

ORLANDO APARECIDO CARRIEL

**EFEITO DAS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA RELACIONADAS ÀS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS SOBRE AS RESPOSTAS
FOTOSSINTÉTICAS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DE
ECOSSISTEMAS LÓTICOS TROPICAIS.**

ASSIS

2018

ORLANDO APARECIDO CARRIEL

**EFEITO DAS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA RELACIONADAS ÀS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS SOBRE AS RESPOSTAS
FOTOSSINTÉTICAS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DE
ECOSSISTEMAS LÓTICOS TROPICAIS.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis, para a obtenção do título de Mestre em Biociências (Área de Conhecimento: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica)

Orientador(a): Prof. Dr. Ciro Cesar Zanini Branco

ASSIS

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca da F.C.L. – Assis – Unesp

C316e Carriel, Orlando Aparecido
Efeito das variações de temperatura relacionadas às
mudanças climáticas globais sobre as respostas fotossintéticas
de macrófitas aquáticas de ecossistemas lóticos tropicais /
Orlando Aparecido Carriel. Assis, 2018.
79 f. : il.

Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis
Orientador: Dr. Ciro Cesar Zanini Branco

1. Mudanças climáticas. 2. Temperatura. 3. Fotossíntese. 4.
Macrófitas aquáticas. I. Título.

CDD 581

Orlando Aparecido Carriel

**Efeito das variações de temperatura relacionadas
as mudanças climáticas globais sobre as
repostas fotossintéticas de macrófitas aquáticas
de ecossistemas lóticos tropicais**

Disseração apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis, para a obtenção do título de Mestrado Acadêmico em BIOCÊNCIAS (Área de Conhecimento: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DA DIVERSIDADE BIOLÓGICA)

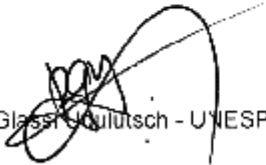
Data da Aprovação: **05/03/2018**

COMISSÃO EXAMINADORA

Presidente: Prof. Dr. Ciro Cesar Zanini Branco - UNESP/ASSIS

Regis de Campos Oliveira

Memoros: Prof. Dr. Regis de Campos Oliveira - Mogi Guaçu-SP


Profa. Dra. Renata Glass Goultsch - UNESP/ASSIS

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e sabedoria.

A minha família, especialmente minha mãe Maria Conceição Bussula, meu padrasto José Carlos Urbano Alves e meu irmão Henrique Alves, pelo amor, pelo incentivo e por toda ajuda que me deram durante essa etapa, me apoiando e me fortalecendo durante os momentos mais difíceis. Muito obrigado por tudo.

Ao prof. Dr. Ciro Cesar Zanini Branco, pela orientação e por compartilhar comigo sua paixão pela ciência. Agradeço por todos os conselhos, pelas palavras de incentivo e também pela amizade proporcionada nesses anos.

Ao prof. Dr. Pitágoras C. Bispo, pelos ensinamentos diários e simpatia.

A prof^a. Dra. Renata Giassi Udulutsch, por ter ajudado na identificação de algumas espécies de macrófitas.

Aos colegas do Laboratório de Biologia Aquática (LABIA) pela amizade, companhia diária e pelas confraternizações descontraídas. Em especial ao Régis de Oliveira e Lucas Kortz por toda a ajuda fornecida na realização desse trabalho.

A todos meus amigos, que me apoiaram e me ajudaram ao longo da minha vida. Especialmente ao Fernando Ramari, pelos conselhos, conversas e pela amizade desde da infância até o presente momento.

*“Na natureza nada se cria, nada se perde,
tudo se transforma.”*

(Antoine Lavoisier)

CARRIEL, Orlando Aparecido. **Efeito das variações de temperatura relacionadas às mudanças climáticas globais sobre as respostas fotossintéticas de macrófitas aquáticas de ecossistemas lóticos tropicais**. 2018. 79 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Biociências). – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis, 2018.

RESUMO

Ao longo do tempo a temperatura média global teve grandes variações, devido principalmente à fenômenos naturais. Porém, a partir da revolução industrial diversas atividades antrópicas vêm causando uma significativa alteração na atmosfera terrestre, de modo que diversos gases, especialmente CO₂, têm aumentado a sua concentração atmosférica e, como consequência, produzido elevação na temperatura do planeta. Essas mudanças climáticas, particularmente o aquecimento global, podem afetar os organismos de ambientes aquáticos continentais, incluindo os produtores primários (p.ex., macrófitas). Utilizando o método de evolução do oxigênio dissolvido (técnica dos frascos claros e escuros), a técnica da fluorescência da clorofila *a* e a técnica da concentração de clorofila *a*, avaliou-se o efeito do aumento de temperatura potencialmente produzido pelo aquecimento global, previsto em dois cenários futuros do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), RCP 4.5 e RCP 8.5, sobre as respostas fotossintéticas de macrófitas aquáticas de ecossistemas lóticos tropicais. As temperaturas de controle foram determinadas, para as estações de inverno e verão, a partir da temperatura média de riachos da região onde as amostras de macrófitas foram coletadas e as temperaturas experimentais calculadas adicionando-se os aumentos previstos pelos cenários testados do IPCC. A resposta à simulação dos cenários do IPCC ocorreu de modo espécie-específico. Sendo que para a maioria das espécies investigadas não foram registrados efeitos negativos ou significativos

sobre a fotossíntese, com algumas espécies demonstrando inclusive um aumento na produtividade primária nos cenários experimentais do IPCC em relação ao controle.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Temperatura. Fotossíntese. Macrófitas.

CARRIEL, Orlando Aparecido. **Effect of temperature variations related to global climatic changes on the photosynthetic responses of aquatic macrophytes of tropical lotic ecosystems.** 2018. 79 f. Dissertation (Masters in Biosciences). São Paulo State University (UNESP), School of Sciences, Humanities and Languages, Assis, 2018.

ABSTRACT

Over time, the average global temperature had great variations, mainly due to natural phenomena. However, since the industrial revolution several anthropic activities have caused a significant change in the Earth's atmosphere, so that various gases, especially CO₂, have increased their atmospheric concentration and, consequently, produced an increase in the planet's temperature. These climatic changes, particularly global warming, can affect organisms in continental aquatic environments, including primary producers (eg, macrophytes). Using the method of evolution of dissolved oxygen (light and dark jars technique), chlorophyll a fluorescence technique and chlorophyll a concentration technique, the effect of the temperature increase potentially produced by global warming, predicted in two scenarios future of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), RCP 4.5 and RCP 8.5, on the photosynthetic responses of aquatic macrophytes from tropical lotic ecosystems. Control temperatures were determined for the winter and summer seasons from the average stream temperature of the region where the macrophyte samples were collected and the experimental temperatures calculated by adding the predicted increases in the IPCC tested scenarios. The response to the simulation of the IPCC scenarios occurred in a species-specific manner. For most of the species investigated, there were no negative or significant effects on photosynthesis, with some species even showing an increase in primary productivity in the experimental scenarios of the IPCC in relation to the control.

KEYWORDS: Climate change. Temperature. Photosynthesis. Macrophytes.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
Capítulo 1. Efeito das variações de temperatura relacionadas às mudanças climáticas globais sobre as respostas fotossintéticas de macrófitas aquáticas de ecossistemas lóticos tropicais.	30
INTRODUÇÃO	30
MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
Determinação das temperaturas experimentais.....	34
Coleta e preparação dos espécimes.....	35
Análises experimentais	37
Análise dos dados.....	38
RESULTADOS	39
<i>Egeria densa</i> Planch.....	39
<i>Mayaca sellowiana</i> Kunth	41
<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.....	43
<i>Riccia</i> sp.	46
<i>Fissidens</i> sp.....	48
DISCUSSÃO	50
CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

TABELAS E FIGURAS.....	66
------------------------	----

INTRODUÇÃO GERAL

A temperatura é um dos principais fatores abióticos e limitantes para o desenvolvimento e manutenção da vida no planeta terra, pois a maioria dos processos fisiológicos ocorre em intervalos de temperatura nos quais a água se encontra no estado líquido (0°C até 100°C) (RICKLEFS, 2010). Conforme a “lei da tolerância” (SHELFORD, 1931), os organismos possuem um máximo e um mínimo ecológico, que representam os limites de tolerância de cada ser vivo. Em relação aos limites de tolerância de temperatura, os organismos podem ser classificados em: euritérmicos, quando toleram uma ampla variação na temperatura (temperaturas altas e baixas) e estenotérmicos, quando toleram uma pequena variação na temperatura, podendo, nestes casos, ser estenotérmicos/oligotérmicos (toleram somente temperaturas baixas) e estenotérmicos/politérmicos (toleram somente temperaturas altas) (ODUM, 2001).

A atmosfera terrestre é essencial para manter a temperatura em valores estáveis, proporcionando condições favoráveis à vida no nosso planeta, sendo que a maioria dos seres vivos depende da energia fornecida pelo sol, não apenas para o suprimento do alimento criado pela fotossíntese, mas também para as condições de temperatura exigidas pela vida (RICKLEFS, 2010). Há aproximadamente 2,3 bilhões de anos, estimava-se que o sol teria apenas 70% de sua capacidade energética atual, conseqüentemente, não era capaz de fornecer calor suficiente para manter água em estado líquido no planeta Terra (KASTING, 2010). Existem várias hipóteses para explicar como a Terra se manteve quente para o surgimento de água líquida, sendo que a maioria se relaciona com a composição de gases atmosféricos no período arqueano, principalmente a ocorrência de altas concentrações de gás

carbônico (CO₂) (WALKER, 1985) e óxido nitroso (N₂O) (STOCKER *et al.*, 2014). Porém, as hipóteses mais aceitas atualmente indicam que a manutenção de uma temperatura mais alta resultou, naquele período, da alta concentração de gás metano (CH₄) (PAVLOV *et al.*, 2000) e a menor capacidade de reflexão da energia solar (ROSING *et al.*, 2010). Todos esses gases são essenciais para a manutenção da vida na Terra, pois são capazes de prevenir que o calor proveniente da irradiação solar se disperse para o espaço novamente, proporcionando a formação do chamado efeito estufa (SAMIMI & ZARINABADI, 2012). Justamente por conta do efeito estufa, a temperatura média do planeta é mantida em um valor constante sem grandes variações, proporcionando as condições necessárias para o desenvolvimento e manutenção da vida no planeta (MITCHELL, 1989; RICKLEFS, 2010).

Ao longo do tempo, os valores médios de temperatura da atmosfera terrestre tiveram grandes variações. Estudos paleoclimáticos têm revelado que a história do clima ao longo dos últimos 600 milhões de anos variou muito, apresentando ciclos de períodos quentes e frios, onde os períodos quentes duraram entre 50 a 100 milhões de anos e os períodos frios cerca de 40 a 80 milhões de anos (FRAKES *et al.*, 2005; OLIVEIRA, 2010).

As influências relacionadas às atividades antrópicas e atividades naturais na temperatura do planeta podem ser explicadas, de uma maneira geral, usando o conceito de “forçamento radiativo”. Este conceito se refere a um processo que altera o balanço radioativo entre a radiação enviada pelo Sol e da radiação de saída/refletida pelo planeta Terra ao espaço (PHILANDER *et al.*, 2008; OLIVERA, 2010). O forçamento radiativo é medido em W.m⁻², sendo que um forçamento radiativo positivo, resulta principalmente no aquecimento relativo da superfície

terrestre, já um forçamento negativo, pode provocar o resfriamento da superfície do nosso planeta (PHILANDER *et al.*, 2008; OLIVERA, 2010). Variações no forçamento radiativo, negativo ou positivo, podem, por sua vez, serem geradas pela quantidade e tipo de gases emitidos na atmosfera. Assim, um aumento na emissão de gases do efeito estufa resultam em um forçamento radiativo positivo ao passo que um aumento na emissão de alguns tipos de aerossóis produz um forçamento radiativo negativo. Algumas modelagens e reconstruções das variações de temperaturas ocorridas em décadas anteriores a revolução industrial, demonstraram que o forçamento radiativo oscilou por conta da ocorrência de eventos naturais, como erupções vulcânicas e variações na irradiância solar (SOLOMON *et al.*, 2007). Porém, atualmente, ações antrópicas, como, por exemplo, a queima de combustíveis fósseis, estão provocando um acúmulo excessivo dos gases responsáveis pelo efeito estufa (denominados pela sigla “GEEs”) na atmosfera terrestre, particularmente do dióxido de carbono (CO_2). Este acúmulo tem gerado grandes discussões sobre os seus potenciais efeitos, especialmente de um eventual aumento da temperatura do planeta e, conseqüentemente, na produção de mudanças climáticas globais (CANADELL *et al.*, 2007).

Existe um certo consenso de que a partir da revolução industrial, ocorreu uma grande emissão de “GEEs”, sendo eles: o gás carbônico (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os halocarbonetos (gases que contêm flúor, cloro e bromo, como os clorofluorcarbonetos “CFCs”), associada ao aumento da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento (OLIVEIRA, 2010; STOCKER *et al.*, 2014). Como uma decorrência deste fenômeno antrópico, acredita-se que houve um aumento da concentração dos gases do efeito estufa, que, por sua vez está produzindo um forçamento radiativo positivo e conseqüentemente um aumento da

temperatura média global em nosso planeta nas últimas décadas (BERNTSEN *et al.*, 1997; CANADELL *et al.*, 2007; SOLOMON *et al.*, 2007; SAMIMI & ZARINABADI, 2012).

Alguns trabalhos como de MANN e colaboradores (1998) e MANN & BRADLEY (1999), mostraram que a temperatura média superficial global tem aumentado desde 1861. Ao longo do século XX, o aumento foi de $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, sendo que, a década de 90 foi a década mais quente e o ano 1998 foi o mais quente já registrado, desde 1861. Assim, no ano de 1988, o Programa Ambiental da Organização das Nações Unidas (*United Nations Environment Programme* “UNEP”) junto com a Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization* “WMO”), criaram o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) também conhecido pela sigla “IPCC” (IPCC, 2017). O objetivo principal do IPCC é estimar as mudanças climáticas causadas pelas atividades antrópicas, buscando, prever as suas consequências em cenários futuros, a fim de ajudar a tomada de decisões políticas e a formulação de respostas e estratégias (IPCC, 2017). Em um intervalo de tempo de aproximadamente 25 anos, o IPCC revisou dados presentes na literatura e, por meio de modelagens matemáticas e computacionais, desenvolveu vários cenários futuros relacionados às mudanças climáticas de origem antrópica em nosso planeta.

Em sua quinta edição, o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (STOCKER *et al.*, 2014), apresentou quatro novos Cenários Representativos de Concentrações (*Representative Concentration Pathways*), denominados pela sigla “RCP”, os quais se referem aos valores estimados do forçamento radiativo para os anos de 2081 a 2100 em comparação com o ano 1750 (STOCKER *et al.*, 2014). O cenário mais favorável, RCP 2.6, resultaria do desenvolvimento de uma política

global de mitigação das mudanças climáticas, enquanto que os dois cenários intermediários, RCP 4.5 e RCP 6, representariam o resultado de políticas de estabilização da emissão de gases do efeito estufa, enquanto que o cenário mais severo, RCP 8.5, seria resultante de um futuro com grande emissão de gases do efeito estufa (STOCKER *et al.*, 2014). Mesmo com o desenvolvimento de novas políticas e de várias publicações científicas que alertam sobre os prováveis impactos da emissão exacerbada de gases do efeito estufa, nos últimos anos, o aumento da concentração dos mesmos na atmosfera terrestre ainda continua sendo observado (NORDHAUS, 2010).

Alguns estudos têm investigado, não somente o potencial aumento da temperatura média global, mas também as suas consequências, tais como o aumento do nível do mar em diversas localidades do mundo (RAHMSTORF, 2007; STOCKER *et al.*, 2014), o aumento de precipitações e de tempestades ao redor do globo (MEEHL *et al.*, 2000; MEEHL & TEBALDI, 2004) e o aumento na taxa de ocorrência de eventos climáticos extremos, como furacões, o "El Niño" e as fases de monções na Índia (MEEHL & WASHINGTON, 1993; MEEHL & WASHINGTON, 1996; KRISHNAMURTI *et al.*, 1998; SILLMANN & ROECKNER, 2008). Mesmo não existindo um consenso sobre o futuro da emissão de carbono na atmosfera (PINDYCK, 2013), projeta-se que o impacto para a humanidade será grande, principalmente na agricultura e na produção de alimentos (ROSENZWEIG *et al.*, 2001; FISHER *et al.*, 2012; PACHAURI, 2014) e particularmente em países em desenvolvimento (MIRZA, 2003; PACHAURI, 2014).

Com relação a biodiversidade, espera-se que as mudanças climáticas afetem todos os níveis de biodiversidade, desde os organismos até os níveis de bioma (PARMESAN, 2006; BELLARD, 2012). No nível mais básico de biodiversidade, as

mudanças climáticas seriam capazes de diminuir a diversidade genética das populações devido à seleção direcional e migração rápida, o que poderia, por sua vez, afetar o funcionamento e a resiliência dos ecossistemas (MEYERS & BULL, 2002; BOTKIN *et al.* 2007; BELLARD, 2012). No entanto, a maioria dos estudos está centrada nos impactos em níveis organizacionais mais elevados, e os efeitos genéticos das mudanças climáticas foram explorados apenas para um número muito pequeno de espécies. Além disso, os vários efeitos nas populações, provavelmente modificarão a rede de interações no nível da comunidade (GILMAN *et al.*, 2010; WALTHER, 2010; BELLARD, 2012). Em essência, a resposta de algumas espécies às mudanças climáticas pode constituir um impacto indireto nas espécies que dependem delas. Por exemplo, um estudo com 9.650 espécies com relação interespecífica, incluindo polinizadores e parasitas, sugeriu que cerca de 6.300 espécies poderiam desaparecer após a extinção de suas espécies associadas (KOH *et al.*, 2004; BELLARD, 2012).

Além disso, para várias espécies, os impactos das mudanças climáticas poderão ser mediados através dos efeitos sobre sincronia, ou seja, as mudanças climáticas poderão causar mudanças fenológicas entre plantas e seus polinizadores (como por exemplos, insetos), causando desajustes entre essas populações e, ao cabo, até eventos de extinção das espécies de plantas e de seus polinizadores (RAFFERTY & IVES, 2011; TOBY KIERS *et al.*, 2010; BELLARD, 2012). As mudanças climáticas também afetariam outras relações interespecíficas (como exemplo, presas e predadores; hospedeiros e parasitas ou mutualistas), o que poderia modificar a estrutura da comunidade e as funções do ecossistema (WALTHER, 2010; YANG & RUDOLF, 2010; BELLARD, 2012).

Em um nível mais elevado da biodiversidade, as mudanças climáticas poderão induzir alterações nas comunidades vegetais, o que já seriam grandes o suficiente para afetar a integridade do bioma. Alguns estudos preveem uma redução de 5 a 20% dos ecossistemas terrestres, em particular das florestas de coníferas, tundras, savanas e florestas boreais (SALA *et al.*, 2005; BELLARD, 2012).

Alterações futuras causadas pelas mudanças climáticas em relação aos biomas já estão sendo observadas e reportadas. Por exemplo, na América do Sul tropical, sugere-se que grandes porções da floresta amazônica poderão ser substituída por savanas tropicais (LAPOLA *et al.*, 2009; BELLARD, 2012). Em altitudes e latitudes mais altas, espera-se que as florestas alpinas e boreais se expandam para o norte, às custas da tundra e também de algumas espécies alpinas (ALO & WANG, 2008; BELLARD, 2012). Para os ambientes marinhos, prevê-se que os oceanos aqueçam e se tornem mais ácidos, resultando em degradação generalizada dos recifes de corais tropicais (HOEGH-GULDBERG *et al.*, 2007; BELLARD, 2012).

Para os ambientes aquáticos continentais, contudo, as mudanças climáticas deverão provocar, principalmente, mudanças na temperatura da água e nos padrões volumétricos graças a alterações na precipitação pluviométrica (ENGELMAN *et al.*, 2008). Por exemplo, o aumento da temperatura e a diminuição das chuvas significam que alguns lagos, especialmente na África, poderão secar (CAMPBELL *et al.*, 2009; BELLARD, 2012). Além do mais, a frequente utilização humana dos habitats próximos a rios e lagos tenderão a agravar ainda mais o problema (MALMQVIST *et al.*, 2008). No geral, avalia-se, que por serem áreas parcialmente isoladas, fragmentadas e cercadas pela matriz terrestre, estas últimas também bastante degradadas pela utilização humana, os ecossistemas aquáticos

continentais estarão muito propensos a perda de biodiversidade provocada pelas mudanças climáticas e atividades antrópicas sinérgicas (RICCIARDI & RASMUSSEN, 1999; WOODWARD, PERKINS & BROWN, 2010). Entre os ambientes aquáticos continentais, os ecossistemas lóticos (rios e riachos) teriam, em tese, sua biodiversidade mais ameaçada em comparação com os ambientes lênticos (lagos), pois os rios e riachos, além de possuírem características estruturais que dificultam a dispersão de espécies e novas colonizações, são extremamente influenciados por escoamentos superficiais que podem alterar as características da água (SALA *et al.*, 2000). Além de que, nos ecossistemas lóticos, justamente devido à sua continuidade longitudinal hierarquizada, um impacto na sua porção superior (por exemplo, nas nascentes) pode causar efeitos interligados nas suas porções inferiores (MALMQVIST *et al.*, 2008).

Os sistemas lóticos, em especial aqueles localizados em regiões mais frias (clima temperado), a energia de origem externa (alóctone) corresponde uma grande fonte de recurso para a sobrevivência dos organismos consumidores desses ecossistemas (TANK *et al.*, 2010). Porém, devido à grande variabilidade dos fatores ambientais, além da enorme heterogeneidade de espécies consumidoras nos ecossistemas lóticos de regiões tropicais, a influência da energia alóctone não é necessariamente essencial para todos os rios e riachos tropicais (LAU, LEUNG & DUDGEON, 2008). Nessas regiões, o tipo de suporte energético (alóctone ou autóctone) é uma característica particular de cada rio e/ou riacho (BOYERO *et al.*, 2009). Portanto, nas regiões tropicais, mesmo em rios e/ou riachos florestados e/ou de regiões de cabeceira, a energia fornecida pelos produtores primários inseridos nesses ambientes (autóctone) é extremamente relevante para a manutenção da teia

trófica (MARCH & PRINGLE, 2003; MANTEL, SALAS & DUDGEON, 2004, VILAS BOAS, 2016).

Considerando, então, as especificidades dos ecossistemas lóticos, o aumento da temperatura relacionado às mudanças climáticas globais nos rios e riachos tropicais, pode representar uma variável ambiental com forte influência sobre o papel ecológico dos produtores primários. Porém, estudos capazes de avaliar os efeitos das mudanças climáticas globais sobre os produtores primários, de um modo geral, ainda não foram realizados em ecossistemas lóticos tropicais. Em rios e riachos tropicais de baixas ordens (1^a a 3^a), por exemplo, as macrófitas aquáticas, juntamente com macroalgas e cianobactérias bentônicas representam um dos principais responsáveis pela produção primária e sustentação da teia trófica (ALLAN & CASTILLO, 2007). Portanto, variações do ambiente que afetem a eficiência do processo fotossintético destes organismos podem afetar todo o ecossistema, gerando um mecanismo de cascata trófica com consequências ecológicas potencialmente graves.

Assim, a condução de estudos que permitam avaliar os potenciais efeitos do aumento de temperatura, associados aos possíveis cenários futuros vinculados às mudanças climáticas globais sobre a produção primária nos ecossistemas lóticos tropicais é de fundamental relevância para que ações mitigadoras, possam, se for o caso, ser planejadas e eficientemente implementadas.

Neste contexto, é que o presente estudo experimental foi planejado e executado, tendo como objetivo geral central avaliar os potenciais efeitos das variações de temperatura projetadas por dois cenários preditos pelo IPCC, RCP 4.5 e RCP 8.5, sobre as respostas fotossintéticas de espécies de produtores primários de ecossistemas lóticos tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, J. David; CASTILLO, María M. Primary producers. In: **Stream ecology: structure and function of running waters**. Springer Science & Business Media, p.125, 2007.

ALO, Clement Aga; WANG, Guiling. Potential future changes of the terrestrial ecosystem based on climate projections by eight general circulation models. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 113, n. G1, 2008.

BELLARD, Céline *et al.* Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology letters**, v. 15, n. 4, p. 365-377, 2012.

BERNTSEN, Terje K. *et al.* Effects of anthropogenic emissions on tropospheric ozone and its radiative forcing. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 102, n. D23, p. 28101-28126, 1997.

BOTKIN, Daniel B. *et al.* Forecasting the effects of global warming on biodiversity. **AIBS Bulletin**, v. 57, n. 3, p. 227-236, 2007.

BOYERO, Luz *et al.* Are tropical streams really different?. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 28, n. 2, p. 397-403, 2009.

CAMPBELL, A. *et al.* Review of the literature on the links between biodiversity and climate change: impacts, adaptation and mitigation. In: CBD Technical Series. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, n. 42, p. 124, 2009.

CANADELL, Josep G. *et al.* Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 104, n. 47, p. 18866-18870, 2007.

ENGELMAN, R. *et al.* Introduction: climate, people, fisheries, and aquatic ecosystems. In: POLUNIN, N. Aquatic ecosystems. **Cambridge: Cambridge**, 2008.

FISHER, Anthony C. *et al.* The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather: comment. **The American Economic Review**, v. 102, n. 7, p. 3749-3760, 2012.

FRAKES, Lawrence A.; FRANCIS, Jane E.; SYKTUS, Jozef I. **Climate modes of the Phanerozoic**. Cambridge University Press, 2005.

GILMAN, Sarah E. *et al.* A framework for community interactions under climate change. **Trends in ecology & evolution**, v. 25, n. 6, p. 325-331, 2010.

HOEGH-GULDBERG, Ove *et al.* Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. **science**, v. 318, n. 5857, p. 1737-1742, 2007.

IPCC. **Organization History.** Disponível em :
https://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml. Acesso em: 27/10/2017.

KASTING, James F. Early Earth: faint young Sun redux. **Nature**, v. 464, n. 7289, p. 687-689, 2010.

KOH, Lian Pin *et al.* Species coextinctions and the biodiversity crisis. **Science**, v. 305, n. 5690, p. 1632-1634, 2004.

KRISHNAMURTI, T. N. *et al.* The impact of current and possibly future sea surface temperature anomalies on the frequency of Atlantic hurricanes. **Tellus A**, v. 50, n. 2, p. 186-210, 1998.

LAPOLA, David M.; OYAMA, Marcos D.; NOBRE, Carlos A. Exploring the range of climate biome projections for tropical South America: the role of CO₂ fertilization and seasonality. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 23, n. 3, 2009.

LAU, Danny CP; LEUNG, Kenneth MY; DUDGEON, David. Experimental dietary manipulations for determining the relative importance of allochthonous and autochthonous food resources in tropical streams. **Freshwater Biology**, v. 53, n. 1, p. 139-147, 2008.

MALMQVIST, Björn *et al.* Prospects for streams and rivers: an ecological perspective. **Aquatic ecosystems: trends and global prospects**, p. 19-29, 2008.

MANN, Michael E.; BRADLEY, Raymond S.; HUGHES, Malcolm K. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. **Nature**, v. 392, n. 6678, p. 779-787, 1998.

MANN, Michael E.; BRADLEY, Raymond S.; HUGHES, Malcolm K. Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. **Geophysical research letters**, v. 26, n. 6, p. 759-762, 1999.

MANTEL, Sukhmani Kaur; SALAS, Maria; DUDGEON, David. Foodweb structure in a tropical Asian forest stream. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 23, n. 4, p. 728-755, 2004.

MARCH, James G.; PRINGLE, Catherine M. Food web structure and basal resource utilization along a tropical island stream continuum, Puerto Rico. **Biotropica**, v. 35, n. 1, p. 84-93, 2003.

MEEHL, Gerald A.; WASHINGTON, Warren M. South Asian summer monsoon variability in a model with doubled atmospheric carbon dioxide concentration. **Science**, v. 260, n. 5111, p. 1101-1105, 1993.

MEEHL, Gerald A.; WASHINGTON, Warren M. El Niño-like climate change in a model with increased atmospheric CO₂ concentrations. **Nature**, v. 382, n. 6586, p. 56-60, 1996.

MEEHL, Gerald A. *et al.* Trends in extreme weather and climate events: issues related to modeling extremes in projections of future climate change. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 81, n. 3, p. 427-436, 2000.

MEEHL, Gerald A.; TEBALDI, Claudia. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. **Science**, v. 305, n. 5686, p. 994-997, 2004.

MEYERS, Lauren Ancel; BULL, James J. Fighting change with change: adaptive variation in an uncertain world. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 17, n. 12, p. 551-557, 2002.

MIRZA, M. Monirul Qader. Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt?. **Climate policy**, v. 3, n. 3, p. 233-248, 2003.

MITCHELL, John FB. The “greenhouse” effect and climate change. **Reviews of Geophysics**, v. 27, n. 1, p. 115-139, 1989.

NORDHAUS, William D. Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 26, p. 11721-11726, 2010.

ODUM, Eugene P. Princípios relativos aos fatores limitantes. In: **Fundamentos de ecologia**. p. 169-186, 2001.

OLIVEIRA, Marcos José de. **Incertezas associadas à temperatura do ar no contexto das mudanças climáticas: determinação das causas e efeitos de heterogeneidades e discussão das implicações práticas**. Dissertação de Mestrado. 2010. Universidade de São Paulo.

PACHAURI, Rajendra K. *et al.* **Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, 2014.

PARMESAN, Camille. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 37, p. 637-669, 2006.

PAVLOV, Alexander A. *et al.* Greenhouse warming by CH₄ in the atmosphere of early Earth. **Journal of Geophysical Research: Planets**, v. 105, n. E5, p. 11981-11990, 2000.

PINDYCK, Robert S. Climate change policy: What do the models tell us?. **Journal of Economic Literature**, v. 51, n. 3, p. 860-872, 2013.

PHILANDER, S. George (Ed.). **Encyclopedia of global warming and climate change**. Sage Publications, 2008.

RAFFERTY, Nicole E.; IVES, Anthony R. Effects of experimental shifts in flowering phenology on plant–pollinator interactions. **Ecology Letters**, v. 14, n. 1, p. 69-74, 2011.

RAHMSTORF, Stefan. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. **Science**, v. 315, n. 5810, p. 368-370, 2007.

RICCIARDI, Anthony; RASMUSSEN, Joseph B. Extinction rates of North American freshwater fauna. **Conservation Biology**, v. 13, n. 5, p. 1220-1222, 1999.

RICKLEFS, Robert E. Adaptações ao Ambiente Físico: Luz, Energia e Calor. In: **A economia da natureza**, p. 42-47, 2010.

ROSENZWEIG, Cynthia *et al.* Climate change and extreme weather events; implications for food production, plant diseases, and pests. **Global change & human health**, v. 2, n. 2, p. 90-104, 2001.

ROSING, Minik T. *et al.* No climate paradox under the faint early Sun. **Nature**, v. 464, n. 7289, p. 744-747, 2010.

SALA, Osvaldo E. *et al.* Global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, 2000.

SALA, Osvaldo E. *et al.* Biodiversity across Scenarios. In: Millenium Ecosystem Assesment. Millenium, Volume 2: Scenarios assessment, p. 375–408, 2005.

SAMIMI, Amir; ZARINABADI, Soroush. Reduction of greenhouse gases emission and effect on environment. **Journal of American Science**, v. 8, n. 8, p. 1011-1015, 2012.

SHELFORD, Victor E. Some concepts of bioecology. **Ecology**, v. 12, n. 3, p. 455-467, 1931.

SILLMANN, J.; ROECKNER, E. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. **Climatic Change**, v. 86, n. 1-2, p. 83-104, 2008.

SOLOMON, Susan (Ed.). **Climate change 2007-The physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC**. Cambridge University Press, 2007.

STOCKER, Thomas (Ed.). **Climate change 2013: The physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 2014.

TANK, Jennifer L. *et al.* A review of allochthonous organic matter dynamics and metabolism in streams. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 29, n. 1, p. 118-146, 2010.

TOBY KIERS, E. *et al.* Mutualisms in a changing world: an evolutionary perspective. **Ecology letters**, v. 13, n. 12, p. 1459-1474, 2010.

VILAS BOAS, L.K. **Efeitos das variações de temperatura relacionados às mudanças climáticas globais sobre as respostas fotossintéticas de macroalgas lólicas tropicais**. Dissertação de Mestrado. 2016. Universidade Estadual Paulista.

YANG, Louie H.; RUDOLF, V. H. W. Phenology, ontogeny and the effects of climate change on the timing of species interactions. **Ecology letters**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2010.

WALKER, James CG. Carbon dioxide on the early Earth. **Origins of Life and Evolution of Biospheres**, v. 16, n. 2, p. 117-127, 1985.

WALTHER, Gian-Reto. Community and ecosystem responses to recent climate change. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1549, p. 2019-2024, 2010.

WOODWARD, Guy; PERKINS, Daniel M.; BROWN, Lee E. Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1549, p. 2093-2106, 2010.

Capítulo 1. Efeito das variações de temperatura relacionadas às mudanças climáticas globais sobre as respostas fotossintéticas de macrófitas aquáticas de ecossistemas lóticos tropicais.

INTRODUÇÃO

Macrófitas aquáticas é um termo utilizado para representar alguns vegetais aquáticos, sendo estes encontrados em diferentes filos, como por exemplo: Magnoliófitas (Angiospermas), Briófitas, Hepáticas e também algumas algas filamentosas (p.ex., as algas verdes do grupo das carofíceas).

As macrófitas aquáticas desempenham um papel importante na estrutura e função dos ecossistemas aquáticos continentais, alterando regimes de circulação de água (condições de impacto da onda de fluxo), fornecendo abrigo e refúgio para outros organismos, servindo como fonte de alimento e alterando a qualidade da água e dos sedimentos (CHAMBERS & PREPAS, 1994; CHAMBERS *et al.*, 1999; CHAMBERS *et al.*, 2008). Estes organismos também fornecem um ambiente estruturalmente complexo sobre escalas espaciais que variam de milímetros até centenas de metros (DIBBLE *et al.*, 1997; RENNIE & JACKSON, 2005; DIBBLE *et al.*, 2006). Esta heterogeneidade ambiental propiciada pelas macrófitas é capaz de aumentar o número de nichos, podendo afetar sensivelmente, por exemplo, as interações entre predadores e presas (DIBBLE *et al.*, 1997).

As macrófitas aquáticas também podem servir como substratos para o crescimento de algas filamentosas que, potencialmente, oferecem ainda mais suporte energético para um maior acúmulo de biomassa de consumidores e a redução nas concentrações de nutrientes e metais na coluna d'água (ENGELHARDT

& RITCHIE, 2001). Como resultado, os habitats aquáticos que abrigam macrófitas representam muitas vezes as porções mais diversas, produtivas e heterogêneas destes corpos d'água (CHAMBERS *et al.*, 2008).

A temperatura é um dos principais fatores ambientais que afetam, positiva ou negativamente as espécies de macrófitas. Nesse sentido, as respostas fisiológicas das macrófitas aquáticas em relação a temperatura podem variar entre as espécies, dependendo da localização geográfica e da sazonalidade (WETZEL, 1993; PEZZATO, 2007). A temperatura determina a velocidade dos processos metabólicos nos vegetais (BERRY & BJORKMAN, 1980; PEZZATO, 2007), podendo inclusive, afetar algumas enzimas do metabolismo C₄ (como por exemplo: NADP-ME e PEPCarboxilase) durante a fixação de CO₂ (CASATI *et al.*, 2000; LARA *et al.*, 2002; PEZZATO, 2007). Além disso, altas temperaturas podem influenciar o crescimento, a produtividade primária (BOYER, 1982; BAKER & ROSENQVIST, 2004), a inativação do fotossistema II (PSII), a organização dos tilacóides (SMILLIE & NOTT, 1979; HAVAUX, 1993; BAKER & ROSENQVIST, 2004), a assimilação de CO₂ e o transporte de elétrons, podendo afetar o rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Φ PSII), além de outros parâmetros fotossintéticos (BAKER & ROSENQVIST, 2004).

Assim sendo, variações na temperatura podem, em tese, afetar de forma direta e relevante o metabolismo de algumas espécies de macrófitas aquáticas, tendo como consequência, alterações no crescimento, no desenvolvimento, na atividade fotossintética e na reprodução destes organismos, que, por fim, podem até mesmo impactar a diversidade regional destas comunidades (SAND-JENSEN, 1989; MADSEN & SAND-JENSEN, 1991; HUGHES, 2000; SALA *et al.*, 2000; CAMARGO *et al.*, 2003; ALLAN & CASTILLO, 2007).

Adicionalmente, mudanças na temperatura têm sido tratadas como um agente acelerador e agravador dos fenômenos de desestabilização dos ecossistemas naturais, principalmente daqueles que já sofrem recorrentemente com algum tipo de impacto antrópico (STOCKER *et al.*, 2014). Entre os fenômenos que podem ser acelerados e agravados pelas mudanças de temperatura estão a poluição de diversas origens, a perda de integridade física, e consequentemente da heterogeneidade do hábitat, a eutrofização artificial, a introdução de espécies, entre outros (STOCKER *et al.*, 2014).

Mesmo com a pequena quantidade de dados climáticos globais obtidos antes do ano de 1850, avalia-se que as temperaturas registradas nas últimas cinco décadas apresentaram os valores mais elevados em pelo menos 1.300 anos (SOLOMON *et al.*, 2007). Alguns trabalhos como de MANN e colaboradores (1998) e MANN & BRADLEY (1999), mostraram que a temperatura média superficial global tem aumentado desde 1861. Ao longo do século XX, o aumento foi de $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, sendo que, a década de 90 foi a década mais quente e o ano 1998 foi o mais quente registrado, desde 1861. Segundo as reconstruções de temperatura dos últimos 1.000 anos feitas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), cuja sigla é IPCC (STOCKER *et al.*, 2014), o aumento da temperatura no século XX talvez seja o maior de todos os séculos durante o último milênio.

Em sua quinta edição, o relatório do IPCC (STOCKER *et al.*, 2014), apresentou quatro novos Cenários Representativos de Concentrações (*Representative Concentration Pathways*), denominados pela sigla “RCP”. O cenário mais favorável, o RCP 2.6, resultaria do desenvolvimento de uma política

global de mitigação das mudanças climáticas, enquanto que os dois cenários intermediários, os RCP 4.5 e RCP 6, representariam o resultado de políticas de estabilização da emissão de gases do efeito estufa e o cenário mais severo, o RCP 8.5, seria resultante de um futuro com grande emissão de gases do efeito estufa (STOCKER *et al.*, 2014). Mesmo com o desenvolvimento de novas políticas e de várias publicações científicas que alertam sobre os prováveis impactos da emissão exacerbada de gases do efeito estufa, nos últimos anos, o aumento da concentração dos mesmos na atmosfera terrestre ainda continua sendo observado (NORDHAUS, 2010).

Neste sentido, a ação sinérgica do aquecimento global previsto pelo IPCC (STOCKER *et al.*, 2014) e os efeitos desses impactos antrópicos já existentes nos ecossistemas aquáticos podem levar à redução da diversidade de macrófitas, ameaçando a diversidade da fauna de rios e riachos e alterando processos funcionais destes ecossistemas, como por exemplo, as taxas de mineralização de nutrientes (MULHOLLAND *et al.*, 1997). Todas estas potenciais mudanças nas comunidades de macrófitas aquáticas que estão relacionadas com o aumento da temperatura já estão sendo, de um modo ou de outro, projetadas e/ou registradas em ambientes lóticos ao redor do mundo. Neste contexto, a avaliação dos efeitos das mudanças de temperatura previstas pelo IPCC (STOCKER *et al.*, 2014) sobre a produção primária das macrófitas de ambientes lóticos tropicais pode fornecer valiosas informações sobre o funcionamento destes ecossistemas nos diferentes cenários futuros. Assim, considerando a relevância do fenômeno de mudanças climáticas globais e dos seus potenciais efeitos sobre a produção primária em ambientes lóticos (e sobre o funcionamento destes ecossistemas), este trabalho teve como objetivo mensurar o impacto do aumento da temperatura média global, sobre

as respostas fotossintéticas de alguns representantes dos principais grupos de macrófitas destes ambientes, quando submetidos experimentalmente a cenários específicos preditos pelo IPCC.

Foram estabelecidas as seguintes hipóteses que nortearam este trabalho: 1) O aumento da temperatura previsto nos cenários do IPCC afetará a produtividade das macrófitas aquáticas, sendo que as alterações devem ser táxon-específicas, ou seja, as espécies individualmente deverão apresentar respostas fotossintéticas típicas (negativas, positivas ou indiferentes) e 2) Os efeitos sobre as respostas fotossintéticas das macrófitas aquáticas deverão ser tanto mais intensos quanto mais severo for o cenário de aumento de temperatura previsto pelo IPCC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Determinação das temperaturas experimentais

Os cálculos das temperaturas experimentais foram realizados utilizando-se como base de referência um valor aproximado da média das temperaturas (TM) dos riachos da microbacia do Cervo (Tabela 1) em dois momentos sazonais: estação de inverno (i) e estação de verão (v). Para se determinar a TM foi conduzida uma avaliação da temperatura em riachos dessa bacia no período das 15:00h às 17:00h no inverno e das 13:00h às 15:00h no verão, sendo que foram realizadas três mensurações, em diferentes locais de cada riacho, para determinar a média da temperatura. As mensurações das temperaturas nos riachos foram feitas com auxílio de um controlador de qualidade da água Horiba U-10, equipado com sonda constituída por múltiplos eletrodos. A definição dos horários de coleta das

temperaturas baseou-se em NECCHI JR, BRANCO & BRANCO (1996), que mostraram que as temperaturas mais altas foram registradas às 16:00h para a estação de inverno e às 14:00h para a estação de verão. Dessa forma, com base nas amostragens, os valores da TM da microbacia do Cervo para as estações de inverno e verão corresponderam a 20,8°C e 22,8°C, respectivamente (Tabela 1).

Através dos valores de TM foram então calculados os valores das temperaturas experimentais com base em dois dos cenários futuros: RCP 4.5 e RCP 8.5, apresentados no 5º Relatório de Avaliação do IPCC (COLLINS *et al.*, 2013) para a região tropical. Ambos os cenários apresentam como perspectiva temporal os anos de 2081 a 2100.

A partir desta metodologia foram determinadas as seguintes temperaturas experimentais: I) para o grupo Controle foram utilizadas as temperaturas médias “TM” dos riachos da microbacia do Cervo, sendo os valores de 20,8°C para o grupo Controle na estação de inverno [Controle(i)] e 22,8°C para o grupo Controle na estação de verão [Controle(v)]; II) para o cenário RCP 4.5 as temperaturas experimentais foram calculadas utilizando a fórmula: $TM + 2,3^{\circ}C$ (tanto para o inverno como verão). Assim, a temperatura experimental de inverno [RCP 4.5(i)] ficou definida em 23,1°C e a temperatura experimental de verão [RCP 4.5(v)] em 25,1°C; III) para o cenário RCP 8.5, as temperaturas experimentais foram calculadas utilizando a fórmula: $TM + 4,4^{\circ}C$ (tanto para o inverno como verão). Assim, a temperatura experimental de inverno [RCP 8.5(i)] ficou definida em 25,2°C e a temperatura experimental de verão [RCP 8.5(v)] em 27,2°C.

Coleta e preparação dos espécimes

As espécies de macrófitas aquáticas utilizadas nos experimentos foram: *Egeria densa* Planch, *Mayaca sellowiana* Kunth, *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., *Riccia* sp. e *Fissidens* sp. Os espécimes foram coletados em ecossistemas lóticos de baixas ordens da microbacia do Cervo, localizada na região do município de Assis-SP (Tabela 2).

Após a coleta, os espécimes foram encaminhados ao Laboratório de Biologia Aquática da FCL-UNESP/Assis em frascos contendo água do próprio rio e/ou riacho. No laboratório, os espécimes foram limpos, com o auxílio de microscópio estereoscópico, pincéis de cerdas duras e jatos de água destilada, a fim de retirar possíveis sedimentos e epífitos associados ao corpo vegetativo. Após a limpeza, os espécimes foram secos em papel absorvente, pesados e separados em amostras de $0,150\text{g} \pm 0,010\text{g}$, sendo 8 amostras para cada tratamento.

As amostras foram, então, transferidas para erlenmeyers de 150ml contendo 100ml de meio básico de Bold (WATANABE, 2005) e prontamente colocadas nas condições experimentais, sendo mantidos em incubadoras tipo B.O.D. (marca Nova Ética, modelo 411/FDP355) sob a temperatura determinada para cada tratamento experimental, irradiância constante ($140 \text{ umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e fotoperíodo de 12h/12h (ciclo claro/escuro). As medidas de irradiância nas incubadoras foram efetuadas com auxílio de um quantômetro, marca Li-cor, modelo LI-189, acoplado a um sensor quantum esférico, modelo LI-193AS. As amostras permaneceram sob tais condições experimentais por um período de 10 dias e, então, foram efetuadas as análises experimentais. A fim de evitar depleção de nutrientes, o meio de cultura das amostras foi trocado periodicamente a cada dois dias (terceiro, quinto, sétimo e nono dia).

Analises experimentais

As respostas fotossintéticas dos táxons investigados foram avaliadas através do método da evolução do oxigênio dissolvido (LITTLER & ARNOLD, 1985; THOMAS, 1988), da fluorescência da clorofila *a* (BAKER, 2008), além da concentração de clorofila *a* (WETZEL & LIKENS, 2013).

O método da evolução do oxigênio dissolvido, aplicando-se a técnica dos frascos claros e escuros (LITTLER & ARNOLD, 1985; THOMAS, 1988), foi utilizada para determinar as taxas de fotossíntese líquida e respiração no escuro (produtividade primária). Por esta técnica, as medições do oxigênio dissolvido foram efetuadas através de oxímetro com barômetro e eletrodo com auto agitação marca YSI, modelo 5100.

Os cálculos dos valores finais da taxa de fotossíntese líquida (FL) e respiração no escuro (R) foram realizados de acordo com o proposto por LITTLER & ARNOLD (1985), tendo as seguintes fórmulas: $FL = [(F)-(I)]*V/Ti/PS$ e $R = [(I)-(F)]*V/Ti/PS$, onde FL: fotossíntese líquida; R: respiração no escuro; (F): concentração final de oxigênio dissolvido após o período de incubação; (I): concentração inicial de oxigênio anterior ao período de incubação; V: volume de meio no frasco (110 ml); Ti: tempo de incubação (1h); PS: peso seco.

As análises da fluorescência da clorofila *a* foram realizadas com auxílio de um fluorômetro, Diving-PAM (Walz, Effeltrich, Germany). Após um período de 30 minutos de aclimação no escuro, cinco réplicas de cada tratamento foram submetidas a uma curva de indução "*Induction Curve*" (SCHREIBER *et al.*, 1995) utilizando-se luz actínica com intensidade de $285 \mu\text{mol f\acute{o}tons.m}^{-2}.s^{-1}$, e pulsos de saturação a cada 15 segundos, com duração de 0,8 segundos e intensidade de

2000 $\mu\text{mol f\acute{o}tons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. A partir da curva gerada, foram calculados e avaliados os seguintes parâmetros: I) rendimento quântico efetivo do fotossistema II (*effective quantum yield*) denominado pela sigla (ΦPSII) (GENTY *et al.*, 1989; SCHREIBER *et al.*, 1995); II) Dissipação de calor no complexo antena do PSII (*heat dissipation in the antenna*) abreviado pela letra (D) (DEMMIG-ADAMS *et al.*, 1996) e III) Dissipação de calor pelo centro de reação do PSII (*heat dissipation in reaction centers*) abreviado pela letra (E) (DEMMIG-ADAMS *et al.*, 1996).

A concentração de clorofila a, foi realizada através da técnica espectrofotométrica (WETZEL & LIKENS, 2013). Sendo assim, foi colocado 10ml de solução de acetona 90% nas amostras, que em seguida, foram deixadas em “banho maria” (78°C) durante 5 minutos, e posteriormente, foi aplicado choque térmico no gelo durante 5 minutos, por fim, as amostras foram deixadas em repouso por 24h no escuro em temperatura de 4°C. Após as 24h, foram realizadas as leituras de comprimento de onda, no aparelho espectrofotômetro modelo SP-220 (marca biospectro), sendo utilizado os comprimentos de onda 665nm e 750nm, utilizando-se acetona 90% para a calibração. As concentrações deste pigmento, em $\mu\text{g.mg}^{-1}$ de peso seco, foram determinadas através da seguinte fórmula: $[\text{clorofila a}] = (E_b - E_a) \times 26,7 \times V$. Onde (E_b) corresponde a absorbância da amostra antes da acidificação ($A_{665} - A_{750}$), (E_a) absorbância da amostra após a acidificação ($A_{665} - A_{750}$), (V) volume da amostra correspondente a 10ml (WETZEL & LIKENS, 2013).

Análise dos dados

Todos os dados obtidos foram submetidos inicialmente à estatística descritiva. As diferenças nas respostas fotossintéticas dos espécimes foram avaliadas pelo

teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965) e, subsequentemente, os resultados paramétricos foram analisados através da Análise de Variância de Scott-Knott (SCOTT & KNOTT, 1974) e os resultados não paramétricos foram avaliados através da Análise de Variância de Kruskal-Wallis, sendo utilizado o teste “*Post-hoc de Dunn*” (THEODORSSON-NORHEIM, 1986). Os testes estatísticos paramétricos foram realizados com o auxílio do pacote estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011) e os não paramétricos através do software Past 3.16 (HAMMER, HARPER & RYAN, 2008).

RESULTADOS

Egeria densa Planch

As análises da fluorescência da clorofila *a* com base nas temperaturas experimentais de inverno mostraram os seguintes resultados: I) os valores do Φ_{PSII} diminuíram com o aumento de temperatura quando comparados com o grupo Controle(i), com uma diminuição de -18% para ambos os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i); II) o parâmetro D registrou uma pequena queda em relação ao Controle(i), com diminuição de -4% e -2% para RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente; III) o parâmetro E aumentou de acordo com o aumento da temperatura nos cenários investigados em relação ao Controle(i), com aumento de +19% para ambos os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), conforme (Figura 1A).

Nas análises da fluorescência da clorofila *a* com base nas temperaturas experimentais de verão foram encontrados os seguintes resultados: I) os valores do Φ_{PSII} aumentaram somente no cenário RCP 8.5(v) com aumento de +7% em

relação ao grupo Controle(v), já o cenário RCP 4.5(v) apresentou o mesmo valor que o Controle(v) (0%); II) o parâmetro D apresentou um aumento de +2% para ambos os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v) em relação ao Controle(v); III) o parâmetro E mostrou uma queda somente no cenário RCP 8.5(v) com diminuição de -3% em relação ao Controle(v), já o cenário RCP 4.5(v) apresentou o mesmo valor que o Controle(v) (0%), conforme (Figura 1B).

Para os parâmetros relativos à fluorescência da clorofila *a*, foi encontrada diferença estatística significativa somente para o parâmetro Φ_{PSII} ($F=2,64$; $p=0,09$) nas temperaturas experimentais de inverno. Já para os demais parâmetros não foram encontradas diferenças estatísticas significativas, tanto nas temperaturas de inverno como nas de verão, conforme (Tabela 3; Figura 1).

Para a fotossíntese líquida nas temperaturas experimentais de inverno, o cenário RCP 4.5(i) apresentou um aumento de +44% maior do que o Controle(i), enquanto que o cenário RCP 8.5(i) registrou um aumento de +46% maior que Controle(i) (Figura 2A). Os valores da fotossíntese líquida para as temperaturas de verão, apresentaram um aumento e uma diminuição nos cenários experimentais quando comparados com o grupo Controle(v), com o cenários RCP 4.5(v) apresentando um aumento de +1% e o cenário RCP 8.5(v) apresentando uma diminuição de -33% em seus valores médios (Figura 2B).

Para a respiração no escuro nas temperaturas experimentais de inverno, o cenário RCP 4.5(i) apresentou uma diminuição de -23%, enquanto que para o cenário RCP 8.5(i) observou-se um aumento de +13%, ambos em relação ao Controle(i) (Figura 2C). Para as temperaturas de verão houve um aumento de +48% e +27% nos valores médios dos cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente, quando comparados ao grupo Controle(v) (Figura 2D).

Quanto à concentração de clorofila *a*, observou-se uma diminuição deste pigmento nos cenários experimentais das temperaturas de inverno, quando comparados com o grupo Controle(i), apresentando diminuição de -24% e -23% para os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente (Figura 2E). As temperaturas experimentais de verão, apresentaram um aumento e uma diminuição dos valores quando comparados com o grupo Controle(v), apresentando um aumento de +1% e uma diminuição de -18% para os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente (Figura 2F).

Foi encontrada diferença estatística significativa somente para a fotossíntese líquida, tanto nas temperaturas experimentais de inverno ($F=6,93$; $p<0,05$) como nas de verão ($F=9,42$; $p<0,01$). Para respiração no escuro e concentração de clorofila *a*, não houve diferença estatística significativa nas temperaturas experimentais de inverno e verão, conforme (Tabela 4; Figura 2).

Mayaca sellowiana Kunth

As análises da fluorescência da clorofila *a*, com base nas temperaturas experimentais de inverno registraram os seguintes resultados: I) os valores do $\Phi PSII$ diminuíram no inverno conforme o aumento de temperatura nos cenários investigados em relação ao grupo Controle(i), com diminuição de -18% e -24% para RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente; II) o parâmetro D apresentou um aumento e uma diminuição nos cenários investigados em relação ao Controle(i), registrando um aumento de +4% e uma queda de -12% para RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente; III) o parâmetro E ao contrário dos outros parâmetros, apresentou um aumento dos valores com o aumento de temperatura nos cenários investigados

em relação ao Controle(v), com aumento de +3% e +30% para RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente. Os parâmetros Φ PSII ($F=4,95$; $p<0,05$), D ($F=10,0$; $p<0,01$) e E ($F=15,99$; $p<0,01$) analisados pela técnica da fluorescência da clorofila *a* apresentaram diferenças estatísticas significativas para os experimentos com as temperaturas de inverno, conforme (Tabela 3; Figura 3A).

As análises da fluorescência da clorofila *a*, com base nas temperaturas experimentais de verão apresentaram os seguintes resultados: I) o Φ PSII registrou uma queda apenas no cenário RCP 4.5(v) tendo uma diminuição de -7% em relação ao grupo Controle(v), já o cenário RCP 8.5(v) apresentou o mesmo valor que o Controle(v) (0%); II) o parâmetro D registrou queda dos valores em relação ao Controle(v), com diminuição de -15% e -4% para RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente; III) o parâmetro E teve aumento de +26% e +9% nos cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente, quando comparados com o grupo Controle(v). Os parâmetros D ($F=11,97$; $p<0,01$) e E ($F=13,09$; $p<0,01$) foram os únicos que apresentaram diferenças estatísticas significativas para as temperaturas experimentais de verão, conforme (Tabela 3; Figura 3B).

Para as análises da fotossíntese líquida realizadas com as temperaturas experimentais de inverno, a espécie *Mayaca sellowiana* Kunth apresentou aumento na fotossíntese líquida conforme o aumento de temperatura nos cenários investigados. O cenário RCP 4.5(i) apresentou aumento de +30%, enquanto o RCP 8.5(i) registrou um aumento de +63% em comparação com o grupo Controle(i) (Figura 4A). Para as temperaturas experimentais de verão foi observado aumento de +26% e diminuição de -39% para os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente, quando comparados com o grupo Controle(v) (Figura 4B).

A respiração no escuro dessa espécie com as temperaturas experimentais de inverno apresentou diminuição em comparação ao grupo Controle(i). No cenário RCP 4.5(i), a respiração no escuro apresentou diminuição de -35%, enquanto que para o cenário RCP 8.5(i), a respiração mostrou queda de -34% (Figura 4C). Para as temperaturas experimentais de verão, houve um aumento de +2% e uma diminuição de -36% na respiração no escuro para os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente, em relação ao valor médio apresentado pelo grupo Controle(v) (Figura 4D).

As concentrações de clorofila *a* para as temperaturas experimentais de inverno diminuíram em relação ao grupo Controle(i), apresentando queda de -24% e -26% para RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente (Figura 4E). As temperaturas experimentais de verão também diminuíram quando comparadas com o grupo Controle(v), com valores de -2% e -22% para o RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente (Figura 4F).

Foi encontrada diferença estatística significativa somente para a respiração no escuro ($F=2,99$; $p=0,09$) nas temperaturas experimentais de inverno. Para fotossíntese líquida e concentração de clorofila *a*, não houve diferença estatística significativa nas temperaturas experimentais de inverno e verão, conforme (Tabela 4; Figura 4).

Myriophyllum aquaticum (Vell.) Verdc.

As análises da fluorescência da clorofila *a*, com base nas temperaturas experimentais de inverno mostraram os seguintes resultados: I) os valores do Φ_{PSII} diminuíram com o aumento de temperatura quando comparados com o grupo

Controle(i), com diminuição de -6% e -10% para os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente; II) o parâmetro D registrou aumento em ambos cenários testados em relação ao Controle(i), com aumento de +12% e +6% para RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente; III) os valores do parâmetro E diminuíram e aumentaram de acordo com o aumento de temperatura nos cenários investigados em relação ao Controle(i), com uma diminuição de -6% e um aumento +12% para RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente. Para as temperaturas experimentais de inverno, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em nenhum dos parâmetros relativos à fluorescência da clorofila *a* conforme (Tabela 3; Figura 5A).

Nas análises da fluorescência da clorofila *a*, com base nas temperaturas experimentais de verão foram encontrados os seguintes resultados: I) os valores do Φ PSII diminuíram conforme o aumento de temperatura nos cenários investigados em relação ao grupo Controle(v), com diminuição de -4% e -25% para os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente; II) os valores do parâmetro D diminuíram e aumentaram conforme o aumento de temperatura nos cenários investigados em relação ao Controle(v), apresentando uma queda de -5% e um aumento +14% para RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente; III) os valores do parâmetro E aumentaram conforme o aumento de temperatura nos cenários investigados em relação ao Controle(v), com aumento de +19% e +38% para os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente. Para as temperaturas experimentais de verão foram encontradas diferenças estatísticas significativas nos parâmetros Φ PSII ($F=9,71$; $p<0,01$), D ($F=2,87$; $p=0,08$) e E ($F=6,77$; $p<0,05$) da fluorescência da clorofila *a* conforme (Tabela 3; Figura 5B).

Para a fotossíntese líquida nas temperaturas experimentais de inverno, o cenário RCP 4.5(i) apresentou aumento de +210% em relação ao grupo Controle(i),

enquanto que o cenário RCP 8.5(i) registrou aumento de +550% maior que Controle(i), conforme (Figura 6A). Os valores da fotossíntese líquida nas temperaturas de verão também aumentaram nos cenários experimentais quando comparados com o grupo Controle(v), com aumento de +110% e +178% nos cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente (Figura 6B).

Para a respiração no escuro nas temperaturas experimentais de inverno, os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i) tiveram aumento de +13% e +30%, respectivamente, ambos em relação ao grupo Controle(i) (Figura 6C). Para as temperaturas experimentais de verão, houve um aumento de +15% e uma diminuição de -18% nos valores médios dos cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente, quando comparados com o grupo Controle(v) (Figura 6D).

Quanto à concentração de clorofila *a*, observou-se uma diminuição deste pigmento nos cenários experimentais nas temperaturas de inverno, quando comparados com o grupo Controle(i), apresentando diminuição de -16% e -8% para os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente (Figura 6E). As temperaturas experimentais de verão, apresentaram um aumento e uma diminuição nos valores quando comparados com o grupo Controle(v), apresentando aumento de 10% e diminuição de -8% para os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente (Figura 6F).

Foi encontrada diferença estatística significativa somente para a fotossíntese líquida, tanto nos cenários experimentais de inverno ($F=11,95$; $p<0,05$) e de verão ($F=11,03$; $p<0,05$). Para a respiração no escuro e concentração de clorofila *a*, não houve diferença estatística significativa para os cenários experimentais de inverno e verão, conforme (Tabela 4; Figura 6).

Riccia sp.

As análises da fluorescência da clorofila *a*, com base nas temperaturas experimentais de inverno revelaram os seguintes resultados: I) os valores do Φ PSII diminuíram conforme o aumento de temperatura nos cenários investigados em relação ao grupo Controle(i), com diminuição de -13% e -6% para RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente; II) os valores do parâmetro D também diminuíram nos cenários experimentais em relação ao Controle(i), com diminuição de -9% e -2% para os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente; III) o parâmetro E apresentou aumento nos valores para os cenários experimentais em relação ao grupo Controle(i), com aumento de +35% e +13% para os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente. Para as temperaturas experimentais de inverno, somente o parâmetro E ($F=8,84$; $p<0,05$) apresentou diferença estatística significativa, conforme (Tabela 3; Figura 7A).

Para as temperaturas experimentais de verão, as análises da fluorescência da clorofila *a* apresentaram os seguintes resultados: I) os valores do Φ PSII aumentou somente no cenário RCP 4.5(v), apresentando um aumento de +7% em relação ao grupo Controle(v), já o cenário RCP 8.5(v) apresentou o mesmo valor (0%) que o Controle (v); II) os valores do parâmetro D apresentou aumento de +7% para ambos os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v) quando comparados com o grupo Controle(v); III) o parâmetro E apresentou uma diminuição nos cenários experimentais em relação ao Controle(v), tendo uma diminuição de -16% e -10% para os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente. Para as temperaturas experimentais de verão, os parâmetros D ($F=6,80$; $p<0,05$) e E ($F=6,12$; $p<0,05$) da fluorescência da clorofila

a, apresentaram diferenças estatísticas significativas, conforme (Tabela 3; Figura 7B).

Nas análises realizadas com as temperaturas experimentais de inverno para fotossíntese líquida, *Riccia* sp. apresentou para o cenário RCP 4.5(i) um aumento de +31%, enquanto que o cenário RCP 8.5(i) registrou uma diminuição de -7% em comparação ao grupo Controle(i) (Figura 8A). Para as temperaturas experimentais de verão o cenário RCP 4.5(v) teve uma diminuição de -29%, ao passo que o cenário RCP 8.5(v) mostrou um aumento na fotossíntese líquida de +8%, ambos em relação ao grupo Controle(v) (Figura 8B).

Para os experimentos com as temperaturas de inverno, a respiração no escuro dessa espécie registrou queda dos valores nos cenários experimentais em relação ao grupo Controle(i). No cenário RCP 4.5(i), a respiração no escuro apresentou uma diminuição de -1%, enquanto que para o cenário RCP 8.5(i) a respiração teve uma queda de -20% (Figura 8C). Para as temperaturas experimentais de verão, os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), tiveram uma queda e um aumento de -19% e +18%, respectivamente, em relação ao grupo Controle(v) na respiração no escuro (Figura 8D).

Para a concentração de clorofila *a*, observou-se um aumento deste pigmento nos cenários experimentais. Nas temperaturas de inverno, os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i) apresentaram aumento de +18% e +40%, respectivamente, em relação ao grupo Controle(i) (Figura 8E). Nas temperaturas experimentais de verão, o cenário RCP 4.5(v) teve aumento de +19% e o cenário RCP 8.5(v) apresentou aumento de +45%, ambos em relação ao grupo Controle(v) (Figura 8F).

Foi observada diferença estatística significativa somente para a fotossíntese líquida, tanto para as temperaturas experimentais de inverno ($F=6,25$; $p<0,05$) como

no verão ($F=7,90$; $p<0,05$). Já para a respiração no escuro e concentração de clorofila *a*, não foi encontrada diferença estatística significativa, tanto nas temperaturas de inverno como nas de verão, conforme (Tabela 4; Figura 8).

Fissidens sp.

As análises da fluorescência da clorofila *a*, com base nas temperaturas experimentais de inverno apresentaram os seguintes resultados: I) os valores do $\Phi PSII$ diminuíram conforme o aumento de temperatura nos cenários investigados em comparação ao grupo Controle(i), com diminuição de -21% e -50% para os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente; II) o parâmetro D apresentou uma diminuição de -2% para ambos os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i) quando comparados com o Controle(i); III) já o parâmetro E registrou aumento de +19% e +31% para os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), respectivamente, em relação ao Controle(i). Para as temperaturas experimentais de inverno, os parâmetros $\Phi PSII$ ($F=10,33$; $p<0,01$) e E ($F=4,53$; $p<0,05$) apresentaram diferenças estatísticas significativas, conforme (Tabela 3; Figura 9A).

As análises da fluorescência da clorofila *a*, para as temperaturas experimentais de verão apresentaram os seguintes resultados: I) os valores do $\Phi PSII$ diminuíram nos cenários investigados em comparação com o grupo Controle(v), com diminuição de -36% e -27% para os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente; II) o parâmetro D teve uma diminuição de -5% apenas para o cenário RCP 8.5(v), já que o cenário RCP 4.5(v) não teve diferença (0%) quando comparados com o Controle(v); III) já o parâmetro E apresentou aumento para os cenários investigados em comparação ao Controle(v), com aumento +10% e +16%

para RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v), respectivamente. Para as temperaturas experimentais de verão, nenhum parâmetro testado apresentou diferença estatística significativa, conforme (Tabela 3; Figura 9B).

Nas análises de fotossíntese líquida realizadas com as temperaturas experimentais de inverno para a espécie *Fissidens* sp., os cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i) apresentaram diminuição de -24% e -16%, respectivamente, ambos em relação ao grupo Controle(i) (Figura 10A). Para as temperaturas experimentais de verão, os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v) apresentaram aumento de +10% e +25%, respectivamente, ambos em relação ao grupo Controle(v) (Figura 10B).

A respiração no escuro dessa espécie nos experimentos com as temperaturas de inverno, apresentou aumento para os cenários experimentais em comparação ao grupo Controle(i). Para o cenário RCP 4.5(i), a respiração no escuro teve aumento de +75% enquanto que para o cenário RCP 8.5(i) o aumento foi de +83% (Figura 10C). Para as temperaturas experimentais de verão, os cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v) apresentaram aumento de +4% e +10%, respectivamente, na respiração no escuro em relação ao grupo Controle(v) (Figura 10D).

Para a concentração de clorofila a, em relação com as temperaturas experimentais de inverno, o cenário RCP 4.5(i) teve uma diminuição de -2%, já o cenário RCP 8.5(i) não teve diferença (0%) em relação ao grupo Controle (i) (Figura 10E). Nas temperaturas experimentais de verão, o cenário RCP 4.5(v) teve aumento de +2%, enquanto que o cenário RCP 8.5(v) apresentou aumento de +64% (Figura 10F).

As análises da fotossíntese líquida, respiração no escuro e concentração de clorofila a não apresentaram diferenças estatísticas significativas nas temperaturas experimentais de inverno e verão, conforme (Tabela 4; Figura 10).

DISCUSSÃO

A espécie *Egeria densa* Planch, conforme os resultados da fluorescência da clorofila *a* (dados fisiológicos), apresentou diferença estatística significativa somente no rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Φ PSII) nas temperaturas experimentais de inverno. Sendo que o tratamento Controle(i) (20,8°C), apresentou o maior valor do (Φ PSII), onde o mesmo diminuiu nos demais cenários de inverno (RCP 4.5 e 8.5), mostrando uma possível resposta fisiológica negativa em relação ao aumento de temperatura. Porém, para as temperaturas experimentais de verão, essa possível resposta fisiológica negativa não foi observada, pois os parâmetros da fluorescência (Φ PSII, D e E) não apresentaram diferenças estatísticas, indicando uma possível resposta fisiológica indiferente dessa espécie em relação ao aumento de temperatura. As plantas em geral, tendem a evitar danos no fotossistema II (PSII), reduzindo a energia da etapa fotoquímica e aumentando a dissipação dessa energia na forma de calor, criando um mecanismo de fotoproteção que é regulado pelo ciclo das xantofilas (DEMMIG-ADAMS *et al.*, 1995; YIN *et al.*, 2010).

No entanto, essa espécie apresentou diferenças estatísticas significativas na fotossíntese líquida (produtividade primária), em ambas as temperaturas experimentais de inverno e verão. A fotossíntese líquida apresentou a maior produtividade nos cenários experimentais de inverno RCP 4.5(i) (23,1°C) e RCP 8.5(i) (25,2°C) e também no cenário experimental de verão RCP 4.5(v) (25,1°C). Ademais, no cenário de verão RCP 8.5(v) (27,2°C), essa espécie apresentou o menor valor da fotossíntese líquida, indicando que temperaturas acima de 27°C, poderia afetar sua produtividade primária (fotossíntese líquida e respiração),

causando assim, uma possível resposta ecológica negativa, em relação ao aumento de temperatura previsto pelos cenários do IPCC. Alguns registros prévios indicam que a espécie *Egeria densa* Planch apresenta crescimento ideal em temperaturas que variam de 16°C a 25°C (COOK & URMI-KÖNIG, 1984; THIÉBAUT *et. al.*, 2016). Neste mesmo sentido, PEZZATO & CAMARGO (2004) mostraram que essa espécie apresentou as melhores taxas fotossintéticas em temperaturas que variaram de 18°C a 23°C. Contudo, outros fatores como nitrogênio e o fósforo na coluna de água e no sedimento também podem controlar a produção primária e a ocorrência da espécie no ambiente (DANTAS, 2016).

A espécie *Mayaca sellowiana* Kunth, conforme os resultados da fluorescência da clorofila *a* (dados fisiológicos), apresentou diferença estatística significativa no rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Φ PSII), na dissipação de calor no complexo antena do PSII (D) e na dissipação de calor pelo centro de reação do PSII (E) nas temperaturas experimentais de inverno. Onde o cenário RCP 8.5(i) (25,2°C), apresentou o menor valor do (Φ PSII) e o maior valor de (E), mostrando uma possível resposta fisiológica negativa em relação ao aumento de temperatura. Já nas temperaturas de verão, essa espécie apresentou diferença estatística significativa na dissipação de calor no complexo antena do PSII (D) e na dissipação de calor pelo centro de reação do PSII (E), sendo que o cenário RCP 4.5(v) (25,1°C), apresentou o menor valor do (D) e o maior valor de (E), mostrando uma possível resposta fisiológica negativa em relação ao aumento de temperatura. Indicando, possivelmente, que essa espécie não possui um mecanismo eficiente de fotoproteção no aparato fotossintético do fotossistema II em temperaturas próximas de 25°C, uma vez que, nesses cenários o excesso de energia luminosa não foi

dissipado corretamente pelo complexo antena (D), podendo danificar o centro de reação do fotossistema II (DEMMIG-ADAMS *et al.*, 1996; KATO *et al.*, 2003).

Além disso essa espécie apresentou diferenças estatísticas significativas na respiração no escuro (produtividade primária), nos cenários experimentais de inverno RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i), quando comparados com o Controle (i). Indicando, uma queda da produtividade primária (resposta ecológica negativa) em temperaturas entre 23°C e 25°C, corroborando com os resultados fisiológicos (fluorescência da clorofila *a*). A espécie *Mayaca sellowiana* Kunth é uma macrófita submersa, pertencente à família Mayacaceae, monocotiledônea aquática com aspecto de musgo (CRUZ, 2000) e até momento existem poucos ou quase nenhum trabalho sobre características ecofisiológicas, o que torna imprescindível ampliar o conhecimento da espécie em relação a suas tolerâncias ecofisiológicas aos fatores ambientais.

A espécie *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., conforme os resultados da fluorescência da clorofila *a* (dados fisiológicos), não apresentou diferenças estatísticas significativas nos parâmetros da fluorescência (Φ PSII, D e E) nas temperaturas experimentais inverno, mostrando uma resposta fisiológica indiferente. Porém, para as temperaturas experimentais de verão, essa espécie apresentou diferenças estatísticas em todos os parâmetros da fluorescência (Φ PSII, D e E), sendo que o cenário RCP 8.5(v) (27,2°C), apresentou o menor valor do rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Φ PSII) e os maiores valores de dissipação de calor pelo complexo antena (D) e pelo centro de reação (E), mostrando uma possível resposta fisiológica negativa em relação ao aumento de temperatura. Indicando, possivelmente, que essa espécie não possui um mecanismo eficiente de

fotoproteção no aparato fotossintético do fotossistema II (DEMMIG-ADAMS *et al.*, 1996; KATO *et al.*, 2003) em temperaturas próximas de 27°C.

Adicionalmente, essa espécie apresentou diferenças estatísticas significativas na fotossíntese líquida (produtividade primária), em ambos as temperaturas experimentais de inverno e verão. Sendo que os cenários RCP 4.5(i) (25,2°C) e RCP 8.5(v) (27,2°C), apresentaram os maiores valores da fotossíntese líquida. Indicando que, mesmo o seu aparato fotossintético tenha sido afetado (por exemplo, no cenário RCP 8.5(v)), a mesma conseguiu manter sua produtividade primária, apresentando uma resposta ecológica positiva em relação ao aumento de temperatura, previsto pelo IPCC.

Em concordância com esses resultados, podemos destacar o trabalho de WERSAL (2010), que acompanhou o desenvolvimento dessa espécie em alguns trechos no rio Mississippi (EUA), durante o período de dezembro de 2006 a janeiro de 2007, onde as temperaturas da água variaram de 10°C a 27°C, sendo que a espécie se manteve durante todo esse período, mesmo com essa grande variação da temperatura na água. Neste mesmo sentido MALHEIRO; JAHNS & HUSSNER, (2013), mostraram que a espécie de *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., não apresentou diferenças estatísticas no seu crescimento e nas respostas fenotípicas em duas temperaturas (17°C e 27°C) que foram testadas em laboratório. Este vegetal possui uma ampla capacidade fenotípica de se desenvolver em diferentes temperaturas (WERSAL, 2010), entretanto fatores como a disponibilidade de CO₂ e luz, também influenciam no desenvolvimento da espécie (MALHEIRO; JAHNS & HUSSNER, 2013).

A espécie *Riccia* sp. conforme as análises da fluorescência da clorofila a (dados fisiológicos), apresentou diferenças estatísticas na dissipação de calor pelo

centro de reação do PSII (E) no cenário RCP 4.5(i), nas temperaturas experimentais de inverno. Indicando que essa espécie poderia ter seu centro de reação prejudicado em temperaturas próximas de 23,1°C (resposta fisiológica negativa). Já nas temperaturas experimentais de verão, a mesma apresentou diferenças estatísticas na dissipação de calor no complexo antena do PSII (D) nos cenários RCP 4.5(v) e RCP 8.5(v). Esse aumento do (D), indica uma possível aclimação (DEMMIG-ADAMS *et al.*, 1996; KATO *et al.*, 2003) dessa espécie nas temperaturas desses cenários.

Nas temperaturas de inverno, a espécie *Riccia* sp., apresentou de uma maneira geral, uma resposta ecológica indiferente em relação ao aumento de temperatura, pois, os resultados dos cenários RCP 4.5(i) e RCP 8.5(i) da fotossíntese líquida e respiração no escuro (produtividade primária), foram estatisticamente iguais ao Controle(i). Adicionalmente, nas temperaturas experimentais de verão, houve uma variação na fotossíntese líquida entre os cenários, sendo que o cenário RCP 8.5(v) apresentou resultado estatisticamente igual ao Controle(v), porém o cenário RCP 4.5(v), apresentou a menor produtividade. Essa redução e consequentemente aumento da fotossíntese líquida nesses cenários, indica uma possível aclimação dessa espécie em relação as temperaturas testadas. Isso possivelmente ocorreu, pois, as áreas de distribuição da maioria das espécies de *Riccia* são restritas ou disjuntivas. A espécie de *Riccia sommeris* Lev., por exemplo, parece estar limitado ao Mediterrâneo; *Riccia crustata* Trab., habita esta mesma área, mas também na Sibéria ocidental e no sudeste da Austrália. Outro exemplo é *Riccia fluitans*, onde a mesma pode ser encontrada desde a América do Sul até a América do Norte e em alguns países da Europa, em ambientes que a temperatura da água varia de 6°C até 30°C (CARTER, 1935;

CESCHIN, 2012), mostrando que essa espécie possui uma ampla capacidade fenotípica de se desenvolver em diferentes temperaturas.

Para a espécie *Fissidens* sp., os resultados da fluorescência da clorofila *a* (dados fisiológicos) para as temperaturas de inverno, essa espécie apresentou uma redução nos valores do rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Φ PSII), associada a um aumento da dissipação de calor pelo centro de reação do PSII (E), sendo que o cenário RCP 8.5(i) (25,2°C), apresentou o menor valor do (Φ PSII) e o maior valor do (E). Indicando, possivelmente, que essa espécie não possui um mecanismo eficiente de fotoproteção no aparato fotossintético do fotossistema II em temperaturas próximas de 25,2°C, uma vez que, nesse cenário o excesso de energia luminosa não foi dissipado corretamente pelo complexo antena (D), podendo danificar o centro de reação do fotossistema II (DEMMIG-ADAMS *et al.*, 1996; KATO *et al.*, 2003), apresentando assim uma resposta fisiológica negativa. Já para as temperaturas experimentais de verão, a mesma não apresentou diferença estatística em nenhum dos parâmetros, mostrando uma resposta fisiológica indiferente nos cenários testados.

Além de que, para essa espécie os resultados da fotossíntese líquida, respiração no escuro e concentração de clorofila *a* (dados ecológicos) não apresentaram diferenças estatísticas significativas, quando submetida às temperaturas experimentais de inverno e verão, sugerindo uma possível resposta ecológica indiferente em relação ao aumento de temperatura proposta pelos cenários do IPCC.

CONCLUSÃO

As espécies de macrófitas avaliadas no presente estudo responderam em sentido espécie-específico (positiva, negativa e indiferente), às simulações de aumento de temperatura relacionados aos cenários de mudanças climáticas do IPCC, corroborando com a primeira hipótese. Porém, conforme os resultados apresentados, os mesmos não permitiram afirmar que existe um padrão de resposta das espécies de macrófitas utilizadas, em relação ao aumento de temperatura previsto pelo IPCC, sendo assim, não foi possível corroborar a segunda hipótese do trabalho. Embora poucos exemplares tenham sido analisados (cinco espécies no total), é importante destacar que mais pesquisas sobre as consequências do aquecimento global e consequentemente seus efeitos, precisam ser feitas com diferentes espécies e com um maior número de vegetais aquáticos, inclusive de macrófitas, para se ter um melhor conhecimento das relações ecofisiológicas destes vegetais com o seu ambiente e as possíveis consequências que os mesmos irão sofrer com as mudanças climáticas globais previstas para o futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAN, J. David; CASTILLO, Marí M. The abiotic environment. In: **Stream Ecology: Structure and function of running waters**. Springer Science & Business Media, p. 94, 2007.
- BAKER, Neil R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 59, p. 89-113, 2008.

BAKER, Neil R.; ROSENQVIST, Eva. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.

BERRY, Joseph; BJORKMAN, Olle. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. **Annual Review of plant physiology**, v. 31, n. 1, p. 491-543, 1980.

BOYER, John S. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, n. 4571, p. 443-448, 1982.

CAMARGO, Antonio F. M.; PEZZATO, Maura M.; HENRY-SILVA, Gustavo G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Maringá: Eduem**, p. 59-83, 2003.

CARTER, Annetta M. Riccia fluitans L.-A composite species. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, p. 33-42, 1935.

CASATI, Paula; LARA, Maria V.; ANDREO, Carlos S. Induction of a C4-Like Mechanism of CO₂ Fixation in *Egeria densa*, a Submersed Aquatic Species. **Plant Physiology**, v. 123, n. 4, p. 1611-1622, 2000.

CESCHIN, Simona *et al.* Aquatic bryophytes as ecological indicators of the water quality status in the Tiber River basin (Italy). **Ecological indicators**, v. 14, n. 1, p. 74-81, 2012.

CHAMBERS, Patricia A.; PREPAS, E. E. Nutrient dynamics in riverbeds: the impact of sewage effluent and aquatic macrophytes. **Water Research**, v. 28, n. 2, p. 453-464, 1994.

CHAMBERS, Patricia A. *et al.* Management issues in aquatic macrophyte ecology: a Canadian perspective. **Canadian Journal of Botany**, v. 77, n. 4, p. 471-487, 1999.

CHAMBERS, Patricia A. *et al.* Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, n. 1, p. 9-26, 2008.

COLLINS, Matthew *et al.* Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. 2013.

COOK, C. D. K; URMI-KÖNIG, Katharina. A revision of the genus *Egeria* (Hydrocharitaceae). **Aquatic Botany**, v. 19, n. 1-2, p. 73-96, 1984.

CRUZ, Armando J. Urquiola. The Mayacaceae in Cuba. In: **Anales del Jardín Botánico de Madrid**, p. 325-329, 2000.

DANTAS, Mônica R. **Taxa fotossintética de *Egeria densa* em ambientes aquáticos da Mata Atlântica e da Caatinga**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

DEMMIG-ADAMS, B. *et al.* Xanthophyll cycle-dependent energy dissipation and flexible photosystem II efficiency in plants acclimated to light stress. **Functional Plant Biology**, v. 22, n. 2, p. 249-260, 1995.

DEMMIG-ADAMS, Barbara *et al.* Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. **Physiologia Plantarum**, v. 98, n. 2, p. 253-264, 1996.

DENICOLA, M.; HOAGLAND, Kyle D.; ROEMER, Stephen C. Influences of canopy cover on spectral irradiance and periphyton assemblages in a prairie stream. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 11, n. 4, p. 391-404, 1992.

DIBBLE, Eric D.; KILLGORE, K. Jack; HARREL, Sherry L. **Assessment of fish-plant interactions**. ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION VICKSBURG MS ENVIRONMENTAL LAB, 1997.

DIBBLE, Eric D.; THOMAZ, Sidinei M.; PADIAL, André A. Spatial complexity measured at a multi-scale in three aquatic plant species. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 21, n. 2, p. 239-247, 2006.

ENGELHARDT, Katharina AM; RITCHIE, Mark E. Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services. **Nature**, v. 411, n. 6838, p. 687-689, 2001.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GENTY, Bernard; BRIANTAIS, Jean-Marie; BAKER, Neil R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, v. 990, n. 1, p. 87-92, 1989.

HAMMER, Øyvind; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST:Palaeontological statistics software, ver. 3.16. **Paleontological Museum, University of Oslo, Noruega**. (Disponível em: <http://folk.uio.no/ohammer/past/index.html>), 2008.

HAVAUX, iM. Rapid photosynthetic adaptation to heat stress triggered in potato leaves by moderately elevated temperatures. **Plant, Cell & Environment**, v. 16, n. 4, p. 461-467, 1993.

HUGHES, Lesley. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?. **Trends in ecology & evolution**, v. 15, n. 2, p. 56-61, 2000.

KATO, Masaharu C. *et al.* The excess light energy that is neither utilized in photosynthesis nor dissipated by photoprotective mechanisms determines the rate of

photoinactivation in photosystem II. **Plant and Cell Physiology**, v. 44, n. 3, p. 318-325, 2003.

LARA, María V.; CASATI, Paula; ANDREO, Carlos S. CO₂-concentrating mechanisms in *Egeria densa*, a submersed aquatic plant. **Physiologia Plantarum**, v. 115, n. 4, p. 487-495, 2002.

LITTLER, M. M; ARNOLD, K.E. Electrodes and Chemicals. In: Stein, J.R. et al. **Handbook of Phycological Methods**. Cambridge University Press, United Kingdom, 1985.

MADSEN, Tom V.; SAND-JENSEN, Kaj. Photosynthetic carbon assimilation in aquatic macrophytes. **Aquatic Botany**, v. 41, n. 1-3, p. 5-40, 1991.

MALHEIRO, Ana Carlota Eusebio; JAHNS, Peter; HUSSNER, Andreas. CO₂ availability rather than light and temperature determines growth and phenotypical responses in submerged *Myriophyllum aquaticum*. **Aquatic botany**, v. 110, p. 31-37, 2013.

MANN, Michael E.; BRADLEY, Raymond S.; HUGHES, Malcolm K. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. **Nature**, v. 392, n. 6678, p. 779-787, 1998.

MANN, Michael E.; BRADLEY, Raymond S.; HUGHES, Malcolm K. Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. **Geophysical research letters**, v. 26, n. 6, p. 759-762, 1999.

MULHOLLAND, Patrick J. *et al.* Effects of climate change on freshwater ecosystems of the south-eastern United States and the Gulf Coast of Mexico. **Hydrological Processes**, v. 11, n. 8, p. 949-970, 1997.

NECCHI JR, O.; BRANCO, L. H. Z.; BRANCO, C. C. Z. Análise nictimeral e sazonal de algumas variáveis limnológicas em um riacho no noroeste do Estado de São Paulo. **Acta Limnol. Bras., São Carlos**, v. 8, n. 1, p. 169-182, 1996.

NORDHAUS, William D. Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 26, p. 11721-11726, 2010.

PEZZATO, Maura M.; CAMARGO, Antonio 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.

PEZZATO, Maura M. **Macrófitas aquáticas submersas: fotossíntese, crescimento e variáveis abióticas da água**. Tese de Doutorado. 2007. Universidade Federal de São Carlos.

RENNIE, Michael D.; JACKSON, Leland J. The influence of habitat complexity on littoral invertebrate distributions: patterns differ in shallow prairie lakes with and without fish. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 62, n. 9, p. 2088-2099, 2005.

SALA, Osvaldo E. *et al.* Global biodiversity scenarios for the year 2100. **science**, v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, 2000.

SAND-JENSEN, Kaj. Environmental variables and their effect on photosynthesis of aquatic plant communities. **Aquatic Botany**, v. 34, n. 1-3, p. 5-25, 1989.

SCOTT, ANDREW JHON; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, p. 507-512, 1974.

SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SCHREIBER, U. B. W. N.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: **Ecophysiology of photosynthesis**. Springer Berlin Heidelberg, p. 49-70, 1995.

SMILLIE, Robert M.; NOTT, R. Heat injury in leaves of alpine, temperate and tropical plants. **Functional Plant Biology**, v. 6, n. 1, p. 135-141, 1979.

SOLOMON, Susan (Ed.). **Climate change 2007-The physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC.** Cambridge University Press, 2007.

STOCKER, Thomas (Ed.). **Climate change 2013: The physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, 2014.

THEODORSSON-NORHEIM, Elvar. Kruskal-Wallis test: BASIC computer program to perform nonparametric one-way analysis of variance and multiple comparisons on ranks of several independent samples. **Computer methods and programs in biomedicine**, v. 23, n. 1, p. 57-62, 1986.

THIÉBAUT, Gabrielle; GILLARD, Morgane; DELEU, Carole. Growth, regeneration and colonisation of *Egeria densa* fragments: the effect of autumn temperature increases. **Aquatic ecology**, v. 50, n. 2, p. 175-185, 2016.

THOMAS, M. L. H. Photosynthesis and respiration of aquatic macro-flora using the light and dark bottle oxygen method and dissolved oxygen analyzer. **Experimental phycology: A laboratory manual**, p. 64-77, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.

YIN, Yan *et al.* Photosystem II photochemistry, photoinhibition, and the xanthophyll cycle in heat-stressed rice leaves. **Journal of plant physiology**, v. 167, n. 12, p. 959-966, 2010.

WATANABE, Makoto M. Freshwater Culture. In: ANDERSEN, Robert A. (Ed.). **Algal culturing techniques**. Academic press, p.13, 2005.

WERSAL, Ryan Michael. **The conceptual ecology and management of parrotfeather [*Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc.]**. Mississippi State University, 2010.

WETZEL, Robert G.; BOAVIDA, Maria J. L. **Limnologia**. Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.

WETZEL, Robert G.; LIKENS, G. **Limnological analysis**. Springer Science & Business Media, 2013.

TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Localização dos riachos da microbacia do cervo onde foram mensuradas as temperaturas durante o verão e inverno.

Riacho	Coordenadas Geográficas	Temperaturas	Temperaturas
		Verão	Inverno
1	22° 38' 37.6" S e 50° 21' 56.2" O	23,79°C	21,76°C
2	22° 38' 32.6" S e 50° 20' 29.2" O	23,16°C	21,35°C
3	22° 38' 18.1" S e 50° 19' 10.6" O	22,62°C	20,7°C
4	22° 38' 08.6" S e 50° 12' 03.0" O	21,94°C	18,56°C
5	22° 38' 28.1" S e 50° 12' 10.7" O	20,35°C	18,92°C
6	22° 38' 40.2" S e 50° 27' 46.5" O	24,49°C	23,38°C
Média		22,73°C	20,78°C
Valor utilizado no controle		22,8°C	20,8°C

Tabela 2. Lista das espécies coletadas com indicação das coordenadas geográficas e classe de sombreamento (DENICOLA *et al.*, 1992) dos riachos onde foram coletados.

Espécie	Coordenadas Geográficas	Classe de Sombreamento
Magnoliófitas		
<i>Egeria densa</i> Planch	22° 45' 25.8" S e 50° 31' 37.2" O	Aberto
<i>Mayaca sellowiana</i> Kunth	22° 34' 28.8" S e 50° 25' 06.2" O	Aberto
<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.	22° 34' 28.8" S e 50° 25' 06.2" O	Aberto
Briófitas		
<i>Fissidens</i> sp.	22° 38' 18" S e 50° 29' 1" O	Sombreado
Hepatófitas		
<i>Riccia</i> sp.	22° 40' 08.7" S e 50° 28' 53.8" O	Parcialmente Sombreado

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA), considerando os parâmetros da fluorescência da clorofila a (Φ PSII; D; E) como variáveis dependentes, e os cenários experimentais de inverno e verão como covariáveis.

Espécies	Cenários	Φ PSII		D		E	
		<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>Egeria densa</i> Planch	Inverno	2,64	0,09	0,43	0,66	2,28	0,13
	Verão	0,26	0,77	0,09	0,91	0,13	0,88
<i>Mayaca sellowiana</i> Kunth	Inverno	4,95	<0,05	10,0	<0,01	15,99	<0,01
	Verão	0,45	0,65	11,97	<0,01	13,09	<0,01
<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.	Inverno	1,13	0,34	0,69	0,51	2,05	0,36
	Verão	9,71	<0,01	2,87	0,08	6,77	<0,05
<i>Riccia</i> sp.	Inverno	1,39	0,27	3,08	0,06	8,84	<0,05
	Verão	0,65	0,53	6,80	<0,05	6,12	<0,05
<i>Fissidens</i> sp.	Inverno	10,33	<0,01	0,49	0,62	4,53	<0,05
	Verão	3,79	0,15	0,71	0,50	1,92	0,17

* Para dados não paramétricos foi realizada a Análise de Variância de Kruskal-Wallis.

Φ PSII: Rendimento quântico efetivo do fotossistema II

D: Dissipação de calor no complexo antena do PSII

E: Dissipação de calor pelo centro de reação do PSII

Tabela 4. Análise de variância (ANOVA), considerando a fotossíntese líquida “Foto” ($\text{mgO}_2.\text{g}^{-1}\text{PS}.\text{h}^{-1}$), respiração no escuro “Resp” ($\text{mgO}_2.\text{g}^{-1}\text{PS}.\text{h}^{-1}$) e concentração de clorofila a “Clor” ($\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}\text{PS}$) como variáveis dependentes, e os cenários experimentais de inverno e verão como covariáveis.

Espécies	Cenários	Foto		Resp		Clor	
		<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>Egeria densa</i> Planch	Inverno	6,93	<0,05	1,12	0,36	3,85	0,15
	Verão	9,42	<0,01	1,44	0,27	0,42	0,81
<i>Mayaca sellowiana</i> Kunth	Inverno	0,14	0,93	2,99	0,09	3,3	0,19
	Verão	1,42	0,49	1,17	0,34	1,24	0,54
<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.	Inverno	11,95	<0,05	1,83	0,20	1,40	0,50
	Verão	11,03	<0,05	0,87	0,44	0,28	0,87
<i>Riccia</i> sp.	Inverno	6,25	<0,05	0,35	0,71	3,93	0,14
	Verão	7,90	<0,05	3,86	0,14	1,74	0,42
<i>Fissidens</i> sp.	Inverno	0,74	0,49	4,1	0,13	0,48	0,79
	Verão	0,37	0,69	0,22	0,89	5,97	<0,05

* Para dados não paramétricos foi realizada a Análise de Variância de Kruskal-Wallis.

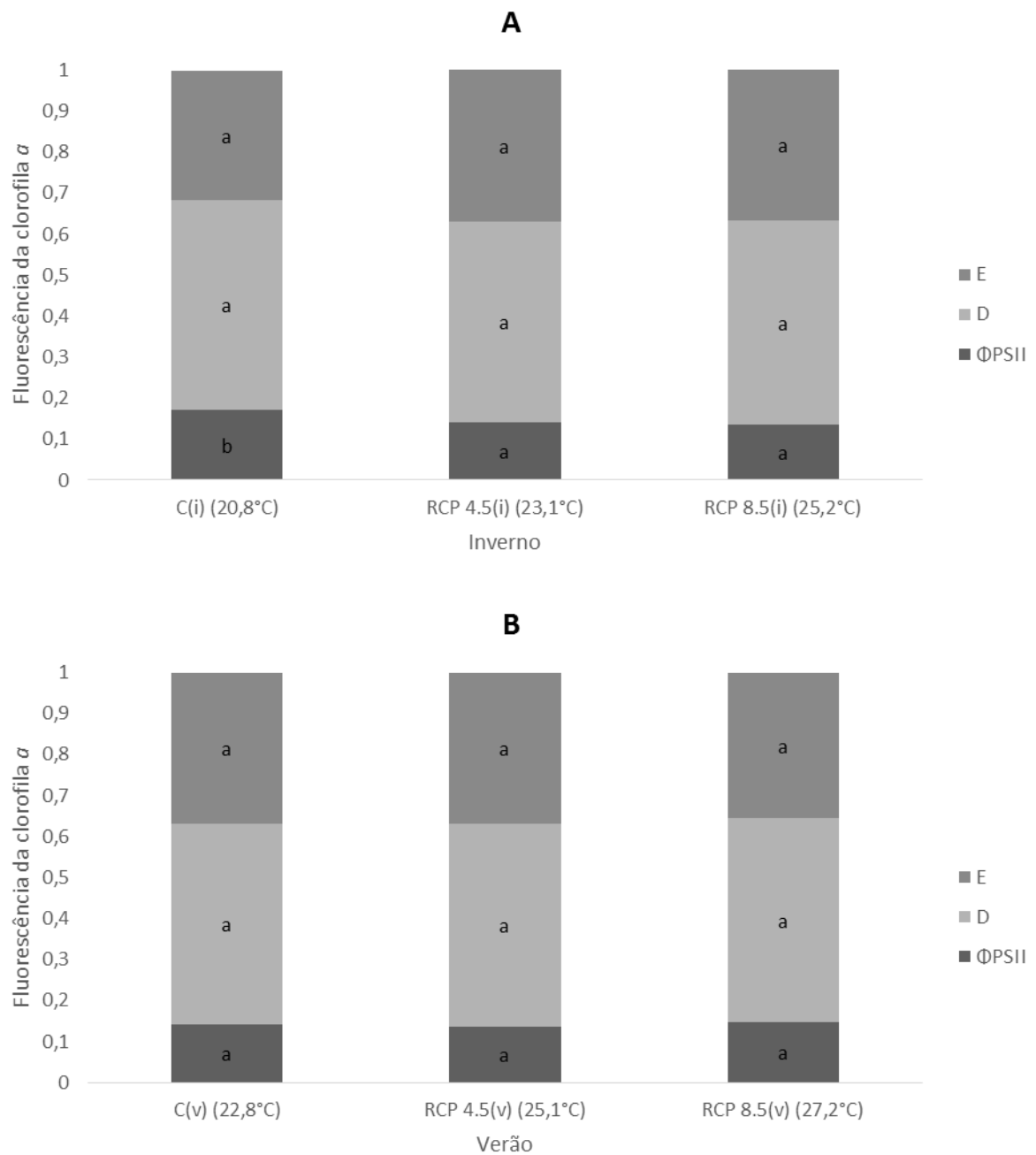


Figura 1. Quantidade de luz utilizada na etapa fotoquímica (Φ PSII = cinza escuro) e dissipada (D = cinza claro; E = cinza) na fotossíntese pela espécie *Egeria densa* Planch avaliada pela fluorescência da clorofila *a* nos cenários experimentais de inverno (A) e verão (B). Letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.

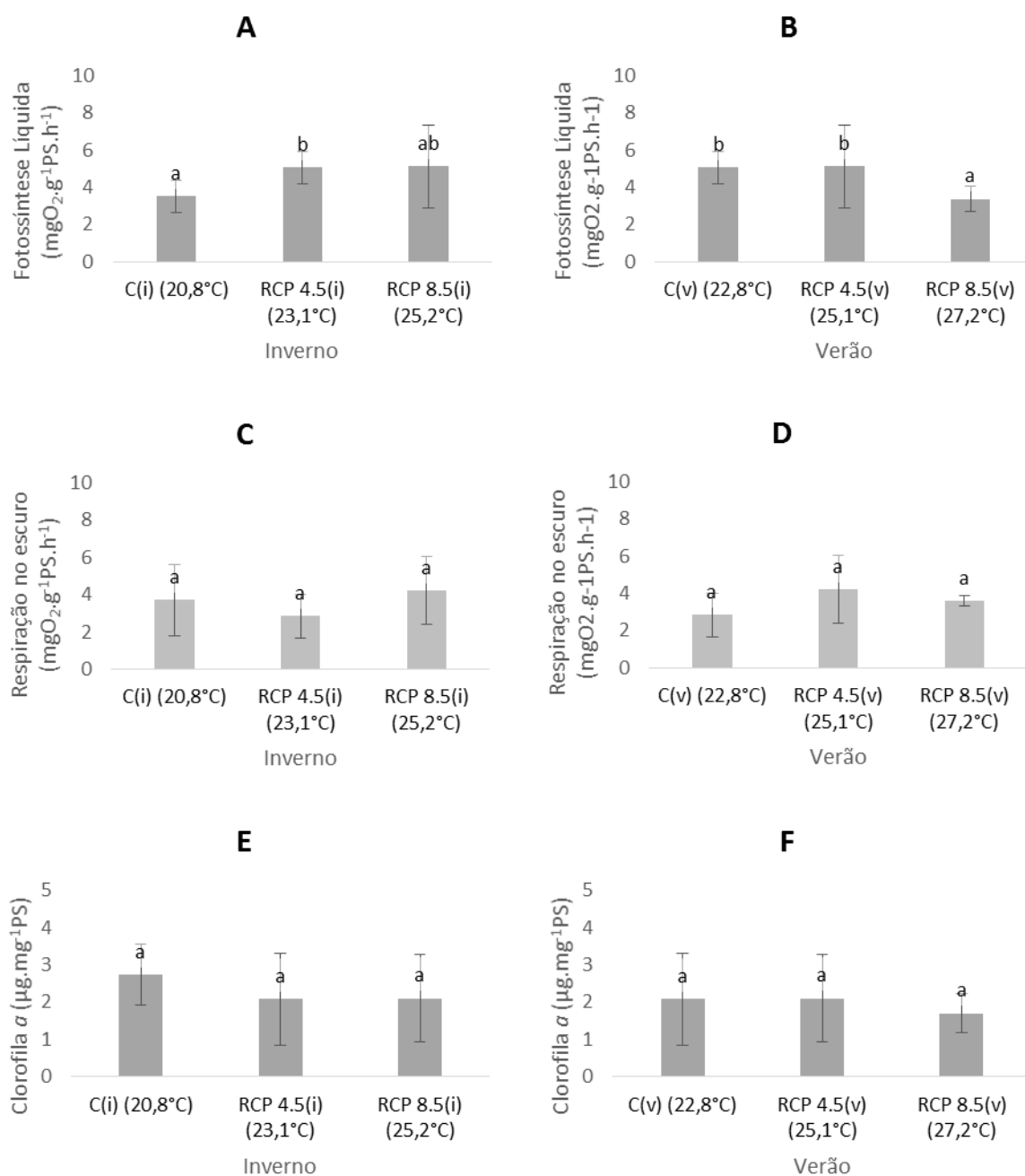


Figura 2. Médias e desvio padrão dos parâmetros fotossintéticos de *Egeria densa* Planch nos cenários experimentais de inverno e verão. Figuras (A e B) = Fotossíntese líquida ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); Figuras (C e D) = Respiração no escuro ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); Figuras (E e F) = Concentração de Clorofila a ($\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \text{PS}$). Médias seguidas de letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.

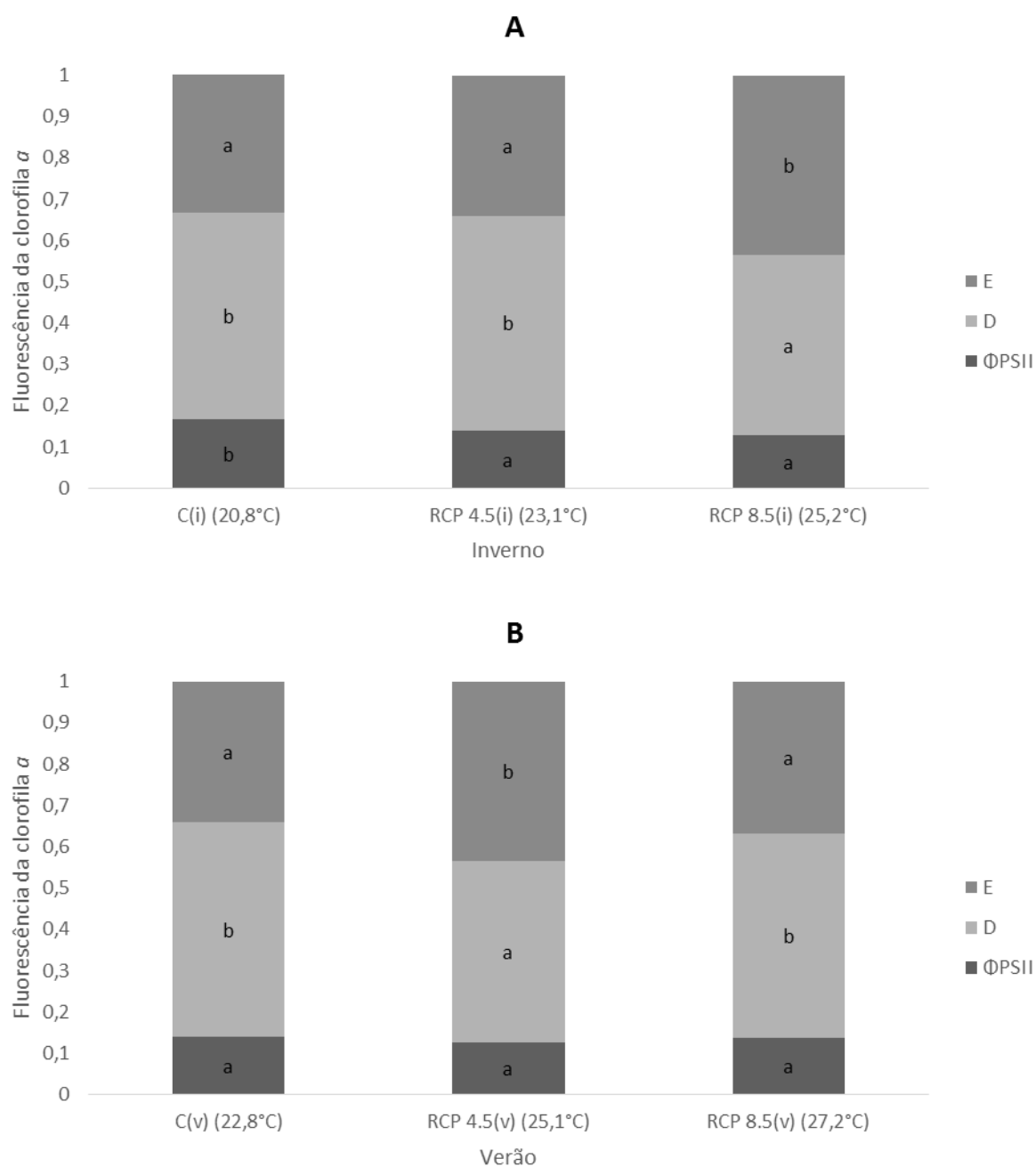


Figura 3. Quantidade de luz utilizada na etapa fotoquímica (Φ PSII = cinza escuro) e dissipada (D = cinza claro; E = cinza) na fotossíntese pela espécie *Mayaca sellowiana* Kunth avaliada pela fluorescência da clorofila *a* nos cenários experimentais de inverno (A) e verão (B). Letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.

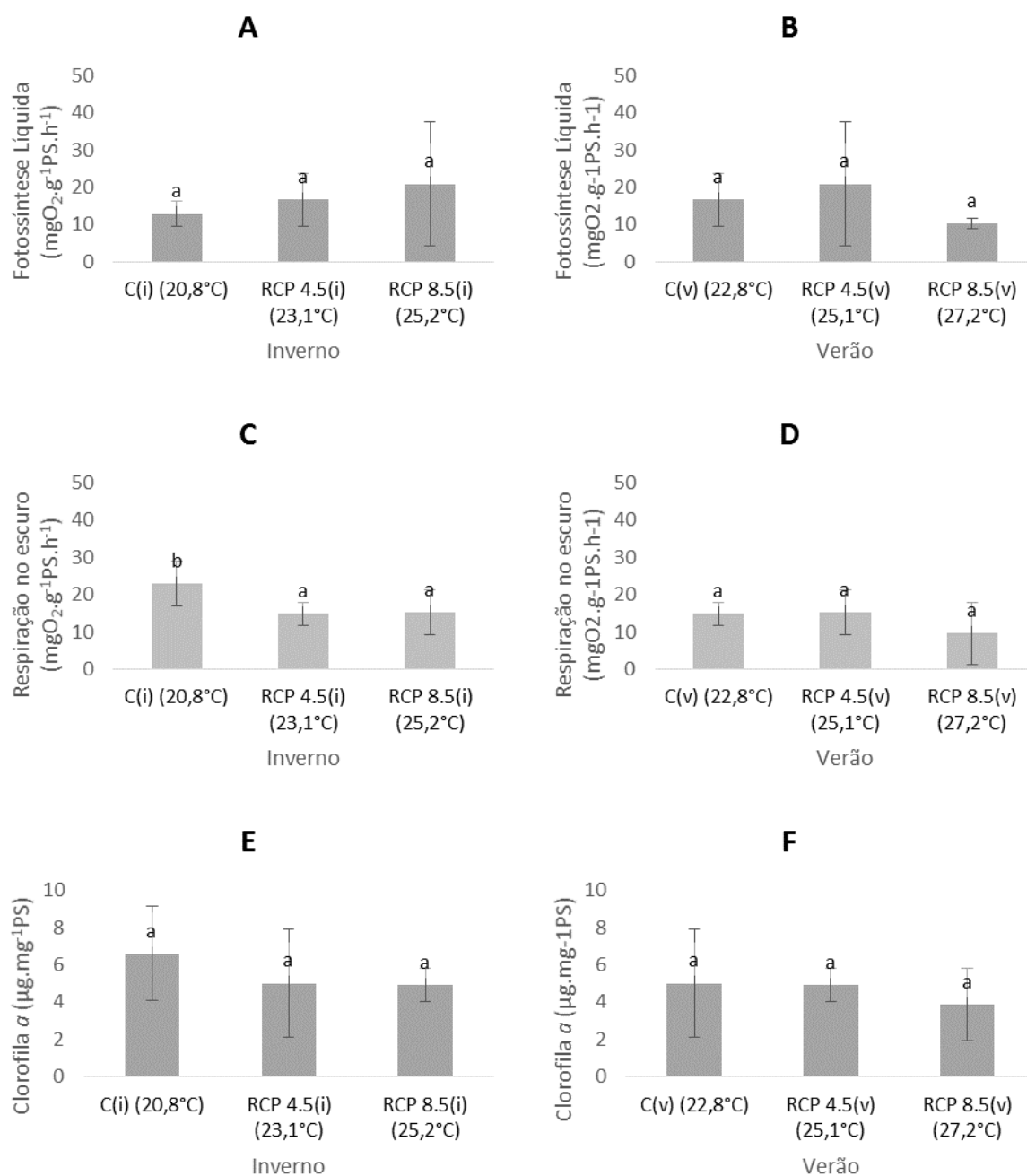


Figura 4. Médias e desvio padrão dos parâmetros fotossintéticos de para *Mayaca sellowiana* Kunth nos cenários experimentais de inverno e verão. Figuras: (A e B) = Fotossíntese líquida ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); Figuras (C e D) = Respiração no escuro ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); Figuras (E e F) = Concentração de Clorofila a ($\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \text{PS}$). Médias seguidas de letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.

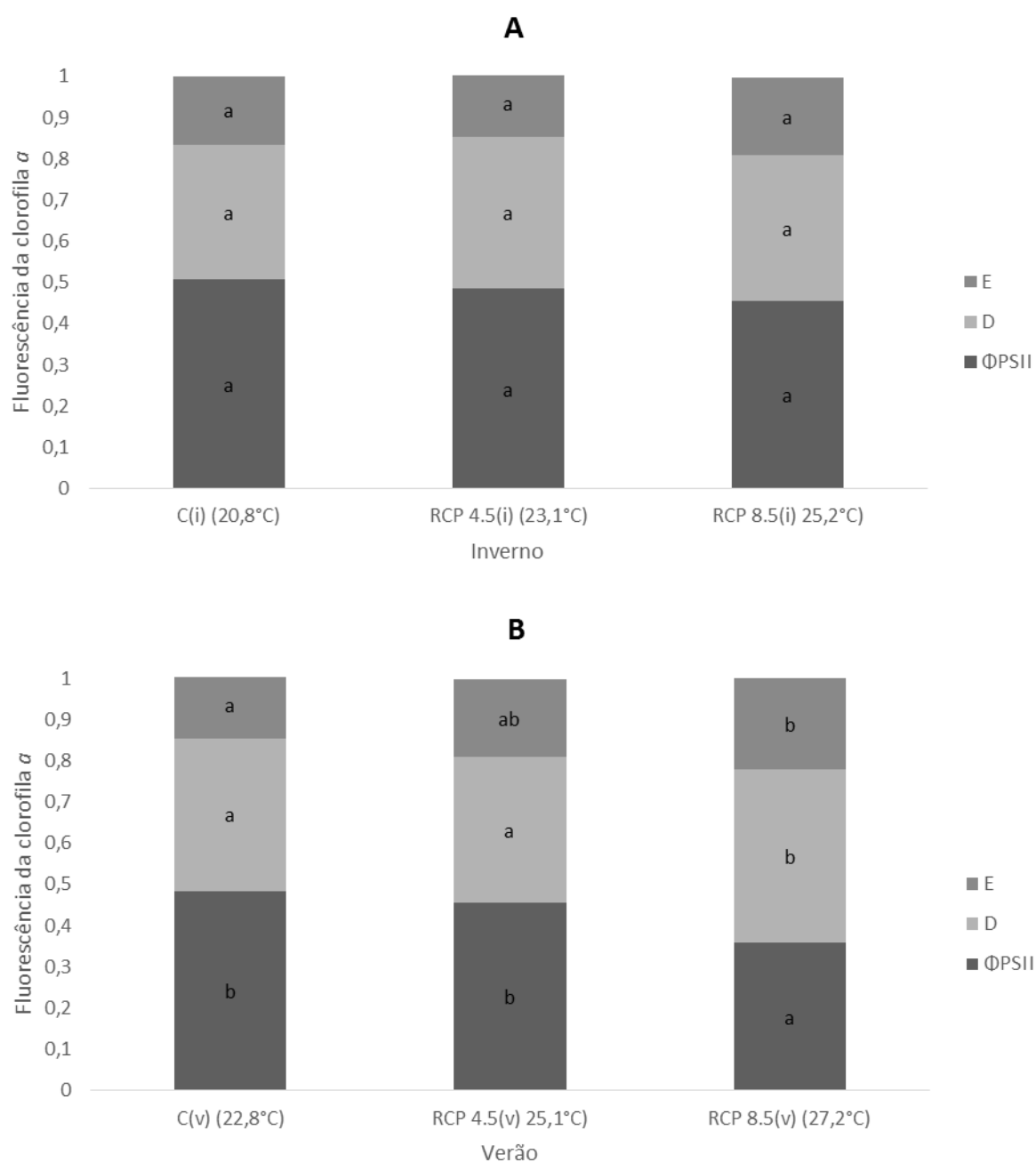


Figura 5. Quantidade de luz utilizada na etapa fotoquímica (Φ PSII = cinza escuro) e dissipada (D = cinza claro; E = cinza) na fotossíntese pela espécie *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. avaliada pela fluorescência da clorofila *a* nos cenários experimentais de inverno (A) e verão (B). Letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.

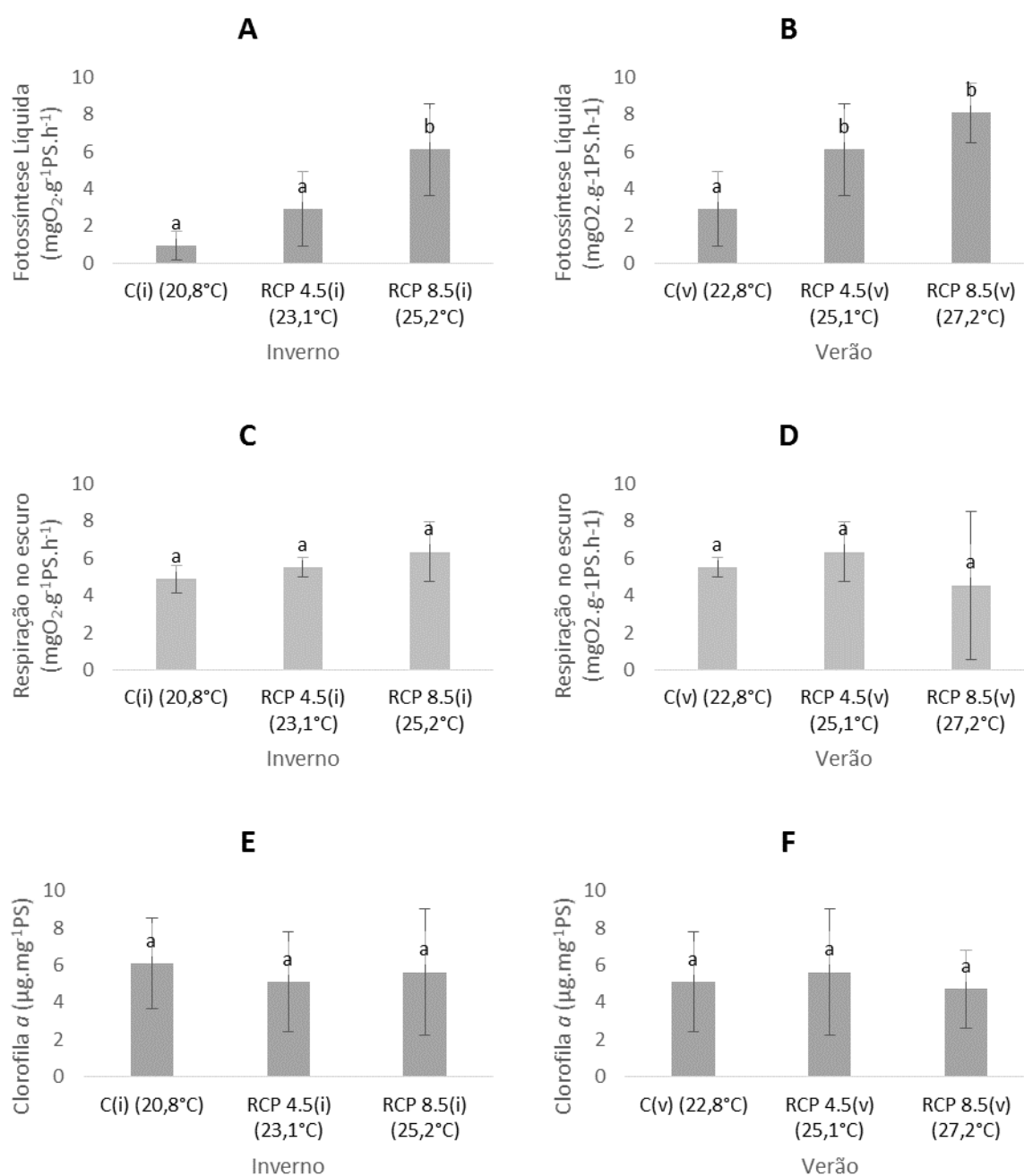


Figura 6. Médias e desvio padrão dos parâmetros fotossintéticos de para *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. nos cenários experimentais de inverno e verão. Figuras (A e B) = Fotossíntese líquida ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); Figuras (C e D) = Respiração no escuro ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); Figuras (E e F) = Concentração de Clorofila a ($\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \text{PS}$). Médias seguidas de letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.

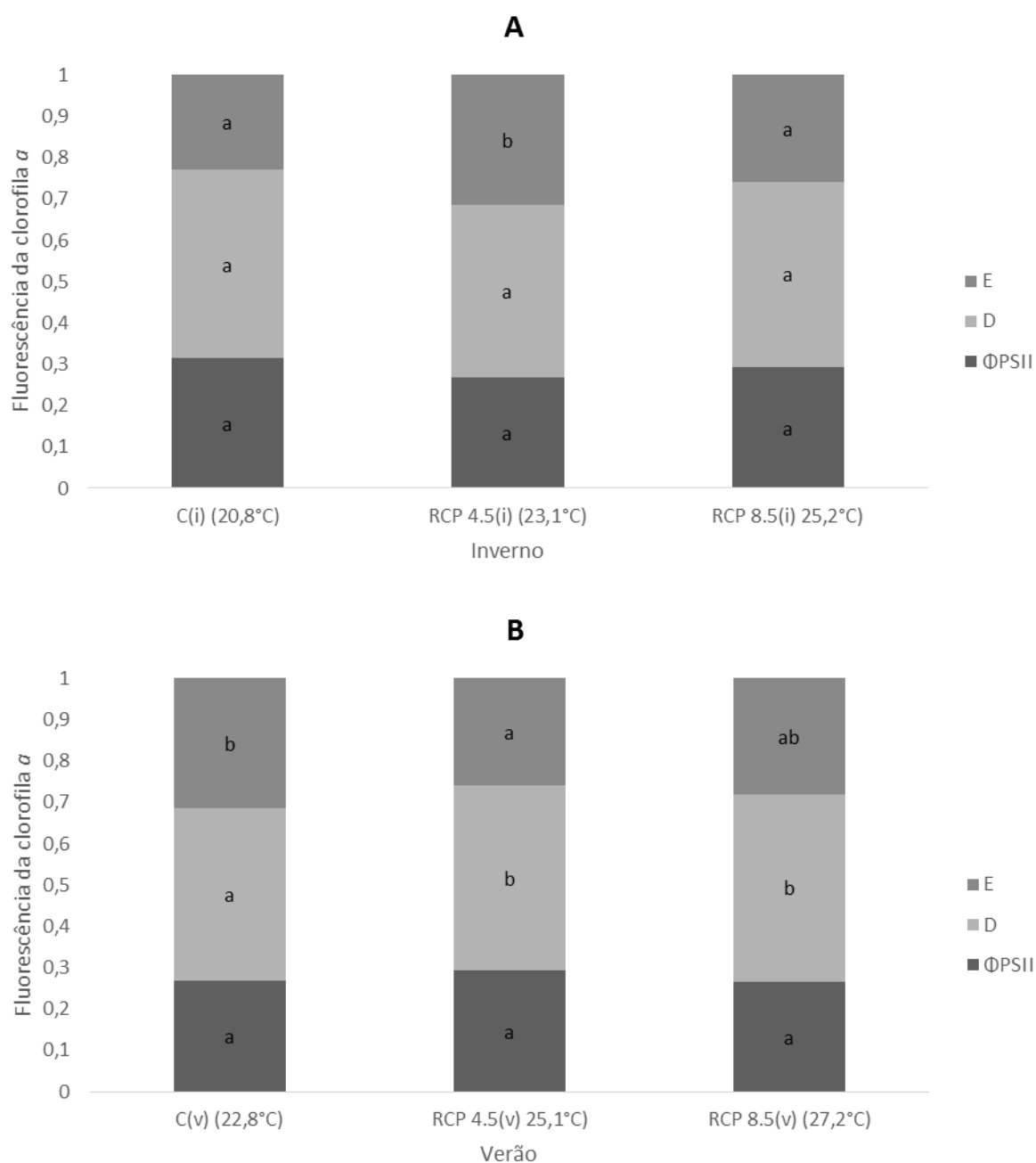


Figura 7. Quantidade de luz utilizada na etapa fotoquímica (ΦPSII = cinza escuro) e dissipada (D = cinza claro; E = cinza) na fotossíntese pela espécie *Riccia* sp. avaliada pela fluorescência da clorofila *a* nos cenários experimentais de inverno (A) e verão (B). Letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.

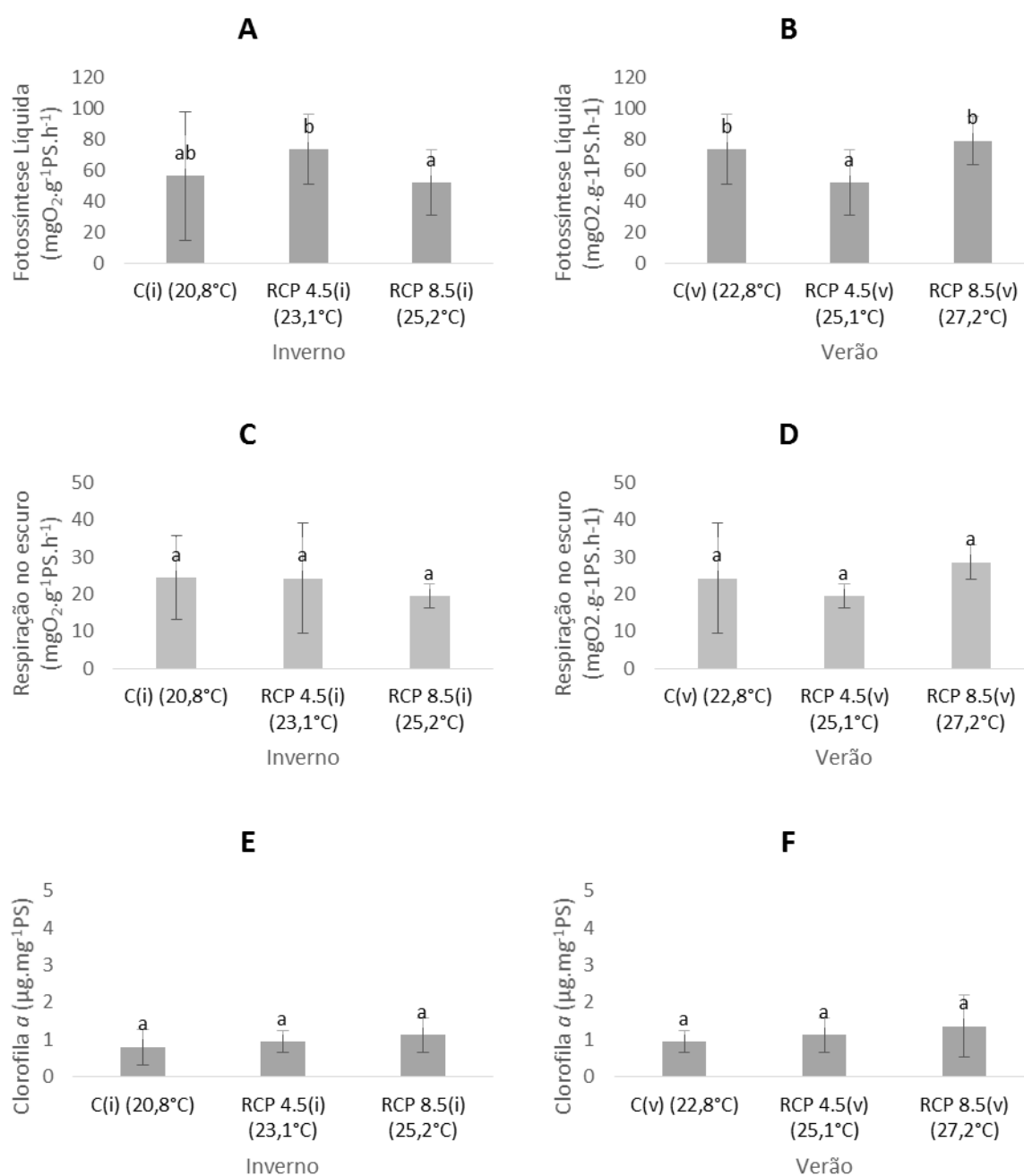


Figura 8. Médias e desvio padrão dos parâmetros fotossintéticos de *Riccia* sp. nos cenários experimentais de inverno e verão. Figuras (A e B) = Fotossíntese líquida ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); Figuras (C e D) = Respiração no escuro ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); Figuras (E e F) = Concentração de Clorofila a ($\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \text{PS}$). Médias seguidas de letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.

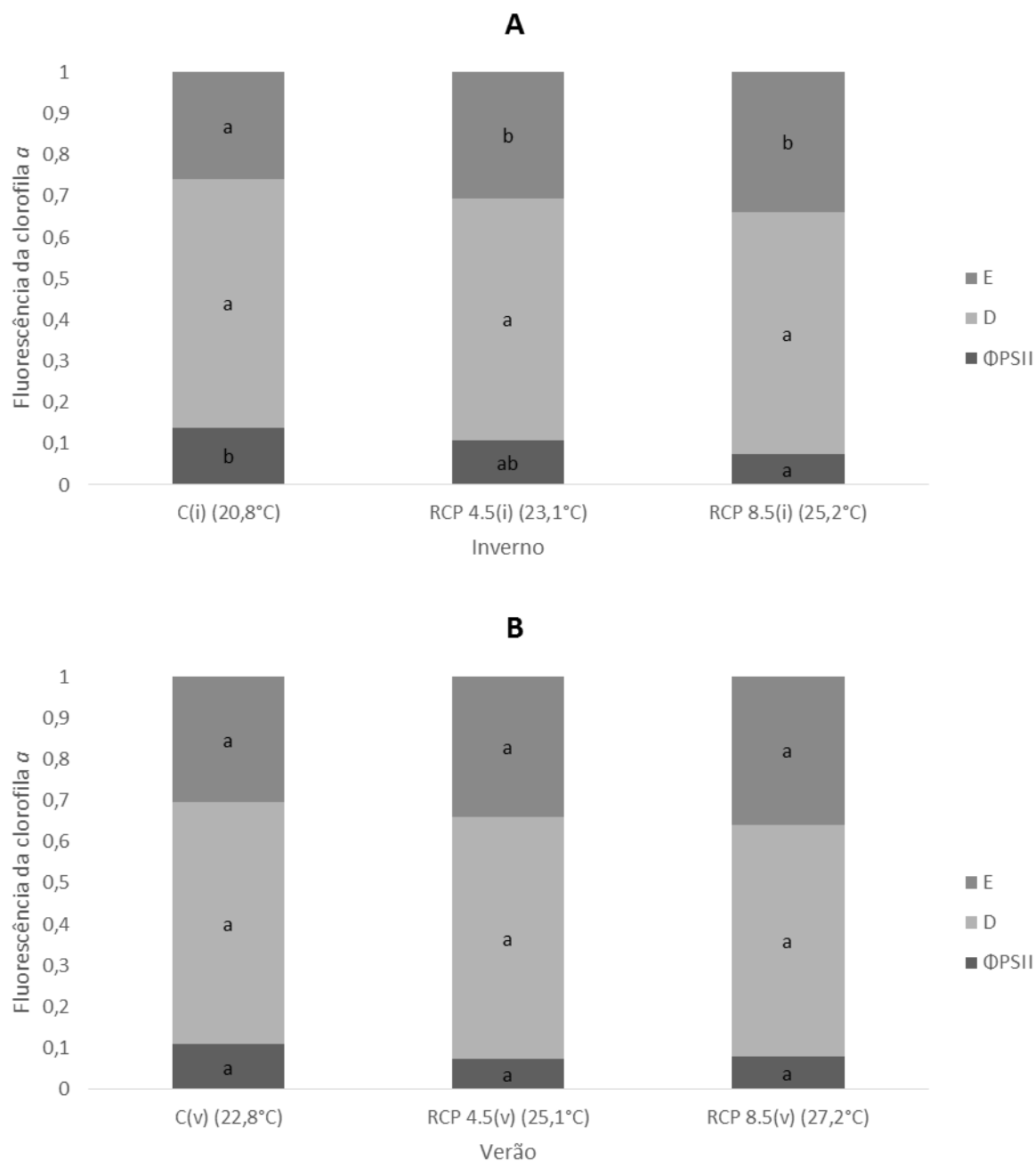


Figura 9. Quantidade de luz utilizada na etapa fotoquímica (ΦPSII = cinza escuro) e dissipada (D = cinza claro; E = cinza) na fotossíntese pela espécie *Fissidens* sp. avaliada pela fluorescência da clorofila a nos cenários experimentais de inverno (A) e verão (B). Letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.

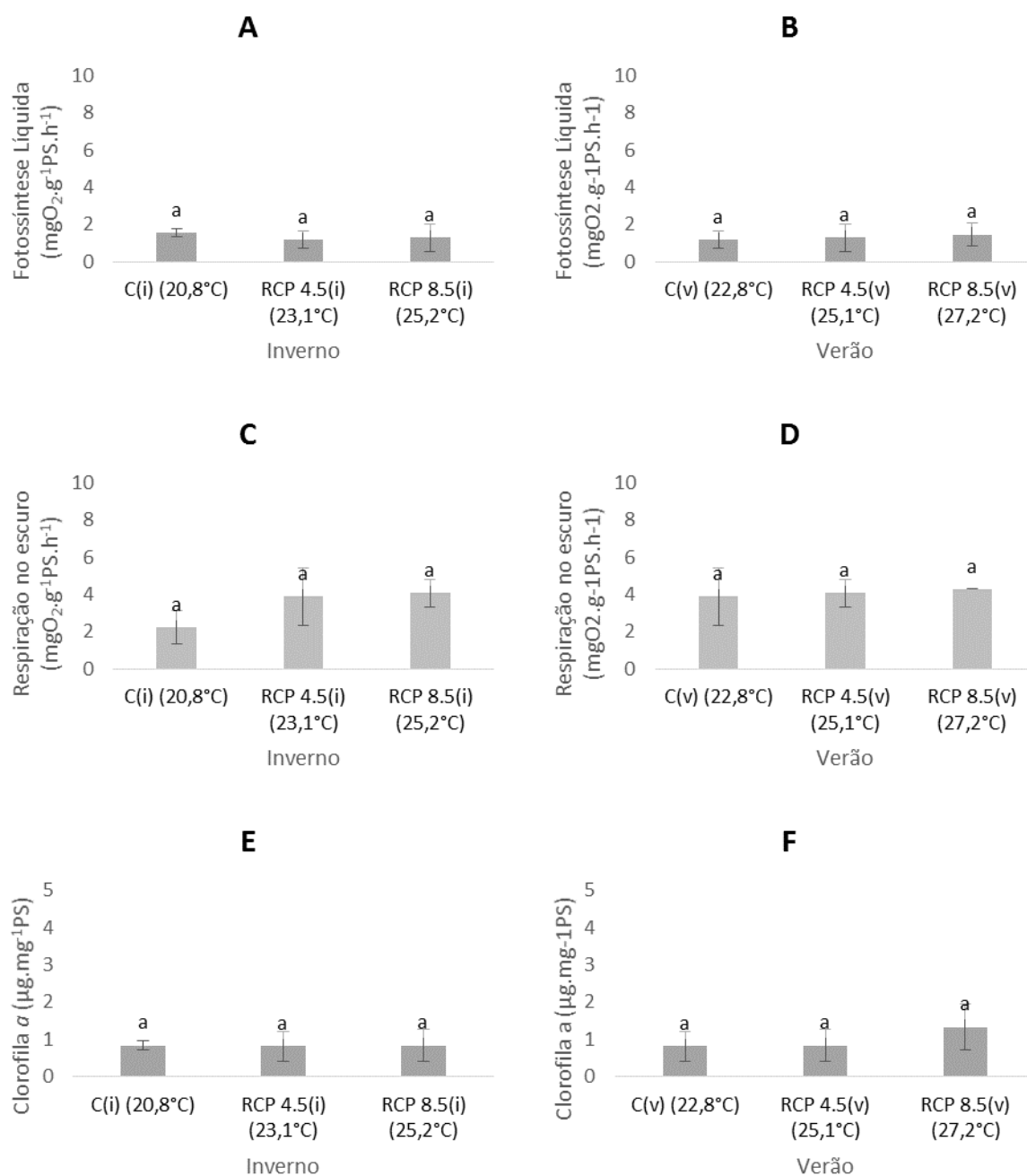


Figura 10. Médias e desvio padrão dos parâmetros fotossintéticos de *Fissidens* sp. nos cenários experimentais de inverno e verão. Figuras: (A e B) = Fotossíntese líquida ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); (C e D) = Respiração no escuro ($\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{PS} \cdot \text{h}^{-1}$); Figuras (E e F) = Concentração de Clorofila a ($\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \text{PS}$). Médias seguidas de letras iguais indicam diferenças estatísticas não significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis e Scott-Knott.