio Nutritivo	
	Média	DP	Média	DP
10	0,77	0,16	0,13	0,07
16	1,13	0,25	0,37	0,18
27	1,69	0,39	1,59	0,18
45	2,54	0,33	3,44	0,27
75	3,22	0,21	3,69	0,32
100	3,41	0,18	3,64	0,48
177	3,12	0,61	3,14	0,84
275	3,05	0,51	2,65	0,51
390	2,86	0,26	2,35	0,45
FL - <i>E. najas</i>				
10	0,14	0,04	0,12	0,05
16	0,19	0,02	0,28	0,15
27	0,31	0,07	0,65	0,16
45	0,61	0,37	1,68	0,43
75	0,77	0,21	2,27	0,11
100	1,14	0,06	2,76	0,42
177	1,14	0,14	2,78	0,54
275	0,68	0,20	2,81	0,53
390	0,69	0,19	2,47	0,53

Anexo 28. Médias e desvios padrão da biomassa de *E. najas* em função da temperatura durante os 48 dias de crescimento ($177 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fotoperíodo de 12 horas).

Tempo (dias)	Biomassa (mg)			
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
0	2,82 + 0,04	2,79 + 0,02	2,62 + 0,03	2,42 + 0,05
4	2,90 + 0,04	3,03 + 0,06	3,05 + 0,12	2,85 + 0,09
8	3,05 + 0,06	3,28 + 0,07	3,90 + 0,35	3,38 + 0,41
12	3,21 + 0,12	3,87 + 0,20	4,80 + 0,47	3,92 + 0,29
16	3,33 + 0,09	4,42 + 0,32	5,73 + 0,73	4,39 + 0,26
20	3,44 + 0,09	4,98 + 0,48	6,47 + 0,86	4,92 + 0,43
24	3,67 + 0,14	5,53 + 0,39	6,88 + 0,86	5,12 + 0,43
28	3,90 + 0,19	5,87 + 0,44	7,14 + 0,93	5,29 + 0,53
32	4,05 + 0,23	6,03 + 0,45	7,40 + 0,92	5,46 + 0,53
36	4,14 + 0,27	6,16 + 0,51	7,68 + 0,94	5,48 + 0,54
40	4,29 + 0,35	6,40 + 0,49	7,95 + 0,85	5,99 + 0,71
44	4,40 + 0,41	6,59 + 0,53	8,10 + 0,87	6,11 + 0,76
48	4,47 + 0,48	6,73 + 0,60	8,23 + 0,88	6,15 + 0,84

Anexo 29. Médias e desvios padrão da fotossíntese líquida (FL), respiração (RE) e fotossíntese bruta (FB) de *E. najas* em função da temperatura.

Temperatura (°C) de crescimento	Temperatura (°C) de incubação	FL		RE		FB	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP
15 °C	15	2,35	0,81	1,34	0,40	3,69	1,03
	20	4,06	0,79	0,82	0,65	4,88	1,09
	25	6,00	1,28	0,44	0,12	6,44	1,11
	30	1,52	1,01	1,69	0,32	3,21	1,15
20 °C	15	1,77	1,21	1,11	0,34	2,89	1,20
	20	3,84	0,86	0,42	0,09	4,70	0,92
	25	3,65	1,22	1,05	0,45	4,70	1,31
	30	2,12	0,21	1,45	0,68	3,57	0,83
25 °C	15	4,65	0,92	0,94	0,28	4,65	0,96
	20	5,33	0,80	1,20	0,51	6,53	1,13
	25	7,38	0,39	0,89	0,19	8,27	0,51
	30	6,07	1,10	1,60	0,33	7,67	1,41
30 °C	15	3,83	0,48	0,30	0,22	4,13	0,62
	20	3,82	0,71	1,51	0,43	5,32	1,12
	25	5,77	0,76	0,80	0,31	6,58	1,05
	30	6,04	1,07	1,94	0,28	7,98	1,21