

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS-
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
DIVERSIDADE E MANEJO DE VIDA SILVESTRE

**INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NA ESTRUTURA E
DINÂMICA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DE UM LAGO RASO
SUBTROPICAL: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL**

ANDRESSA DA ROSA WIELICZKO

SÃO LEOPOLDO
2012

ANDRESSA DA ROSA WIELICZKO

INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NA ESTRUTURA E
DINÂMICA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DE UM LAGO RASO
SUBTROPICAL: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Biologia da Universidade do Vale
do rio dos Sinos como requisito
parcial para obtenção do título de
Mestre em Biologia.

Orientadora: Luciane Oliveira
Crossetti

São Leopoldo
2012

Ficha Catalográfica

W646i Wieliczko, Andressa da Rosa.

Influência das mudanças climáticas globais na estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica de um lago raso subtropical : uma abordagem experimental / Andressa da Rosa Wieliczko. – 2012.

35 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, 2012.

"Orientadora: Luciane Oliveira Crossetti."

1. Microcosmos. 2. Enriquecimento. 3. Resiliência. 4. América do Sul. 5. Temperatura. 6. Fitoplâncton. 7. Cianobactéria. I. Título.

CDU 57

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecário: Flávio Nunes – CRB 10/1298)


UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
Área de Concentração: Diversidade e Manejo de Vida Silvestre

A dissertação intitulada '**Influência das mudanças climáticas globais na estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica de um lago raso subtropical: uma abordagem experimental**', elaborada por Andressa da Rosa Wieliczko, foi julgada adequada e aprovada por todos os membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de **MESTRE EM BIOLOGIA**, com área de concentração: **Diversidade e Manejo de Vida Silvestre**.

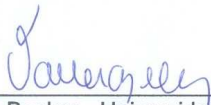
Membros da Banca Examinadora da Dissertação:



Prof. Dra. Luciane Oliveira Crossetti, orientadora - Universidade do Vale do Rio dos Sinos.



Prof. Dra. Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



Prof. Dra. Vanessa Becker - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

*“...Jamais desista de si mesmo.
Jamais desista das pessoas que você ama.
Jamais desista de ser feliz,
pois a vida é um espetáculo imperdível, ainda que se
apresentem dezenas de fatores a demonstrarem o contrário.
Pedras no caminho?
Guardo todas,
um dia vou construir um castelo...”*

Fernando Pessoa

Agradecimentos

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS pela oportunidade e estrutura disponibilizada.

Ao CNPq pelo apoio financeiro e pela concessão da bolsa de estudo, sem a qual o projeto não teria sido realizado.

Aos parceiros do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) e ao Programa PELD/CNPq sítio 7, coordenado pelo professor Dr. David Motta Marques. Agradeço pela confiança e oportunidade de trabalhar em parceria com um grupo conceituado internacionalmente nas pesquisas limnológicas, e por todo apoio para o desenvolvimento e execução deste trabalho.

Aos colegas do IPH que me receberam de braços abertos e estiveram sempre dispostos a me ajudar. À técnica química Mara Domingues que me ensinou, com toda sua paciência, a fazer as análises químicas da água, assim como a utilizar o espectrofotômetro. Ao Tiago Centurião pelos ensinamentos no cromatógrafo. À estagiária Laura Frances que foi de extrema importância na conclusão das análises químicas, muito obrigada “flore”! Ao estagiário Diego que ajudou a montar o primeiro experimento. À Renata Leão pela agradável companhia, e conversas regada a chimarrão. À Dra. Vanessa Becker pelas dicas para finalizar o delineamento experimental. E principalmente a querida Dra. Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues, por estar sempre disposta a auxiliar, pelo carinho, dedicação e compreensão, tornando-se assim, peça chave para a execução deste trabalho.

Às minhas colegas do laboratório de Ecofisiologia e Cultura Vegetal da Unisinos, as famosas “cabritas”: Denise Peresin, Juliana Bohnenberger, Gisele Ribeiro, Jaiana Malabarba, Cláudia Gelatti, Mariane Brizolla, Tiziane Horbach e Lacina Maria Freitas Teixeira, que acompanharam esta etapa da minha vida, que vivenciaram os momentos felizes (principalmente de “turismo acadêmico”) assim como os momentos de “surto”. Obrigada pela compreensão, dedicação e carinho. Especialmente a Juliana que, assim como eu, não conhecia este mundo microscópico e entendia minhas “lamentações”, dúvidas e crises. Obrigada pela ajuda incondicional, pelas palavras de conforto, pelo carinho e pelos cafés maravilhosos que só tu sabe fazer.

Aos amigos e colegas da Unisinos pela maravilhosa convivência tanto no meio acadêmico quanto nos encontros divertidíssimos no “Bar da Rita”.

Aos professores do PPG da biologia que acompanharam o desenvolvimento deste trabalho. Especialmente ao professor Dr. Juliano Oliveira Morales pela ajuda na escolha do teste estatístico ideal para análise dos dados.

Às minhas amigas “Divas”: Manuela Giannastásio, Fernanda Romero, Carolina Weber, Janina Eckert e Cristiane Forneck, que acompanharam minha trajetória desde a graduação e sempre foram minha fonte de alegria e me ensinaram o sentido da palavra *amigo*.

Às amigas do “Green”: Paola Bleicker, Flávia Diniz e Nathália Matias, mulheres que entraram na minha vida por acaso, mas que não foi por acaso que permaneceram nela. Nossas afinidades são muitas, nossas lutas e ideais são os mesmos. Obrigada pelo incentivo, tanto na vida profissional como pessoal, pelas longas conversas sobre os mais variados assuntos, pelos risos e pela alegria de tê-las ao meu lado.

Aos amigos que não citei, mas que com certeza me ajudaram nesta etapa, cada um de uma forma diferente, mas todos indispensáveis para que eu chegasse até aqui no dia de hoje, meu sincero muito obrigada!

À minha querida amiga de longa data (desde o tempo do Colégio de Aplicação) Mônica Hessel Silveira, peça fundamental nesta etapa da minha vida. Obrigada por me apresentar este mundo tão pequeno, mas ao mesmo tempo tão grande e diverso. Tão diverso que em muitos momentos nos deixou de “cabelo em pé” para conseguir identificar os “bichanos”. Obrigada pela amizade sincera, pelo carinho, compreensão, conversas, risos, choros, cevas, pela paciência e acima de tudo pela amizade!

À grande idealizadora deste projeto, a pessoa que oportunizou a minha inserção no mundo fitoplanctônico, minha orientadora professora Dra. Luciane Oliveira Crossetti. Muito obrigada pela confiança, pela compreensão, paciência, pelo aprendizado constante e de grande valia. Obrigada por permitir entrar neste mundo, pela oportunidade de fazer parceiros com outras instituições e desta forma ampliar ainda mais o meu aprendizado. Obrigada também pelas “trocas de ideias” dos mais diversos assuntos, e não somente do mundo acadêmico.

E finalmente, à minha querida mãe Tereza de Fátima da Rosa, uma mãe exemplar que sempre esteve ao meu lado, oportunizando e incentivando minha vida acadêmica. Agradeço pelo amor incondicional, pela confiança, pela paciência - principalmente nos momentos de “surto” quando achei que nada daria certo e ela sempre ajudou com uma

palavra ou um gesto de apoio, como um cafezinho amargo no meio da madrugada...
muito obrigada! Tu és meu alicerce, minha fonte de inspiração, meu “porto seguro”... te
amo!

**INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NA ESTRUTURA E
DINÂMICA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DE UM LAGO RASO
SUBTROPICAL: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL.¹**

¹ Trabalho formatado preliminarmente segundo normas da Revista *Global Change Biology*.

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1** Localização da Lagoa Mangueira e da região de coleta, ao centro-sul da lagoa (RC). ... 19
- Fig. 2** Variação (medianas, quartis) da biomassa fitoplanctônica nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) e temperatura a partir de amostras de inverno (A) (13°C, 17°C e 21°C) e verão (B) (24°C, 28°C e 31°C) da Lagoa Mangueira. 22
- Fig. 3** Biomassa total das classes fitoplanctônicas nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) a partir de amostras de inverno. (ZYG = Zygnemaphyceae, NI = Não Identificado, CYA = Cyanobacteria, CHRY = Chrysophyceae, CHL = Chlorophyceae e BAC = Bacillariophyceae)..... 24
- Fig. 4** Biomassa total das classes fitoplanctônicas nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) a partir de amostras de verão. (ZYG = Zygnemaphyceae, NI = Não Identificado, EUG = Euglenophyceae, CYA = Cyanobacteria, CHRY = Chrysophyceae, CHL = Chlorophyceae e BAC = Bacillariophyceae). 24
- Fig 6** Riqueza de espécies (n° de táxons) ao longo dos dias nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) e temperatura a partir de amostras de inverno (A) (13°C, 17°C e 21°C) e verão (B) (24°C, 28°C e 31°C) da Lagoa Mangueira. 26
- Fig. 5** Biomassa relativa ($\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) das espécies descritoras nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) e temperatura a partir de amostras de inverno (13°C, 17°C e 21°C) e verão (24°C, 28°C e 31°C) da Lagoa Mangueira..... 27
- Fig. 7** Diversidade espécies ($\text{bits} \cdot \text{mm}^{-3}$) ao longo dos dias nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) e temperatura a partir de amostras de inverno (A) (13°C, 17°C e 21°C) e verão (B) (24°C, 28°C e 31°C) da Lagoa Mangueira. 28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Valores (mínimo, máximo, média e desvio padrão) das variáveis abióticas mensuradas durante o período de experimento nas diferentes estações.....	23
--	----

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	14
Introdução	15
Material e Métodos	17
<i>Área de Estudo</i>	17
<i>Delineamento Experimental</i>	19
<i>Variáveis abióticas e biológicas</i>	20
<i>Análise dos dados</i>	21
Resultados	21
<i>Efeito do enriquecimento nutricional</i>	25
<i>Efeito combinado de temperatura e nutrientes</i>	25
Discussão	28
Referências bibliográficas	31

RESUMO

As alterações climáticas são consideradas uma das ameaças mais graves para os ecossistemas aquáticos ao redor do globo. Dentre as alterações previstas incluindo a dinâmica da comunidade fitoplanctônica, o aumento de cianobactérias está entre as previsões mais citadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito combinado e isolado do aumento da temperatura e nutrientes na estrutura da comunidade fitoplanctônica em um grande lago raso subtropical. O estudo foi realizado em microcosmos, simulando possíveis cenários de alterações climáticas isoladamente e de forma combinada ao enriquecimento nutricional (N e P), a partir de amostras de inverno e verão. A adição isolada e ou combinada de temperatura e nutrientes influenciaram de forma pouco significativa às alterações da biomassa total, riqueza e diversidade de espécies da Lagoa Mangueira. A biomassa da classe Bacillariophyceae foi influenciada significativamente pelo efeito combinado dos fatores, enquanto o incremento significativo de biomassa de Cyanobacteria ocorreu somente diante do aquecimento e enriquecimento isolados. A composição de espécies descritoras nos períodos estudados não foi alterada. Isso indica que os aumentos de temperatura bem como o incremento nas concentrações de nutrientes, não foram suficientes para promover a alteração na estrutura da comunidade como um todo na Lagoa Mangueira, sendo que o *turnover* de espécies formadoras de floração não foi observado, como esperado. A resiliência dos ecossistemas aquáticos em função da amplitude das alterações climáticas pode ajudar a compreender as respostas destes ambientes diante dos inúmeros prognósticos e expectativas geradas.

Palavras-chave: microcosmos, enriquecimento, resiliência, América do Sul, temperatura, fitoplâncton, cianobactéria.

ABSTRACT

Climate change is considered one of the greatest threats to aquatic ecosystems around the globe. Among the planned changes including the dynamics of phytoplankton, the growth of cyanobacteria are among the most cited. The objective of this study was to evaluate the isolated and combined effects of increased temperature and nutrients on phytoplankton community structure in a large subtropical shallow lake. The study was conducted in microcosms to simulate possible scenarios of climate change alone and in combination with nutrient enrichment (N and P), from samples of winter and summer. The isolated and or combined influence increase of temperature and nutrients promoted non significant changes in total biomass, species richness and diversity of Lake Mangueira. Biomass of Bacillariophyceae was significantly influenced by the combined effect of factors, while the significant increase in biomass of Cyanobacteria occurred only under the isolated effects of heating and enrichment. Descriptors species composition in both periods was not altered. This indicated that the temperature increases and the increase in nutrient concentrations were not sufficient to promote changes in the phytoplankton community structure in Lake Mangueira, and the turnover of bloom-forming species was not observed, as expected. The resilience of aquatic ecosystems depending on the extent of climate change disturbance might contribute to understand the responses of these environments on the numerous predictions and expectations.

Keywords: microcosms, enrichment, resilience, South America, temperature, phytoplankton, cyanobacteria.

Introdução

Atualmente, as alterações climáticas são consideradas uma das ameaças mais graves para os ecossistemas ao redor do globo (ACIA 2004; Rosenzweig *et al.* 2007). O monitoramento e a compreensão acerca dos efeitos das mudanças climáticas são desafios a serem desvendados, visto as diversas consequências que elas podem causar nos diferentes ecossistemas (Adrian *et al.* 2009). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC 2007) constatou que a temperatura média da atmosfera aumentou em 0,6°C durante o século XX.

No Brasil os impactos seriam muitos, variando desde a savanização da Amazônia, escassez de água nas regiões áridas e semiáridas, aumento de chuva no sudeste e secas mais frequentes e chuvas restritas no sul do país (IPCC 2007; Greenpeace 2006). De uma forma geral, os impactos envolverão o aumento de temperatura, modificações nos padrões de chuvas e alterações na distribuição de extremos climáticos tais como secas, inundações, penetração de frentes frias, geadas, tempestades severas, vendavais, granizo e intensificação da variabilidade climática associada a eventos El Niño/La Niña em função do aumento do efeito estufa (Nobre *et al.* 2007). Entretanto, em nível regional, ainda há muitas incertezas sobre os efeitos categóricos das mudanças sobre os ecossistemas (Nobre *et al.* 2007) devido à peculiaridade de cada região.

Águas doces são particularmente vulneráveis às alterações climáticas porque elas são relativamente isoladas e fragmentadas fisicamente dentro de uma paisagem em grande parte terrestre (Woodward *et al.* 2009). Além disso, a biodiversidade de água doce está desproporcionalmente em risco em uma escala global, porque enquanto as águas doces cobrem apenas 0,8% da superfície da Terra, elas são o lar para cerca de 6% de todas as espécies (Dudgeon *et al.* 2006). Espera-se fortes alterações nos ecossistemas aquáticos variando desde a desertificação de muitos corpos d'água, inundações, mudanças hidrológicas, nos regimes de precipitação e até a perda de biodiversidade (Soares & Marengo 2007), transmissão de doenças (Barcellos *et al.* 2009) e falta de água para agricultura e pecuária (IPCC 2007).

Alguns estudos já indicaram os primeiros indícios dos efeitos atuais das mudanças climáticas na estrutura e função dos ecossistemas lacustres (Schindler *et al.* 1996; Magnuson *et al.* 2000; Verburg *et al.* 2003) e consequências nos serviços

ecossistêmicos (O'Reilly *et al.* 2003). Espera-se que o aquecimento global eleve os níveis de água em altas latitudes onde modelos indicam aumento da precipitação, enquanto os níveis de água em baixas e médias latitudes devem declinar (Bates *et al.* 2008). Acredita-se que sistemas em latitudes e altitudes mais elevadas experimentarão as taxas mais rápidas de alteração devido ao aquecimento do planeta (Hassan *et al.* 2005).

Embora tentativas de prever os possíveis efeitos das mudanças climáticas globais sobre ambientes aquáticos temperados já tenham sido realizadas experimentalmente (ex. Davis *et al.* 2009, Feuchtmayr *et al.* 2009) e com o uso de modelagem (ex. Domis *et al.* 2007, Elliot *et al.* 2006), os direcionadores das mudanças climáticas terão efeitos diferentes em lagos, dependendo da posição geográfica, altitude, morfometria, clima, vegetação e uso da terra (Adrian *et al.* 2009). Em bacias hidrográficas agrícolas as mudanças na precipitação e decomposição podem alterar principalmente a importação de nutrientes nos corpos de água (Adrian *et al.* 2009). Por outro lado, diante de um cenário de seca, o aumento do tempo de residência nos ambientes aquáticos tende a aumentar e com ele as cargas de nutrientes, favorecendo a ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas (Paerl & Huisman 2008; Jöhnk *et al.* 2008).

A eutrofização e o aumento de temperatura são dois fatores que ameaçam impactar a estrutura e o funcionamento de lagos e lagoas (Carvalho & Kirika 2003). Diversos trabalhos têm sido realizados para entender os diferentes aspectos do crescente processo de eutrofização global (Pasternak *et al.* 2009), porém pouco se sabe sobre os reais efeitos que essa interação (temperatura e eutrofia) causará nos ecossistemas aquáticos (Carvalho e Kirika 2003).

A ecologia do fitoplâncton é uma valiosa ferramenta de investigação dos efeitos das mudanças ambientais, com resultados que podem ser aplicados a outras comunidades (Reynolds 1997). As taxas de crescimento, abundância e composição de espécies podem ser consideradas indicadoras de alterações climáticas. Dada a disponibilidade de recursos suficientes, o aumento da temperatura geralmente acelera o crescimento e desenvolvimento de organismos, embora mudanças na abundância absoluta tendam a ser específica para cada espécie (Adrian *et al.* 2006, Reist *et al.* 2006, Blenckner *et al.* 2007).

Considerando-se os efeitos do aquecimento global sobre o fitoplâncton, o incremento de cianobactérias está entre os eventos mais citados. Ainda que uma vasta quantidade de estudos tenham demonstrado maiores taxas de crescimento e abundância de cianobactérias como respostas às mudanças climáticas (Adrian *et al.* 1995, Weyhenmeyer *et al.* 2002, Domis *et al.* 2007, Pearl & Husmann 2008, Kosten *et al.* 2012), alguns poucos trabalhos já demonstraram que em lagos rasos não estratificados dominados por macrófitas (Moss *et al.* 2003) ou não (Fragoso *et al.* 2011) o recrutamento de cianobactérias pode não ocorrer como se espera.

Nesse sentido, estudar a dinâmica do fitoplâncton e os efeitos do aumento da temperatura juntamente com o processo de eutrofização são fundamentais para iniciar o desenvolvimento e planejamento de estratégias de gerenciamento e restauração (Carvalho & Kirika 2003) dos ecossistemas aquáticos diante das mudanças ambientais que se sucederão. A hipótese deste estudo é que a comunidade fitoplanctônica sofre influência direta e significativa das mudanças climáticas globais, alterando sua estrutura e dinâmica diante de variações de temperatura (aquecimento) e disponibilidade nutricional em ambientes aquáticos, alterando sua composição, beneficiando espécies invasivas e reduzindo a biodiversidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito combinado e isolado de temperatura e nutrientes (N e P) na estrutura da comunidade fitoplanctônica em um grande lago raso polimítico (Lagoa Mangueira, sul do Brasil), em microcosmos.

Material e Métodos

Área de Estudo

A Lagoa Mangueira está situada no Sistema Hidrológico do Taim (SHT) que é uma extensa área úmida, com aproximadamente 2254 km², localizada no Sul do Rio Grande do Sul (Fig. 1), compreendendo trechos dos Municípios de Santa Vitória do Palmar e do Rio Grande entre as latitudes 32°20'S e 33°00' S, e pela Lagoa Mirim e o Oceano Atlântico sul (52°20'W e 52°45'W), está próximo ao Arroio Chuí, na fronteira com o Uruguai. E esta área faz parte da Estação Ecológica do TAIM (ESEC – TAIM). Alguns estudos nesta lagoa vêm sendo realizados pelo PELD (Pesquisas Ecológicas de Longa Duração, sítio 7). O clima da região, segundo o Sistema de Koöppen-Geiger (Kottek *et*

al. 2006), é do tipo Cfa, apresentando precipitação distribuída em todos os meses ao longo do ano. As temperaturas dos meses mais quentes são em média superiores a 22°C, enquanto que as dos meses mais frios variam entre 18 e -3°C (Ferreira 2005). Esta região apresenta precipitação anual de 1.300 mm e sofre forte ação dos ventos, a direção predominante é a de origem Nordeste (Fragoso *et al.* 2008).

Esta lagoa é o maior sistema aquático da área, perfazendo 820 km² de área e 90 km de extensão. Sua profundidade média é de 3m no período de cheia. Recentemente foi classificada como oligo-mesotrófica (Motta-Marques, comunicação pessoal). Ao norte da lagoa encontra-se o banhado do Taim, caracterizado pela vegetação exuberante de macrófitas emergentes, que chegam a cobrir 30% ou mais da área efetiva (Villanueva 1997). O sistema é considerado polimíctico quente contínuo (com circulação permanente, sem cobertura de gelo durante todo o ano, estratificação de algumas horas em determinados períodos) segundo o sistema de Lewis (1983).

Nas áreas adjacentes ao SHT existem diferentes tipos de cobertura de solo, dentre elas solo agrícola, pastagens, reflorestamento, dunas e áreas baixas, alagadas permanente ou temporariamente. A cultura de arroz irrigado (*Oriza* sp.) na região é significativa e altamente tecnificada, sendo que o consumo de água na época de irrigação pode atingir o valor de 110 m³.s⁻¹ (Tucci *et al.* 2002). É da Lagoa Mangueira que sai a maior parte deste montante, onde se encontram instaladas estruturas de bombeamento de água com capacidade individual de até 11 m³s⁻¹. A intensa extração de água da Lagoa Mangueira ocorre durante o verão, quando naturalmente o nível da lagoa tende a diminuir em função dos baixos índices de precipitação. Após o plantio, a água utilizada retorna enriquecida por nutriente e matéria orgânica para a lagoa (Motta Marques *et al.* 1997).



Fig. 1 Localização da Lagoa Mangueira e da região de coleta, ao centro-sul da lagoa (RC).

Delineamento Experimental

A água coletada na região pelágica do sul da Lagoa Mangueira (na sub-superfície da lâmina d'água) foi acondicionada em tonéis, aerada e levada para o laboratório para início imediato do experimento. O delineamento experimental de enriquecimento constou de quatro tipos de tratamentos, triplicados e designados: controle (C), sem adição de nutrientes; com adição isolada de fósforo (P); com adição isolada de nitrogênio (N) e com adição combinada de nitrogênio e fósforo (NP). O experimento foi realizado em réplicas, utilizando-se microcosmos (aquários de vidro, com 1,5 L), agitados diariamente, em fotoperíodo de 12/12 horas.

Os tratamentos com adição de nutrientes foram enriquecidos com nitrogênio (NH_4NO_3 Merck PA) e/ou fósforo (KH_2PO_4 Merck PA), em cerca de quatro vezes a concentração média dos últimos cinco anos de nitrato e ortofosfato da Lagoa Mangueira (média histórica $0,13 \text{ mg N.L}^{-1}$ e $0,04 \text{ mg P.L}^{-1}$, respectivamente). Os sais foram adicionados somente no primeiro dia de experimento, simulando o maior aporte de nutrientes como efeito secundário dos processos consequentes das mudanças climáticas

globais (ex.: lixiviação, processos de retroalimentação, mecanismos autóctone de disponibilização de nutrientes, etc.). O experimento durou 12 dias e cinco amostragens foram realizadas (dias 1, 3, 6, 9 e 12), sendo efetuado no inverno de 2011 e repetido no verão de 2012.

Os tratamentos acima descritos foram submetidos a três cenários com diferentes temperaturas, simulando as previsões das mudanças climáticas para o sul da América do Sul, descritos pelo IPPC (2007), considerando o inverno e verão, sendo:

Cenário 0: tratamento controle, realizado a partir do cálculo da temperatura média do ar, nos últimos cinco anos, na lagoa. Para o experimento, no inverno a temperatura controle foi de 13° C e no verão de 24° C.

Cenário 1: segue o panorama A2 (IPCC 2007) que prevê elevadas emissões de GEE (se as emissões continuarem a crescer como nas últimas décadas) no planeta até 2100, onde no sul da América do Sul espera-se o aumento de temperatura em 4° C. Para o experimento, no inverno a temperatura foi 17° C e no verão 28° C.

Cenário 2: extrapolação das estimativas de aquecimento global, com aumento de até 7° C. Para o experimento, a temperatura de inverno foi 20° C e no verão foi 31° C.

Variáveis abióticas e biológicas

As variáveis limnológicas analisadas foram temperatura, oxigênio dissolvido, pH (HACH HQd Field - HQ 40d multi HACH), nitrito, nitrato, ortofosfato, nitrogênio total e fósforo total (Mackeret *et al.* 1989).

Para a análise quantitativa, as amostras de fitoplâncton foram fixadas em solução de lugol acético a 1% e analisadas sob microscópio invertido segundo método de Ütermöhl (1958) e o tempo de sedimentação de Lund *et al.* (1958). O biovolume ($\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1} \rightarrow \text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) de cada espécie foi calculado segundo Sun & Liu (2003) e Hillebrand *et al.* (1999), a partir de valores médios das medidas de 20 a 30 indivíduos, quando possível. A biomassa ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) foi estimada a partir da multiplicação dos valores de biovolume pela densidade de cada táxon. Foram consideradas como descritoras da comunidade as espécies que, dentre todas as que contribuíram com 4% ou mais da biomassa total de cada tratamento, apresentaram as maiores biomassas relativas. A riqueza de espécies foi

estimada a partir do número de táxons e o índice de diversidade seguiu Shannon & Weaver (1963).

Análise dos dados

Tanto para os dados abióticos quanto biológicos foi efetuada análise estatística descritiva, para tanto se utilizou a média composta das réplicas. Para a realização dos testes estatísticos foi utilizada a transformação de $\log(x+1)$. Para comparação entre os tratamentos, tanto para avaliação do efeito individual do aumento da temperatura e das concentrações de fósforo e nitrogênio, quanto para o efeito combinado da temperatura e do enriquecimento (N, P e NP) foi utilizada Análise de Variância (ANOVA Fatorial, em blocos), usando-se como blocos o fator tempo de experimento. O software utilizado foi o MULTIV Beta versão 295. Para analisar a influência da temperatura e nutrientes isoladamente na biomassa das diferentes classes de algas foi realizada uma ANOVA “*One-way*”, enquanto que para avaliar o efeito combinado de temperatura e nutrientes sobre a biomassa das classes utilizou-se ANOVA fatorial. Em todas as situações significativas o teste de Tukey HSD *a posteriori* foi efetuado, no programa SPSS versão 17.

Resultados

A tabela 1 resume as condições físicas e químicas de cada tratamento nas diferentes estações do ano (inverno e verão) a partir das cinco coletas realizadas durante o período experimental.

Foram identificadas 102 espécies distribuídas em 7 classes de algas. Chlorophyceae foi à classe que apresentou maior número de táxons (50% do total de táxons identificados), seguida pelas Cyanobacteria e Bacillariophyceae, que contribuíram, respectivamente, com 20% e 18% dos táxons identificados. Dezesesseis espécies foram consideradas descritoras nos tratamentos com manipulação de temperatura e/ou nutrientes no inverno, e 14 espécies no verão. Oito espécies foram descritoras em ambas as estações.

Efeitos do aquecimento

Analisando-se isoladamente os efeitos do aquecimento sobre a comunidade fitoplanctônica, no inverno a biomassa total do fitoplâncton tendeu a aumentar, ao contrário do verão quando a biomassa total tendeu a diminuir em consequência do aumento de temperatura, porém em ambas as ocasiões de forma não significativa ($p > 0,05$; Fig. 2). Dentre a contribuição relativa das classes, Bacillariophyceae ($p < 0,05$), Chlorophyceae ($p < 0,05$) e Cyanobacteria ($p < 0,05$) diminuíram suas biomassas na temperatura de 17° C, porém demonstraram aumento significativo à 20° C ($p < 0,05$). Cianobactérias contribuíram com 54% da biomassa total da temperatura a 20° C (Fig. 3). No verão, a biomassa de Cyanobacteria aumento significativamente a 30°C ($p < 0,05$) (Fig. 4).

Considerando a biomassa relativa das espécies (Fig. 5), as espécies descritoras do efeito do aquecimento no inverno foram *Planktolyngbya contorta*, *Pseudanabaena limnetica* e *Planktolyngbya limnetica*. As espécies consideradas descritoras do efeito do aquecimento no verão (Fig. 5) foram *Planktolyngbya limnetica* e *Mougeotia* sp. Apesar das alterações nas biomassas das classes de algas, a riqueza e diversidade de espécies não foram afetadas pelo aquecimento em nenhuma das épocas estudadas ($p < 0,05$; Fig. 6, Fig. 7).

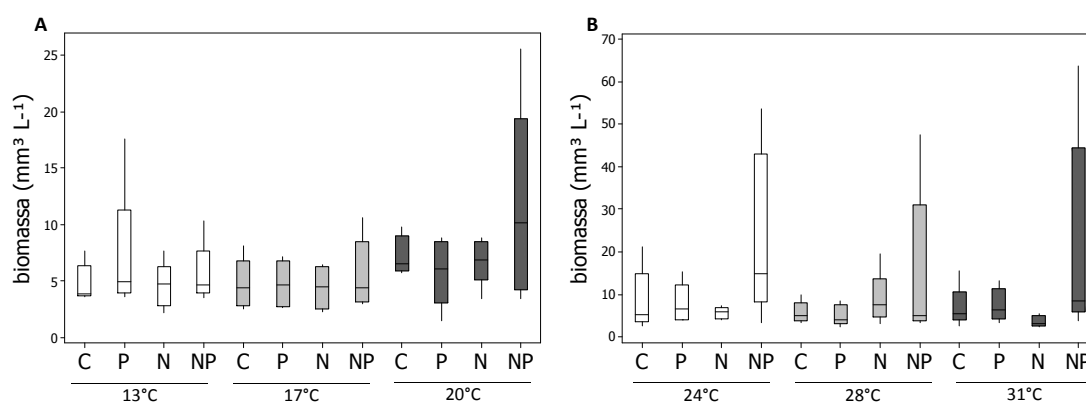


Fig. 2 Variação (medianas, quartis) da biomassa fitoplanctônica nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) e temperatura a partir de amostras de inverno (A) (13°C, 17°C e 21°C) e verão (B) (24°C, 28°C e 31°C) da Lagoa Mangureira.

Tabela 1 Valores (mínimo, máximo, média e desvio padrão) das variáveis abióticas mensuradas durante o período de experimento nas diferentes estações.

	Inverno											
	13° C				17° C				20° C			
	C	P	N	NP	C	P	N	NP	C	P	N	
pH	8,09 - 8,37 (8,26 ± 0,11)	7,58 - 8,31 (8,106 ± 0,30)	8,12 - 8,36 (8,266 ± 0,09)	7,83 - 9,12 (8,42 ± 0,49)	8,22 - 8,56 (8,37 ± 0,13)	7,77 - 8,50 (8,28 ± 0,29)	8,27 - 8,54 (8,48 ± 0,13)	7,84 - 8,70 (8,41 ± 0,34)	8,28 - 8,63 (8,48 ± 0,13)	7,78 - 8,58 (8,36 ± 0,33)	8,24 - 8,88 (8,70 ± 0,26)	
PT (mg.L-1)	0,01 - 0,03 (0,02 ± 0,01)	0,97 - 1,00 (0,98 ± 0,01)	0,02 - 0,69 (0,15 ± 0,30)	0,89 - 1,01 (0,97 ± 0,05)	0,01 - 0,03 (0,01 ± 0,01)	0,87 - 1,06 (1,01 ± 0,08)	0,01 - 0,07 (0,02 ± 0,03)	0,99 - 1,06 (1,03 ± 0,03)	0,01 - 0,03 (0,02 ± 0,01)	1,00 - 1,08 (1,04 ± 0,03)	0,01 - 0,03 (0,01 ± 0,01)	
NT (mg.L-1)	0,02 - 0,15 (0,06 ± 0,05)	0,02 - 0,11 (0,05 ± 0,04)	0,03 - 0,08 (0,05 ± 0,02)	0,03 - 0,08 (0,05 ± 0,03)	0,01 - 0,14 (0,05 ± 0,05)	0,00 - 0,13 (0,08 ± 0,06)	0,04 - 0,23 (0,11 ± 0,09)	0,01 - 0,16 (0,07 ± 0,06)	0,02 - 0,12 (0,06 ± 0,04)	0,00 - 0,10 (0,05 ± 0,05)	0,03 - 0,20 (0,10 ± 0,06)	
OD (mg.L-1)	9,18 - 10,54 (10,12 ± 0,55)	9,08 - 10,37 (10,05 ± 0,55)	9,14 - 10,81 (10,18 ± 0,63)	9,09 - 12,82 (10,72 ± 1,41)	9,34 - 9,73 (9,53 ± 0,18)	9,20 - 9,84 (9,44 ± 0,25)	9,41 - 9,95 (9,66 ± 0,23)	9,31 - 9,95 (9,68 ± 0,24)	9,10 - 9,82 (9,38 ± 0,33)	9,02 - 9,91 (9,35 ± 0,37)	9,49 - 10,11 (9,74 ± 0,23)	
	Verão											
	24° C				28° C				31° C			
	C	P	N	NP	C	P	N	NP	C	P	N	
pH	8,16 - 8,36 (8,27 ± 0,09)	8,21 - 8,38 (8,30 ± 0,08)	8,28 - 8,42 (8,36 ± 0,06)	8,22 - 9,52 (8,74 ± 0,56)	8,11 - 8,35 (8,24 ± 0,10)	8,25 - 8,52 (8,34 ± 0,10)	8,32 - 8,40 (8,36 ± 0,04)	8,26 - 9,34 (8,65 ± 0,45)	8,16 - 8,48 (8,34 ± 0,15)	8,15 - 8,49 (8,34 ± 0,17)	7,92 - 8,44 (8,26 ± 0,23)	
PT (mg.L-1)	0,01 - 0,07 (0,03 ± 0,03)	0,08 - 0,78 (0,49 ± 0,38)	0,01 - 0,08 (0,04 ± 0,03)	0,01 - 0,78 (0,61 ± 0,34)	0,01 - 0,07 (0,05 ± 0,03)	0,08 - 0,78 (0,37 ± 0,36)	0,01 - 0,77 (0,18 ± 0,33)	0,07 - 0,77 (0,5 ± 0,38)	0,01 - 0,07 (0,04 ± 0,03)	0,06 - 0,75 (0,22 ± 0,30)	0,01 - 0,07 (0,04 ± 0,03)	
NT (mg.L-1)	0,00 - 0,03 (0,01 ± 0,01)	0,00 - 0,03 (0,01 ± 0,01)	0,00 - 0,19 (0,04 ± 0,08)	0,00 - 0,08 (0,02 ± 0,04)	0,00 - 0,07 (0,02 ± 0,03)	0,00 - 0,01 (0,00 ± 0,01)	0,00 - 0,02 (0,01 ± 0,01)	0,00 - 0,05 (0,01 ± 0,02)	0,00 - 0,02 (0,00 ± 0,01)	0,00 - 0,02 (0,01 ± 0,01)	0,00 - 0,03 (0,01 ± 0,01)	
OD (mg.L-1)	7,90 - 8,40 (8,10 ± 0,21)	8,07 - 8,41 (8,19 ± 0,14)	8,02 - 8,41 (8,16 ± 0,16)	8,13 - 11,43 (9,39 ± 1,40)	7,41 - 8,39 (7,8 ± 0,36)	7,80 - 8,32 (7,98 ± 0,21)	7,61 - 8,34 (7,88 ± 0,30)	7,81 - 11,76 (9,04 ± 1,58)	6,82 - 7,91 (7,49 ± 0,40)	6,90 - 7,89 (7,56 ± 0,39)	6,85 - 7,85 (7,54 ± 0,41)	

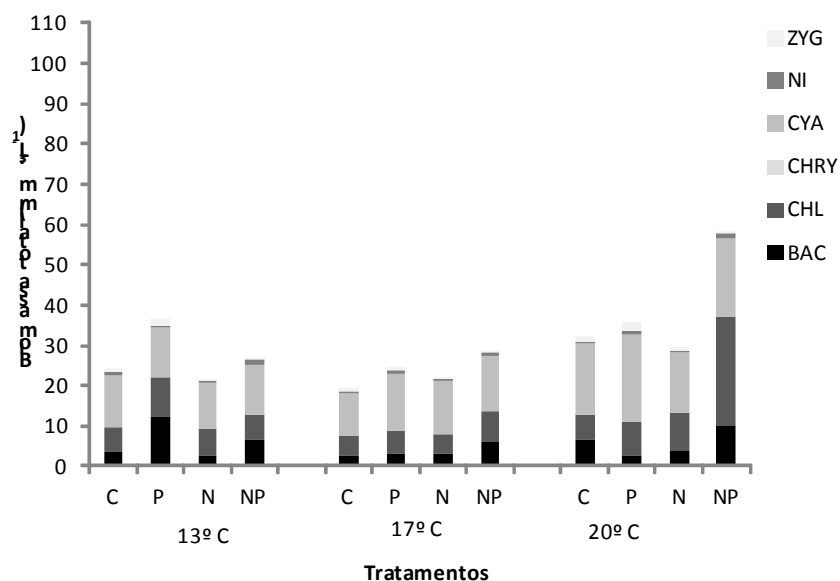


Fig. 3 Biomassa total das classes fitoplantônicas nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) a partir de amostras de inverno. (ZYG = Zygnemaphyceae, NI = Não Identificado, CYA = Cyanobacteria, CHRY = Chrysophyceae, CHL = Chlorophyceae e BAC = Bacillariophyceae).

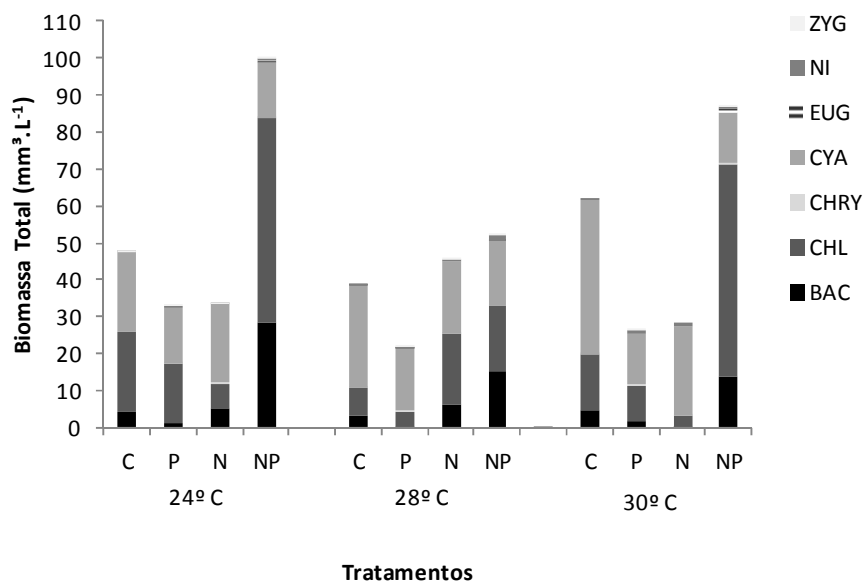


Fig. 4 Biomassa total das classes fitoplantônicas nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) a partir de amostras de verão. (ZYG = Zygnemaphyceae, NI = Não Identificado, EUG = Euglenophyceae, CYA = Cyanobacteria, CHRY = Chrysophyceae, CHL = Chlorophyceae e BAC = Bacillariophyceae).

Efeito do enriquecimento nutricional

A análise dos efeitos de uma possível eutrofização na lagoa indicou que no inverno e no verão a biomassa total não foi influenciada pelo aporte de nutrientes ($p > 0,05$, Fig. 2). Embora, em relação ao tratamento controle, tenha sido observada tendência ao aumento da biomassa total nos tratamentos P, N e NP no inverno, e no verão tenha sido observado aumento da biomassa no tratamento NP. A composição das classes, por sua vez, foi influenciada pela adição de nutrientes tanto no inverno quanto no verão (Fig. 3). No inverno, destacou-se o tratamento P, onde foi observado o aumento da biomassa de Bacillariophyceae ($p < 0,05$) e Chlorophyceae ($p < 0,05$). No verão, destacou-se o tratamento NP, onde as biomassas de Chlorophyceae e Bacillariophyceae aumentaram significativamente (Fig. 4). A biomassa de Cyanobacteria diminuiu nos enriquecimentos ($p < 0,05$). *Pseudanabaena limnetica* foi à espécie que mais contribuiu com a biomassa total dos tratamentos C, N e NP no inverno, enquanto no tratamento P a maior contribuição foi de *Nitzschia* sp (Fig. 5). No verão, *Planktolyngbya limnetica* foi à espécie que mais contribuiu com a biomassa relativa dos tratamentos C e N. Para o tratamento NP a espécie de maior contribuição foi *Mougeotia* sp, e para o tratamento P essas duas espécies tiveram as maiores contribuições (Fig. 5). A riqueza não foi alterada significativamente em função da adição de nutrientes no inverno ($p > 0,05$; Fig. 6A), embora tendência ao aumento tenha sido registrada nos tratamentos P e NP. Já no verão, a riqueza mostrou alterações significativas ($p < 0,05$; Fig. 6B) diante do incremento de nutrientes, especialmente no tratamento NP e P, onde aumentou diferenciando-se dos demais. O índice de diversidade não demonstrou alterações significativas ($p > 0,05$; Fig. 7) em ambas as épocas estudadas.

Efeito combinado de temperatura e nutrientes

O efeito combinado de temperatura e nutrientes não alterou significativamente a biomassa total do fitoplâncton ($p > 0,05$; Fig. 2) em nenhuma das épocas estudadas. Mas foi identificada discreta tendência ao aumento da biomassa total nos tratamentos N e NP, principalmente na temperatura de 20° C no inverno e maior aumento de biomassa no tratamento NP em todas as temperaturas manipuladas no verão. Quanto às classes, destacou-se a biomassa de Bacillariophyceae que foi influenciada ($p < 0,05$) pelo efeito combinado de temperatura e nutrientes no inverno e no verão, aumentando no

tratamento NP a 20° C no inverno e 31° C no verão. (Fig. 3; Fig. 4). As espécies consideradas descritoras do efeito combinado de temperatura e nutrientes no inverno foram *Pseudanabaena limnetica*, *Planktolyngbya contorta*, *Planktolyngbya limnetica*, *Botryococcus* sp, *Nitzschia palea* e *Nitzschia* sp (Fig. 5). No verão *Planktolyngbya limnetica* e *Mougeotia* sp foram as espécies que mais contribuíram para a biomassa total diante dos efeitos da temperatura e aquecimento (Fig. 5). A riqueza de espécies foi afetada pelo efeito combinado de temperatura e nutrientes ($p < 0,05$), destacando-se o aumento da riqueza no tratamento N em relação ao C, especialmente em 20° C, no inverno (Fig. 6A). Da mesma forma, a riqueza de espécies foi alterada significativamente no verão ($p < 0,05$; fig. 6B), aumentando no tratamento NP na temperatura de 24° C, assim como no tratamento P em todas as temperaturas testadas. Apesar das alterações em nível de riqueza de espécies, a diversidade não respondeu aos diferentes fatores ($p > 0,05$; Fig. 7), independente da época de estudo, embora tenha sido identificada tendência ao aumento da diversidade nos diferentes tratamentos no inverno e aumento da diversidade no tratamento P, em todas as temperaturas no verão.

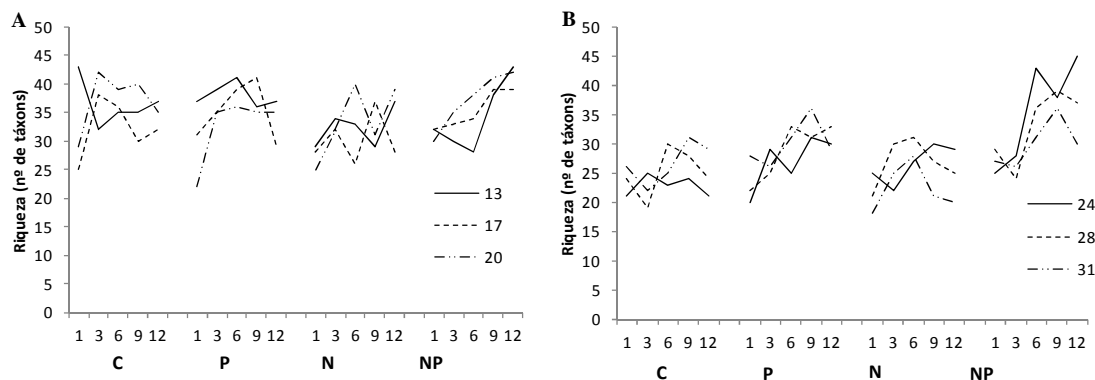


Fig 5 Riqueza de espécies (nº de táxons) ao longo dos dias nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) e temperatura a partir de amostras de inverno (A) (13°C, 17°C e 21°C) e verão (B) (24°C, 28°C e 31°C) da Lagoa Mangureira.

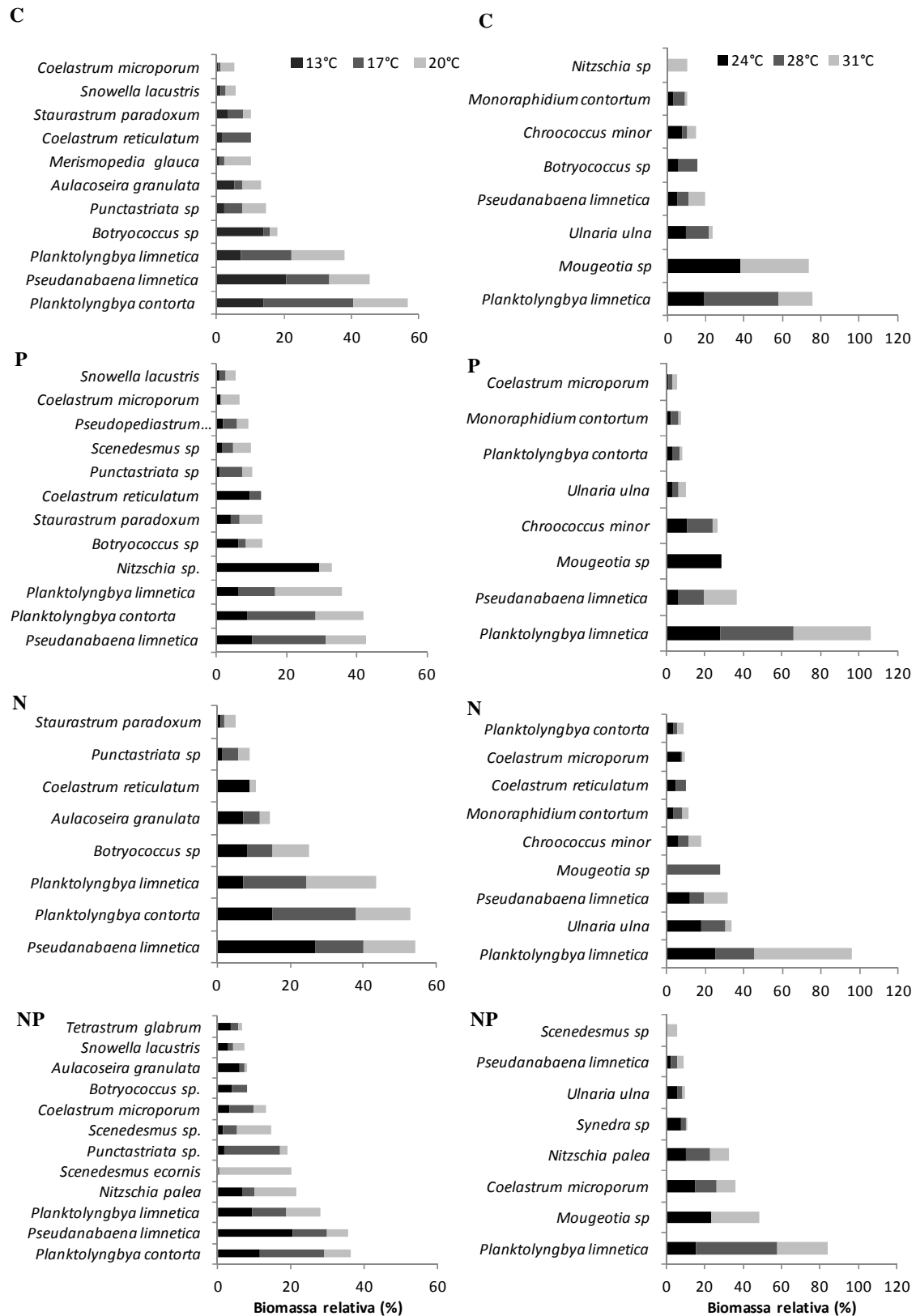


Fig. 6 Biomassa relativa ($\text{mm}^3\cdot\text{L}^{-1}$) das espécies descritoras nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) e temperatura a partir de amostras de inverno (13°C, 17°C e 21°C) e verão (24°C, 28°C e 31°C) da Lagoa Mangureira.

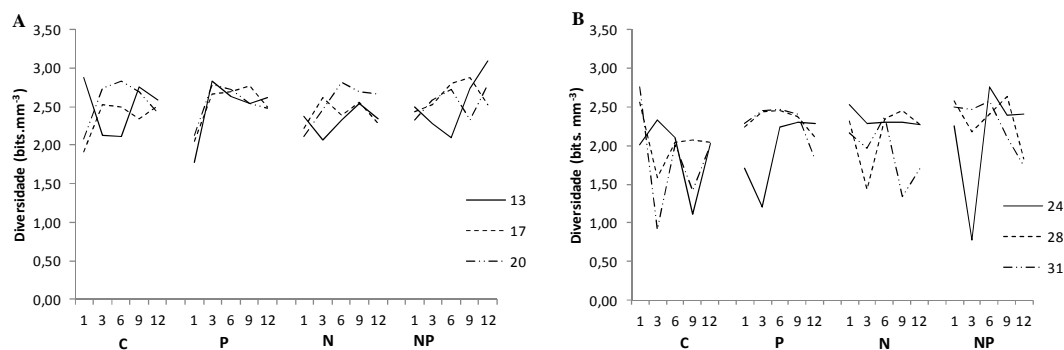


Fig. 7 Diversidade espécies (bits.mm⁻³) ao longo dos dias nos diferentes tratamentos de adição de nutrientes (C = controle, P = adição isolada de P, N = adição isolada de N, NP = adição combinada de N e P) e temperatura a partir de amostras de inverno (A) (13°C, 17°C e 21°C) e verão (B) (24°C, 28°C e 31°C) da Lagoa Mangureira.

Discussão

A adição isolada e/ou combinada de temperatura e nutrientes influenciaram de forma pouco significativa às alterações da biomassa total, riqueza e diversidade de espécies. A contribuição relativa das classes sofreu influência da temperatura e nutrientes isoladamente, embora a composição de espécies descritoras nos períodos estudados na Lagoa Mangureira não tenha mudado.

As taxas de crescimento, abundância e composição de espécies podem ser consideradas como indicadores das mudanças climáticas (Adrian *et al.* 2009). Um dos efeitos mais temidos dessas alterações é o aumento da temperatura, que influencia diretamente o metabolismo dos organismos aquáticos fotossintetizantes, aumentando suas taxas de crescimento e acumulação de biomassa (Padilla-Gamino & Carpenter, 2007). Os resultados aqui apresentados não demonstraram essas tendências, pois, ao invés do aumento da biomassa do fitoplâncton, observou-se diminuição da mesma no cenário que seguiu o panorama A2 do IPCC (IPCC 2007), ou seja, nas temperaturas de 17 °C no inverno e 28 °C no verão. A biomassa das algas aumentou em situações de aquecimento extremo, e mesmo assim de forma não significativa, indicando que a biomassa fitoplanctônica da Lagoa Mangureira não deve sofrer impactos significativos isolados diante do aumento da temperatura.

Durante décadas, têm-se enfrentado o problema mundial da eutrofização e esforços científicos visando à compreensão do incremento das cargas de nutrientes e as respostas do fitoplâncton têm aumentado. Estudos têm mostrado que o nitrogênio, fósforo, ou a disponibilidade de ambos, controla taxas de crescimento do fitoplâncton (Elmgren & Larsson 2001; Smith 2003), biomassa (Cloern 2001; Bledsoe *et al.* 2004), e composição de espécies (Duarte *et al.* 2000; Smayda & Reynolds 2001). Do ponto de vista das mudanças climáticas globais, espera-se a intensificação dos sintomas da eutrofização em lagos rasos (Jeppesen *et al.* 2010), tanto através de modificações nos padrões de mistura dos lagos, mas também devido a regimes hídricos alterados que podem gerar descargas de nutrientes de fontes não pontuais (Winder & Sommer 2012). No presente estudo, a disponibilidade de nutrientes não influenciou a biomassa total do fitoplâncton, porém causou alterações na contribuição relativa de algumas classes de algas, tais como Bacillariophyceae, Chlorophyceae e Cyanobacteria, em ambas as estações, diante do enriquecimento isolado (sem alteração da temperatura). Segundo alguns estudos, diatomáceas tendem a ser favorecidas pela disponibilidade de nutrientes (Moss & Balls 1989; Reynolds 1997), algas verdes pelas elevadas concentrações de nutrientes (Jensen *et al.* 1994) e cianobactérias por níveis moderadamente elevados de fósforo, escassez de dióxido de carbono livre, estabilidade da massa de água e longo tempo de retenção da água, entre outros (Shapiro 1990).

Dentre os inúmeros efeitos que as mudanças climáticas podem gerar em lagos rasos, as florações de cianobactérias ganharam destaque nos últimos tempos em função de sua alta capacidade de adaptação a condições extremas, especialmente diante de altas temperaturas (Pearl & Huismman 2008; Winder & Sommer 2012, Kosten *et al.* 2012), o que oferece a elas uma vantagem competitiva em relação a outras espécies de fitoplâncton, tais como diatomáceas e clorofíceas (Reynolds 2006; Jönk *et al.* 2008). Os resultados deste estudo corroboram esta afirmação, pois o aumento da temperatura isoladamente proporcionou o aumento da biomassa das cianobactérias que chegou a contribuir com 54% e 66% da biomassa total do inverno e verão, respectivamente. Contudo, a combinação da adição de nutrientes e incremento de temperatura não favoreceu o desenvolvimento das cianobactérias na Lagoa Mangureira. Da mesma forma, não foi observada alteração significativa na composição das espécies descritoras em função das manipulações realizadas. Este fato contrariou as expectativas de que espécies potencialmente formadoras de floração previamente registradas para este

ecossistema, tais como *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa* (Crossetti *et al.* 2007), teriam sido recrutadas diante das condições experimentais, embora ambas tenham sido registradas no presente estudo em baixa biomassa. As cianobactérias descritoras deste estudo, *Planktolyngbya contorta*, *Pseudanabaena limnetica* e *Planktolyngbya limnetica* têm sido relacionadas a ambientes túrbidos e misturados, sendo tolerantes a baixas intensidades de luz (Reynolds *et al.* 2002; Padišák *et al.* 2009).

A perda da diversidade fitoplanctônica também é um dos efeitos esperados em função das mudanças climáticas em ecossistemas aquáticos, especialmente em função das alterações físicas e entrada de nutrientes, dentre outros (Winder & Sommer 2012). No presente estudo, mudanças significativas na riqueza de espécies foram constatadas em ambas as estações diante das manipulações combinadas de temperatura e nutrientes, especialmente no verão (31°C) no tratamento NP. Esta condição possivelmente favoreceu a ocorrência de outras espécies algais incapazes de competir com a elevada biomassa das espécies descritoras (*Planktolyngbya limnetica* e *Mougeotia* sp). Apesar dessas alterações, a diversidade de espécies encontradas nos experimentos não foi alterada, indicando que este incremento de espécies não contribuiu para a biomassa total observada.

Embora a grande maioria dos trabalhos atualmente busque demonstrar os efeitos drásticos das mudanças globais nos ecossistemas aquáticos e conseqüentemente sobre a estrutura e dinâmica do fitoplâncton, alguns estudos evidenciaram que estes ambientes não se tornarão monocultura de cianobactérias. Moss *et al.* (2003) em experimento realizado em mesocosmos com adição de nutrientes, verificaram que o aumento de temperatura (ao longo do ano ou somente no verão) não alterou significativamente os valores de clorofila-a e/ou biomassa da comunidade fitoplanctônica. Desta forma, sugeriram que lagos rasos não estratificados dominados por macrófitas os temores de uma abundância crescente de cianobactérias, com as atuais projeções de aquecimento global, podem não ser tão catastróficos quanto o esperado. Da mesma forma, Fragoso *et al.* (2011), através de simulações em modelo ecológico dinâmico (IPH- TRIM3D-PCLake) na Lagoa Mangueira demonstraram que o efeito das mudanças climáticas através do aumento da temperatura e adição de nutrientes não foram significativamente aditivos nas comunidades aquáticas incluindo o fitoplâncton. Estes autores demonstraram que a maior carga de nutrientes afetou negativamente a transparência da

água, embora as mudanças tenham sido relativamente pequenas e lentas, indicando uma forte capacidade de resistência do sistema, ou uma grande inércia do lago devido ao seu grande tamanho. Mudanças de regime em lagos podem estar relacionadas à inércia destes ambientes e à variabilidade intrínseca do sistema (Contamin & Elliso 2009).

Embora alterações nas classes fitoplanctônicas e na riqueza de espécies tenham eventualmente sido registradas diante da manipulação de temperatura e nutrientes, a maioria dos atributos do fitoplâncton (biomassa total, contribuição e composição de espécies descritoras e diversidade) não sofreram alterações. Isso indica que os aumentos de temperatura de acordo com o cenário A2 do IPPC (2007) (+4°C) e o aumento de temperatura extremo (+7°C), bem como o incremento nas concentrações de nutrientes provocados não foram suficientes para promover a alteração na estrutura da comunidade como um todo na Lagoa Mangueira, sendo que o *turnover* de espécies formadoras de floração não foi observado. Dessa forma, estudos enfatizando a resiliência dos ecossistemas aquáticos em função das alterações climáticas esperadas podem contribuir para a conservação destes ambientes diante dos inúmeros prognósticos e expectativas geradas a partir do estudo de diversas comunidades aquáticas, inclusive o fitoplâncton.

Referências bibliográficas

- ACIA (2004) Impacts of a warming Arctic: Arctic climate impact assessment. *Cambridge Univ. Press*.
- Adrian R, Deneke R, Mischke U, Stellmacher R *et al.* (1995) Long-term study of the Heiligensee (1975–1992) - Evidence for effects of climatic-change on the dynamics of eutrophied lake ecosystems. *Archiv für Hydrobiologie*, **133**, 315–337.
- Adrian R, O'Reilly CM, Zagarese H *et al.* (2009) Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography*, **54** (6): 2283–2297.
- Barcellos C, Monteiro AMV, Corvalán, C *et al.* (2009). Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiol. Serv. Saúde*, **18** (3):285-304.
- Bates BC, Kundzewicz SZ & Palutikof J (2008) Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *IPCC Secretariat*, Geneva, 210 pp.
- Bledsoe EL, Philips EJ, Jett EC *et al.* (2004) The relationships among phytoplankton biomass, nutrient loading and hydrodynamics in an inner-shelf estuary. *Ophelia*, **58**, 29–47.
- Blenckner T *et al.* (2007) Large-scale climatic signatures in lakes across Europe: A meta-analysis. *Global Change Biology*, **13**, 1314–1326.

- Carvalho L & Kirika A (2003) Changes in shallow lake functioning: response to climate change and nutrient reduction. *Hydrobiologia*, 506–509.
- Cloern J. (2001) Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210, 223–253.
- Contamin R & Ellison AM (2009) Indicators of regime shifts in ecological systems: what do we need to know and when do we need to know it? *Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America*, 19(3), 799-816. Retirado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19425440>
- Crossetti LO, Cardoso LS, Callegaro VLM *et al.* (2007) The hydroperiod on the dynamics of phytoplankton community in a subtropical wetland-lake system. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 19 (3): 315-329.
- Davis TW, Berry DL, Boyer, GL & Gobler CJ (2009) The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of *Microcystis* during cyanobacteria blooms. *Harmful Algae*, 8, 715–725.
- Domis LNDS, Mooij WM & Huisman J (2007) Climate-induced shifts in an experimental phytoplankton community: a mechanistic approach. *Hydrobiologia*, 584, 403-413.
- Duarte CM, Agusti S, Agawin SR (2000) Response of a Mediterranean phytoplankton community to increased nutrient inputs: A mesocosm experiment. *Marine Ecology Progress Series*, 195, 61–70.
- Dudgeon D *et al.* (2006) Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Review*, 81, 163 – 182. (doi:10.1017/S1464793105006950)
- Elliott JA, Jones ID & Thackeray SJ (2006) Testing the sensitivity of phytoplankton communities to changes in water temperature and nutrient load, in a temperate lake. *Hydrobiologia*, 559,401–411.
- Elgren R & Larsson U (2001) Nitrogen and the Baltic Sea: Managing nitrogen in relation to phosphorus. *Scientific Word*, 1, 371–377.
- Ferreira TF (2005) Ecologia e aplicabilidade de métodos para avaliação da produção primária de *Zizaniopsis bonariensis*: uma macrófita aquática emergente, no Sistema Hidrológico do Taim, RS. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 141p.
- Feuchtmayr H, Moran R, Hatton K (2009) Global warming and eutrophication: effects on water chemistry and autotrophic communities in experimental hypertrophic shallow lake mesocosms. *Journal of Applied Ecology*, 46, 713–723.
- Fragoso CR, Motta Marques DML, Collischonn W *et al.* (2008) Modelling spatial heterogeneity of phytoplankton in Lake Mangueira, a large shallow subtropical lake in South Brazil. *Ecological Modelling*, 219 (1-2), 125-137.

- Fragoso CR, Motta Marques DML, Ferreira TF *et al.* (2011) Potential effects of climate change and eutrophication on a large subtropical shallow lake. *Environmental Modelling & Software*, 26 (11), 1337-1348. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.envsoft.2011.05.004
- Greenpeace (2006) Mudanças de clima, mudanças de vida: como o aquecimento global já afeta o Brasil. 64 pp. Preparado pelo Greenpeace-Brasil, São Paulo. www.greenpeace.org.br.
- Hassan R, Scholes R, Ash N (2005) Ecosystems and human well-being Current state and trends - Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC: *Island Press*. pp. 297-329.
- Hillebrand H, Dürseken D, Kirschiel D *et al.* (1999) Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35: 403-424.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., *Cambridge University Press*, Cambridge, UK, 976pp.
- Jensen JP, Jeppesen E, Olrik K *et al.* (1994) Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51, 1692–1699.
- Jeppesen E, Kronvang B, Olesen JE *et al.* (2010) Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe: implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation. *Hydrobiologia*, 663 (1), 1-21. doi:10.1007/s10750-010-0547-6
- Jöhnk KD, Huisman J, Sharples J *et al.* (2008) Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology*, 14: 495–512.
- Kottek M, J Grieser, C Beck, B Rudolf, F Rubel (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift.*, 15: 259-263.
- Kosten S, Huszar VLM, Bécares E *et al.* (2012) Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology*, 18 (1), 118-126. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02488.x
- Lewis Jr. WM (1983) A revised classification of lakes based on mixing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 1779 – 1787.
- Lund JWG, Kipling C & LeCren ED (1958) The invert microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, 11, 143-170.
- Mackeret FJH, Heron J & Talling JF (1989) Water analysis: some revised methods for limnologists. *Freshwater Biological Association*, 36, Ambleside/UK.
- Magnuson JJ *et al.* (2000) Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science*, 289, 1743–1746. and Errata 2001, *Science* 291: 254. [PubMed: 10976066].

- Moss B & Balls HR (1989) Phytoplankton distribution in a temperate floodplain lake and river system. II. Seasonal changes in the phytoplankton communities and their control by hydrology and nutrient availability. *Journal of Plankton Research*, 11, 841–869.
- Moss B, Mckee D, Atkinson D *et al.* (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.
- Motta Marques DML, Irgang B, Giovannini SGT (1997) A importância do hidroperíodo no gerenciamento de água em terras úmidas (wetlands) com uso múltiplo o caso da Estação Ecológica do Taim. *In Anais do XII Simpósio Bras.*
- Nobre CA; Sampaio G & Salazar L (2007) Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, 59, 22-27.
- O'Reilly CM, Alin SR, Plisnier PD *et al.* (2003) Climate change decreases aquatic ecosystem productivity in Lake Tanganyika, Africa. *Nature*, 424:766–768. [PubMed:12917682]
- Padilla-Gamiñ, JL & Carpenter RC (2007) Thermal ecophysiology of *Laurencia pacifica* and *Laurencia nidifica* (ceramiales, rhodophyta) from tropical and warm-temperate regions. *Journal of Phycology*, 43 (4), 686-692
- Padisák JL, Crossetti LO & Naselli-Flores L (2009) Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621, 1–19.
- Paerl HW.& Huisman J (2008) Blooms like it hot. *Science*, 320, 57-58.
- Ramirez-Olvera MA, Alcocer J, Merino-Ibarra M, Lugo A (2009) Nutrient limitation in a tropical saline lake: a microcosm experiment. *Hydrobiologia*, 626, 5–13.
- Reist JD *et al.* (2006) General effects of climate change on Arctic fishes and fish populations. *Ambio*, 35,:370–380. [PubMed: 17256641]
- Reynolds CS (1997) Successional development, energetics and diversity in planktonic communities. *Biodiversity: an Ecological Perspective* (eds T. Abe, S. R. Levin and M. Higashi), pp. 167–202. *Springer*, New York.
- Reynolds CS (2006) *The Ecology of Phytoplankton* (Ecology, Biodiversity and Conservation). *Cambridge*, UK: Cambridge University Press.
- Reynolds CS, Huszar,V, Kruk C *et al.* (2002) Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24(5): 417-428.
- Rosenzweig C (2007) Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: Parry, ML.; Canziani, OF.; Palutikof, JP.; van der Linden, PJ.; Hanson, CE.; others editors. *Climate change 2007—impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press; 2007. p. 79-131.*

- Schindler DW, Bayley SE, Parker BR. (1996) The effects of climatic warming on the properties of boreal lakes and streams at the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario. *Limnology and Oceanography*, 41: 1004–1017.
- Shannon CE & Weaver W (1963) The mathematical theory of communication. Urbana: *University of Illinois Press*. 173 p.
- Shapiro J (1990) Current beliefs regarding dominance by blue-greens: the case for the importance of CO₂ and pH. *Verhandlungen Internationale der Vereinigung Theoretische und Angewandte Limnologie*, 24, 38–54.
- Smayda TJ & REYNOLDS CS (2001) Community assembly in marine phytoplankton: Application of recent models to harmful dinoflagellate blooms. *Journal Plankton Research*, 23: 447–461
- Smith VH (2003) Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: A global problem. *Environmental Science & Pollution Research*, 10, 126–39.
- Soares WR & Marengo JA (2007) Utilização de projeções de cenários do IPCC na caracterização de uma possível mudança climática no Brasil: aspectos de clima e regime hídrico. *6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*. Belo Horizonte, MG, 09-12 de julho de 2007. Livro de Resumos.
- Sun J & Liu D (2003) Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 25, 1331-1346.
- Tucci CEM (2002) Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Agência Nacional de Águas – ANA. *Fórum Brasileiros de Mudanças Climáticas*.
- Ütermöhl H (1958) Zur Vervollkommnung der quantitative Phytoplankton: Methodik Mitteilung Internationale. *Vereinigung Theoretische und Angewandte. Limnologie*, 9, 1-38.
- Verburg P, Hecky RE, Kling H. (2003) Ecological consequences of a century of warming in Lake Tanganyika. *Science*, 301, 505–507. [PubMed: 12829786]
- Winder M & Sommer U (2012) Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia*. doi:10.1007/s10750-012-1149-2
- Woodward G, Friberg N & Hildrew AG (2009) The need for scientific rigour in biomonitoring and conservation of fresh waters. *Freshwater ecosystems: biodiversity, management and conservation*. Hauppauge, NY: Nova. Woodward, G., Christensen, J. B., Olafsson, J. S