

**Universidade Estadual de Goiás**  
**Câmpus de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo**  
**Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação**  
**Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do**  
**Cerrado**

MEIRIELLE EURIPA PÁDUA DE MOURA

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUTIVIDADE**  
**PRIMÁRIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS TROPICAIS: UM ESTUDO**  
**EM MICROCOSMO**

Anápolis  
2015

MEIRIELLE EURIPA PÁDUA DE MOURA

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUTIVIDADE  
PRIMÁRIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS TROPICAIS: UM ESTUDO  
EM MICROCOSMO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Nabout

Anápolis  
2015

MEIRIELLE EURIPA PÁDUA DE MOURA

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA  
PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA DE AMBIENTES  
AQUÁTICOS TROPICAIS: UM ESTUDO EM  
MICROCOSMO

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos  
Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás,  
para a obtenção do grau de Mestre, aprovada em 20 de novembro de 2015, pela  
Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



**Prof. Dr. João Carlos Nabout**  
Presidente da Banca  
Universidade Estadual de Goiás



**Prof. Dr. Ludgero Cardoso Galli Vieira**  
Membro externo  
Universidade de Brasília



**Prof. Dr.ª Fernanda Melo Carneiro**  
Membro interno  
Universidade Estadual de Goiás

À Deus

## Agradecimento

NÓS VENCEMOS!

Sim nós, porque não lutei sozinha. Pelo contrário, contei com a ajuda e o apoio de uma porção de pessoas especiais em minha vida. Poderia citar uma lista grande de nomes, mas para resumir, colocarei apenas, ANJOS. Sim meus anjos aqui na terra, disfarçados de família e amigos. A vocês que me ajudaram com o que podiam (apoio, carinho, incentivo, amparo...) eu dedico a minha mais nova vitória “MESTRE”.

Sim! Finalmente, MESTRE!

Mas, tenho que contar um segredo. O mérito maior não foi meu e sim de Deus. Que renovava minhas forças a cada novo obstáculo. Minhas energias a cada viagem, seguida de um plantão de 24 horas no meu trabalho e depois uma nova viagem. Que secou cada lágrima que insistia em cair depois de uma decepção e me presenteava com um novo sorriso. Meu Papai do Céu, obrigada por tudo em minha vida.

Estendo este agradecimento ao professor doutor João Carlos Nabout que me orientou durante esses dois anos. Muito obrigada João! Suas preciosas orientações foram essenciais para essa conquista e também para minha vida profissional. São ensinamentos que irão me acompanhar ao longo de toda vida.

Aos colegas de laboratório e do Renac, em especial: Leciana, Karine, Dianne, Hasley e Marcos. Sou muito grata a vocês por todo carinho e ajuda nessa jornada.

A Universidade Estadual de Goiás pela bolsa *Stricto Sensu* a aluna Meirielle e ao CNPq pela bolsa PIBIC concedida aluna Lorraine. Esse projeto teve o apoio financeiro da FAPEG (processo 201210267001071) e CAPES (auxpe 2013/2013).

O caminho até o topo do monte pode ser desgastante, demorado, arriscado, difícil e, em alguns momentos, aterrorizador. No entanto, vou te pedir uma coisa do fundo do meu coração: não vá desistir agora. Carregue só o que importa, nada de pesos desnecessários. Tenha fé e confiança em si mesmo. [...] Quando você chegar lá em cima, você descobrirá que a graça de tudo estava nas histórias que você viveu, nas pessoas que você conheceu, nos tombos que levou, nos desafios que enfrentou e em tudo o que você descobriu sobre si mesmo ao longo da jornada.

É na travessia que a mágica acontece

Autor desconhecido

## SUMÁRIO

Resumo.....	08
Abstract.....	09
Introdução geral.....	12
Efeito das mudanças climáticas sobre a concentração de clorofila-a em ambientes aquáticos com floração de Cyanobactéria: um estudo em microcosmo.....	16
Resumo.....	16
Abstract.....	17
Introdução.....	18
Metodologia.....	20
Resultados.....	23
Discussão.....	25
Conclusão.....	26
Referências.....	28

## Resumo

Os relatórios de circulação global do IPCC (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas) preveem que as mudanças climáticas registradas atualmente alterarão a frequência da precipitação e a temperatura da Terra em cenários climáticos futuros. Resultando em ambientes aquáticos modificações na biodiversidade e limnológicas. Assim a clorofila torna-se uma forma rápida e segura de averiguar essas possíveis alterações. Esse trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da frequência da precipitação, da temperatura e do tempo, considerando cenários futuros de mudanças climáticas globais sobre a concentração de clorofila-*a* em um microcosmo. Para o experimento foi obtido água de um reservatório paisagístico eutrofizado com floração de cianobactéria filamentosa (*Geitlerinema amphibium*) e distribuídos em 40 béqueres (microcosmo). O experimento foi conduzido durante quinze dias e foram consideradas duas variáveis: precipitação e temperatura. A variável precipitação foi submetida a quatro níveis: (ausência de precipitação, precipitação homogênea, e dois tipos de precipitação concentrada. Para a temperatura, os béqueres foram submetidos a dois níveis: temperatura climática atual (22°C) e futura (25°C), e com medidas repetidas (três ciclos de cinco dias cada). A diferença entre os tratamentos foi conferida utilizando um teste de Análise de Variância Fatorial para medidas repetidas (ANOVA). A precipitação não alterou significativamente as concentrações de clorofila-*a*, ( $F = 1,198$ ;  $P = 0,326$ ), por outro lado a temperatura promoveu aumento na concentração de clorofila-*a* ( $F = 10,343$ ;  $P = 0,002$ ). Portanto, a partir destas evidências espera-se que em cenários futuros de mudanças climáticas, haverá um aumento da produtividade primária em ambientes eutrofizados, a partir de alterações na temperatura. Com isso, aumentar a duração do período de floração das cianobactérias. Esse fenômeno pode comprometer a integridade dos ambientes naturais e requer medidas que visem evitar o lançamento de nutrientes nos recursos hídricos, como o tratamento dos resíduos antes de atingirem os corpos d'água.

**Palavras-chaves:** IPCC, clorofila, temperatura, precipitação concentrada.

## Abstract

The global circulation of reports of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) predict that climate change will alter the frequency currently registered in precipitation and temperature in the Earth's future climate scenarios. Resulting in aquatic environments changes in biodiversity and limnological. So chlorophyll becomes a quick and safe way to investigate these possible changes. This study aims to evaluate the effect of frequency of rainfall, temperature and time, considering future scenarios of global climate change on the concentration of chlorophyll-a in a microcosm. For the experiment was obtained water from a reservoir eutrophic landscaped with flowering filamentous cyanobacteria (*Geitlerinema amphibium*) and distributed in 40 beakers (microcosm). The experiment was conducted for two weeks and were considered two variables: precipitation and temperature. The variable rainfall was subjected to four levels: (no precipitation, homogeneous precipitation, and two types of concentrated rainfall to the temperature, the beakers were subjected to two levels. Current climate temperature (22 ° C) and future (25 ° C), and .. repeated measures (three cycles of five days each) The difference between treatments was checked using a Variance Factorial Analysis test for repeated measures (ANOVA) The rainfall did not change significantly the concentrations of chlorophyll-a, ( $F = 1.198$ ;  $P = 0.326$ ), on the other hand the temperature promoted an increase in the concentration of chlorophyll-a ( $F = 10.343$ ;  $P = 0.002$ ) Therefore, from such evidence is expected that in future scenarios of climate change, there will be an increase in productivity primary in eutrophic environments, from changes in temperature. As a result, increase the duration of the cyanobacterial bloom period. This phenomenon can compromise the integrity of natural environments and requires measures to prevent the release of nutrients into waterways, like the treatment of waste before reaching the water bodies.

Keywords: IPCC, chlorophyll, temperature, concentrated rainfall

## Lista de figura

Figura 1 - Floração de <i>Gleiterinema amphibium</i> encontrada no lago paisagístico e utilizada no experimento.....	21
Figura 2 - Representando a montagem do experimento.....	22
Figura 3 - Boxplot representando a concentração de clorofila- <i>a</i> nas duas condições simuladas de temperatura.....	24
Figura 4 - Boxplot representando a concentração de clorofila- <i>a</i> nas quatro condições simuladas de precipitação .....	25
Figura 5 - Boxplot representando a clorofila- <i>a</i> para cada tratamento de temperatura.....	25

**Lista de tabela**

Tabela 1 - Significância estatística dos efeitos dos tratamentos sobre a concentração de clorofila- <i>a</i> considerando a interação da precipitação, da temperatura e do tempo, elucidado por análise de medidas repetidas de variância. Em negrito estão os valores significativos ( $P < 0.05$ ).....	24
---	----

## INTRODUÇÃO GERAL

Mudança climática corresponde as alterações no clima influenciadas pelas atividades humanas através das emissões de gases de efeito estufa (Melo et al. 2008; IPCC 2014). Essas alterações climáticas afetam a distribuição geográfica e características (como os táxon existentes e reorganização de comunidade) dos biomas (Salazar et al. 2007; Taggart e Cross 2009) e da biota (Lasram e Mouillot 2009; Lawler et al. 2009; Brandt 2012).

A partir de um levantamento na base de dados Web of Science utilizando as palavras: “Global change\*” OR “Global climate\* change\*” OR “Global biolog\* change\*” OR “Global Warming” OR “Global Weather Change” (tópico) no período de 1945 a 2014, nós obtivemos um total de 61.919 artigos. Deste total após uma filtragem, para avaliar a tendências de artigos em microcosmos, utilizando a palavra “microcosm” resultando em 142 artigos. Os primeiros trabalhos dessa lista foram publicados na década de 90 (por Magnuson 1991), tratava-se de uma pesquisa sobre peixe e pesca ecológica. No ano seguinte o segundo artigo utilizando microcosmo foi publicado por Strain e Thomas (1992), o foco da pesquisa era o efeito do CO<sub>2</sub> e as mudanças climáticas em ecossistemas naturais. A pesquisa mais citada deste período foi publicada também na década de 90 (Davis et al. 1998). Dos 142 artigos, 52 foram publicados por pesquisadores dos Estados Unidos, 19 da Inglaterra e 16 da China.

Para estudar as questões das mudanças climáticas foi criado em 1988 o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change – IPCC). Esse painel reúne 2500 cientistas de mais de 130 países. O objetivo do IPCC é analisar as informações científicas disponíveis sobre as consequências das mudanças climáticas, apontando principalmente os riscos para o meio ambiente e a humanidade (IPCC 2014). O primeiro relatório de avaliação (AR-1) foi lançado pelo IPCC em 1990 e o último, que corresponde ao quinto relatório de avaliação (AR-5) do IPCC, foi realizado em 2014.

O IPCC é constituído de três grupos de trabalho, todos com tarefas específicas. O grupo I: é responsável pelos aspectos científicos das mudanças climáticas. O grupo II: analisa a fragilidade dos sistemas naturais e socioeconômicos. O grupo III: avalia possível meio de evitar as emissões de gases de efeito estufa. Cada um desses grupos analisa a bibliografia disponível sobre o seu tema específico e sintetiza os resultados em um relatório que futuramente se transformará em um capítulo do relatório final. Em síntese as conclusões obtidas a partir do relatório final publicado em 2014, são que: i) a influencia antrópica sobre o

clima é evidente; ii) o aquecimento global é inequívoco; iii) ficou confirmado o aumento do nível do mar de 19 cm, registrado entre o período de 1901 a 2010; iv) é esperado um aquecimento da temperatura média da superfície; v) a permanência das emissões de gases de efeito estufa resultará em aquecimento maior no futuro.

Para realizar essas projeções de aumento da temperatura para o futuro, o IPCC utiliza os Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCM) (Marengo 2006). Para embasar as projeções realizadas no AR-5, o IPCC utilizou nove AOGCM (Lima-Ribeiro et al. 2015). Todos os AOGCMs realizam projeções para os quatro cenários de RCPs (Representative Concentration Pathways). Esses quatro cenários consideram o histórico de diversos fatores, como a emissão de gases e a concentrações de gases de efeito estufa. Os RCPs são calculados a partir da capacidade de cada cenário de dissipar o calor, variando de baixo (RCP 2.6), dois cenários intermediários (RCP 4.5 e RCP 6.0), e um muito alto (RCP 8.5) (Marengo 2006). Todos esses cenários preveem que se as emissões continuarem na intensidade atual a temperatura média global poderá ter um acréscimo de 4,8°C até 2100 (IPCC 2013). Ainda preveem um aumento na frequência e duração das ondas de calor. Para a precipitação os modelos apontam a presença de eventos extremos (IPCC 2013; Sherwood e Fu 2014).

Para o Brasil o cenário RCP 2.6 prevê o aumento de 0,5°C até 3,0°C entre o período de 2015-2034 (Sampaio 2013). Para o período 2040-2059 pelo RCP 8.5 está previsto um aquecimento de até 4°C (Sampaio 2013). Além de impactos na frequência de chuvas intensas e ventos secos, aumento nas taxas de evaporação e redução na umidade do solo (Marengo et al. 2010). Para a precipitação são esperadas anomalias em todo o país, porém, o volume de precipitação, ainda é incerto (Sampaio 2013). Em relação ao efeito das mudanças climáticas sobre os biomas brasileiros, a maior parte dos modelos indicam que ocorrerá uma substituição da floresta tropical por estacional. Essa alteração está prevista mesmo no cenário mais otimista de mudanças climáticas, ou seja, RCP 2.5 (Sampaio 2013). Está previsto também que até 2040-2059 ocorrerá a substituição da vegetação da caatinga por semi-deserto no cenário RCP 8.5 (Sampaio 2013).

As mudanças climáticas globais, desperta o interesse da comunidade científica desde a década de 70, onde os primeiros trabalhos a este respeito foram publicados (por Kopec 1971) e tinham como finalidade alertar sobre alterações climáticas recentes e suas causas (i.e. atividades antrópicas). Entretanto, somente na década de 90 houve um incremento nas publicações (Nabout et al. 2012a), possivelmente devido ao aumento do interesse dos pesquisadores sobre o tema (Siqueira et al. 2009). Lembrando que nessa década ocorreram

eventos importantes, que aumentaram a visibilidade do tema, como a elaboração do primeiro relatório do IPCC e o ECO-92 que aconteceu no Rio de Janeiro e resultou na elaboração da Agenda 21. Atualmente o foco das pesquisas em ecologia é observar as consequências das alterações climáticas sobre a biodiversidade (Hoegh-Guldberg et al. 2007), distribuição dos organismos (Parmesan e Yohe 2003), funcionamento dos ecossistemas (Jeppesen et al. 2010a).

Contudo, no geral a maioria dos estudos sobre mudanças climáticas é destinada a ambientes terrestres (Siqueira et al. 2009; Nabout et al. 2012a). Em ecossistemas aquáticos continentais, tais como rios, lagos e reservatórios, a quantidade de pesquisas é menor (Siqueira et al. 2009; Roland et al. 2012). Em contra partida esses ambientes estão seriamente ameaçados (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Os recursos hídricos são muito vulneráveis às mudanças climáticas, pois, são isolados e fragmentados fisicamente, além de já sofrerem com a exploração antrópica (Woodward 2009).

Assim os ecossistemas aquáticos estão suscetíveis as mudanças que ocorre no ambiente. O aumento da temperatura do ar representa o acréscimo na temperatura da superfície de lagos e riachos (Nickus et al. 2010; Floury et al. 2012), isso pode ampliar o risco de anóxia nas águas profundas (Nickus et al. 2010). Bem como, comprometer o crescimento e a interação dos organismos (Woodward et al. 2010) e resultar em mudanças na fenologia de espécies aquáticas (i.e. tamanho) e no metabolismo (Daufresne et al. 2009). Essas alterações podem gerar a substituição de espécies (Roland et al. 2012) e/ou afetar a existência de espécies, principalmente daquelas que apresentam limitação para dispersão para outros ambientes (Woodward et al. 2010).

Mudanças nos regimes de chuvas também poderão comprometer os ecossistemas aquáticos (Roland et al. 2012). Os eventos extremos de precipitação poderão modificar os ciclos hidrológicos, como o escoamento do rio (Nickus et al. 2010). Como também, aumentar a entrada de material em suspensão (Moss et al. 2011), resultando em alterações na turbidez (Meerhoff et al. 2007). Ressaltando ainda que o aumento da temperatura associado com a alteração da precipitação pode resultar em uma maior entrada de nutrientes nos recursos hídricos (Moss et al. 2003; Roland et al. 2012; Jeppesen et al. 2013). Enquanto os efeitos conjuntos do aquecimento e dos nutrientes podem resultar em interações complexas (Christoffersen et al. 2006). O aumento da temperatura da água eleva a taxa de conversão de nutrientes aderidos aos sólidos para formas disponíveis (Jeppesen et al. 2009). Este procedimento atua sobre processo de eutrofização, uma vez que eleva a oferta de nutrientes

para produtores primários (Silveira 2004).

Em diversos ecossistemas de água doce a principal contribuição para a produtividade primária é dada pelo fitoplâncton (Fernandes et al. 2004). Que são organismos fotoautotróficos microscópicos que ficam suspensos parte ou todo tempo na coluna de água (Reynolds 2006). Esses organismos são dotados de um pigmento denominado clorofila. A partir da concentração de clorofila-*a* pode-se expressar a biomassa do fitoplâncton (Esteves 1998), qualidade da água e produtividade (Ferrareze 2012). Sendo assim a clorofila-*a* é uma importante variável para estudos em ambientes aquáticos. Porém, essa variável pode ser alterada por vários fatores bióticos e/ou abióticos (Reichwaldt e Ghadouani 2012; Häder et al. 2013) a exemplo: temperatura (Vannote et al. 1980; Friberg et al. 2009; Rice e Stewart 2013), nutrientes (Moss et al. 2003; Ventura et al. 2008) e acidificação (Woodward 2009).

Portanto, considerando a escassez de estudos sobre mudanças climáticas globais em ambientes aquáticos tropicais, o objetivo desse trabalho foi investigar o efeito da precipitação concentrada (simulado um evento extremo de diluição) e do aumento da temperatura, considerando cenários futuros de mudanças climáticas globais, sobre a concentração de clorofila-*a* em ambientes eutrofizados, com três repetições temporais em microcosmo.

## **Efeito das mudanças climáticas sobre a concentração de clorofila-*a* em ambientes aquáticos com floração de Cianobactéria: um estudo em microcosmo**

Meirielle Euripa Pádua de Moura<sup>1</sup>, Lorraine dos Santos Rocha<sup>1</sup>, João Carlos Nabout<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus de Ciências Exatas e Tecnológicas, Br 153, 3105, Fazenda Barreiro do Meio, CP 459, CEP 75132-903, Anápolis, GO, Brazil

\*Corresponding author: meirielle-euripa@hotmail.com; jcnabout@gmail.com.

### **RESUMO**

Estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas globais na biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas ainda são recentes, sendo que, poucos são voltados para os ambientes aquáticos tropicais. Dentre as variáveis aquáticas que podem ser utilizadas para verificar as possíveis alterações nos ecossistemas aquáticos, a clorofila-*a* se destaca, já que é uma forma rápida e segura de averiguar essas possíveis alterações. Portanto, o objetivo desse trabalho foi investigar o efeito diluidor da precipitação, o efeito da temperatura e do tempo, considerando cenários futuros de mudanças climáticas globais, sobre a concentração de clorofila-*a* em um microcosmo. Utilizamos um delineamento experimental com dois fatores: precipitação e temperatura e com medidas repetidas (três ciclos de cinco dias cada). A precipitação foi submetida a quatro tratamentos (ausência de precipitação, precipitação homogênea e dois tipos de precipitação concentrada). Enquanto a temperatura teve dois níveis: um representado a temperatura atual de 22°C e o outro a temperatura futura 25°C. A água utilizada para a montagem dos microcosmos foi coletada em um lago eutrofizado localizado em Anápolis-GO, que apresentava floração de cianobactéria filamentosa (*Geitlerinema amphibium*). Para simular a precipitação utilizamos água destilada. Observou-se que a temperatura promoveu alterações significativas na concentração de clorofila-*a* ( $F = 10,343$ ;  $P = 0,002$ ), enquanto os eventos extremos de precipitação (i.e. chuvas concentradas) não influenciaram significativamente a concentração de clorofila-*a* ( $F = 1,198$ ;  $P = 0,326$ ). Não houve influência da interação entre as variáveis temperatura e precipitação. Além disso, com o decorrer do experimento a concentração de clorofila-*a* foi maior em condições de temperatura climática futura, demonstrada pela interação significativa entre temperatura e tempo ( $F = 3,256$ ;  $P = 0,044$ ). Portanto, o presente trabalho evidencia que as condições climáticas futuras, principalmente com o aumento da temperatura, devem afetar a produtividade primária de ambientes aquáticos, promovendo possíveis alterações nos recursos hídricos, como por exemplo, aumento de eventos de floração de cianobactérias.

**Palavras-chave:** Aquecimento global, *Geitlerinema amphibium*, eventos extremos, produtividade primária.

## ABSTRACT

Studies on the effects of global climate change on biodiversity and ecosystem functioning are still recent, and few are facing the tropical aquatic environments. Among the aquatic variables that can be used to determine possible changes in aquatic ecosystems, chlorophyll it stands, since it is a quick and safe way to investigate these possible changes. Therefore, the aim of this study was to investigate the dilutive effect of rainfall, the effect of temperature and time considering future scenarios of global climate change on the concentration of chlorophyll-a in a microcosm. We used an experimental design with two factors: rainfall and temperatures and with repeated measures (three cycles of five days each). The precipitation was subjected to four treatments (no precipitation, homogeneous precipitation, and concentrated two types of precipitation). While the temperature had two levels: one represented the current temperature of 22 ° C and the other future temperature 25 ° C. The water used for the assembly of the microcosms was collected in a eutrophic lake located in Anapolis-GO, which had flowering filamentous cyanobacteria (*Geitlerinema amphibium*). To simulate rainfall use distilled water. It was observed that the temperature cause significant changes in the concentration of chlorophyll-a ( $F = 10.343$ ;  $P = 0.002$ ), while the extreme precipitation events (ie rainfall concentrated) did not significantly influence the concentration of chlorophyll-a ( $F = 1.198$ ;  $P = 0.326$ ). There was no influence of the interaction between the variables temperature and precipitation. Moreover, in the course of the experiment the concentration of chlorophyll-a was higher in future climate conditions of temperature, as demonstrated by a significant interaction between temperature and time ( $F = 3.256$ ,  $P = 0.044$ ). Therefore, the present study shows that future weather conditions, especially with increasing temperature, should affect the primary productivity in aquatic environments, promoting changes in water potential, for example, increased flowering cyanobacteria events.

**Keywords:** Global warming, *Geitlerinema amphibium*, extreme events, primary productivity.

## INTRODUÇÃO

Pesquisas que visem investigar as mudanças climáticas despertam o interesse da comunidade científica desde a década de 70, quando o pioneiro Kopec (1971) publicou sobre o assunto, porém, somente duas décadas depois que as publicações se intensificaram (Nabout et al. 2012a). Este aumento nas publicações provavelmente pode ter sido influenciado pelo aumento da visibilidade do tema (Siqueira et al. 2009). Já que neste período ocorreram eventos importantes que visavam discutir o assunto, como o ECO-92. Ao longo do tempo houve uma mudança no foco das pesquisas. Saindo de pesquisas que tinham como finalidade alertar sobre as mudanças climáticas e associar essas alterações no clima à atividade humana (Kopec 1971), para pesquisas onde o foco é relatar as consequências das mudanças climáticas para a biodiversidade (Hoegh-Guldberg et al. 2007).

Atualmente sabe-se que os efeitos negativos das alterações climáticas sobre o ser humano e os sistemas naturais são amplos, dentre eles destaca-se: o aquecimento e acidificação dos oceanos (Christensen et al. 2006; Doney et al. 2009), perda de biodiversidade (Hoegh-Guldberg et al. 2007), perda de áreas cultiváveis (Nabout et al. 2012b), alteração na distribuição de vetores de doenças (La Vega et al. 2015; Medlock e Leach 2015; Paz 2015), entre outras. As altas taxas de aquecimento ameaçam o funcionamento dos ecossistemas naturais, sobretudo aqueles que já sofrem com ações antropogênicas (Malmqvist et al. 2008). Podendo resultar em modificações na biodiversidade, alterando a distribuição das espécies (Parmesão e Yohe 2003; Nickus et al. 2010) ou o comportamento e fisiologia das mesmas (Nickus et al. 2010).

Para os ambientes aquáticos os principais impactos são resultantes do aumento da temperatura do ar, alteração na precipitação e mudanças no vento (Nickus et al. 2010; Roland et al. 2012). Esses fatores podem promover mudanças físicas (i.e estratificação, Jeznach e Tobiasson 2015; turbidez, Meerhoff et al. 2007), químicas (i.e alteração na concentração de oxigênio, Gordon et al. 2004, Jeppesen et al. 2013; ciclagem de nutrientes, Lecerf et al. 2007) e/ou biológicas (i.e mudanças na fenologia de espécies, Daufresne et al. 2009) nos recursos hídricos.

Uma abordagem utilizada entre os pesquisadores interessados em avaliar o impacto das mudanças climáticas globais sobre os ecossistemas aquáticos é o uso de experimentos. Sendo que, normalmente estes experimentos, voltam-se somente para estudos que evidenciam

o efeito da temperatura prevista para cenário futuro, nos recursos hídricos (Jeppesen et al. 2010b; Yvon-Durocher et al. 2010; Roland et al. 2012). Porém, os demais elementos do clima, bem como, o efeito conjunto entre mais de um estressor são normalmente negligenciados. Como exemplo tem-se a interação entre o aquecimento, seca e acidificação sobre os consumidores e produtores planctônicos (Christensen et al. 2006), os efeitos das mudanças climáticas sobre dos níveis de água dos ecossistemas, agravando processos como a estratificação (Berger et al. 2010; Bucak et al. 2012), além dos efeito que a luz e o clima podem resultar nas concentrações de  $\text{CO}_2$  e como compromete a quantidade de nutrientes (Andersen et al. 2005).

Além de mudanças na temperatura, as previsões do IPCC para ambientes tropicais, também englobam alterações nos ciclos hidrológicos, promovendo aumento da frequência de eventos extremos, como precipitação concentrada (IPCC 2014). As chuvas extremas em algumas bacias hidrográficas podem resultar em maiores riscos de inundações (Rockström et al. 2014) e alterações no escoamento superficial (Roland et al. 2012). Além de promover mudanças na comunidade aquática e periférica (Silva e Brito 2008), comprometer a qualidade dos recursos hídricos (Codd 2000; IPCC 2014). Podem ainda favorecer a concentração de toxinas, devido as alterações em condições que estimulam o crescimento de cianobactérias, como a eutrofização (Reichwaldt e Ghadouani 2012). Nesse sentido, estudos que investiguem a combinação de fenômenos como alteração da temperatura e da precipitação são necessários para compreender a qualidade dos ambientes aquáticos tropicais.

Dentre as variáveis aquáticas que podem ser afetadas por alterações climáticas destaca-se a clorofila-*a*. Alterações nessas variáveis podem ser causadas por fatores locais (e.g. poluição pontual; Hrdinka et al. 2015) ou por fatores regionais (variações na temperatura; Rice e Stewart 2013). Além disso, a clorofila-*a* pode ser utilizada como indicador da qualidade da água e da produtividade (Ferrareze 2012), e também como indicador de biomassa, pois está presente nas algas (Stewart et al. 2013). Sendo considerada uma forma segura de averiguar transformações nos recursos hídricos, já que respondem rapidamente a alterações (Wetzel 2001). Dessa forma, a clorofila-*a* é uma importante variável para avaliar as consequências das alterações climáticas em ambientes aquáticas.

Contudo alguns trabalhos testaram o efeito do aquecimento sobre a clorofila-*a* e não obtiveram alterações na concentração desta variável (Moss et al. 2003; Feuchtmayr et al. 2009). Devido a variedade de espécies de fitoplâncton, bem como, a variedade de faixa de temperatura considerada ótima para o desenvolvimento, pode ter ocorrido uma substituição de

espécies (Moss 1973; Seip e Reynolds 1995). Assim pode ser que nestes casos o aquecimento não tenha alterado o tamanho das comunidades, mas sim, a composição das espécies (Moss et al. 2003). Outras pesquisas, no entanto, associam o aumento da temperatura com o acréscimo de fenômenos de floração de cianobactérias (Reynolds 2006; Jeppesen et al. 2009; Tundisi et al. 2015).

Assim esse trabalho visa averiguar em microcosmo, as consequências da alteração da frequência da precipitação (considerando o seu efeito diluidor), do aumento da temperatura e do tempo sobre as concentrações de clorofila-*a* em ambientes eutrofizados com florações de cianobactérias. Para isso baseou-se nas hipóteses de que: i) A intensidade de precipitação em um pequeno intervalo de tempo deve diminuir as concentrações de clorofila-*a*, em relação a condição de precipitação mais homogênea dentro do intervalo de tempo; ii) As projeções para a temperatura a partir das mudanças climáticas globais preveem ambientes mais quentes, isso deve favorecer a concentração de clorofila-*a*.

## MÉTODOS

### Delineamento experimental

Consideramos três fatores para a elaboração do desenho experimental desse estudo: i) Temperatura; ii) Precipitação e iii) Tempo. Utilizamos dois níveis de temperatura (atual e futura) e quatro níveis de precipitação (ausência de precipitação, precipitação homogênea, e dois tipos de precipitação concentrada). Elaboramos o desenho experimental considerando simultaneamente os dois fatores e repetidos por 15 dias, com análises da concentração da clorofila-*a* a cada cinco dias (totalizando três análises ao longo do tempo) para as diferentes condições de temperatura e precipitação.

Para esse desenho experimental montamos um experimento em microcosmo. Assim no total preparamos 40 béqueres de 2 litros (L), no qual cada béquer corresponde a um microcosmo. Cada um dos béqueres recebeu 1L de água inicialmente, obtida de um lago paisagístico artificial eutrofizado, localizado na Universidade Estadual de Goiás, município de Anápolis - GO. Realizamos a coleta no mês de maio de 2015. O lago apresentava uma floração de alga cianobactéria filamentosa *Geitlerinema amphibium* (C.Agardh ex Gomont) Anagnostidis 1989, (Fig. 1). Essa espécie de cianobactéria produz toxinas e é comumente

encontrada sistema de abastecimento de água (Dogo et al. 2011).

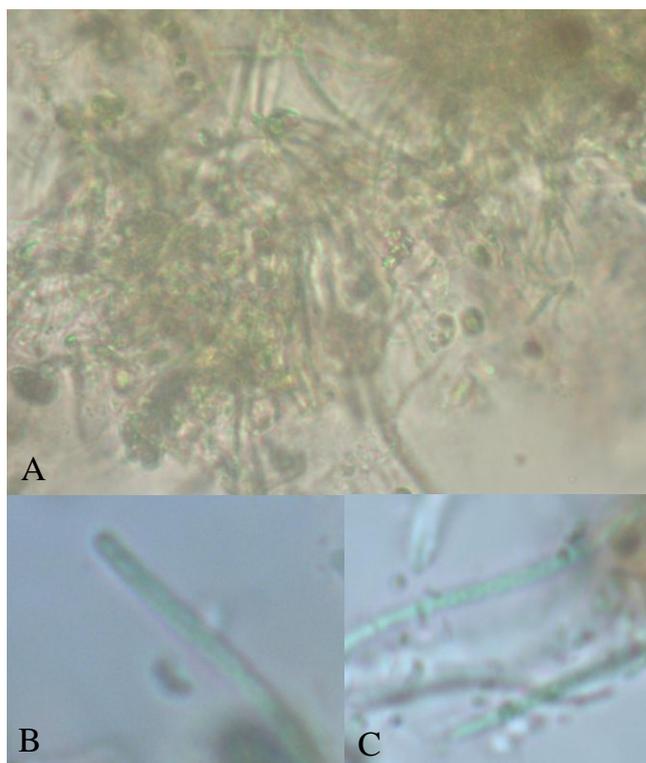


Figura 1: Floração de *Geitlerinema amphibium* encontrada no lago paisagístico e utilizada no experimento. Em (A) aumento de 40X destacando vários filamentos da espécie, e em (B) e (C) aumento de 100x com detalhes dos filamentos. Medidas: 2.2.-2.5  $\mu\text{m}$  de largura e 4.8-5.1  $\mu\text{m}$  de comprimento.

Obtivemos os dados climáticos em uma grid da base EcoClimate (Lima-Ribeiro et al. 2015) de toda a região neotropical que apresentam dados climáticos atuais e futuros para diferentes cenários e modelos de circulação global. Definimos os valores de temperatura e precipitação utilizando o modelo CCSM (Community Climate System Model), RCP 4.5 (cenário intermediário) que é um modelo frequentemente utilizado em pesquisas com mudanças climáticas globais (Ho 2011; Kirtman 2012; Pendergrass e Hartmann 2012; Marinov et al. 2013). Utilizamos a temperatura e a precipitação para a região onde está localizado o lago paisagístico (Cidade de Anápolis, Goiás, Brasil) como referência. Selecionamos duas variáveis bioclimáticas para o ensaio: Temperatura média anual e Precipitação média no trimestre mais úmido (correspondente ao período de estudo).

Baseado nas informações da grid neotropical, simulamos duas condições de temperatura em microcosmos. Uma correspondendo à temperatura atual (22°C) e a outra à prevista para o futuro de acordo com CCSM RCP4.5 (25°C). Para simular o efeito da concentração de precipitação geramos tratamentos nos quais a única diferença foi a

distribuição temporal da precipitação (i.e. adição de água destilada no experimento). Portanto, simulamos três cenários e um controle (sem precipitação): “P0”, representando o controle, no qual não adicionamos água destilada. “P1”, onde adicionamos 500mL de água a cada cinco dias com início no primeiro dia do experimento, simulando evento extremo de precipitação, ou seja, adicionamos água no primeiro, sexto e decimo primeiro dia do experimento. “P2” adicionamos 100mL de água diariamente, por quinze dias, para simular chuvas frequentes. “P3” onde adicionamos 500mL de água a cada cinco dias com início no quinto dia, ou seja recebeu água no quinto, no decimo e no decimo quinto dia do experimento. Portanto os tratamentos P1 e P3 simulam eventos extremos e são diferentes nas datas de início das precipitações (Fig. 2).

Distribuímos as condições de precipitação em duas incubadoras com fotoperíodo de 12horas/12horas para a simulação das alterações de temperatura, sendo assim: B.O.D 22°C e B.O.D 25°C. A distribuição dos béqueres nas B.O.D. foi determinada a partir de sorteio.

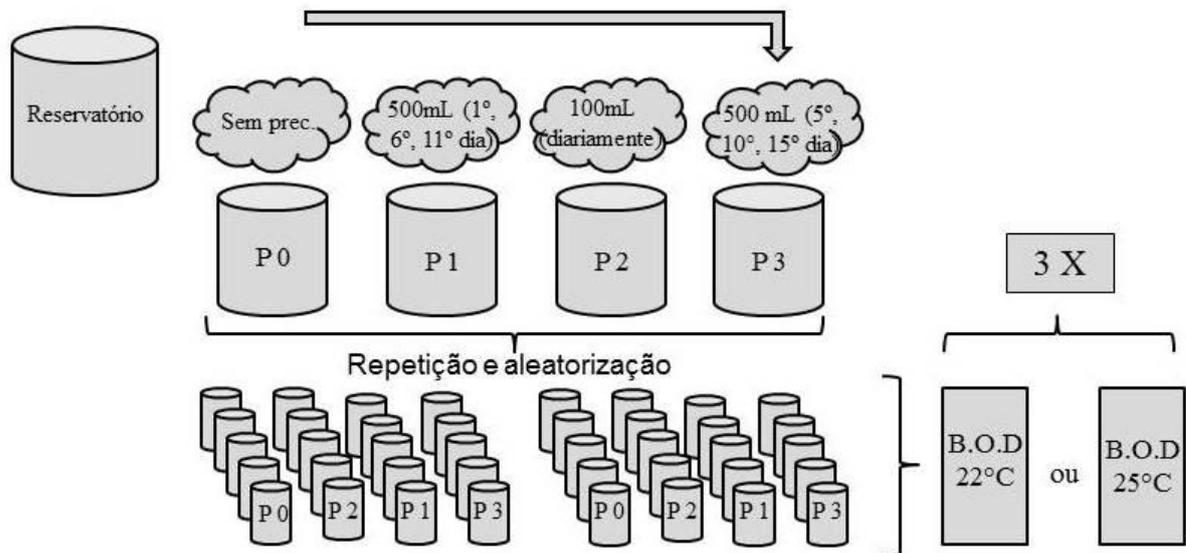


Figura 2: Representação esquemática do experimento. A água de um lago paisagístico foi inserida em microcosmos. O microcosmo “P 0” não recebeu água, o “P 1” recebeu 500mL de água no primeiro dia e seguindo a cada cinco dias, “P 2” 100mL de água diariamente e o “P 3” 500mL de água no quinto dia e seguindo a cada cinco dias. Foram realizadas 20 réplicas para cada B.O.D. Os experimentos foram colocados em B.O.D, simulando a temperatura atual (22°C) e futura (25°C). O experimento foi mantido por 15 dias com coleta do material a cada cinco dias (portanto três coletas ao longo do experimento).

#### Análise clorofila-*a*

A filtragem foi realizada em câmara escura, sendo que os microcosmos foram

envolvidos com papel alumínio, após serem retirados das D.B.O para evitar a degradação da clorofila-*a*. Na filtração utilizamos filtro de fibra de vidro da marca Millipore, com 47 mm de diâmetro, com porosidade de 0,45 µm. Para a obtenção da clorofila-*a* filtramos até o fornecer resistência (em média 185mL). Após a filtração, armazenamos os filtros em envelopes de papel alumínio, estocados no escuro e mantidos no refrigerador até o processamento das amostras. A análise quantitativa da clorofila-*a* foi realizada, através de extração com acetona, utilizando o método de Golterman et al. (1978).

### Análise de dados

A diferença entre os tratamentos foi conferida utilizando um teste de Análise de Variância Fatorial (ANOVA;  $P < 0.05$ ) para medidas repetidas (Zar 2010). Onde a variável dependente corresponde aos valores de clorofila-*a* e as preditoras consistem aos níveis de precipitação, temperatura e o tempo. O fator tempo representa a quantidade de dias de duração do experimento.

As variáveis foram transformadas pelo logaritmo ( $\log X + 1$ ), para satisfazer o pressuposto de normalidade e de homogeneidade de variâncias. Para verificar a normalidade utilizou-se o teste estatístico Kolmogorov – Smirnov (K. S.) e para a homogeneidade o teste de Levene.

## RESULTADOS

A clorofila-*a* apresentou elevados valores em todos os tratamentos. Os valores médios de clorofila-*a* para o P1 =  $177.428 \mu\text{gL}^{-1}$ , para o P2 =  $185.952 \mu\text{gL}^{-1}$  e para o P3 =  $143.059 \mu\text{gL}^{-1}$ , enquanto que o P0 =  $417.946 \mu\text{gL}^{-1}$ . Para todo o conjunto de dados os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância, necessários para a ANOVA (ver resultado abaixo) foram atendidos: clorofila-*a* 5º dia ( $d = 0,18$ ;  $P = 0,15$ ), clorofila-*a* 10º dia ( $d = 0,15$ ;  $P = 0,20$ ) e clorofila-*a* 15º dia ( $d = 0,14$ ;  $P = 0,20$ ), bem como, em relação a homogeneidade das variâncias: clorofila-*a* 5º dia ( $F = 3,8$ ;  $P = 0,06$ ), clorofila-*a* 10º dia ( $F = 1,1$ ;  $P = 0,29$ ) e clorofila-*a* 15º dia ( $F = 0,07$ ;  $P = 0,79$ ).

As concentrações de clorofila-*a* variaram significativamente em relação à temperatura (Tab. 1; Fig. 3), indicando que o aumento da temperatura promoveu significativo aumento na concentração da clorofila-*a*. Enquanto em relação a precipitação não houve uma variação significativa da clorofila-*a* (Fig. 4).

Tabela 1: Significância estatística dos efeitos dos tratamentos sobre a concentração de clorofila-*a* considerando a interação da precipitação, da temperatura e do tempo, elucidado por análise de medidas repetidas de variância. Em negrito estão os valores significativos ( $P < 0.05$ ).

	Graus de Liberdade	F	P
Temperatura (Temp)	1	<b>10.343</b>	0.002
Precipitação (Prec)	3	1.198	0.326
Tempo	2	0.241	0.786
Temp*Prec	3	0.705	0.556
Tempo*Temp	2	<b>3.256</b>	0.044
Tempo*Prec	6	0.634	0.702
Tempo*Temp*Prec	6	1.065	0.393

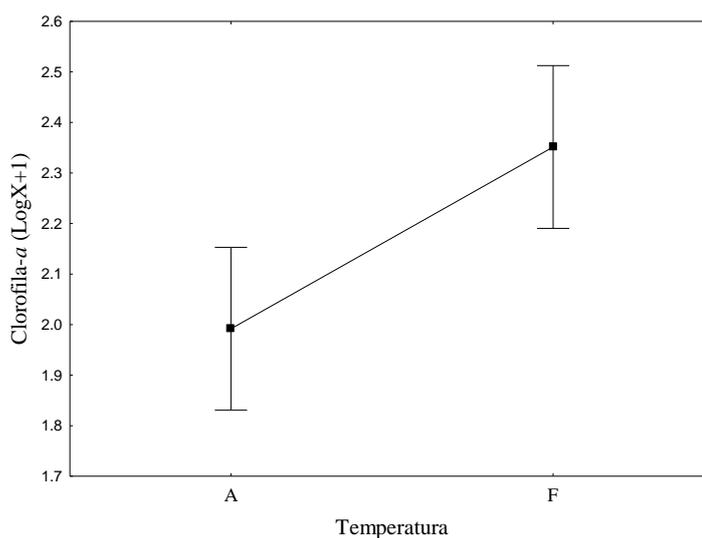


Figura 3: Boxplot (média + 95% intervalo de confiança) representando a concentração de clorofila-*a* nas duas condições simuladas de temperatura. Onde A representa a temperatura atual e F a futura.

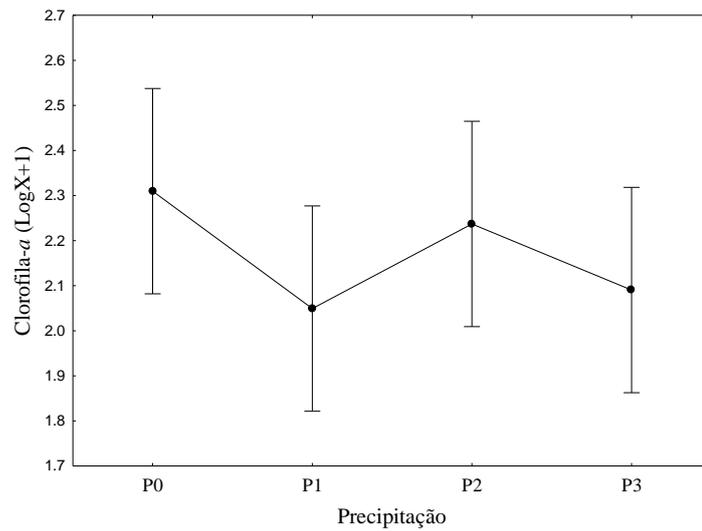


Figura 4: Boxplot (média + 95% intervalo de confiança) representando a concentração de clorofila-*a* nas quatro condições simuladas de precipitação. Onde P0 representa o tratamento controle, P1 o que receberam precipitação no primeiro dia, P2 todos os dias e P3 último dia.

A interação tempo\*temperatura também apresentaram relações significativas. Na terceira filtragem do experimento (15 dias) houve aumento da concentração da clorofila-*a* no cenário futuro de mudanças climáticas (Fig. 5). Não houve uma interação significativa entre tempo\*precipitação. Portanto para a temperatura, o tempo exerce um efeito importante para o aumento da clorofila-*a*.

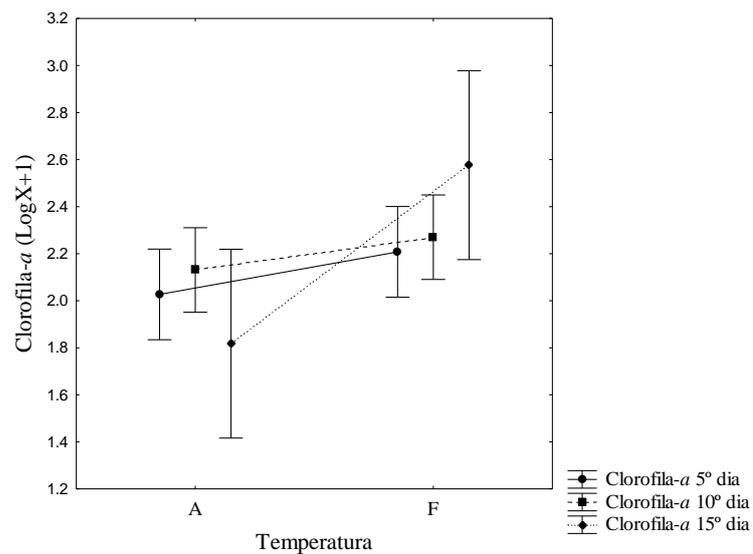


Figura 5: Boxplot (média + 95% intervalo de confiança) representando a clorofila-*a* para cada tratamento de temperatura. Houve um aumento na concentração de clorofila-*a* no 15º dia do experimento. A=Atual e F=Futuro.

## DISCUSSÃO

O presente trabalho utilizou uma abordagem experimental em microcosmo, utilizando amostras de um ambiente eutrófico e com floração de uma espécie de cianobactéria (*G. amphibium*) para avaliar o efeito da precipitação concentrada e da temperatura sobre a produtividade primária. Apesar de existirem diversos estudos multifatoriais que investiguem os impactos das mudanças climáticas, não há descrito um que avalie em conjunto o efeito da temperatura e da precipitação para ambientes tropicais. Nesse estudo, a temperatura foi a única responsável por aumentar as concentrações de clorofila-*a* em cenários futuros de mudanças climáticas.

De fato tanto as alterações térmicas quanto hidrológicas resultam em sérias consequências nos ecossistemas aquáticos (Floury et al. 2012). A temperatura da água influencia muitos processos nos ambientes aquáticos, como a concentrações de oxigênio dissolvido (Gordon et al. 2004; Esteves e Furtado 2011; Jeppesen et al. 2013), condutividade (Esteves et al. 2011), concentrações de nutrientes (Jeppesen et al. 2009, 2011), além da produtividade primária e decomposição (Vannote et al. 1980; Lecerf et al. 2007).

Os produtores primários em ambientes aquáticos são controlados principalmente por nutrientes, luz (Huszar et al. 2006; Roland et al. 2012) e temperatura (Roland et al. 2012). A temperatura altera diretamente a fotossíntese (Esteves 1998), já que, temperatura mais elevadas acelera as reações enzimáticas relacionadas com este processo, resultando em alta taxa de produtividade primária (Fernandes et al. 2004). Desta forma a multiplicação do fitoplâncton tende acompanhar a temperatura, sendo mais intensa em temperaturas mais altas (Fernandes et al. 2004). Muitos processos celulares do fitoplâncton dependem desta variável (Reynolds 1984).

No entanto normalmente quando acontece um crescimento intenso de algas, ocorre a dominância de uma única ou algumas espécies (Chorus e Bartram 1999). Sendo que as cianobactérias são especialmente favorecidas pelas temperaturas mais altas (Paerl e Huisman 2009), pois, as maiores taxas de crescimento delas são registradas em temperaturas acima de 25°C (Robarts e Zohary 1987). Com isso os riscos de dominância destas algas aumentam com o aquecimento global (Moss et al. 2011; Jeppesen et al. 2013, 2014). Por este motivo nos cenários de mudanças climáticas, as cianobactérias se destacam como sendo os micro-organismos fotossintetizantes mais citados (Newcomb et al. 2012).

O aumento da temperatura da água pode favorecer além das taxas de crescimento, a atividade (Paerl e Huisman 2009) e a distribuição geográfica das cianobactérias (Briand et al. 2004; Paerl e Huisman 2009). Sendo que, o período de floração delas provavelmente serão maiores nas condições climáticas previstas em cenários futuros (Romo et al. 2005; Huber et al. 2012). Isso pode representar um problema, considerando que algumas espécies produzem substâncias tóxicas (Carmichael 1992; Stewart et al. 2007; Paerl e Huisman 2009). Podendo assim contaminar organismos direta ou indiretamente, já que, essas toxinas podem ser difundida para outros organismos através da cadeia alimentar, pois ficam acumuladas no corpo (Smith et al. 2008).

Estas florações podem também comprometer a integridade dos ecossistemas aquáticos, a partir do consumo de oxigênio pela alga durante o processo de respiração ou durante o processo de decomposição pelas bactérias (Fernandes et al. 2004). Além de poderem elevar a temperatura da água localmente por meio da absorção da luz ampliando as possibilidades de dominância destas algas (Paerl e Huisman 2008).

As chuvas intensas podem resultar em diluição dos nutrientes e lavagem da floração de fitoplâncton (Reichwaldt e Ghadouani 2012), devido a altas taxas de descargas (Figueiredo e Giani 2001; Bouvy et al. 2003). A entrada de um volume maior de água pode exigir um período para o reaparecimento da floração das algas (Ahn et al. 2002), justificando o aumento observado da clorofila-*a* na terceira semana de experimento.

Porém fornecer uma resposta precisa acerca das consequências das mudanças climáticas nos ecossistemas aquático ainda é um desafio. Uma vez que, existe uma variedade de AOGCM, bem como, de cenários climáticos (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 e RCP 8.5). Deste modo os experimentos sobre mudanças climáticas se depara com a incerteza na escolha das projeções climáticas de aumento da temperatura para os próximos anos. Uma forma de superar este problema são os experimentos em microcosmos. Estas pesquisas tem a função de fornecer informações importantes sobre os processos em grandes escalas, porém com a vantagem que requerer um tempo menor, para réplicas entre sistemas e para diversas escalas (Benton et al. 2007). A utilização de microcosmos em pesquisas é amparada pela necessidade de estabelecer condições controladas uteis para correlacionar a dinâmica das comunidades com as variações ambientais.

Futuros estudos devem ser conduzidos considerando os efeitos indiretos das alterações climáticas, tais como escoamento superficial que é fortemente influenciado pela intensidade das chuvas (Alencar et al. 2006). Bem como, estudos que visem avaliar a

incerteza na escolha dos cenários climáticos (cenários otimistas, moderados e pessimistas) de temperatura sobre variáveis aquáticas.

## CONCLUSÃO

Portanto a partir dos resultados aqui apresentados, nós aceitamos a primeira hipótese de que os eventos extremos de precipitação diminuiria a concentração de clorofila-*a*, quando comparada com chuvas mais homogêneas. Entretanto, é importante considerar que para esse estudo avaliamos o efeito diluidor da precipitação (concentrada ou não). A segunda hipótese que previa que as temperaturas mais elevadas favoreceriam as concentrações de clorofila-*a* também foi aceita. Uma vez que, a temperatura prevista para o futuro, resultante do cenário utilizado nesta pesquisa (RCP 4.5), ou seja, intermediário nas emissões de gases de efeito estufa, foram capazes de alterar a produtividade primária em ambientes eutrofizados. Essas alterações podem resultar em sérias consequências para a integridade dos ecossistemas aquáticos, principalmente nos processos e metabolismos dos organismos. Podendo inclusive alterar a estrutura das comunidades (dominância de cianobactérias) e aumentar o período de floração destas algas. Considerando que existem projeções de que o aumento da temperatura seja maior que o utilizado aqui - RPC 6,0 E RPC 8,5, a incidência destas florações poderá ser ainda maior.

Diante das perspectivas para o futuro em relação a eutrofização e floração de cianobactérias, torna-se necessário a adoção de medidas práticas para a prevenção deste fenômeno. Uma dessas providências seria a prevenção de descarga de nutrientes nos recursos hídricos, seja de água residual ou agrícola. Isso é possível a partir do tratamento preciso dos efluentes antes de serem lançados nos corpos d'água.

## REFERÊNCIAS

Essa dissertação segue as normas da revista Climatic Change para a qual submeteremos o artigo.

- Ahn CY, Chung AS, Oh HM (2002) Rainfall, phycocyanin and N:P ratios related to cyanobacterial blooms in a Korean large reservoir. *Hydrobiologia*, 474(1-3):117-124
- Alencar DBS, Silva CL, Oliveira CAS (2006) Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. *Eng. Agríc.* 26:103-112
- Andersen T, Pedersen O, Andersen FO (2005) Nutrient concentration in a *Littorella uniflora* community at higher CO<sub>2</sub> concentrations and reduced light intensities. *Freshw. Biol.* 50:1178-1189
- Benton TG, Solan M, Travis MJ, Sait SM (2007) Microcosm experiments can inform global ecological problems. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(10):516-521
- Berger SA, Diehl S, Stibor H, Trommer GE, Ruhlenstroth M (2010) Water temperature and stratification depth independently shift cardinal events during plankton spring succession. *Global Change Biol.* 16:1954-1965.
- Bouvy M, Nascimento SM, Molica RJR, Ferreira A, Huszar V, Azevedo SMFO (2003) Limnological features in Tapacura reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*, 493(1-3):115-130.
- Brandt R (2012) Mudanças climáticas e os lagartos brasileiros sob a perspectiva da história de vida. *Revista da Biologia*, 8(15):15-18
- Briand JF, Le Boulanger C, Humbert JF, Bernand C, Dufour P (2004) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selection, wide physiological tolerance, or global warming? *Journal of Phycology*, 40(2): 231-238
- Bucak T, Saraoglu E, Levi E, Tavsanoglu ÜN, Çakiroglu AI, Jeppesen E, Beklioglu M (2012) The role of water level for macrophyte growth and trophic interactions in eutrophic Mediterranean shallow lakes: a mesocosm experiment with and without fish. *Freshwater Biology*. 57:1631-1642
- Carmichael W (1992) Cyanobacteria secondary metabolites – The Cyanotoxins. *Journal of Applied Bacteriology*, 72:445-459
- Chorus I, Bartram J (1999) *Toxic Cyanobacteria in Water*. Spon, London: 400pp
- Christensen MR, Graham MD, Vinebrooke RD, Findlay DL, Paterson MJ, Turner MA (2006) Multiple anthropogenic stressors cause ecological surprises in boreal lakes. *Global Change Biol.* 12:2316-2322
- Christoffersen K, Andersen N, Sondergaard M, Liboriussen L, Jeppesen E (2006) Implications of climate-enforced temperature increases on freshwater pico-and-nanoplankton populations studied in artificial ponds during 16 months. *Hydrobiologia*, 560:259-266
- Codd GA (2000) Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of eutrophication control. *Ecological Engineering*, 16:51-60.
- Daufresne M, Lengfellner K, Sommer U (2009) Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *PNAS*, 106(31):12788-12793
- Davis JA, Jenkinson LS, Lawton JH, Shorrocks B, Wood S (1998) Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature*, 391:783-789
- Dogo CR, Bruni FM, Elias F, Rangel M, Pantoja PA, Sant'Anna CL, Lima C, Lopes-Ferreira M, de Carvalho LR (2011) Inflammatory effects of the toxic cyanobacterium *Geitlerinema amphibium*. *Toxicon*, 58: 464-470.
- Doney SC, Fabry VJ, Feely RA, Kleypas JA (2009) Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Annual Review of Marine Science*, 1:169-192
- Esteves FA (1998) *Fundamentos de Limnologia*. 2 ed. Interciência, Rio de Janeiro: 226pp
- Esteves FA, Figueredo-Barros MP, Petrucio MM (2011) Principais Cátions e Ânions, p. 299 – 319. In: F.A Esteves (ed.), *Fundamentos de Limnologia*. 3 ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- Esteves FA, Furtado ALS (2011) Oxigênio dissolvido, p. 167 – 190. In: F.A Esteves (ed.),

- Fundamentos de Limnologia. 3 ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- Fernandes LF, Lagos PD, Wosiack AC, Pacheco CV, Domingues L, Zender-Alves L (2005) Comunidades fitoplanctônicas em ambientes lênticos, p. 303-366. In: C.V. Andreoli, C. Carneiro (ed.), Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. Finep, Curitiba.
- Ferrareze M (2012) The effect of the land use on phytoplankton assemblages of a Cerradotream (Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, Rio Claro, 24:43-51
- Feuchtmayr H, Moran R, Hatton K, Connor L, Heyes T, Moss B, Harvey I, Atkinson D (2009) Global warming and eutrophication: effects on water chemistry and autotrophic communities in experimental hypertrophic shallow lake mesocosms. *J. Appl. Ecol.* 46: 713-723
- Figueredo CC, Giani A (2001) Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 445(1-3):165-174
- Floury M, Delattre C, Ormerod SJ, Souchon Y (2012) Global versus local change effects on a large European river. *Science of the total Environment*, 441:220-229
- Friberg N, Dybkjar JB, Olafsson JS, Gislason GM, Larsen SE, Lauridsen TL (2009) Relationship between structure and function in streams contrasting in temperature. *Freshwater Biology*, 54:2051-2068
- Golterman HL, Clymo RS, Ohmstad MAM (1978) Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. Blackwell Scientific Publication, Oxford: 214 p
- Gordon ND, Finlayson BL, McMahon TA (2004) Stream Hydrology na introduction for ecologists. 2. ed. John Wiley e Sons, Ltd., England: 423p
- Häder D-P, Villafane VE, Helbling EW (2013) Productivity of aquatic primary producers under global climate change. *Photochem. Photobiol. Sci.* 12:1370-1392
- Ho CH, Park TW, Jun SY, Lee MH, Park CE, Kim J, Lee SJ, Hong YD, Song CK, Lee JB (2011) A projection of extreme climate events in the 21(st) century over east Asia using the community climate system model 3. *Asia-Pacific Journ. of At. Sciences.* 47: 329-344
- Hoegh-Guldberg O, Mumby PJ, Hooten AJ, Steneck RS, Greenfield P, Gomez E, Harvell CD, Sale PF, Edwards AJ, Caldeira K, Knowlton N, Eakin1 CM, Iglesias Prieto R, Muthiga N, Bradbury RH, Dubi A, Hatziolos ME (2007) Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318:1737-1742
- Hrdinka T, Vlasak P, Havel L, Mlejnska E (2015) Possible impacts of climate change on water quality in streams of the Czech Republic. *Hydrobiological Sciences Journal*, 60:192-201
- Huber V, Wagner C, Gerten D, Adrian R (2012) To bloom or not to bloom: contrasting responses of cyanobacteria to recent heat waves explained by critical thresholds of abiotic drivers. *Oecologia*, v. 169:245-256
- Huszar VLM, Caraco NF, Roland F, Cole J (2006) Nutrient-chlorophyll relationships in tropical-subtropical lakes: do temperate models fit? *Biogeochemistry*, 79:239-250.
- Intergovernmental Painel on Climate Change. Synthesis Report (2014) In: IPCC. Climate Change 2014. Disponível em <[http://ar5-syr.ipcc.ch/topic\\_futurechanges.php](http://ar5-syr.ipcc.ch/topic_futurechanges.php)>. Acessado 10 de jul. 2015.
- Intergovernmental Painel on Climate Change. The Physical Science Basis (2013) In: IPCC. Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acessado 10 de jul. 2014
- Jeppesen E, Kronvang B, Jørgensen TB, Larsen SE, Andersen HE, Søndergaard M, Liboriussen L, Bjerring R, Johansson LS, Trolle D, Lauridsen TL (2013) Recent climate-induced changes in freshwaters in Denmark. In: Goldman CR, Kumagai M, Robarts RD (Eds.), Climatic change and global warming of Inland waters: impacts and mitigation for ecosystems and societies. John Wiley e Sons, 155-171
- Jeppesen E, Kronvang B, Meerhoff M, Søndergaard M, Hansen KM, Andersen HE,

- Lauridsen TL, Liboriussen L, Beklioglu M, Özen A, Olesen JE (2009) Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations. *J. Environ.* 38:1930–1941
- Jeppesen E, Kronvang B, Olesen JE, Audet J, Søndergaard M, Hoffmann CC, Andersen HE, Lauridsen TL, Liboriussen L, Larsen SE, Beklioglu M, Meerhoff M, Özen A, Özkan K (2011) Climate change effect on nitrogen loading from catchment in Europe: implications for nitrogen retention and ecological state of lakes and adaptations. *Hydrobiologia*, 663:1-21
- Jeppesen E, Meerhoff M, Davidson TA, Trolle D, Søndergaard M, Lauridsen TI, Beklioglu M, Brucet S, Volta P, González-Bergonzoni I, Nielsen A (2014) Climate change impacts on lakes: an integrated ecological perspective based on multi-faced approach, with special focus on shallow lakes. *J. Limnol.* 73:88-111
- Jeppesen E, Meerhoff M, Holmgren K, González-Bergonzoni I, Teixeira-de Mello F, Declerck SAJ, Meester L, Søndergaard M, Lauridsen TL, Bjerring R, Conde-Porcuna JM, Mazzeo N, Iglesias C, Reizenstein M, Malmquist HJ, Liu Z, Balayla D, Lazzaro X (2010a) Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential ecosystem effects. *Hydrobiologia*, 646:73-90.
- Jeppesen E, Moss B, Bennion H, Carvalho L, De Meester L, Feuchtmayr H, Friberg N, Gessner MO, Hefting M, Lauridsen TL, Liboriussen L, Malmquist HJ, May L, Meerhoff M, Olafsson JS, Soons MB, Verhoeven JTA (2010b) Interaction of climate change and eutrophication. In: Kernan M, Battarbee R, Moss B. (Eds.), *Climate change impacts on freshwater ecosystems*. Wiley-Blackwell, Oxford, 119–151
- Jeznach LC, Tobiasson JE (2015) Future climate effects on thermal stratification in the Wachusett Reservoir. *Journal AWWA*, 107(4):E197-E209
- Kirtman BP, Bitz C, Bryan F, Collins W, Dennis J, Hearn N, Kinter JL, Loft R, Rousset C, Siqueira L, Stan C, Tomas R, Vertenstein M (2012) Impact of ocean model resolution on CCSM climate simulations. *Climate Dynamics*, 39:1303-1328
- Kopec RJ (1971) Global climate change and impact of a maximum sea level on coastal settlement. *Journal of Geography*, 70:541- 550.
- La Vega GJ, Medone P, Ceccarelli S, Rabinovich J, Schilman PE (2015) Geographical distribution, climatic variability and thermos-tolerance of Chagas disease vectors. *Ecography*, 38:1-10.
- Lasram FB, Mouillot D (2009) Increasing southern invasion enhances congruence between endemic and exotic Mediterranean fish fauna. *Biological Invasions*, 11(3):697-711
- Lawler JJ, Shafer SL, White D, Kareiva P, Maurer EP, Blaustein AR, Bartlein PJ (2009) Projected climate-induced faunal change in the Western Hemisphere. *Ecology*, 90(3):588-597
- Lecerf A, Risnoveanu G, Popescu C, Gessner MO, Chauvet E (2007) Decomposition of diverse litter mixtures in streams. *Ecology*, 88:219-227
- Lima-Ribeiro MS, Varela S, González-Hernández J, Oliveira G, Diniz-Filho JAF, Terribile LC (2015) EcoClimate: a database of climate data from multiple models for past, present, and future for Macroecologists and Biogeographers. *Biodiversity Informatics*, 10:1-21
- Magnuson JJ (1991) Fish and fisheries ecology. *Ecological Applications*, 1:13-26
- Malmqvist B, Rundle SD, Covich AP, Hildrew AG, Robinson CT, Townsend CR, Polunin NVC (2008) Prospects for streams and rivers: an ecological perspective. In *Aquatic systems: trends and global perspectives* (ed. N. Polunin), Cambridge, UK: Cambridge University Press:19–29
- Marengo JA (2006) Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 212p

- Marengo JA, Nobre C, Salazar LF (2010) Regional climate change scenarios in South America in the late XXI century: projections and expected impacts. *Nova Acta Leopoldina*, 112:251-265.
- Marinov I, Doney SC, Lima ID, Lindsay K, Moore JK, Mahowald N (2013) North-South asymmetry in the modeled phytoplankton community response to climate change over the 21st century, *Global Biogeochemical cycles*, 27:1274-1290.
- Medlock JM, Leach SA (2015) Effect of climate change on vector-borne disease risk in the UK. *Lancet Infectious diseases*, 15:721-730.
- Meerhoff M, Clemente JM, Mello FT, Iglesias C, Pedersen AR, Jeppesen E (2007) Can warm climate-related structure of littoral predator assemblies weaken the clear water state in shallow lakes? *Global Change Biology*, 13:1888-1897
- Melo E, Oliveira FA, Pruski FF, Figueredo JC (2008) Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Paracatu, *Eng. Agríc.* 28(4):635-644
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being. Current State and Trends*. Island Press, Washington D.C. 901pp
- Moss B (1973) The influence of environmental factors on the distribution of freshwater algae: an experimental study. III. Effects of temperature, vitamin requirements and inorganic nitrogen compounds on growth. *Journal of Ecology*, 61:179-192
- Moss B, Kosten S, Meerhoff M, Battarbee RW, Jeppesen E, Mazzeo N, Havens K, Lacerot G, Liu Z, De Meester L, Paerl H, Scheffer M (2011) Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland waters*, 1(2)101-105.
- Moss B, Mckee D, Atkinson D, Collings SE, Eaton JW, Gill AB, Harvey I, Hatton K, Heyes T, Wilson D (2003) How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *Journal of Applied Ecology*, 40:782-792
- Nabout JC, Caetano JM, Ferreira RB, Teixeira IR, Alves SMF (2012b) Using correlative, mechanistic and hybrid niche models to predict the productivity and impact of global climate change on maize crop in Brazil. *Natureza e Conservação*, 10:177-183
- Nabout JC, Carvalho P, Prado UM, Borges PP, Machado KB, Haddad KB, Michelin TS, Cunha hf, Soares TN (2012a) Trends and biases in global climate change literature. *Natureza e Conservação*, 10:45-51
- Newcomb G, Chorus I, Falconer I, Lin T-F (2012) Cyanobacteria: impacts of climate change on occurrence, toxicity and water quality management. *Water Research*, 46:1347-1348
- Nickus U, Bishop K, Erlandsson M, Evans CD, Forsius M, Laudon H, Livingstone DM, Monteith D, Thies H (2010) Direct impacts of climate change on freshwater ecosystems, p. 38-64. In: M. Kernan, R.W. Battarbee, B. Moss (ed). *Climate change impacts on freshwater ecosystems*. India:Wiley-Blackwell.
- Paerl HW, Huisman J (2008) Blooms like it hot. *Science*, 320:57-58
- Paerl HW, Huisman J (2009) Climate Change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports*, 1:27-37
- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421:37-42
- Paz S (2015) Climate change impacts on West Nile virus transmission in a global context. *Philosophical Transactions of the Royal Soc. B-Biol. Sci.* 370:1-11
- Pendergrass AG, Hartmann DL (2012) Global-mean precipitation and black carbon in AR4 simulations. *Geophysical Res. Lett.* 39.
- Reichwaldt ES, Ghadouani A (2012) Effects of rainfall patterns on toxic cyanobacterial blooms in a changing climate: Between simplistic scenarios and complex dynamics. *Water research*, 46:1372-1393
- Reynolds CS (1984) Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and

- environmental variability. *Freshwater Biology*, 14:111-142
- Reynolds CS (2006) *Ecology of phytoplankton*, Cambridge University Press, 535pp
- Rice E, Stewart G (2013) Analysis of interdecadal trends in chlorophyll and temperature in the Central basin of Long Island Sound. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 128:64-75.
- Roberts RD, Zohary T (1987) Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. *N.Z. J. Mar. Freshwat. Res.* 21:391-399
- Rockström J, Brasseur G, Hoskins B, Lucht W, Schellnhuber J, Kabat P, Nakicenovic N, Gong P, Schlosser P, Costa MM, Humble A, Eyre N, Gleick P, James R, Lucena A, Maser O, Moench M, Schaeffer R, Seitzinger S, Leeuw SVD, Ward B, Stern N, Hurrell J, Srivastava L, Morgan J, Nobre C, Sokona Y, Cremades R, Roth E, Liverman D, Arnott J (2014) Climate change: The necessary, the possible and the desirable Earth league climate statement on the implications for climate policy from the 5th IPCC assessment. *Earth's Future*, 2:606-611
- Roland F, Huszar VLM, Farjalla VF, Enrich-Prast A, Amado AM, Ometto JPHB (2012) Climate change in Brazil: perspective on the biogeochemistry of inland waters. *Brazilian Journal of Biology (Impresso)*, 72:709-722
- Romo S, Villena MJ, Sahuquillo M, Soria JM, Gimenez M, Alfonso T, Vicente E, Miracle MR (2005) Response of a shallow Mediterranean lake to nutrient diversion: does it follow similar patterns as in northern shallow lakes? *Freshwater Biology*. 50:1706-17
- Salazar LF, Nobre CA, Oyama MD (2007) Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34(9).
- Sampaio G (2013) *Projeções climáticas para o Brasil no século XXI: Impactos na precipitação, temperatura e distribuição de biomas*. Rio de Janeiro: 19pp
- Seip KL, Reynolds CS (1995) Phytoplankton functional attributes along trophic gradient and season. *Limnology and Oceanography*, 40:589-597
- Sherwood S, Fu Q (2014) A Drier Future? *Science*, 343(6172):737-739
- Silva DP, Brito VLG (2008) *Previsão de respostas de comunidades às mudanças climáticas globais*.
- Silveira MP (2004) *Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 68pp
- Siqueira T, Padial AA, Bini LM (2009) Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a biodiversidade: um panorama sobre as atividades de pesquisa. *Megadiversidade*, 5:17-26
- Smith JL, Boyer GL, Zimba PV (2008) A review of cyanobacterial odors and bioactive metabolites: Impacts and management alternatives in aquaculture, *Aquaculture*, 280:5-20.
- Stewart I, Seawright AA, Shaw GR (2007) Cyanobacterial poisoning in livestock, wild mammals and birds: an overview, p. 599-623. In: H.K. Hudnell (ed.), *Proceedings of the interagency, International Symposium on Cyanobacterial Harmful Algal Blooms. State of the Science and Research Needs*. Springer
- Stewart RIA, Dossena M, Bohan DA, Jeppesen E, Kordas RL, Ledger ME, Meerhoff M, Moss B, Mulder C, Shurin JB, Suttle B, Thompson R, Trimmer M, Woodward G (2013) Mesocosm experiments in ecological climate change research. *Adv. Ecol. Res.* 48:69-179
- Strain BR, Thomas RB (1992) Field-measurements of CO<sub>2</sub> enhancement and climate change in natural vegetation. *Water air soil Pollution*, 64:45-60
- Taggart RE, Cross AT (2009) Global greenhouse to icehouse and back again: The origin and future of the Boreal Forest biome. *Global and Planetary Change*, 65(3-4):115-121
- Tundisi JG, Matsumura-Tundisi T, Tundisi JEM, Blanco FP, Abe DS, Contri CL, Sidagis GG,

- Silva VT, Lima CPP (2015) A bloom of cyanobacteria (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) reservoir: a consequence of global change? *Braz. J. Biol.* 75(2):507-508
- Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE (1980) The river continuum concept. *Can J. Fish Aquat. Sci.* 37:130-137
- Ventura M, Liboriussen I, Lauridsen T, Sondergaard M, Jeppesen E (2008) Effects of increased temperature and nutrient enrichment on the stoichiometry of primary producers and consumers in temperate shallow lakes. *Freshwater biology*, 53:1434-1452
- Wetzel RG (2001) *Limnology: lake and river ecosystems*. San Diego: Academic Press, 1006pp
- Woodward G (2009) Biodiversity, ecosystem functioning and food webs in fresh waters: assembling the jigsaw puzzle. *Freshw. Biol.* 54:2171–2187
- Woodward G, Perkins DM, Brown LE (2010) Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. *Phil Trans R. Soc.* 365:2093-2106
- Yvon-Durocher G, Allen AP, Montoya JM, Trimmer M, Woodward G (2010) The temperature dependence of carbon cycle in aquatic ecosystems. *Avd. Ecol. Res.* 43:267-313
- Zar JH (2010) *Biostatistical Analysis*, Fifth Edition