



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO
MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO
ORIENTADOR: ANTONIO FERNANDO MONTEIRO CAMARGO
CO-ORIENTADOR: GUSTAVO HENRIQUE GONZAGA DA SILVA

MÔNICA RAFAELE DANTAS

TÍTULO: Taxa fotossintética de *Egeria densa* em ambientes aquáticos da Mata Atlântica e da Caatinga.

MOSSORÓ

2016

MÔNICA RAFAELE DANTAS

TÍTULO: Taxa fotossintética de *Egeria densa* em ambientes aquáticos da Mata Atlântica e da Caatinga.

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ecologia do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Linha de Pesquisa: Ecologia e conservação de ecossistemas aquáticos.

Orientador: Antonio Fernando Monteiro Camargo, Prof. Dr.

Co-orientador: Gustavo Henrique Gonzaga da Silva, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2016

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

D192t Dantas, Mônica Rafaele.

Taxa fotossintética de Egeria densa em ambientes aquáticos da Mata Atlântica e da Caatinga. / Mônica Rafaele Dantas. - Mossoró, 2016. 39f: il.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo
Co-Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva

Dissertação (MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO) -
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

1. Fotossíntese. 2. Macrófita Aquática. 3. Radiação. 4. Mata Atlântica. 5. Caatinga. I. Título

RN/UFERSA/BOT/048

CDD 572.46

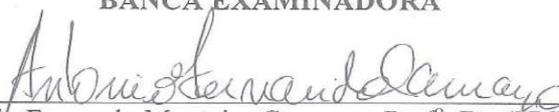
TÍTULO: Taxa fotossintética de *Egeria densa* em ambientes aquáticos da Mata Atlântica e da Caatinga.

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ecologia do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

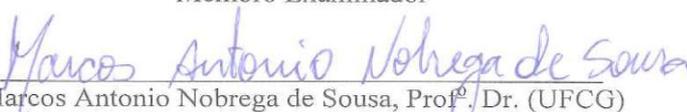
Linha de Pesquisa: Ecologia e conservação de ecossistemas aquáticos.

Defendida em: 07 / 03 / 2016.

BANCA EXAMINADORA


Antonio Fernando Monteiro Camargo, Prof.^o Dr. (UNESP)
Presidente


Marcicleide Lima do Espírito Santo, Prof.^o Dra. (UFERSA)
Membro Examinador


Marcos Antonio Nobrega de Sousa, Prof.^o Dr. (UFCEG)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua presença constante na minha vida, sem que eu precise pedir, pelo auxílio nas minhas escolhas e me confortar nas horas difíceis.

Aos meus pais, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram, em todos os momentos difíceis, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada.

Ao meu irmão pela sua sincera amizade, apoio e proteção, sem você tudo teria sido muito mais difícil.

Ao meu Orientador Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo, pelos seus conhecimentos a mim transmitidos, sua paciência e dedicação dando as devidas sugestões e acompanhando cada etapa deste trabalho, obrigada por mesmo estando longe sempre ter me orientado da melhor forma possível, o senhor foi fundamental para a realização deste trabalho.

Ao meu Co-orientador Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva por ter me acolhido em seu laboratório e ter me dado todo o suporte na realização das coletas de dados, nas análises estatísticas e em todas as outras etapas desse trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios Carlos Fernando, Luís Carlos e Amarílis Brandão por toda a ajuda nas coletas, nas análises de água e em todos os momentos de descontração que compartilhei com vocês, obrigada por terem tornado meus dias mais felizes.

Aos meus colegas de laboratório Cinthya, Beatriz, Eudilena, Julio e em especial Sávio, Luiza e Thaise por toda a ajuda nas coletas, aquelas alergias valeram a pena.

Aos meus amigos e colegas de curso, Naiara França e Geovan Sá por todos os momentos de aprendizado e descontração. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro de produção melhora tudo o que tenho produzido na vida.

Aos professores da banca, Dra. Marcicleide Lima e Dr. Marcos Sousa por todo o conhecimento compartilhado.

Para todos que já tiveram um momento de fraqueza. Não vai doer para sempre, então não deixe isso afetar o que há de melhor em você.

Autor desconhecido.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo comparar as taxas fotossintéticas da macrófita aquática submersa *E. densa* em ambientes aquáticos da Mata Atlântica e da Caatinga. As medições de fotossíntese, respiração e das características físicas e químicas da água foram realizadas em duas épocas do ano, (inverno e verão) para o bioma Mata Atlântica e (seco e chuvoso) para o bioma Caatinga. Os experimentos de fotossíntese foram realizados no local de ocorrência de *E. densa*. Foi utilizada água do próprio ambiente nos dois biomas, com incubações realizadas durante o período iluminado do dia (de 6 às 17 horas, aproximadamente) com duração de uma hora cada incubação. Para determinar as taxas de fotossíntese e respiração foi utilizado o método de frascos claros e escuros, com base nas variações das concentrações de oxigênio dissolvido, determinadas pelo método de Winkler. A produção da macrófita aquática *E. densa* apresentou valores significativamente superiores no verão e período chuvoso do que no período seco e inverno. No bioma Mata Atlântica o fósforo e a temperatura foram as variáveis que possuíram maior influência na produção primária da *Egeria densa* e no bioma Caatinga a produção da *E. densa* aumentou quando exposta a maiores valores de radiação, temperatura, fósforo e menores valores de nitrogênio. A radiação fotossinteticamente ativa e a temperatura da água são fatores que podem atuar juntos ou separadamente no aumento da produção primária das macrófitas, podendo variar de acordo com a espécie e com a localização geográfica. A produção primária da macrófita aquática submersa *E. densa* foi maior no bioma Caatinga no período chuvoso, influenciada por valores mais elevados de radiação fotossinteticamente ativa e de temperatura da água.

Palavras-chave: Fotossíntese, Radiação, Temperatura, Macrófita Aquática, Produção.

ABSTRACT

This study aimed to compare the photosynthetic rates of submerged aquatic macrophyte *E. densa* in aquatic environments of the Atlantic Forest and Caatinga. The photosynthesis measurements, respiration and physical and chemical characteristics of water were performed in two seasons (winter and summer) for the Atlantic Forest biome and (dry and wet) for the Caatinga biome. The photosynthesis experiments were carried out at the place of occurrence of *E. densa* using the environment itself water in the two biomes. Incubations were conducted during the illuminated period of the day (from 6 to 17 hours approximately) lasting an hour each incubation. To determine the photosynthesis and respiration rates we used the method of light and dark bottles, based on variations in dissolved oxygen concentrations determined by the Winkler method. The production of the aquatic macrophyte *E. densa* had significantly higher values in summer and rainy season than in the dry winter period. In the Atlantic Forest phosphorus and temperature were the variables that possessed greater influence in the primary production of *Egeria densa* and Caatinga biome production of *E. densa* increased when exposed to higher radiation values, temperature, phosphorus and lower nitrogen values. Photosynthetically active radiation and water temperature are factors that can act together or separately in increasing primary production of macrophytes and may vary according to species and geographical location. Primary production of submerged aquatic macrophyte *E. densa* was higher in the Caatinga during the rainy season, influenced by higher levels of photosynthetically active radiation and water temperature.

Keywords: Photosynthesis, Radiation, Temperature, Macrophyte, Production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - 1. Localização e rede hidrográfica da bacia do rio Itanhaém. 1) rio Itanhaém, 2) rio Preto e 3) rio Branco.....	20
Figura 2 - Localização do reservatório de Santa Cruz, Rio Grande do Norte, Brasil.....	21
Figura 3 - Média e desvio padrão da variação diária da produção primária da macrófita aquática <i>Egeria densa</i> nos biomas Mata Atlântica e Caatinga nos períodos seco, chuvoso, inverno e verão.....	24
Figura 4 - Valor médio e desvio padrão da produção primária da macrófita aquática <i>Egeria densa</i> nos períodos de inverno, verão, seco e chuvoso.....	25
Figura 5 - Ordenação dos períodos estudados: chuvoso e seco (Caatinga), inverno e verão (Mata Atlântica) pela análise de componentes principais (ACP) utilizando os valores das variáveis limnológicas da água nos biomas Mata Atlântica e da Caatinga (I representa o inverno e V o verão, S representa o período seco e C o período chuvoso).....	28
Figura 6 - Incubação da macrófita aquática <i>Egeria densa</i> em frascos claros e escuros expostos a radiação solar durante uma hora.....	38
Figura 7 - Frascos escuros, claros e iniciais (sem planta e sem exposição à luminosidade) para determinar as variações das concentrações de oxigênio dissolvido pelo método de Winkler.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor médio da Radiação fotossinteticamente ativa nos períodos de inverno e verão (Mata Atlântica), seco e chuvoso (Caatinga) por incubação.....	26
Tabela 2 - Valor médio da temperatura da água nos períodos de inverno e verão (Mata Atlântica), seco e chuvoso (Caatinga) por incubação.....	26
Tabela 3 - Correlação das variáveis limnológicas da água na Mata Atlântica e na Caatinga com os componentes principais 1 e 2 da ACP para os períodos estudados: inverno e verão (Mata Atlântica), seco e chuvoso (Caatinga).....	27
Tabela 4. Valores médios da produção primária da <i>Egeria densa</i> , radiação fotossinteticamente ativa e das variáveis limnológicas da água nos períodos seco, chuvoso (Caatinga), inverno e verão (Mata Atlântica).....	40

SUMÁRIO

1. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
1.1. Macrófitas aquáticas.....	12
1.2. Fatores limitantes.....	13
1.3. Nitrogênio e Fósforo.....	13
1.4. Amônia.....	14
1.5. Temperatura.....	15
1.6. Radiação fotossinteticamente ativa.....	15
1.7. Velocidade de corrente.....	16
1.8. Carbono.....	16
1.9. Egeria densa.....	17
2. INTRODUÇÃO.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1. Área de estudo.....	19
3.2. Bioma Mata Atlântica.....	19
3.3. Bioma Caatinga.....	20
3.4. Procedimentos de amostragem.....	21
3.5. Análise estatística.....	23
4. RESULTADOS.....	24
5. DISCUSSÃO.....	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
7. ANEXOS.....	38

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Macrófitas Aquáticas

Macrófitas aquáticas são vegetais que habitam desde solos saturados de água até ambientes verdadeiramente aquáticos, como lagos, rios e reservatórios. Estes vegetais fornecem refúgio contra a predação de pequenos animais, impedem a ressuspensão do sedimento e alteram a dinâmica de nutrientes do sistema (scheffer, 1998). As comunidades de macrófitas aquáticas são responsáveis pela produção de matéria orgânica principalmente em regiões tropicais, nas quais a maioria dos ecossistemas aquáticos apresentam pequena profundidade e extensas regiões litorâneas, possibilitando o estabelecimento de grandes áreas colonizadas por estes vegetais (Esteves, 1998).

As macrófitas aquáticas são classificadas em 5 tipos biológicos de acordo com a sua forma de vida no ambiente aquático. Esses grupos são (Esteves, 2011):

- 1) Macrófitas aquáticas emersas: enraizadas no sedimento e com as folhas crescendo acima da superfície da água.
- 2) Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água.
- 3) Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: enraizadas no sedimento e com as folhas crescendo totalmente sob a superfície, várias espécies possuem estruturas reprodutivas que permanecem emersas.
- 4) Macrófitas aquáticas submersas livres: flutuam na superfície da água, podem se prender a pecíolos e caules de outras macrófitas, ou outras estruturas submersas, a maioria emitem flores emersas.
- 5) Macrófitas aquáticas flutuantes: flutuam livremente sobre a superfície da água sem se fixarem a nenhum substrato.

Os diferentes grupos de macrófitas possuem influência sobre as características limnológicas da água, estudos realizados com macrófitas aquáticas mostraram a capacidade que esses vegetais possuem de melhorar a qualidade da água, pois as macrófitas aquáticas reduzem as concentrações de nutrientes na água, clorofila-a e materiais em suspensão, favorecendo a manutenção de um estado de águas claras

(Albertoni et. al., 2014). As macrófitas aquáticas possuem ainda a capacidade de acumular nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, que são os principais nutrientes responsáveis pela eutrofização em ambientes lacustres (Petrucio & Esteves, 2000).

O desenvolvimento de macrófitas aquáticas submersas em ecossistemas aquáticos é um processo complexo, pois envolve a interação entre os processos fisiológicos (respiração e produção primária) variáveis físicas (luz e temperatura), variáveis químicas (pH, alcalinidade e condutividade elétrica) e fatores ecológicos (competição e herbivoria) (Howard & Rafferty, 2006). Plantas aquáticas desempenham um papel fundamental no ciclo dos nutrientes das massas de água, bem como na criação de habitats para animais, além disso, elas alteram as características físicas e químicas da água alterando a temperatura, turbidez, penetração de luz solar, concentração e distribuição de oxigênio e nutrientes dissolvidos (Pompeo & Moschini-Carlos, 2003).

1.2 Fatores limitantes

A produção primária das macrófitas aquáticas é limitada por uma série de fatores que podem variar de acordo com a espécie, o grupo ecológico e com a localização geográfica. Em ambientes naturais esses fatores atuam em conjunto favorecendo a produção desses vegetais (Biudes & Camargo, 2008). Quando expostas a condições ambientais próximas ao limite de tolerância de cada espécie, as macrófitas aquáticas realizam fotossíntese apenas para sua sobrevivência, já em ambientes com condições favoráveis ao seu desenvolvimento as macrófitas apresentam elevadas taxas de produção (Gopal, 1990). Entre os fatores limitantes a produção primária das macrófitas aquáticas estão:

1.3 Nitrogênio e Fósforo

Diversos estudos evidenciam a importância do Nitrogênio (N) e do Fósforo (P) para a produção primária das macrófitas aquáticas, o N é um importante constituinte de proteínas e o P é constituinte de compostos celulares ligados ao armazenamento de energia (Larcher, 2000). O aumento da carga de nitrogênio altera a estrutura desses vegetais (Moss et. al., 2013) e a deficiência de nitrogênio pode induzir a uma situação de estresse abiótico para o crescimento de macrófitas aquáticas através da redução de fotossíntese pela degradação de pigmentos fotossintéticos (Su et. al., 2012).

A deficiência de fósforo também pode causar redução da produção primária das macrófitas aquáticas, pois essa deficiência pode provocar uma falha no metabolismo desses vegetais (Adalberto et. al., 2004). Em contraste, uma alta concentração de P aumenta o acúmulo de N e estimula o crescimento da planta, favorecendo o crescimento de flores (Cheng et. al., 2010). Em um estudo realizado por Henry-Silva et. al. (2008) em um sistema de tratamento de efluentes de viveiros de tilápia-do-nilo foi encontrada uma relação positiva entre a produção de biomassa de duas espécies de macrófitas aquáticas flutuantes e as concentrações de N e P da água.

1.4 Amônia

A amônia é uma fonte de nitrogênio importante para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais. No entanto, em excesso muitas vezes apresenta uma condição de estresse para o crescimento de macrófitas aquáticas (Brito & Kronzucker, 2002). Em ambientes aquáticos a amônia derivada de escoamento agrícola, deposição atmosférica, descargas industriais e esgotos urbanos pode chegar de 10 a 200 mg/L (Korner et. al., 2001). Altas concentrações de amônia frequentemente desencadeia estresse eco-fisiológico em plantas aquáticas, resultando em um declínio na produção desses vegetais (Nimptsch & Pflugmacher, 2007). Os valores elevados de amônia podem impactar negativamente a sobrevivência, crescimento e capacidade reprodutiva em plantas aquáticas (Li et. al., 2007).

O estresse causado pelo excesso de amônia em macrófitas aquáticas pode resultar na diminuição de clorofila-a, as elevadas concentrações de amônia podem inibir a síntese de pigmentos das plantas e elevar a degradação da clorofila pela variação do O₂ (Cao et. al., 2007). O excesso de amônia pode desencadear o estresse oxidativo nos tecidos de *E. densa* tal como indicado pelo aumento das enzimas antioxidantes que podem ser parcialmente responsáveis pela diminuição do crescimento, clorofila total, proteínas e hidratos de carbono solúveis, está macrófita aquática apresenta maiores taxas de produção primária em ambientes com baixas concentrações de amônia na água (Su et. al., 2012).

1.5 Temperatura

A temperatura também é um dos fatores que influenciam o crescimento das plantas e é especialmente relevante para as plantas aquáticas devido a sua estreita associação com a água (Burnett et. al., 2007). A temperatura é uma variável que está diretamente relacionada com as taxas de crescimento de diversas espécies, influenciando também a capacidade de absorção de nutrientes (Petruccio & Esteves, 2000). As taxas metabólicas de uma planta dependem da temperatura e é maior em temperaturas mais elevadas, pois maiores valores de temperatura favorecem a produtividade primária aumentando as taxas das reações químicas metabólicas.

Cada espécie de macrófita possui uma faixa de temperatura ideal para o seu crescimento e essas faixas podem variar entre as espécies e para uma mesma espécie, tanto sazonalmente quanto geograficamente (Trindade et. al., 2011), evidenciando a influência do local onde cada espécie se encontra. Segundo alguns estudos a temperatura juntamente com a quantidade de luz são os fatores mais importantes que influenciam as taxas de absorção de nutrientes e a produção das macrófitas aquáticas (Sharma & Éden, 1991; Petruccio & Esteves, 2000). Estes fatores podem contribuir ou inibir o crescimento das plantas aquáticas atuando junto ou separadamente.

1.6 Radiação Fotossinteticamente Ativa

A radiação exerce forte influência na produção das macrófitas aquáticas por controlar a fotossíntese destes vegetais. As taxas de fotossíntese aumentam linearmente com a luz até um nível de saturação para além do qual a fotossíntese não aumenta (Cosby et. al., 1984). Além disso, valores muito elevados de radiação luminosa podem inibir a atividade fotossintética de plantas aquáticas (Carr et. al., 1997). A luz é um fator fundamental para as plantas, pela ação direta ou indireta na regulação de seu crescimento e desenvolvimento (Morini & Muleo, 2003).

Em macrófitas aquáticas submersas enraizadas a limitação pela luz é uma causa comum de alongamento do caule, que resulta no estiolamento do vegetal (Rottray et. al., 1991). O aumento do comprimento é considerado uma importante estratégia adaptativa como uma compensação por baixa disponibilidade de luz (Spencer & Bowes, 1990). Um estudo realizado com a macrófita aquática *Egeria densa* indicou que esta espécie de macrófita quando submetida a baixas intensidades luminosas é capaz de crescer mais

rapidamente para atingir a superfície da água em águas turvas (Rodrigues & Thomaz, 2010). Isto está de acordo com as características de formação de copa dessa espécie de macrófita (Chambers et. al., 2008) e também é uma causa provável de seu sucesso em diversos corpos de águas turvas.

1.7 Velocidade de corrente

A movimentação da água é um fator que pode limitar a produção de macrófitas aquáticas, favorecer seu crescimento ou determinar a presença ou ausência desses vegetais. Em ambientes com elevada movimentação da água o sedimento torna-se instável dificultando a fixação de espécies enraizadas e impedindo que as mesmas se desenvolvam nessas condições. A velocidade de corrente também pode ser um fator prejudicial à ocorrência de espécies flutuantes, pois a elevada correnteza pode transportar esse tipo de macrófita impedindo a formação de bancos desses vegetais (Camargo et. al., 2003). Estudos de campo desenvolvidos na Suécia (Nilsson, 1987) e no Canadá (Chambers et al., 1991) mostraram uma correlação negativa entre o aumento de biomassa e a velocidade de corrente acima de 10 cm/s.

Já em ambientes com velocidade de corrente moderada a movimentação da água pode estimular o aumento da produtividade de macrófitas aquáticas, pois propicia condições desfavoráveis para o crescimento do fitoplâncton aumentando a transparência que podem estimular o crescimento de espécies submersas. Além disso, a velocidade de corrente moderada aumenta a renovação de nutrientes devido ao constante transporte de íons que pode favorecer o aumento da produtividade de macrófitas aquáticas flutuantes, e favorecem a dispersão deste tipo ecológico. Doods (1991) em um estudo realizado com a macrófita aquática *Cladophora rupestris* constatou que a produção primária dessa espécie dobrou quando a velocidade da água aumentou de 0 para 8 cm/s.

1.8 Carbono

O carbono inorgânico dissolvido é um fator importante que controla o crescimento de plantas aquáticas submersas e a produtividade desses vegetais é fortemente influenciada por limitações nas concentrações desse nutriente (Van den Berge et. al., 2002). Em ambientes naturais, as respostas às concentrações de carbono inorgânico frequentemente interagem com os efeitos da disponibilidade de luz, pois a luz também é um fator limitante às taxas de produção primária de macrófitas aquáticas.

Assim, carbono e disponibilidade de luz podem estar relacionados intimamente em seus efeitos no crescimento e nas características fotossintéticas de espécies de macrófitas aquáticas submersas (Su et. al., 2012).

O carbono inorgânico dissolvido está presente na água como CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- e CO_3^{2-} e a proporção destas formas depende do pH do meio. Em um estudo realizado com a macrófita aquática *Egeria densa* Pierini e Thomaz (2004) observaram que essa espécie utilizou HCO_3^- como uma fonte adicional de carbono, indicando que a mesma está adaptada à baixa disponibilidade de CO_2 . O HCO_3^- pode ser utilizado por diversas espécies de macrófitas aquáticas para a realização da fotossíntese quando as concentrações de CO_2 são baixas, o que é uma vantagem para estas espécies em ambientes com baixa disponibilidade de CO_2 , principalmente em valores mais elevados de pH (Wetzel et al., 1981).

1.9 *Egeria densa*

Egeria densa é uma planta aquática nativa da América do Sul, conhecida popularmente como “elodea brasileira”, pertence à família Hydrocharitaceae (Walsh et.al., 2012) e se adapta muito bem a diferentes condições ambientais (Yarrow et. al., 2009). Estes vegetais sofrem influência das correntezas e dos recortes das margens, podem ser encontradas em riachos, rios e lagos e são utilizadas principalmente como plantas ornamentais em aquários e ambientes interiores (Haramoto & Ikusima, 1988; Oliveira et. al., 2004). No final do século XIX esta espécie foi introduzida em diversos países e atualmente apresenta grande área de distribuição, compreendendo desde os climas tropicais quentes a subtropicais frios (Cook & Urmi-König, 1984).

E. densa vive em ambientes com alta e moderada intensidade de luz, realiza fotossíntese no caule e nas folhas possuindo alta capacidade de absorver nutrientes, como amônia e fósforo a partir da coluna de água (Feijó et. al., 2002). As espécies do gênero *Egeria* (*E. densa* e *E. najas*) formam densas populações e seus ramos podem atingir dois a três metros de comprimento e normalmente habitam ambientes de águas claras e limpas, com temperatura amena e sedimento rico em nutrientes (Oliveira et. al., 2004). A *Egeria densa* tem sido utilizada como um modelo de planta para avaliar a qualidade da água, a acumulação de metais pesados e o metabolismo de pesticidas nas plantas (Su et. al., 2012).

2. INTRODUÇÃO

A produção primária das macrófitas aquáticas é controlada por uma série de fatores limitantes, dentre os quais estão a temperatura, por controlar a velocidade das reações químicas (Kirk, 1994). Elevadas temperaturas aceleram essas reações contribuindo com a produção primária das macrófitas, porém cada espécie apresenta uma faixa ótima para o seu crescimento (Biudes & Camargo, 2008). A radiação fotossinteticamente ativa é outro fator de grande importância para a produção primária das macrófitas aquáticas e o ótimo de radiação pode variar entre as diferentes espécies, pois algumas necessitam de maior quantidade de radiação enquanto outras estão adaptadas a condições de sombra (Biudes & Camargo, 2008).

Outros fatores como velocidade de corrente, variação do nível da água, nutrientes e disponibilidade de carbono inorgânico também podem influenciar em conjunto ou isoladamente a produção primária de macrófitas aquáticas (Camargo et. al., 2003). O nitrogênio e o fósforo são nutrientes de grande importância na produção primária das macrófitas submersas enraizadas, porém essa importância ainda precisa ser estudada, tendo em vista que esse tipo de macrófita pode retirar os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento tanto da coluna de água quanto do sedimento (Taylor et. al., 1997).

Egeria densa é uma espécie de macrófita aquática submersa enraizada, nativa da América do Sul e está atualmente distribuída em todas as regiões tropicais e subtropicais do planeta (Yarrow et. al., 2009). A radiação fotossinteticamente ativa é uma variável de grande importância para a produção primária dessa espécie de macrófita, e ambientes com menores valores de radiação podem limitar a sua produção (Camargo et. al., 2006). Este vegetal possui a capacidade de se desenvolver em condições desfavoráveis, entretanto os valores de fotossíntese líquida são bastante reduzidos (Pezzato & Camargo, 2004). Outros fatores como temperatura, nitrogênio e fósforo na coluna de água e no sedimento também podem controlar a produção primária da *Egeria densa* (Trindade et. al., 2011).

No Brasil esta espécie possui ampla distribuição geográfica, ocorrendo em diversos tipos de ambientes aquáticos como, por exemplo, na planície de inundação do alto rio Paraná (Thomaz, et. al., 1999), no reservatório de Itaipu (Thomaz, 2002), em

rios da bacia do rio Itanhaém (Biudes & Camargo, 2008) e na bacia do rio Apodi-Mossoró (bioma Caatinga) (Petta, et. al., 2010). *E. densa* se adapta facilmente às características dos ambientes em que habitam facilitando assim o seu sucesso na colonização e permanência nos ambientes aquáticos.

Este trabalho teve como objetivo comparar as taxas fotossintéticas da macrófita aquática submersa *E. densa* em ambientes aquáticos da Mata Atlântica e da Caatinga.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Neste estudo nós avaliamos as taxas fotossintéticas de *E. densa* em duas regiões do Brasil, uma delas localizada no bioma Mata Atlântica na região sudeste e a outra no bioma Caatinga na região nordeste.

3.2 Bioma Mata Atlântica

O bioma Mata Atlântica se estendia originalmente de forma contínua por todo o litoral brasileiro, deste a região nordeste até a região sul, estendendo-se de 4° a 32°S e cobrindo um amplo rol de zonas climáticas e formações vegetacionais, de tropicais a subtropicais (Tabarelli et. al., 2005). A bacia hidrográfica do rio Itanhaém está localizada no bioma Mata Atlântica na costa sul do Estado de São Paulo, sudeste do Brasil (23 ° 50 'e 24 ° 15' S; 46 ° 35 'e 47 ° 00' W) e possui área total de 950 km² (Suguiú & Martin, 1978) (Figura 1).

Nesta região o bioma possui alto índice pluviométrico com chuva abundante (média anual de 2.183 milímetros), com maior pluviosidade no mês de março (279,9 milímetros) e menor em agosto (84.7 mm). A temperatura do ar na região é elevada, com média mínima de 19,0 ° C (julho) e a média máxima de 26,2 ° C (fevereiro), além de possuir elevada umidade relativa do ar (Setzer, 1966). De acordo com Laparelli & Moura (1998), o clima da região apresenta pequena variação sazonal devido à sua latitude e proximidade com o Oceano Atlântico.

Na área localizada na planície costeira os rios desta bacia apresentam leitos meândricos, áreas alagadas e baixa velocidade de corrente. Estas características propiciam a ocorrência abundante de macrófitas aquáticas de diferentes espécies e tipos

ecológicos, tanto nos canais dos rios, como em áreas alagadas. *E. densa* é a espécie submersa enraizada mais abundante na bacia e ocorre em grande extensão do Rio Branco, um dos formadores do rio Itanhaém. Assim, as taxas fotossintéticas desta espécie foram obtidas em um banco localizado neste rio.

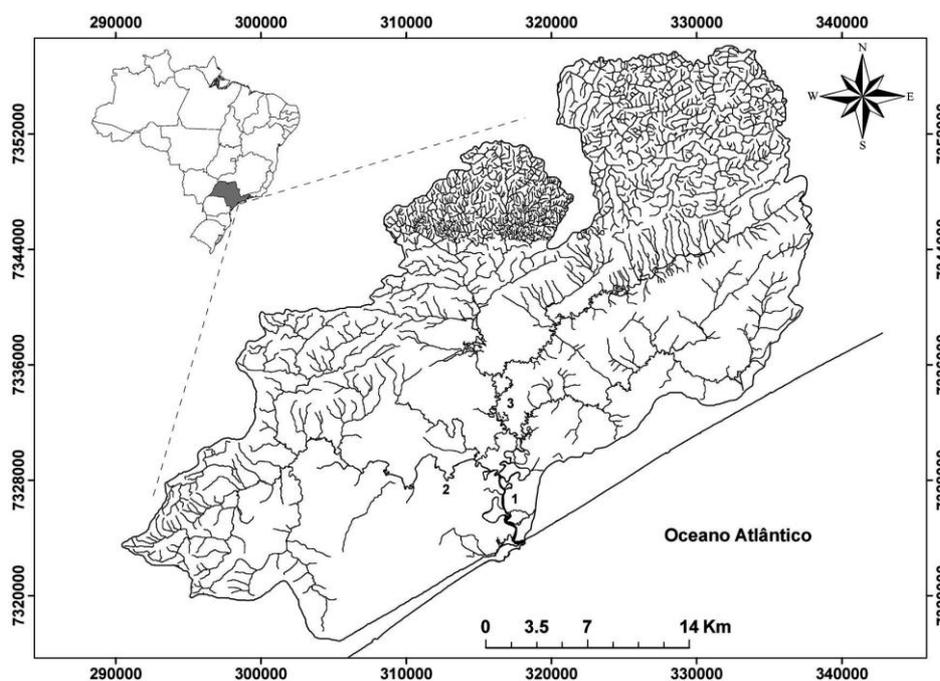


Figura 1. Localização e rede hidrográfica da bacia do rio Itanhaém. 1) rio Itanhaém, 2) rio Preto e 3) rio Branco. Fonte: Cancian, 2012.

3.3 Bioma Caatinga

O bioma Caatinga se estende por quase todos os estados do Nordeste e parte de Minas Gerais, está situado entre os paralelos 3° e 17°S e cobre 9,92% do território nacional, a vegetação é constituída por espécies lenhosas, herbáceas, cactáceas e bromeliáceas (Petta et. al., 2010). A Bacia Hidrográfica do rio Apodi/Mossoró está localizada no bioma Caatinga ocupando 4.264 km² abrangendo cerca de 32 dos 62 municípios da mesorregião Oeste Potiguar (5° 45' 45" S 37° 47' 00" W) (Figura 2).

Nesta região o bioma possui pluviosidade média anual variando entre 250 a 500 milímetros, com mais chuvas em janeiro (127,0mm) e menos em novembro e dezembro (0,0mm) (Novais et. al., 2015). A temperatura média anual do ar é de 28°C, com média

máxima de 36°C em outubro e novembro e média mínima de 20°C no mês de agosto, com umidade média anual de 68%, o clima da região é quente e semi-árido.

O reservatório de Santa Cruz está inserido nesta bacia e é o segundo maior do estado com capacidade de armazenamento de aproximadamente 600 milhões de metros cúbicos, sendo que um estudo recente o caracterizou como um reservatório oligotrófico (Henry-Silva et. al., 2013), oferecendo condições favoráveis para o desenvolvimento de macrófitas aquáticas submersas nas suas margens. Neste reservatório as macrófitas da espécie *Egeria densa* formam bancos tanto em locais rasos (aproximadamente 0,5m de profundidade) como em locais mais profundos (aproximadamente 1,5m de profundidade).

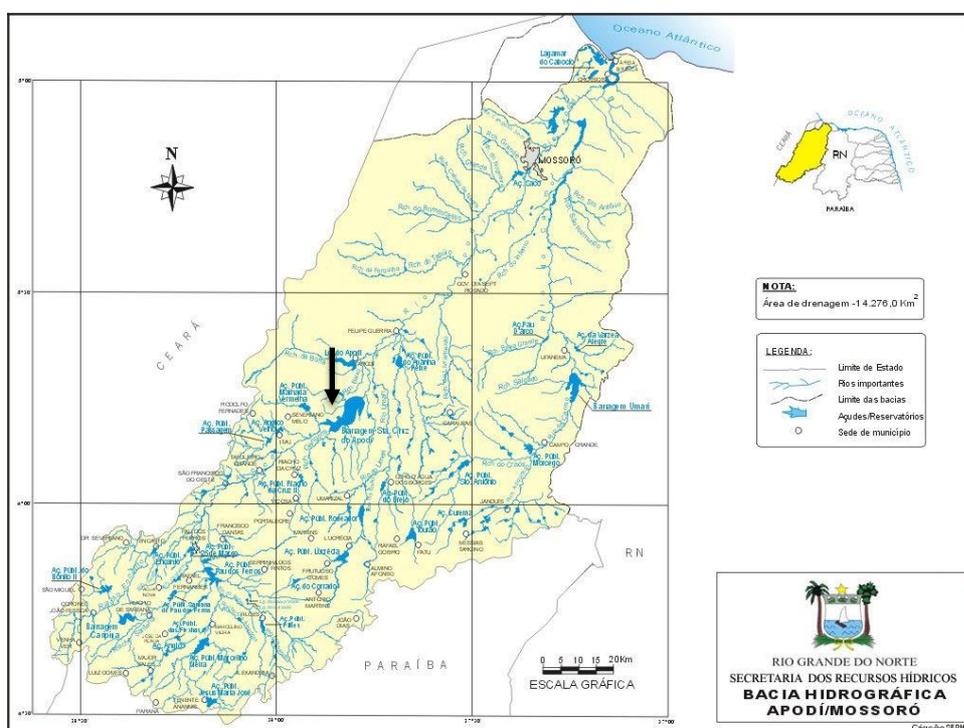


Figura 2. Localização do reservatório de Santa Cruz, Rio Grande do Norte, Brasil. Fonte: SEMARH, 2015.

3.4 Procedimentos de Amostragem

As medições de fotossíntese, respiração e das características físico-químicas da água foram realizadas na estação chuvosa (Fevereiro) e seca (Novembro) no bioma Caatinga e no inverno (Agosto) e verão (Março) no bioma Mata Atlântica. Os experimentos de fotossíntese foram realizados no local de ocorrência da *E. densa*,

utilizando água do próprio ambiente nas duas áreas de estudo. Foram realizadas incubações de amostras da macrófita aquática *Egeria densa* em frascos claros e escuros enquanto havia disponibilidade de luz no ambiente, no bioma Caatinga a primeira incubação foi realizada das 6 às 7, a segunda das 9 às 10, a terceira das 12 às 13 e a quarta das 14 às 15 hs nas duas estações estudadas (seca e chuvosa), no bioma Mata Atlântica as incubações foram realizadas em horários diferentes em cada estação (inverno e verão), pois, no verão a disponibilidade de luz é mais longa que no inverno possibilitando a realização de uma incubação a mais, no inverno a primeira incubação foi realizada das 7 às 8, a segunda das 10 às 11, a terceira das 12 às 13 e a quarta das 14 às 15 hs, no verão, a primeira incubação foi realizada das 7 às 8, a segunda das 9 às 10, a terceira das 11 às 12, a quarta das 14 às 15 e a quinta das 16 às 17hs (figura 6). O intervalo de aproximadamente duas horas entre uma incubação e outra foi utilizado para a realização dos procedimentos de determinação de oxigênio dissolvido e de preparação do material para a próxima incubação.

Para determinar as taxas de fotossíntese e respiração foi utilizado 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) e Menendez & Sanches (1998) (figura 7). Os frascos claros (97% de transparência) e os escuros (recobertos por papel alumínio e fita crepe) de aproximadamente 300 ml de capacidade foram completados com água e adicionados ramos apicais dos vegetais, com aproximadamente 8,0 cm de comprimento. As plantas foram lavadas com água do próprio ambiente para retirada do material aderido. Frascos, claros e escuros sem o vegetal, foram utilizados para determinar a fotossíntese e a respiração do fitoplâncton para posterior correção da fotossíntese das macrófitas aquáticas. 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 foi seco em estufa a 60° C até obter peso constante (Pompêo & Moschini, 2003).

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

$$FL = \quad \quad \quad (Eq.1),$$

$$RE = \quad \quad \quad (\text{Eq. 2}),$$

Em que:

FL = fotossíntese líquida;

RE = respiração;

C = concentração de O₂ no frasco claro;

i = concentração de O₂ no frasco inicial;

v = volume do frasco incubação;

t = tempo de incubação;

MS = massa seca da planta incubada.

Os valores de pH, condutividade elétrica (mS.cm⁻¹), temperatura (°C) e turbidez (NTU) foram obtidas em triplicata, com o aparelho de marca Horiba (modelo U10). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (μmol.m².s⁻¹) foi medida com radiômetro subaquático Li-Cor Quantum LI-192SA a cada 15 minutos durante o período de incubação

Foi coletado 500ml de água para posterior medição da alcalinidade total (meq.L⁻¹), por meio de titulação, e a concentração total de CO₂ (mg.L⁻¹). Cerca de 0,4 L de água da amostra foi filtrada (filtros Whatman GF/C) mantidas em frascos de polietileno e congelado a -20°C. Amostras não filtradas (0,4L), também foram congeladas da mesma maneira.

A concentração de Nitrogênio amoniacal (N-amoniacal) (ug.L⁻¹) (Koroleff, 1976), nitrito (N-NO₂) (ug.L⁻¹), bem como P totais dissolvidos (PTD) (ug.L⁻¹) e ortofosfato (P-PO₄) (ug.L⁻¹) (Golterman et al., 1978) foram medidos a partir das amostras filtradas em laboratório. O total de material em suspensão (mg.L⁻¹) foi determinado de acordo com Clesceri et. al. 1989. As amostras de água não filtradas foram usadas para determinar o nitrogênio total (NT) (mg/L) (Mackereth et al., 1978) e fósforo total (PT) (ug.L⁻¹) (Golterman et al., 1978).

3.5 Análise Estatística

Os valores da produção primária da macrófita aquática *E. densa* foram submetidos à análise de variância de um fator (ANOVA) (Zar, 1999) para verificar a existência de diferenças significativas entre os períodos chuvoso, seco, inverno e verão. 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 (ACP), hierarquizando as variáveis abióticas para o conjunto de dados (Ludwing & Reynolds, 1988).

4. RESULTADOS

No bioma Caatinga a produção primária da macrófita aquática *Egeria densa* foi maior na estação chuvosa, sendo o maior pico de produção às 14hs com média de 20,85 $\text{mgO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}\cdot\text{h}^{-1}$ e 11,55 $\text{mgO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}\cdot\text{h}^{-1}$ na estação seca. No bioma Mata Atlântica a maior produção primária da *E. densa* ocorreu no verão com maiores valores ocorrendo às 11hs com média de 12,35 $\text{mgO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}\cdot\text{h}^{-1}$ e no inverno às 12hs com média de 5,93 $\text{mg}\cdot\text{O}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}\cdot\text{h}^{-1}$.

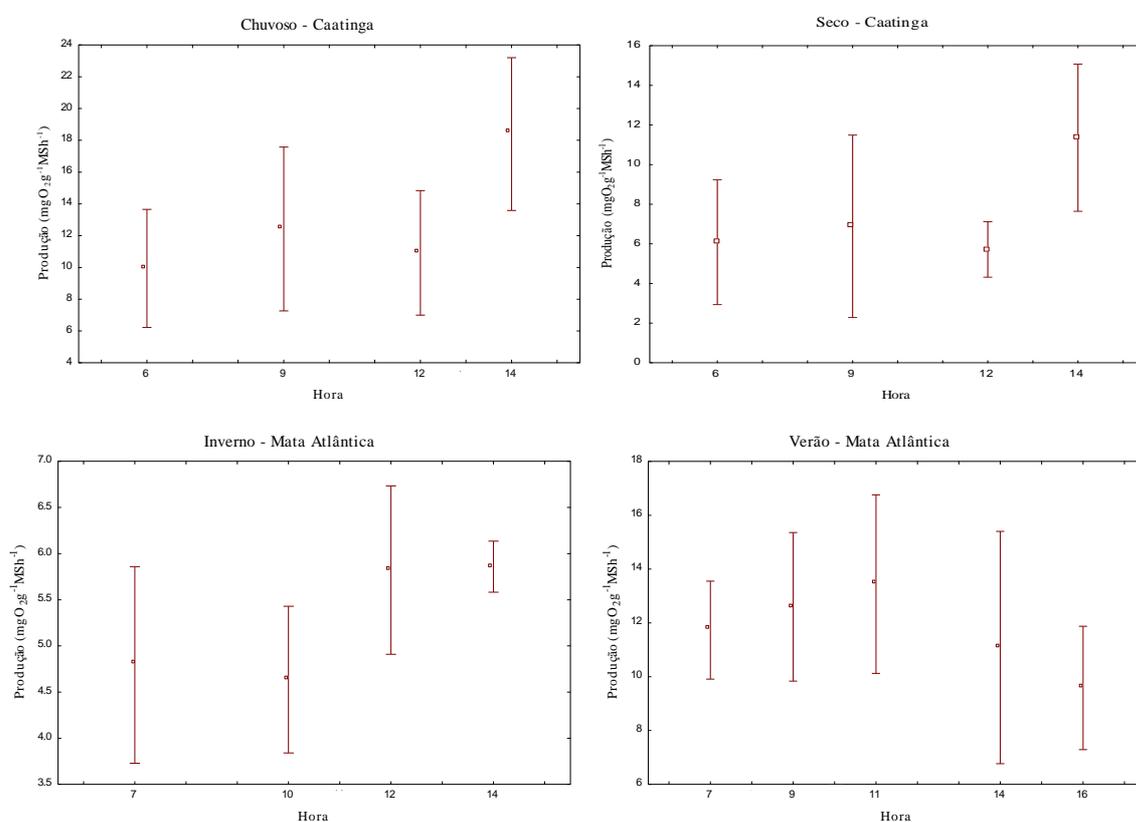


Figura 3. Média e desvio padrão da variação diária da produção primária da macrófita aquática *Egeria densa* nos biomas Mata Atlântica e Caatinga nas estações seca, chuvosa, inverno e verão.

Comparando os dois ambientes percebe-se que na Caatinga a produção primária da *E. densa* foi maior do que na Mata Atlântica (Figura 4). A Caatinga além de apresentar os maiores valores de produção primária da *E. densa* também foi o ambiente que possuiu os maiores valores de radiação e de temperatura da água, já o bioma Mata Atlântica foi o ambiente que apresentou as mais altas concentrações de fósforo e menores valores de temperatura da água.

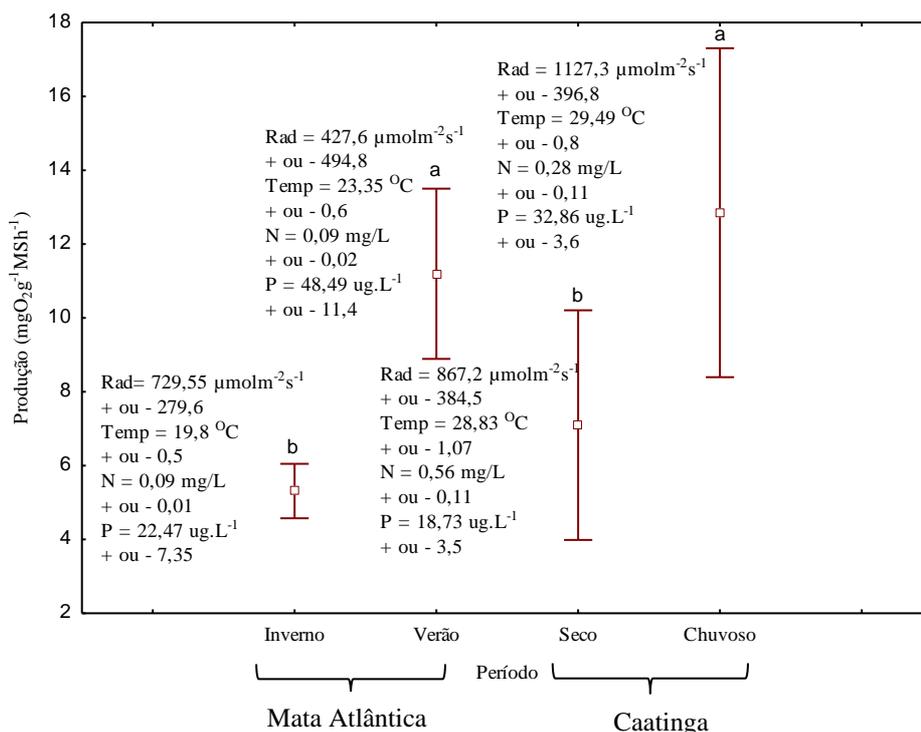


Figura 4. Valor médio e desvio padrão da produção primária da macrófita aquática *Egeria densa* nas estações de inverno, verão, seco e chuvoso (onde Rad = Radiação Fotossinteticamente Ativa; Temp = Temperatura; N = Nitrogênio e P = Fósforo).

O verão foi a única estação em que a radiação fotossinteticamente ativa apresentou um padrão, com menores valores no início e no final do dia, o bioma Caatinga apresentou os maiores valores de radiação sendo a estação chuvosa a que exibiu os maiores valores de radiação entre todas as estações estudadas (tabela 1).

Tabela 1. Valor médio da Radiação fotossinteticamente ativa nas estações de inverno e verão (Mata Atlântica), seca e chuvosa (Caatinga) por incubação (C representa o bioma Caatinga, MA o bioma Mata Atlântica, I representa o inverno e V o verão).

Radiação Fotossinteticamente Ativa					
Estação	1ª incubação C (6às7hs) MA (7às8hs)	2ª incubação C e V (9às10hs) MA (I) (10às 11hs)	3ª incubação C e I (12às13hs) MA (11às12hs)	4ª incubação C e MA (14às15hs)	5ª incubação MA (16às17hs)
Inverno	257,5	904	1105,3	578,24	-
Verão	63,9	612	984	50,2	44,5
Seco	367,5	1301,7	1242,4	605,4	-
Chuvoso	201,2	1614,2	1196,6	1432,4	-

A Caatinga foi o ambiente que apresentou os maiores valores de temperatura da água, existindo pouca diferença de temperatura entre as estações estudadas, a Mata Atlântica foi o ambiente com menores valores de temperaturas da água sendo que no verão as temperaturas foram mais elevadas do que no inverno (tabela 2).

Tabela 2. Valor médio da temperatura da água nas estações de inverno e verão (Mata Atlântica), seca e chuvosa (Caatinga) por incubação (C representa o bioma Caatinga, MA o bioma Mata Atlântica, I representa o inverno e V o verão).

Temperatura da água					
Estação	1ª incubação C (6às7hs) MA (7às8hs)	2ª incubação C e V (9às10hs) MA (I) (10às 11hs)	3ª incubação C e I (12às13hs) MA (11às12hs)	4ª incubação C e MA (14às15hs)	5ª incubação MA (16às17hs)
Inverno	18,8	19,2	19,9	19,8	-
Verão	23	23,1	23,6	24,4	24,4
Seco	27,4	28,2	29,7	29,4	-
Chuvoso	28,4	29,6	26,3	30,6	-

Foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) com as variáveis limnológicas dos ambientes aquáticos da Mata Atlântica e da Caatinga, tendo em vista ordenar as estações de coleta. Os componentes principais 1 e 2 explicaram conjuntamente 68,42% da variabilidade dos agrupamentos, sendo que o eixo das abscissas é o responsável por 42,64 % e o eixo das ordenadas por 25,78%. As variáveis

que apresentaram maior importância para a ordenação dos períodos no eixo 1 foram N-amoniaco, condutividade elétrica, fósforo total, nitrogênio total e nitrito, e no eixo 2 as variáveis com maior importância foram o pH, a turbidez e a temperatura. As demais variáveis (radiação e PO₄) estiveram pouco correlacionadas com os dois eixos, pelo valor estabelecido de |0,6| (tabela 3).

Tabela 3. Correlação das variáveis limnológicas da água na Mata Atlântica e na Caatinga com os componentes principais 1 e 2 da ACP para as estações estudadas: inverno e verão (Mata Atlântica), seca e chuvosa (Caatinga). (valores em negrito indicam alta correlação entre as variáveis e os componentes principais 1 e 2).

Variável	Componente principal 1	Componente principal 2
Radiação	-0.555440	0.221468
NT	-0.742501	0.329095
PT	0.792382	0.496035
PO ₄	-0.015243	-0.532066
N-amoniaco	0.939946	0.179078
Nitrito	0.685088	-0.226150
pH	-0.450713	-0.783097
Condutividade	-0.900536	-0.285498
Turbidez	-0.342931	0.751721
Temperatura	-0.539537	0.740356
% de Variação Explicada	42,64	25,78

Analisando a ACP pode-se observar que as estações chuvosa e seca na Caatinga estão localizados ao lado esquerdo do gráfico e na parte superior e intermediária. A localização destas duas estações indicam que elas possuem características semelhantes, ou seja, menores valores de fósforo, N-amoniaco e nitrato e maiores valores de condutividade elétrica e N-total. O inverno na Mata Atlântica está localizado na parte intermediária/inferior do gráfico, indicando que possui valores intermediários das variáveis correlacionadas ao CP1 e menores valores de temperatura e turbidez e maiores de pH. O é verão a estação que possui características mais distintas dos outros períodos, por se localizar no quadrante direito superior do gráfico. Esta localização no gráfico indica maiores valores de fósforo, nitrito e N-amoniaco e maiores valores de temperatura e turbidez (figura 5).

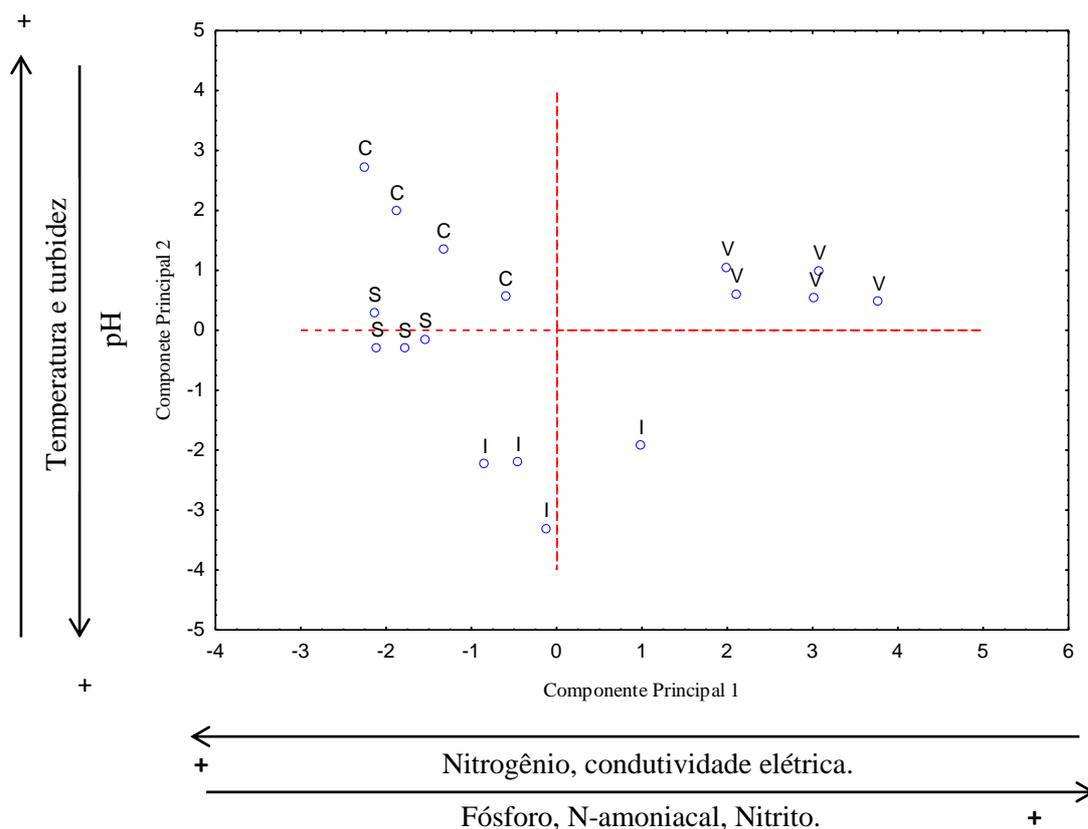


Figura 5. Ordenação das estações estudadas: chuvosa e seca (Caatinga), inverno e verão (Mata Atlântica) pela análise de componentes principais (ACP) utilizando os valores das variáveis limnológicas da água nos biomas Mata Atlântica e da Caatinga (I representa o inverno e V o verão, S representa o período seco e C o período chuvoso).

5. DISCUSSÃO

Ao analisar a produção da macrófita aquática *E. densa* ao longo do dia nos biomas Mata Atlântica e Caatinga foi possível constatar que apenas no verão (Mata Atlântica) a variação diária da produção primária desse vegetal apresentou um padrão, com menor produção no início da manhã e final da tarde e maior no período intermediário do dia. Nesta estação do ano a produção apresentou uma relação direta com a radiação. No entanto, no bioma Caatinga e no inverno não observamos este padrão de variação ao longo do dia e não ocorreu uma relação entre radiação e produção. Embora a disponibilidade de luz seja considerada um dos principais fatores limitantes ao crescimento de macrófitas aquáticas submersas (Kirk, 1996).

As características abióticas da água no verão (Mata Atlântica) foram as mais distintas em relação aos outros ambientes e estações estudadas. De fato, no verão ocorreram maiores valores de fósforo, N-amoniaco, nitrato e também temperaturas mais elevadas. O fósforo é um nutriente limitante a produção primária das macrófitas aquáticas e em alguns casos dependendo da sua concentração pode causar estresse a planta, comprometendo seu desenvolvimento. Uma deficiência de fósforo resulta numa falha geral do metabolismo de plantas aquáticas (Adalberto et. al., 2004). No entanto uma alta concentração de fósforo estimula o crescimento de macrófitas aquáticas (Cheng et. al., 2010).

No bioma Mata Atlântica o verão é a estação que possui os maiores índices pluviométricos, provavelmente o aumento das chuvas na região aumentou também a disponibilidade de fósforo para as plantas aquáticas daquele ambiente. Trindade et. al. (2011) ao estudar a macrófita aquática *A. Caroliniana* observou que esta planta aumentou suas taxas de crescimento em ambientes com concentrações elevadas de fósforo e que seu crescimento foi comprometido devido ao estresse induzido por deficiência de fósforo e redução de cianobactérias fixadoras de nitrogênio.

No ano em que as amostragens foram realizadas no bioma Caatinga a chuva foi reduzida nas duas estações estudadas (seca e chuvosa) com média de 0 milímetro em novembro e 41 milímetros em fevereiro, esse longo período de estiagem pode ter influenciado os resultados obtidos para este bioma, pois, a baixa pluviosidade pode ter contribuído com o aumento da luminosidade e a reduzida diferença de temperatura da água entre as estações seca e chuvosa na Caatinga.

De fato, entre as estações seca e chuvosa no bioma Caatinga as características abióticas da água foram bastante semelhantes. Os valores de temperatura da água (30,6 °C) encontrados na estação chuvosa parecem ser os mais propícios à produção primária da *Egeria densa* no bioma Caatinga tendo em vista que a mesma alcançou sua maior produção diária quando exposta a esse valor de temperatura da água. No bioma Mata Atlântica as temperaturas ideais ao crescimento da *E. densa* variaram entre 23,1 e 23,6 °C. Nos dois biomas estudados a produção da macrófita aquática *E. densa* foi mais acentuada quando exposta a temperaturas mais elevadas.

A temperatura da água foi uma variável que estimulou o aumento da produção primária da *Egeria densa* nos dois biomas, mostrando a preferência dessa espécie por temperaturas mais elevadas. Thiébaud et. al. (2016) em um estudo realizado com a macrófita aquática *E. densa* constatou que este vegetal apresentou maior crescimento quando a temperatura da água aumentou de 9 para 12°C e que esse crescimento foi mais acentuado quando as temperaturas variaram entre 16 e 19°C no outono.

A radiação fotossinteticamente ativa e a temperatura da água são fatores que podem atuar juntos ou separadamente no aumento da produção primária de macrófitas aquáticas submersas, podendo variar de acordo com a espécie e com a localização geográfica onde cada espécie de macrófita aquática se encontra (Trindade et. al., 2011). No bioma Caatinga a produção da *E. densa* foi maior em valores mais elevados de radiação enquanto no bioma Mata Atlântica essa produção diminuiu com o aumento da radiação fotossinteticamente ativa. Isto ocorreu, provavelmente, devido à localização geográfica da espécie, fazendo com que a mesma se adapte as condições ambientais de cada localidade, evidenciando a influência desse fator na produção primária desse tipo de macrófita aquática.

A radiação fotossinteticamente ativa estimula o crescimento e o desenvolvimento de macrófitas aquáticas submersas por auxiliar no desenvolvimento das raízes e na formação de copa. As espécies do gênero *Egeria* são vegetais que se adaptam muito bem as condições do ambiente sendo capazes de desenvolver mecanismos para sobreviver e aumentar sua produção mesmo em condições desfavoráveis ao seu crescimento (Trindade et. al., 2010).

Macrófitas aquáticas submersas enraizadas podem retirar nutrientes para seu desenvolvimento tanto do sedimento quanto da coluna d'água (Taylor et. al., 1997), os valores de condutividade elétrica e nitrogênio encontrados nesse estudo podem ter aumentado a disponibilidade de nutrientes na coluna d'água dificultando que a luz pudesse chegar até as plantas e assim comprometer as taxas fotossintéticas da *Egeria densa* nos dois biomas estudados. A pequena variação encontrada no pH com valores mais elevados no inverno também podem ter limitado a produção da *Egeria densa* nesse período, em geral foi registrado uma maior produção primária desta espécie em valores mais baixos de pH.

Pierine & Thomaz (2004) em um estudo realizado com as macrófitas aquáticas *Egeria naja* e *Egeria densa* constataram que estas espécies aumentaram suas taxas fotossintéticas quando expostas a valores mais baixos de pH, principalmente aqueles variando entre 5,9 e 6,5. A produção primária da *Egeria densa* também foi influenciada pelas concentrações de fósforo, N-amoniaco, nitrito, temperatura e turbidez. Em ambientes que possuem elevada turbidez da água algumas espécies de macrófitas podem desenvolver estratégias para otimizar suas taxas de produção primária para chegar mais rápido à coluna d'água tendo mais acesso ao ambiente iluminado. Haramoto & Ikusima (1988) observaram esse fenômeno em brotos de *Egeria densa* cultivados em ambientes com alta turbidez da água, no entanto, eles também observaram uma forte influência da temperatura sobre as taxas de alongamento desses vegetais.

Com a realização deste estudo foi possível concluir que a produção primária da macrófita aquática submersa *Egeria densa* foi maior no bioma Caatinga na estação chuvosa, influenciada por valores mais elevados de radiação fotossinteticamente ativa e de temperatura da água. O inverno no bioma Mata Atlântica foi a estação que apresentou a menor taxa de produção primária da *Egeria densa* influenciada pelos menores valores de temperatura encontrados neste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adalberto, P.R., Massabni, A.C., Goulart, A. J., Monti, R., Lacava, P. Efeito do fósforo na captação de minerais e pigmentação de *Azolla caroliniana* Willd. (Azollaceae). *Revista Brasileira de Botânica*, vol. 27, p. 581-585.2004
- Albertoni, E. F.; Palma-Silva, C. Trindade, C. R.; Furlanetto, L.M. Field evidence of the influence of aquatic macrophytes on water quality in a shallow eutrophic lake over a 13-year period, *Acta Limnologica Brasiliensia* , vol. 26, no. 2, p. 176-185. 2014.
- Biudes, J. F. V. e Camargo, A. F. M. Estudos dos fatores limitantes à produção primária por macrófitas aquáticas no Brasil. *Oecologia Brasiliensis*, vol. 12, no. 1, p. 7-19. 2008
- Britto, D.T., Kronzucker, H.J. NH₄ toxicity in higher plants: a critical review. *J. Plant Physiol.* 159, 567–584. 2002
- Burnett, D. A., Champion, P. D., Clayton, J. S., Ogden, J. A system for investigation of the temperature responses of emergent aquatic plants. *Aquatic Botany* 86. 187–190. 2007.
- 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, 59-83p. 2003.
- Cancian, L. F. Modelagem de distribuição geográfica potencial de macrófitas aquáticas em bacias hidrográficas. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2012.
- Cao, T., Xie, P., Li, Z.J., Ni, L.Y., Zhang, M., Xu, J. Physiological stress of high NH₄ concentration in water column on the submersed macrophyte *Vallisneria spiralis* L. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 82, 296–299. 2007.
- Carr, G.M., Duthie, H.C. e Taylor, D.W. Models of aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth. *Aquatic Botany*, vol. 59, p. 195-215. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3770\(97\)00071-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3770(97)00071-5). 1997.
- Chambers, P.A., Lacoul, P., Murphy, K.J., Thomaz, S.M., Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 9–26. 2008.
- Chambers, P.A., Prepas, E.E., Hamilton, H.R., Bothwell, M.L. Current velocity and its effect on aquatic macrophytes in flowing waters. *Ecol. Appl.* 1, 249-257. 1991.
- Cheng, W., Sakai, H., Matsushima, M., Yagi, K. and Hasegawa, T. Response of the macrophyte aquatic *Azolla filiculoides* to elevated CO₂, temperature, and phosphorus

levels *Hydrobiologia*, vol. 656, p. 5-14. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-010-0441-2> 2010.

Clesceri, L. S.; Greenberg, A. E. and Trussell, R. R. Standard Methods. For the examination of water and wastewater. Washington : American Public Health Association. 1484 pp. 1989.

Cook, C.D.K., Urmi-Koñig, K. A revision of the genus *Egeria* (Hydrocharitaceae). *Aquat. Bot.* 19, 73–96. 1984.

Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Kelly, M.G. Identification of photosynthesis-light models for aquatic systems: II. Application to a macrophyte dominated stream. *Ecol. Model.* 23, 25-51. 1984.

Dodds, W.K. Community interactions between the filamentous alga *Cladophora glomerata* (L.) Kiitzing, its epiphytes and epiphyte grazers. *Oecologia* 85, 572-580. 1991

Esteves, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3 ed. Interciência, Rio de Janeiro. 826p. 2011.

Esteves, F.A. Fundamentos de Limnologia. 2 ed. Interciência, Rio de Janeiro. 602p. 1998.

Feijoó, C., Garcia, M.E., Momo, F., Toja, J. Nutrient absorption by the submerged macrophyte *Egeria densa* Planch: effect of ammonium and phosphorous availability in the water column on growth and nutrient uptake. *Limnetica* 21 (1–2), 93–104. 2002.

Golterman, H. L.; Clymo, R. S.; Ohmstad, M. A. M. Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters. Blackwell, Oxford. 213p. 1978.

Gopal, B. Aquatic weed problems and management in Asia. Pp. 318-340. In: A.H. Pieterse & K.J. Murphy (eds.). *Aquatic Weeds-The Ecology and Management of Nuisance Aquatic Vegetation*. Oxford, Oxford University Press. 1990.

Haramoto, T., Ikusima, I. Life cycle of *Egeria densa* Planch., an aquatic plant naturalized in Japan. *Aquat. Bot.* 30, 389–403. 1988.

Henry-Silva, G.G.; Santos, R. V.; Moura, R. S. T.; Bueno, N. C. Primeiro registro de *Chara indica* e *Chara zeylanica* (Charophyceae, Charales, Characeae) em reservatórios do semiárido do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Biotemas*, 26 (3), 2013.

Henry-Silva, G. G. da; Camargo, A. F. M.; Pezzato, M. M. Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. *Hydrobiologia* (The Hague), v. 610, p. 153-160, 2008.

Howard, R.J. And Rafferty, DW. Clonal variation in response to salinity and flooding stress in four marsh macrophytes of the northern gulf of Mexico, USA. *Environmental and experimental botany*, vol. 56, no. 3, p. 301-313. 2006.

Kirk, J.T.O. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. Cambridge University Press, New York. 1996.

Kirk, J.T.O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. 2nd ed. Cambridge University Press, New York. 1994.

Körner, S., Das, S.K., Veenstra, S., Vermaat, J.E. The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemna gibba*. *Aquat. Bot.* 71, 71–78. 2001.

Koroleff, F. Determination of nutrients. In Grasshoff, K. (ed.), *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie Weinheim, New York, 117–181, 1976.

Lamparelli, C. C & D. O. Moura. Mapeamento dos Ecossistemas Costeiros do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente, CETESB, São Paulo, 108 pp. 1998.

Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. RIMA, São Carlos. 2000.

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. 349-375 p. 1985.

Li, H.J., Cao, T., Ni, L.Y., Effects of ammonium on growth, nitrogen and carbohydrate metabolism of *Potamogeton maackianus* A Benn. *Fundam. Appl. Limnol.* 170, 141–148. 2007.

Ludwig, J. A.; Reynolds, J. F. *Statistical Ecology. A primer on Methods and Computing* John Wiley & Sons Inc., New York, 1988.

Mackereth, F. J. H.; Heron, J.; Talling, J. F. *Water Analysis: Some revised methods for limnologists*. Freshwater Biological Association, Scientific Publication. 36-121p. 1978.

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.

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.

Morini, S. & Muleo, R. Effects of light quality on micropropagation of woody species. In: JAIN, S.M. & ISHII, K. (Eds.). *Micropropagation of woody trees and fruits*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.3-35. 2003.

Moss, B., Jeppesen, E., Sondergaard, M., Lauridsen, TL. and LIU, Z. Nitrogen, macrophytes, shallow lakes and nutrient limitation: resolution of a current controversy? *Hydrobiologia*, vol. 710, no. 1, p. 3-21. 2013.

- Nilsson, C., Distribution of stream-edge vegetation along a gradient of current velocity. *J. Ecol.* 75. 513-522. 1987.
- Nimptsch, J., Pflugmacher, S., Ammonia triggers the promotion of oxidative stress in the aquatic macrophyte *Myriophyllum mattogrossense*. *Chemosphere* 66, 708–714. 2007.
- Novais, J. L. C., Freire, A. E., Amorim, R. R. A., Costa, R. S., Diagnóstico da pesca artesanal em um reservatório do semiárido brasileiro. *Bol. Inst. Pesca. São Paulo*, 41(1): 31 - 42, 2015.
- Oliveira, R.J.F., F.F.R. de Carvalho, A.M.V. Batista, M.F. de Andrade, O.L. Silva Filha e S.J.S. de Medeiros. Efeito da adição de *Egeria densa* sobre a digestibilidade e balanço de nitrogênio em caprinos. *Arch. Zootec.* 53: 175-184. 2004.
- 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. *Braslian Archives of Biology and Technology*, v. 47, n. 1, p. 153-162, 2004.
- Petta, R. A., Melo, A. C., Nascimento, P. S.R. Subsídio à gestão ambiental do rio Apodi-Mossoró na área urbana de Mossoró – RN. *Geografia (Londrina)* v. 19 n. 2, 2010.
- Pierini, S. A., Thomaz, S. M. Effects of inorganic carbon source on photosynthetic rates of *Egeria najas* Planchon and *Egeria densa* Planchon (Hydrocharitaceae). *Aquatic Botany* 78.) 135–146. 2004.
- Petrucio, M. M. & Esteves, F. A. Influence of photoperiod on the uptake of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* AND *Salvinia auriculata*. *Rev. Brasil. Biol.*, 60(3): 373-379. 2000.
- Pompêo, M. L. M.; Moschine-Carlos, V. Macrófitas aquáticas e perifiton, aspectos ecológicos e metodológicos. Editora Rima. São Carlos, SP, 124p. 2003.
- Ratray, M.R., Howard-Williams, C., Brown, M.A. Sediment and water as sources of nitrogen and phosphorus for submerged rooted aquatic macrophytes. *Aquat. Bot.* 40, 225–237. 1991.
- Rodrigues, R. B. & Thomaz, S. M. Photosynthetic and growth responses of *Egeria densa* to photosynthetic active radiation *Aquatic Botany* 92. 281–284. 2010.
- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - SEMARH. *Bacia do rio Apodi/Mossoró*. 2007. Disponível em: <http://www.semarh.rn.gov.br>. Acesso em: 07/2015.
- Setzer, J. Atlas climatológico e ecológico do Estado de São Paulo. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguay, São Paulo, SP:CESP, 152 - von SPERLING, E.

Considerações sobre a saúde de ambientes aquáticos. *Revista Bio*, v.5, n.3, p. 53-56, 1966.

Spencer, W., Bowes, G., Ecophysiology of the world's most troublesome aquatic weeds. In: Pieterse, A.H., Murphy, K.J. (Eds.), *Aquatic Weeds: The Ecology and Management of Nuisance Aquatic Vegetation*. Oxford University Press, Oxford, pp. 39-73. 1990.

Suguio, K.; Martin, L. Mapas das formações quaternárias do litoral paulista e sul fluminense Scale 1:100,000 Gov. Estado de São Paulo, Secr. Obras Meio Ambiente (DAEE) 1978.

Sharma, B. M. & Edem, E. S., Ecophysiological studies on waterhyacinth in the Nigerian waters. *Pol. Arch. Hidrobiol.*, 38(3-4): 381-395. 1991.

Scheffer, M. *Ecology of Shallow Lakes*. New York: Chapman & Hall. 357 p. 1998.

Su, S.; Zhou, Y.; Qin, J.G.; Wang, W.; Yao, W.; Song, L. Physiological responses of *Egeria densa* to high ammonium concentration and nitrogen deficiency. *Chemosphere* 86. 538-545. 2012.

Tabarelli, M.; Pinto, P. L.; Silva, J. M. C.; Bedê, L. C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade*, vol. 1, p. 133-138. 2005.

Taylor, K. T., Grace, J. B., e Marx, B. D. The effects of herbivory on neighbor interactions along a coastal marsh gradient. *American Journal of Botany* 84: 709-715. 1997.

Thiébaud, G., Gillard, M., Deleu, C. Growth, regeneration and colonisation of *Egeria densa* fragments: the effect of autumn temperature increases. *Aquat Ecol*. 2016.

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

Thomaz, S. M.; Bini, L. M.; Sousa, M. S.; Kita, K. K.; Camargo, A. F. M. Aquatic macrophytes of Itaipu reservoir, Brazil: Survey of species and ecological considerations. *Braz. Arch. Biol. Tec.*; 42 (1), 15-22. 1999.

Trindade, C. R. T., Albertoni, E. F., Palma-Silva, C. Temporal variation in the biomass and nutrient status of *Azolla filiculoides* Lam. (Salviniaceae) in a small shallow dystrophic lake. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 23, no. 4, p. 368-375. 2011.

Trindade, C. R. T.; Pereira, S. A.; Albertoni, E.F.; Palma-Silva, C. Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do campus carreiros- FURG, Rio Grande, RS. *Cadernos de Ecologia Aquática* 5 (2) :1-22. 2010.

Van den Berg, M. S., Coops, H., Simons, J., Pilon, J. A comparative study of the use of inorganic carbon resources by *Chara aspera* and *Potamogeton pectinatus* Aquatic Botany 72. 219–233. 2002.

Vollenweider, R.A., A Manual on Methods for Measuring. Primary Production in Aquatic Environments. Blackwell Scientific Publications Osney Mead, Oxford, 225 pp. 1974.

Walsh, G. C.; Dalto, Y.M.; Mattioli, F.M.; Carruthers, R I.; Anderson, L.W. Biology and ecology of Brazilian elodea (*Egeria densa*) and its specific herbivore, *Hydrellia* sp., in Argentina. International Organization for Biological Control (outside the USA) 2012.

Wetzel, R.G., Limnologia. Ediciones Omega S. A., 679. 1981.

Yarrow M.; Marín V. H; Finlayson, M.; Tironi, A.; Delgado, L. E. & Fischer F. The ecology of *Egeria densa* Planchon (Liliopsida: Alismatales): A wetland ecosystem engineer? Revista Chilena de Historia Natural. 82: 299-313. 2009.

Zar, J. H. Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey, 1999.

7. ANEXOS



Figura 6. Incubação da macrófita aquática *Egeria densa* em frascos claros e escuros expostos a radiação solar durante uma hora.



Figura 7. Frascos escuros, claros e iniciais (sem planta e sem exposição à luminosidade) para determinar as variações das concentrações de oxigênio dissolvido pelo método de Winkler.

Tabela 4. Valores médios da produção primária da *Egeria densa*, radiação fotossinteticamente ativa e das variáveis limnológicas da água nas estações seca, chuvosa (Caatinga), inverno e verão (Mata Atlântica).

Período	Produção	Radiação	Nitrogênio	Fósforo	Ortofosfato	N-amoniacoal	Nitrito	pH	Condutividade	Turbidez	Temperatura
Inverno	4.75	257,5	0.12	28.06	15.6	3.7	4.48	6.77	0.34	11	18.8
	5.01	904	0.08	22.47	9,707	1.36	3.57	6.82	0.33	10.5	19.2
	5.93	1105,3	0.09	13.2	13.34	0.18	1.80	6.8	0.33	6.3	19.9
	5.91	578,2	0.09	13.1	13.24	1.32	1.8	6.82	0.33	8	19.8
Verão	11.49	63.9	0.11	46.98	2.91	7.34	7.56	5.8	0.02	15	23
	12.07	612	0.10	48.49	4.69	5.37	3.36	5.8	0.02	14.7	23.1
	12.35	984	0.06	45.70	4.02	5.03	4.48	5.9	0.02	12.1	23.6
	9.45	50,2	0.09	66.53	6.47	7.18	2.24	5.85	0.02	10.4	24.4
	9.96	44,5	0.06	68.96	6.55	5.10	3.08	6.0	0.02	9.2	24.4
Seco	6.07	367	0.62	18.89	5	1.52	2.60	6.58	0.34	12.8	27.45
	4.76	1301,7	0.62	22.7	5	1.69	2.57	6.77	0.34	15	28.23
	4.92	1242,4	0.38	14.13	5	0.59	2.50	6.82	0.33	12.1	29.44
	11.55	605,4	0.49	18.58	5	1.27	2.36	6.82	0.33	11.3	29.77
Chuvoso	9.98	201,2	0.26	25.88	4.72	1.35	1.30	5.74	0.34	11.9	28.48
	12.17	1614,2	0.28	32.54	11.33	0.85	1.07	5.89	0.34	17.3	29.68
	9.17	1196,6	0.30	33.81	11.90	0.17	1.07	5.91	0.34	23.7	29.31
	20.85	1432,4	0.51	33.18	8.45	0.93	0.84	5.84	0.34	27	30.64