



Universidade Federal do Rio Grande  
Instituto de Ciências Biológicas  
Pós-graduação em Biologia de  
Ambientes Aquáticos Continentais



# **Influência do aumento da temperatura e do escoamento superficial sobre a comunidade de diatomáceas perifíticas: Questões sobre um futuro climático**

**Cássia Fernanda Martins da Silva**

Orientadora: Fabiana Schneck

Rio Grande  
2018



Universidade Federal do Rio Grande  
Instituto de Ciências Biológicas  
Pós-graduação em Biologia de Ambientes  
Aquáticos Continentais



## **Influência do aumento da temperatura e do escoamento superficial sobre a comunidade de diatomáceas perifíticas: Questões sobre um futuro climático**

**Aluna:** Cássia Fernanda Martins da Silva

**Orientadora:** Fabiana Schneck

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

Rio Grande  
2018

Dedico a Sirlene Aparecida Felisberto (*In memoriam*) e a meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer minha orientadora Dr<sup>a</sup> Fabiana Schneck pela oportunidade de desenvolver o trabalho, por todo aprendizado compartilhado, puxões de orelha e momentos de descontração. Conheci o trabalho da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fabiana logo nos meus primeiros anos de faculdade, quando tive a oportunidade de assistir uma palestra no Congresso Brasileiro de Limnologia, ela dividiu a mesa com minha orientadora na época Dr<sup>a</sup> Sirlene Aparecida Felisberto, ouvi tudo com atenção, mas não conseguia parar de pensar em como ela era tão jovem naquela mesa, e o quão focada e empoderada ela era para conquistar aquele espaço. Quando a conheci pessoalmente tive mais certeza dessa reflexão e tenho muito orgulho, respeito, mas acima de tudo admiração pela pessoa que conheci e pela oportunidade de ser sua orientada, muito obrigada.

Agraço a professora Dr<sup>a</sup> Lezilda Carvalho Torgan pelo auxílio na identificação das diatomáceas e por todo conhecimento compartilhado, mas em especial por ser uma inspiração como profissional para tantos pesquisadores. Foi muito importante ter a oportunidade de conhece-la pessoalmente e poder trabalhar com uma pessoa que admiro tanto.

Agradeço aos meus pais Laudelino Luiz da Silva Neto e Maria Augusta Martins, por sempre me apoiar, mesmo sem entender muito bem a minha profissão, por me incentivar e acreditar em meus sonhos sem hesitar um instante, sempre com palavras de incentivo e de muito amor, obrigada por estarem sempre tão presentes mesmo a quase 2.000 km de distância daqui! Amo vocês.

Não tenho palavras para expressar meu agradecimento ao Murillo Céspedes por todo auxílio em quase todas as etapas deste trabalho e pelo enorme apoio emocional durante essa fase, meus sinceros agradecimentos por toda paciência, amor e amizade.

Muito obrigada aos meus amigos Haruan Straioto, Gianluca Coleti, Taciana Careti, Camila Bosenbecker, Larissa Kras, Fernanda Marques, Anna Clara Ribeiro, Arthur Gomes Bauer e Milena Gomes, vocês são os melhores! Em tudo, melhores profissionais (artistas, arqueólogos, programadores, biólogos, oceanógrafos e ecólogos), revisores de texto e amigos que esse mundo conhecerá!

Agradeço a todos amigos do PPG-BAC, mas em especial a Mariana Perera, Elisa Stuani, Karina Dias, Ana Paula, Natan Aroucha e Rodrigo Santos; foi incrível estar com vocês sempre que pude, sou muito grata por conhece-los e ter vocês como grandes amigos da minha vida!

Aos meus amigos técnicos e biólogos (adotei a descrição da Fer!!) Leonardo Furlanetto, Claudio Trindade e Clara (amada tutora alquimista das experiências de laboratório) por estarem sempre presentes, por compartilhar comigo tanto conhecimento, tanto aprendizado, tanto carinho e tantos cafés!

A todos os demais colegas, técnicos e funcionários da FURG que de alguma forma estiveram presentes e ajudaram nesse processo. Ao Programa de Pós-Graduação em Ambientes Aquáticos Continentais e à Universidade Federal do Rio Grande por me receber e permitir a realização desta pesquisa. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida para a realização desta pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos aos demais que contribuíram de alguma forma, mas que no calor do momento me passaram e não foram mencionados aqui.

Deixar que os fatos sejam fatos naturalmente, sem que sejam forjados para acontecer  
Deixar que os olhos vejam pequenos detalhes lentamente  
Deixar que as coisas que lhe circundam estejam sempre inertes, como móveis  
inofensivos, para lhe servir quando for preciso  
E nunca lhe causar danos morais, físicos ou psicológicos

**Chico Science**

## RESUMO

O clima da Terra é extremamente dinâmico; no entanto, as influências humanas estão desempenhando um forte efeito sobre a variabilidade natural do planeta, sendo observada a partir de mudanças nos fenômenos climáticos, tais como anomalias na temperatura e precipitação do planeta. Cenários de mudanças climáticas predizem que no período de 2071-2100 a temperatura média global apresentará um aumento médio de  $\approx 2,5^{\circ}\text{C}$ , enquanto os eventos de precipitação tendem a ser mais dinâmicos, com aumento na precipitação em algumas regiões, tais como a região sul do Brasil, e redução em outras. Projeções de cenários climáticos para os biomas brasileiros indicam que para o Pampa haverá um aumento médio da temperatura de  $2,5^{\circ}\text{C}$  e aumento de aproximadamente 40% nos níveis de precipitação. Dentre as consequências do aumento da chuva está o escoamento superficial, que consiste em um processo em que há entrada de substâncias alóctones nos ecossistemas aquáticos. Concomitantemente, espera-se que haja um aumento das concentrações de carbono orgânico dissolvido, que resulta em um aumento da cor e da turbidez da água. Neste estudo, avaliei os efeitos do aumento da temperatura e do escoamento superficial (aumento da cor e turbidez) sobre diatomáceas perifíticas de ambientes aquáticos continentais através de um experimento bi-fatorial (temperatura controle e elevada; com e sem simulação de escoamento superficial). A interação do aumento de temperatura e de fenômenos relacionados ao escoamento superficial não afetaram a riqueza total de espécies de diatomáceas, mas explicou as diferenças nas abundâncias relativas entre os grupos funcionais. Os efeitos interativos também explicaram as mudanças sobre a composição e estrutura de diatomáceas, mas ao observar os efeitos sobre os diferentes grupos funcionais a interação não explicou alterações na composição e estrutura, que foram afetadas principalmente pelos fatores isolados. Este estudo aponta que as mudanças climáticas afetam fortemente as diatomáceas perifíticas, e visto a relevância deste grupo como produtores primários em muitos ambientes aquáticos continentais, a compreensão dos efeitos interativos e isolados das mudanças climáticas sobre as diatomáceas perifíticas é fundamental para que se possa também prever e compreender os efeitos de tais mudanças sobre a cadeia trófica dos ambientes aquáticos.

**Palavras-chave:** aquecimento global, mudanças climáticas, turbidez, perifíton, grupos funcionais.

## **ABSTRACT**

The Earth's climate is extremely dynamic. However, human influences have been playing a strong effect on the natural variability of the planet, which is detected from changes in climatic phenomena such as anomalies in temperature and precipitation on the planet. Climate change scenarios predict that in the period from 2071 to 2100 the average global temperature will present an average increase of  $\approx 2.5^{\circ}\text{C}$ , while precipitation events tend to be more dynamic, with increasing precipitation in certain regions such as southern Brazil and decreasing precipitation in other regions. Projections of climatic scenarios for Brazilian biomes indicate that the Pampa Biome will show an average temperature rise of  $2.5^{\circ}\text{C}$  and approximately 40% increase in precipitation levels. Among the consequences of enhanced rainfall is the surface runoff, which consists of a process in which there is an entry of allochthonous substances into aquatic ecosystems. Concomitantly, it is expected that there will be an increase in the concentrations of dissolved organic carbon, resulting in an increase in the color and turbidity of the water. In this study, I evaluated the effects of the increase of temperature and surface runoff (increase in color and turbidity) on freshwater periphytic diatoms throughout a bi-factorial experiment (temperature: control and high; with and without runoff simulation). The interaction of the increase in temperature and phenomena related to surface runoff did not affect species total richness of the diatom community, but it explained the differences in relative abundances among functional groups. The interactive effects also explained the changes in the composition and structure of diatom communities, but did not explain the composition and structure of functional groups, which were mainly affected by isolated factors. Our study demonstrates that climate change strongly affect freshwater periphytic diatoms. Given the importance of this group as primary producers in many freshwater environments, understanding the interactive and isolated effects of climate change on diatoms is essential for predicting and comprehending the effects of such changes on the trophic chain of freshwater environments.

**Key-words:** global warming, climate change, turbidity, periphyton, functional groups.



## **APRESENTAÇÃO**

Esta dissertação segue o modelo sugerido pelo Programa e está organizada em três partes principais. A primeira contém uma introdução geral abordando temas sobre os processos climáticos e as influências de fenômenos decorrentes das mudanças climáticas (aumento da temperatura e escoamento superficial) sobre os ambientes aquáticos continentais, além da importância das diatomáceas perifíticas nestes ambientes. A segunda parte do trabalho é composta por um manuscrito, o qual será submetido à revista *Hydrobiologia*. O manuscrito conta com Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusão, Agradecimentos, Referências, Tabelas, Figuras e Material Suplementar. A terceira parte da dissertação consiste em uma avaliação geral sobre o desenvolvimento deste trabalho, tal como a importância do tema e perspectivas. A dissertação segue as normas de formatação da revista *Hydrobiologia*, com exceção da língua.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	xi
Introdução geral .....	xi
Artigo .....	xi
Material suplementar.....	xii
LISTA DE TABELAS .....	xv
Artigo .....	xv
Material suplementar.....	xv
INTRODUÇÃO GERAL .....	16
Processos e fenômenos climáticos e influências antrópicas .....	16
Mudanças no clima e influências sobre ambientes aquáticos .....	19
Influências de fenômenos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade .....	21
<i>Influência da temperatura sobre a biodiversidade</i> .....	22
<i>Escoamento superficial</i> .....	24
<i>Temperatura × Escoamento superficial</i> .....	25
Importância das diatomáceas perifíticas para os ambientes aquáticos continentais .....	26
Objetivo .....	29
Referências.....	29
CAPÍTULO 1.....	40
Resumo .....	40
Introdução .....	41
Materiais e Métodos.....	44
Delineamento experimental .....	44
Variáveis físicas e químicas.....	46
Biomassa do perifíton .....	46
Quantificação e identificação de diatomáceas .....	46
Análise de dados .....	47
Resultados.....	48
Variáveis físicas e químicas.....	48
Biomassa de algas perifíticas.....	48
Comunidade de diatomáceas.....	48
Discussão .....	52
Conclusão .....	57
Agradecimentos.....	57
Referências.....	57
Figuras.....	66
Tabelas.....	70
Material suplementar.....	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS .....	87
ANEXOS .....	88

## LISTA DE FIGURAS

### Introdução geral

**Fig. 1** Anomalias na temperatura global em relação às temperaturas médias de 1951-1980. Fonte: NASA (2018).

**Fig. 2** Cenários apresentados pelo IPCC (2013) para o período de 2081-2100; projeções criadas a partir de dados observados entre 1986–2005: **A)** temperatura; **B)** precipitação. RCP 2.6 = cenário otimista, RCP 8.5 = cenário pessimista. Fonte: IPCC (2013).

**Fig. 3** Mapa do Brasil com os biomas e a indicação da temperatura e precipitação previstos pelos modelos do PBMC. Fonte: PBMC (2013).

**Fig. 4** A imagem ilustra os potenciais caminhos conduzidos pelas mudanças climáticas sobre as comunidades. O aumento nas concentrações de CO<sub>2</sub> afetam a variabilidade natural das mudanças climáticas além de causar efeitos diretos sobre a fisiologia das espécies. Além dos efeitos sobre a fisiologia os organismos podem apresentar respostas fenológicas e em suas distribuições; o que pode gerar mudanças nas interações das espécies. As consequências destas mudanças podem ser observadas sobre a composição e estrutura das comunidades. Fonte: Adaptado de Hughes (2000).

**Fig. 5** Imagem adaptada de Hauer & Lamberti (2007). No esquema apresentado a seta azul indica o grupo funcional de baixo perfil, a seta vermelha indica o grupo de alto perfil, a seta cinza o grupo das espécies móteis e a seta preta indica as diatomáceas planctônicas.

### Artigo

**Fig. 1A)** Biomassa total de algas perifíticas (clorofila *a*) nos tratamentos; **B)** Riqueza total de espécies de diatomáceas perifíticas; **C)** Riqueza de espécies de baixo perfil; **D)** Riqueza de espécies de alto perfil; **E)** Riqueza de espécies de diatomáceas móteis; **F)** Riqueza de espécies de diatomáceas planctônicas. A linha contínua indica os

tratamentos com temperatura ambiente (C e S) e a linha tracejada indica os tratamentos com aumento de temperatura (T e TS).

**Fig. 2A)** Abundância relativa de espécies do grupo funcional de baixo perfil; **B)** Abundância relativa de espécies do grupo funcional de alto perfil; **C)** Abundância relativa de espécies do grupo funcional de diatomáceas móteis; **D)** Abundância relativa de espécies do grupo funcional de diatomáceas planctônicas. A linha contínua indica os tratamentos com temperatura ambiente (C e S) e a linha tracejada indica os tratamentos com aumento de temperatura (T e TS).

**Fig. 3** Análise de coordenadas principais (PCoA) considerando a estrutura da comunidade de diatomáceas perifíticas nos tratamentos (C, T, S e TS) ao longo do período experimental (1º, 3º, 6º, 9º e 12º dias de experimento). A cor azul refere-se ao controle (temperatura ambiente sem adição de solo, C), a cor vermelha refere-se ao tratamento com temperatura alta e sem adição de solo (T), a cor preta refere-se ao tratamento com adição de solo e temperatura ambiente (S) e a cor roxa indica o tratamento com temperatura alta e com adição de solo (TS).

**Fig. 4** Análise de coordenadas principais (PCoA) considerando a estrutura da comunidade de diatomáceas perifíticas de diferentes grupos funcionais nos tratamentos (C, T, S e TS) ao longo do período experimental (1º, 3º, 6º, 9º e 12º dias de experimento). A cor azul refere-se ao controle (temperatura ambiente sem adição de solo, C), a cor vermelha refere-se ao tratamento com temperatura alta e sem adição de solo (T), a cor preta refere-se ao tratamento com adição de solo e temperatura ambiente (S) e a cor roxa indica o tratamento com temperatura alta e com adição de solo (TS). **A)** Diatomáceas de alto perfil, **B)** baixo perfil, **C)** móteis e **D)** planctônicas.

### **Material suplementar**

**Material suplementar 1** O ponto preto indica a localização da área de realização do experimento, que se encontra inserida no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

**Material suplementar 2** Esquema dos mesocosmos (n=12) com os quatro tratamentos experimentais propostos. Os aquários eram retangulares com volume de 40 litros. Temperatura ambiente e sem adição de solo (controle, C), temperatura alta e sem

adição de solo (T), com adição de solo e temperatura ambiente (S), temperatura alta e com adição de solo (TS).

**Material suplementar 3** Temperatura (°C) observada nos tratamentos durante o experimento. Em preto os tratamentos com temperatura ambiente (C e S) e em cinza os tratamentos com aumento de temperatura (T e TS). Média ± DP: C e S = 24,63 ± 2,0 (°C); T e TS = 27,25 ± 2,15 (°C).

**Material suplementar 4** Valores de cor verdadeira e turbidez observados ao longo dos 12 dias de experimento nos tratamentos. Em preto sem adição de solo (C e T) e em cinza os tratamentos com adição de solo (S e TS) **A)** Cor verdadeira (abs cm<sup>-1</sup>): média ± DP: **C** e **T** = 0,06 ± 0,006; **S** e **TS** = 0,10 ± 0,01, **B)** Turbidez (NTU) observados ao longo dos 12 dias de experimento nos tratamentos, em preto sem adição de solo (C e T) e em cinza os tratamentos com adição de solo (S e TS). Média ± DP: **C** e **T** = 25, ± 1,9; **S** e **TS** = 52,38 ± 11,3.

**Material suplementar 6** Análise de coordenadas principais (PCoA) considerando a composição da comunidade de diatomáceas perifíticas de diferentes grupos funcionais nos tratamentos (C, T, S e TS) ao longo do período experimental (1º, 3º, 6º, 9º e 12º dias de experimento). A cor azul refere-se ao controle (temperatura ambiente sem adição de solo, C), a cor vermelha refere-se ao tratamento com temperatura alta e sem adição de solo (T), a cor preta refere-se ao tratamento com adição de solo e temperatura ambiente (S) e a cor roxa indica o tratamento com temperatura alta e com adição de solo (TS). **A)** Comunidade total de diatomáceas, **B)** Diatomáceas de alto perfil, **C)** baixo perfil, **D)** móteis e **E)** planctônicas.

**Material suplementar 7** Boxplot das concentrações das variáveis físicas e químicas da água nos diferentes tratamentos. C= controle/temperatura ambiente sem adição de solo; T= temperatura alta sem adição de solo, S= temperatura ambiente com adição de solo, TS= temperatura alta com adição de solo. **A)** Cor verdadeira, **B)** COT = carbono orgânico total, **C)** COD = carbono orgânico dissolvido, **D)** Turbidez, **E)** PT = fósforo total, **F)** Cond. = condutividade elétrica.

**Material suplementar 8** Boxplot das concentrações das variáveis físicas e químicas da água nos diferentes tratamentos. C= controle/temperatura ambiente sem adição de

solo; T= temperatura alta sem adição de solo, S= temperatura ambiente com adição de solo, TS= temperatura alta com adição de solo. **A)** pH, **B)** NT = nitrogênio total, **C)** OD = oxigênio dissolvido, **D)** STD = sólidos totais dissolvidos, **E)** PO<sub>4</sub> = fósforo dissolvido, **F)** NID = nitrogênio dissolvido **G)** CID = carbono inorgânico dissolvido.

**Material suplementar 9** Distribuição das abundâncias relativas das diatomáceas dos diferentes grupos funcionais nos tratamentos durante o período experimental. C= controle/temperatura ambiente sem adição de solo; T= temperatura alta sem adição de solo, S= temperatura ambiente com adição de solo, TS= temperatura alta com adição de solo. **A)** 1º dia de experimento, **B)** 3º dia de experimento, **C)** 6º dia de experimento, **D)** 9º dia de experimento e **D)** 12º dia de experimento.

## LISTA DE TABELAS

### Artigo

**Tabela 1** Média e desvio padrão ( $\bar{x} \pm SD$ ) de variáveis limnológicas coletadas em cada tratamento. C= controle/temperatura ambiente sem adição de solo; T= temperatura alta sem adição de solo, S= temperatura ambiente com adição de solo, TS= temperatura alta com adição de solo. Cond. = condutividade elétrica, OD = oxigênio dissolvido, STD = sólidos totais dissolvidos, ND = nitrogênio dissolvido, PO<sub>4</sub> = fósforo dissolvido, PT = fósforo total, NT = nitrogênio total, COT = carbono orgânico total, CID = carbono inorgânico dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido.

**Tabela 2** Resultados das Análises de Variância em blocos de medidas repetidas com as correções de Huynh-Feldt para as variáveis dependentes clorofila *a*, riqueza total de espécies, riqueza de espécies dos grupos funcionais e abundância relativa dos grupos funcionais.

**Tabela 3** Resultado da PERMANOVA para dados de abundância (Bray-Curtis).

### Material suplementar

**Material Suplementar 5** Resultado da PERMANOVA para dados de presença e ausência (Sørensen).

**Material suplementar 10** Resultados das Análises de Variância em blocos de medidas repetidas com as correções de Huynh-Feldt para as variáveis dependentes: OD = oxigênio dissolvido, pH, Cond. = condutividade elétrica, PO<sub>4</sub> = fósforo dissolvido, STD = sólidos totais dissolvidos, NID = nitrogênio dissolvido, NT = nitrogênio total, CID = carbono inorgânico dissolvido, PT = fósforo total, COD = carbono orgânico dissolvido, COT = carbono orgânico total, Cor e Turb. = turbidez. T: temperatura, S: solo, TS: temperatura x solo.

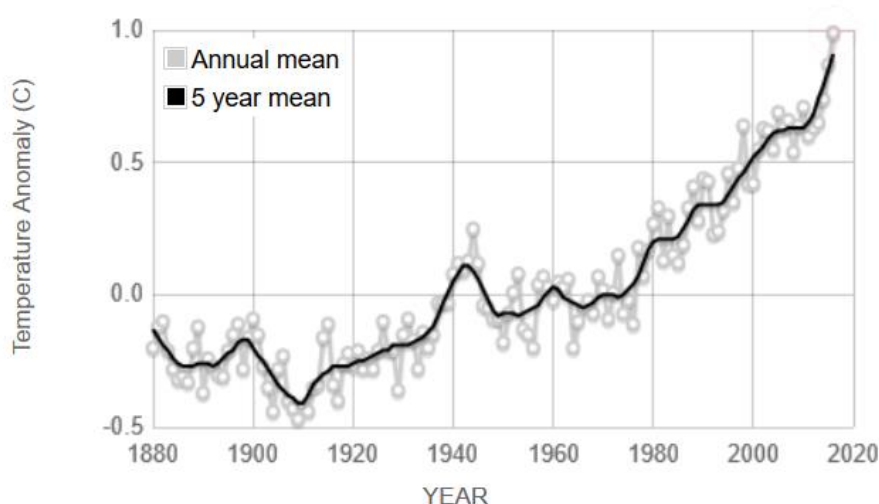
**Material suplementar 11** Lista de espécies de diatomáceas perifíticas classificadas de acordo com o grupo funcional.

## INTRODUÇÃO GERAL

### Processos e fenômenos climáticos e influências antrópicas

As mudanças climáticas são processos que fazem parte da dinâmica natural da Terra (IPCC, 2013), consistindo em mudanças nos estados do clima e, portanto, podendo ser estudadas em função de variações em suas propriedades ao longo do tempo (IPCC, 2013). Segundo Crowley (2000), as mudanças na temperatura global durante o período pré-anthropogênico (pré-1850) foram ocasionadas por alterações naturais na irradiância solar e por atividades vulcânicas. Em oposição, observações na variabilidade da temperatura nos últimos anos revelaram que o aquecimento do planeta tem sido influenciado principalmente pelas concentrações de CO<sub>2</sub>, enquanto a variação natural climática tem exercido papel secundário da dinâmica natural da temperatura do planeta (Crowley, 2000).

Há um consenso de que as influências antrópicas causam um forte efeito sobre a variabilidade natural dos processos climáticos (IPCC, 2013; NASA, 2018), principalmente durante século XX e XXI (Crowley, 2000). Tais influências podem ser observadas em fenômenos como o aumento da temperatura média global e da emissão de gases de efeito estufa, alteração nos padrões de precipitação e padrões de escoamento superficial (IPCC, 2013; Kaushal et al., 2014; NASA, 2018; e.g. temperatura: Fig. 1).

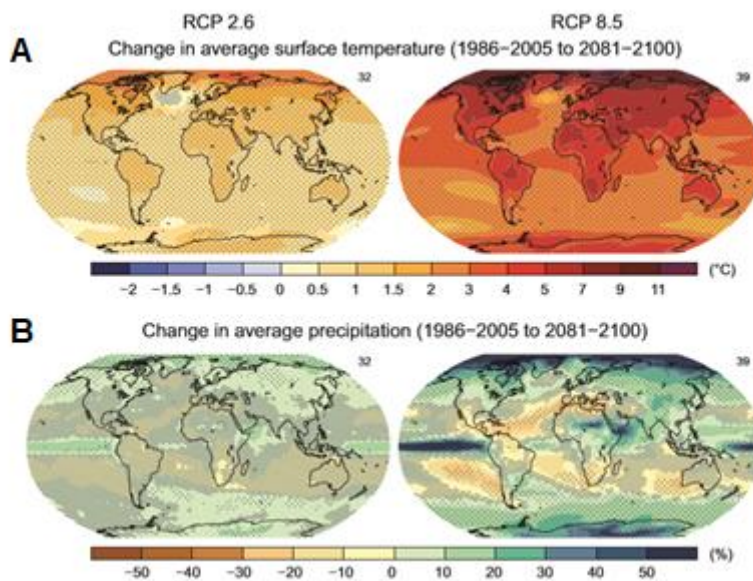


**Fig. 1** Anomalias na temperatura global em relação às temperaturas médias de 1951-1980. Fonte: NASA (2018).



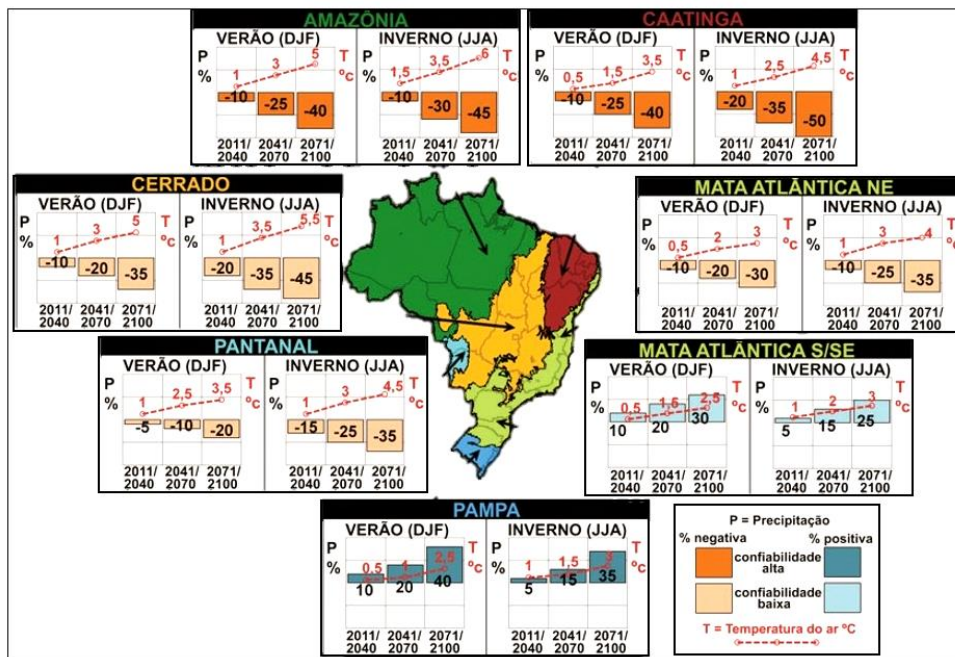
Nas últimas décadas, questões envolvendo as consequências de eventos decorrentes das mudanças climáticas (e.g. aquecimento global, acidificação dos oceanos, aumento do escoamento superficial) para o meio ambiente e para a humanidade vêm sendo intensamente discutidas. Buscando analisar e responder quais e como os impactos das alterações climáticas se comportam e afetam a humanidade e a biodiversidade, foi criado em 1988 pela Organização das Nações Unidas (ONU) o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (IPCC, 2013). O IPCC tem o papel de sintetizar evidências de mudanças climáticas utilizando estudos observacionais das características climáticas, informações paleoclimáticas e estudos teóricos que envolvem a caracterização de processos climáticos. A partir destas informações são geradas simulações de cenários futuros através de modelos climáticos (IPCC, 2013). A criação de modelos climáticos nos permite compreender como será o comportamento do clima futuro em diferentes cenários de influências humanas, além de subsidiar informações necessárias para estudos de impactos das mudanças climáticas e políticas públicas (IPCC, 2013). Tendo em vista o atual cenário de aquecimento global, os modelos indicam para as próximas décadas um aumento na temperatura média global, além de mudanças substanciais nos regimes pluviométricos, na nebulosidade e no nível do mar (IPCC, 2013). É esperado para 2081-2100 um aumento médio na temperatura global de 1,4°C em cenários otimistas e 5,8°C em cenários pessimistas (IPCC, 2013, Fig. 2A). Contudo, é esperada uma maior variabilidade em relação aos padrões de precipitação, com redução dos níveis pluviométricos em algumas regiões do globo (e.g. América Central, Amazônia, regiões áridas de latitudes médias) e aumento em outras regiões (e.g. Oceano pacífico equatorial, latitudes altas, Fig. 2B) (IPCC, 2013).

Em uma escala regional, modelos climáticos regionalizados (MCR) buscam compreender e predizer o clima da América do Sul (Marengo et al., 2009) e dos biomas brasileiros (PBMC, 2013). A partir de um maior detalhamento das características climáticas regionais e locais, os MCR's reproduzem previsões acerca das principais características sazonais: temperatura e precipitação (Marengo et al., 2009). Tal como os modelos globais (IPCC, 2013), os MCR's sugerem que haverá um aumento generalizado da temperatura na América do Sul, além de grande variabilidade na precipitação (Marengo et al., 2009; Marengo et al., 2012; PBMC, 2013).



**Fig. 2** Cenários apresentados pelo IPCC (2013) para o período de 2081-2100; projeções criadas a partir de dados observados entre 1986–2005: **A)** temperatura; **B)** precipitação. RCP 2.6 = cenário otimista, RCP 8.5 = cenário pessimista. Fonte: IPCC (2013).

Em 2013 foi apresentado pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas o primeiro relatório nacional de avaliação (RAN1) durante a 1ª Conferência Nacional sobre Mudanças Climáticas Globais (Conclima) (PBMC, 2013). Além do aumento médio da temperatura, os resultados indicam que haverá mudanças nos regimes de chuvas, podendo ocorrer uma redução na precipitação em biomas localizados nas regiões norte, nordeste e centro-oeste, e aumento na precipitação nas regiões sudeste e sul (PBMC, 2013). O relatório apresenta em um mapa (Fig. 3) uma síntese dos resultados das projeções para cada bioma brasileiro. De acordo com o PMBC (2013) todos os biomas brasileiros apresentarão aumento médio de 2,5 - 5,4°C na temperatura, além de uma redução na precipitação nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica (NE) e Pantanal e aumento na precipitação no Pampa e Mata Atlântica (SE) (PBMC, 2013).



**Fig. 3** Mapa do Brasil com os biomas e a indicação da temperatura e precipitação previstos pelos modelos do PBMC. Fonte: PBMC (2013).

### Mudanças no clima e influências sobre ambientes aquáticos

Dentre os impactos decorrentes das mudanças climáticas sobre os ambientes aquáticos estão alterações na distribuição destes ecossistemas (e.g. áreas úmidas, ambientes rasos) (Carpenter et al., 1992), alterações na geomorfologia dos rios (Carpenter et al., 1992), alteração na frequência e intensidade de distúrbios hidrológicos (Carpenter et al., 1992; Knouft & Ficklin, 2017), alteração nos eventos de escoamento superficial (Carpenter et al., 1992; Wrona et al., 2006; Taniwaki et al., 2016), alteração na dinâmica do carbono (Wrona et al., 2006), mudanças nos níveis da água (Wrona et al., 2006) e alterações nos regimes de temperatura (Carpenter et al., 1992; Wrona et al., 2006; Taniwaki et al., 2016). A temperatura é um fator especialmente importante para a vida na terra, atuando diretamente sobre o ciclo da água (Carpenter et al., 1992; IPCC, 2013), sobre os padrões de circulação dos oceanos (Harley et al., 2012) e sobre as características físicas e químicas das águas continentais (Esteves, 1998) e oceânicas (Abraham & Baringer, 2013). Dentre os principais impactos do aumento da temperatura global sobre os ecossistemas aquáticos continentais está o aumento da temperatura da água (Schindler et al., 1996; Taniwaki et al., 2016), alterações nos níveis da água devido à expansão

térmica (Erwin, 2009), alterações nos padrões de estratificação de lagos (Nickus, 2010) e alterações nos padrões de precipitação (Taniwaki et al., 2016).

Modelos empíricos baseados em conjuntos de dados temporais sugerem que o aumento da precipitação induz o escoamento superficial e altera a dinâmica hidrológica nos ambientes aquáticos (IPCC, 2013; Poff et al., 1996). O aumento nos níveis de precipitação tende a intensificar o transporte de substâncias alóctones para os ambientes aquáticos (Ekström, 2013; Kritzberg et al., 2014), uma vez que matéria orgânica e minerais são removidos do solo e são carregados para os ambientes aquáticos por meio do processo de escoamento superficial e lixiviação (Guerra, 2011). Dentre as consequências do aumento do escoamento superficial causado pelo aumento da precipitação estão o aumento da turbidez e o aumento na cor da água, tornando-a mais escura, com cores acastanhadas em consequência principalmente do aumento das concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) (Mormul et al., 2012; Ekström, 2013; Rasconi et al., 2015).

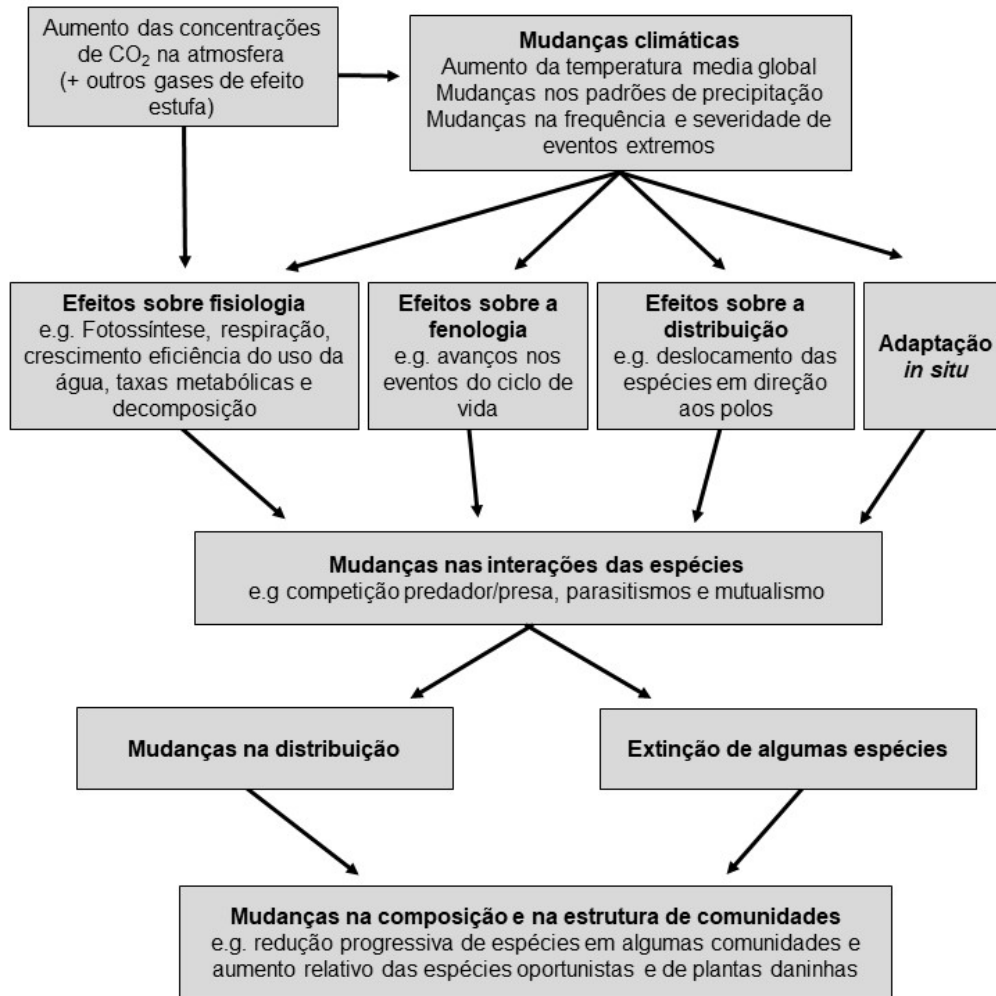
As concentrações de COD são controladas sobretudo pelas concentrações de matéria orgânica dissolvida (MOD) (Weidel et al., 2017) que nos sistemas terrestres é constituído em grande parte por substâncias húmicas (50 a 80%) (Farjalla et al., 2009; Esteves, 2011; Ekström, 2013) as quais são formadas por um conjunto heterogêneo de moléculas produzidas pela degradação microbiana de compostos orgânicos (Steinberg et al., 2006; Farjalla et al., 2009). As concentrações de MOD nos sistemas aquáticos variam em uma escala temporal em função das variações de fatores como a precipitação e o escoamento superficial (Ekström, 2013). Essas substâncias apresentam coloração que varia do amarelo ao preto, gerando uma tonalidade marrom em muitos lagos e rios (Ekström, 2013). Sendo assim, as concentrações de COD servem como nutrientes e como regulador de temperatura e de luz nos ambientes aquáticos (Weidel et al., 2017).

Tanto o aumento da turbidez (Liess et al., 2015) quanto o aumento da cor da água reduzem na penetração da luz (Deiningger et al., 2016) e conseqüentemente a disponibilidade deste recurso dentro dos ecossistemas aquáticos. Mudanças nas concentrações de COD e na cor da água têm sido observadas nas últimas décadas em ecossistemas lacustres temperados (Hanson et al., 2007). Segundo Nicolle et al. (2012), estudos em lagos temperados indicam que se as taxas no aumento da cor de lagos continuarem constantes, eles se tornarão duas vezes mais escuros dentro de 50 anos. Com o aumento do escoamento superficial em função do aumento da

precipitação em algumas regiões do planeta para o período de  $\approx 2100$  (IPCC, 2013; PBMC, 2013), é provável que haja mudanças na turbidez e na cor da água de ambientes aquáticos continentais concomitantemente às alterações nos regimes de chuva e escoamento superficial.

### **Influências de fenômenos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade**

Segundo Hughes (2000), um dos principais desafios de um ecólogo na atualidade é prever os efeitos induzidos pelas mudanças climáticas e pelo homem sobre os organismos e comunidades. Dentre as principais influências das mudanças climáticas sobre a biodiversidade podemos citar os efeitos sobre a extinção de espécies (Thomas et al., 2004; Kuussaari et al., 2009), fisiologia (Pörtner & Farrell, 2008; Deutsch et al., 2015), fenologia dos organismos (Chmielewski & Rötzer, 2001; Parmesan & Yohe, 2003; Nicolle et al., 2012; Navarro-Cano et al., 2015), distribuição geográfica (Hughes, 2000; Parmesan & Yohe, 2003; Osland et al., 2017), comportamento (Nagelkerken & Munday, 2016; Ng et al., 2017), riqueza de espécies (Menendez et al., 2006; Ihm et al., 2007; Osland et al., 2017), estrutura das comunidades (Hallegraeff, 2010; Rühland et al., 2015), dentre outros. Uma síntese das relações entre as mudanças no clima e os possíveis efeitos sobre os organismos, adaptada de Hughes (2000), é apresentada na Fig. 4.



**Fig. 4** A imagem ilustra os potenciais caminhos conduzidos pelas mudanças climáticas sobre as comunidades. O aumento nas concentrações de CO<sub>2</sub> afetam a variabilidade natural das mudanças climáticas além de causar efeitos diretos sobre a fisiologia das espécies. Além dos efeitos sobre a fisiologia os organismos podem apresentar respostas fenológicas e em suas distribuições; o que pode gerar mudanças nas interações das espécies. As consequências destas mudanças podem ser observadas sobre a composição e estrutura das comunidades. Fonte: Adaptado de (Hughes, 2000).

#### *Influência da temperatura sobre a biodiversidade*

O aumento da temperatura tem causado impacto significativo em diversos organismos. Root et al. (2003) demonstraram por meio de meta-análises efeitos da temperatura sobre 143 espécies, dentre elas moluscos, mamíferos, gramíneas,

dentre outros. Em ambientes aquáticos, o aumento da temperatura da água exerce influências sobre todos os níveis de organização biológica (Taniwaki et al., 2016). Seus efeitos podem ser observados sobre insetos aquáticos (Feuchtmayr et al., 2007), peixes (Moss et al., 2003; Hiddink & Hofstede, 2008), macroalgas (Harley et al., 2012), microalgas (Behrenfeld et al., 2006; Winder & Sommer, 2012; Mahdy et al., 2015; Rühland et al., 2015) e bactérias (Wrona et al., 2006; Ratcovich, 2014). Dentre os efeitos negativos da temperatura, as alterações sobre a riqueza de espécies têm sido amplamente discutidas nas últimas décadas (Daufresne et al., 2009; Sala et al., 2012; Newbold et al., 2015), logo que o aquecimento global é responsável pela redução da riqueza de vários grupos, sendo eles vegetais (Iverson & Prasad, 2001) ou animais (Hiddink & Hofstede, 2008), aquáticos (Mckee et al., 2002; Moss et al., 2003; Schabhüttl et al., 2013; Rasconi et al., 2015), e terrestres (Chmielewski & Rötzer, 2001; Iverson & Prasad, 2001; Menendez et al., 2006; Schlesinger, 2006; Navarro-Cano et al., 2015).

Nos ambientes aquáticos, estudos experimentais demonstraram que o aumento da temperatura também modifica os padrões de riqueza de espécies em comunidades de algas continentais (Rasconi et al., 2015). Por exemplo, Schabhüttl et al. (2013) e Rasconi et al. (2015) observaram aumento na riqueza de espécies de cianobactérias e redução na riqueza de espécies de diatomáceas com o aumento da temperatura. Já outros grupos de algas, como as algas verdes, apresentaram respostas ambíguas ao aumento de temperatura. Enquanto Schabhüttl et al. (2013) observaram que algas verdes tendem a se desenvolver melhor em temperaturas mais baixas, Rasconi et al. (2015) observaram um efeito positivo do aumento da temperatura sobre a riqueza de espécies deste grupo. Além de mudanças na riqueza, o aumento da temperatura tem alterado a estrutura de comunidades aquáticas tais como observado para o bacterioplâncton (Von Scheibner et al., 2014), algas (Weidman et al., 2014) e peixes (Jeppesen et al., 2010).

Nos ambientes aquáticos a temperatura atua como um fator controlador no crescimento das algas (Davison, 1991; Ihm et al., 2007) afetando diretamente a produção primária (Kratina et al., 2012), o que sugere que as algas são um grupo ideal para verificar as respostas dos efeitos do aumento da temperatura (Davison, 1991). Carvalho & Kirika (2003) observaram relações negativas entre temperaturas mais elevadas e biomassa fitoplanctônica, enquanto resultados revelaram que o aumento da temperatura proporcionou um aumento da produtividade e biomassa de

algas perifíticas e macrófitas (Rooney & Kalff 2000; Mckee et al. 2002, Cao et al. 2014).

### *Escoamento superficial*

Como já mencionado anteriormente, o aumento da precipitação atua sobre o escoamento superficial, que modifica as concentrações de COD, a turbidez e a cor da água (Mormul et al., 2012; Ekström, 2013; Rasconi et al., 2015). O escoamento superficial pode fornecer para o ambiente aquático uma série de substâncias, que podem apresentar efeitos estimuladores ou inibitórios para a produção nestes ecossistemas (Liess et al., 2015). Por exemplo, se o escoamento superficial conter COD, nitrogênio e fósforo, pode ocorrer um aumento na produção do bacterioplâncton e, conseqüentemente, levar à competição entre o fitoplâncton e o bacterioplâncton em lagoas costeiras (Liess et al., 2015). Além disso, a disponibilidade de nutrientes advindos da entrada de substâncias alóctones pode conduzir a uma maior produtividade do fitoplâncton (Guadayol et al., 2009). A redução da transmissão de luz através da água em consequência do aumento da turbidez afeta a produtividade primária (Steinman & McIntire, 1989; Liess et al., 2009), pois tal como a temperatura, a luz é um fator particularmente importante para as algas (Lange et al., 2011), uma vez que afeta a abundância e distribuição dos produtores primários nos ambientes aquáticos continentais (Mormul et al., 2012; Nicolle et al., 2012; Weidman et al., 2014). Efeitos similares do aumento da cor e da disponibilidade de luz foram observados para o fitoplâncton (Nicolle et al., 2012) e para o perifíton (Bourassa & Cattaneo, 2000; Liess et al., 2009; Sánchez et al., 2013). Estes resultados sugerem que os produtores primários de ambientes aquáticos respondem negativamente a redução da disponibilidade de luz. Efeitos do aumento da cor e da disponibilidade de luz sobre a riqueza e diversidade de algas foram observados por Rasconi et al. (2015), onde os grupos de algas fitoplanctônicas responderam diferentemente ao aumento da cor da água, que relatou escuras aumento da riqueza e diversidade de cianobactérias em águas mais escuras, enquanto diatomáceas e dinoflagelados foram mais diversas em águas claras. Lange et al. (2011) observaram uma relação positiva entre a riqueza de espécies de diatomáceas e a disponibilidade de luz. Efeitos da disponibilidade de luz foram observados sobre a composição de peixes (Weidel et al., 2017), onde a



redução da disponibilidade de luz em águas mais turvas e com altas concentrações de COD reduziu as espécies de peixes zooplanctívoros. Segundo (Weidel et al., 2017). o aumento de COD e a consequente redução na luz afetam a alimentação visual de peixes, afetando a produtividade do ecossistema.

Efeitos da redução da disponibilidade de luz também foram verificados em comunidades de algas bentônicas (Steinman & McIntire, 1989; Bourassa & Cattaneo, 2000; Lange et al., 2011; Sánchez et al., 2013). Sánchez et al. (2013) observaram que em locais mais profundos, que sofrem com uma menor disponibilidade de luz, houve predomínio das diatomáceas enquanto em regiões mais rasas e com maior disponibilidade de luz as clorofíceas dominaram. Steinman & McIntire (1989) relataram um forte efeito da disponibilidade de luz sobre a estrutura da comunidade de algas perifíticas, sendo que em ambientes com maior disponibilidade de luz houve dominância de espécies eretas (e.g. *Stigeoclonium*), enquanto formas prostradas foram bem sucedidas em ambientes com menor disponibilidade de luz (e.g. *Cocconeis*). A maior abundância de espécies prostradas em ambientes com pouca disponibilidade de luz também foi observada por Lange et al. (2011) que observaram dominância de espécies de diatomáceas baixo perfil, mais adaptadas a condições de baixa luminosidade em resposta à redução de luz (Lange et al., 2011).

### *Temperatura × Escoamento superficial*

Simulações em microcosmos e mesocosmos buscam compreender como os produtores primários de ecossistemas aquáticos irão responder às novas características dos ambientes e como diferentes fatores atuando em conjunto afetarão as comunidades aquáticas (Mormul et al., 2012; Nicolle et al., 2012; Kritzberg et al., 2014; Weidman et al., 2014; Rasconi et al., 2015). Mormul et al. (2012) observaram que os níveis de clorofila da comunidade perifítica foram maiores em tratamentos com aumento de cor, enquanto os efeitos interativos do aumento da cor e aumento da temperatura não foram significativos. Já Kritzberg et al. (2014) não observaram efeitos significativos do aumento da temperatura, do aumento da cor ou de suas interações sobre as concentrações de clorofila *a* em lagos temperados.

Com relação à riqueza de espécies e abundância, Rasconi et al. (2015) observaram que a interação entre aumento da temperatura e aumento da cor da água reduziram a riqueza e a abundância do fitoplâncton. Efeitos contrários foram observados por Weidman et al. (2014) que investigaram os efeitos interativos entre temperaturas elevadas e carbono orgânico dissolvido (COD) sobre comunidades planctônicas e verificaram que tanto o aumento da temperatura quanto de COD, quando testados individualmente, geraram um efeito negativo sobre a abundância do fitoplâncton. Porém, a interação dos dois fatores reverteu os efeitos negativos sobre a comunidade.

### **Importância das diatomáceas perifíticas para os ambientes aquáticos continentais**

A planície costeira do Rio Grande do Sul apresenta um dos maiores conjuntos de lagos rasos e lagoas costeiras do Brasil (Palma-Silva et al., 2013). Estes ambientes são ecossistemas muito dinâmicos e heterogêneos caracterizados por apresentar uma alta biodiversidade e promoverem importantes serviços ecossistêmicos (Guimarães, 2013; Albertoni et al., 2014). Estes ecossistemas são tipicamente rasos e apresentam intensas interações na interface sedimento-água (Albertoni et al., 2014). São ambientes que apresentam alta sensibilidade ambiental, sendo fortemente afetados pelas mudanças climáticas, tal como demonstrado para lagos rasos temperados (Mooij et al., 2007, Landkildehus et al., 2014). Nos ambientes aquáticos continentais rasos os principais produtores primários são as macrófitas aquáticas e as algas do perifiton (Wetzel, 1964; Esteves, 2011). As algas do perifiton podem contribuir com aproximadamente 90% da produtividade primária total em alguns ambientes, principalmente em ambientes rasos e em regiões litorâneas dos ecossistemas aquáticos (Wetzel, 1964).

As algas do perifiton fornecem suporte ao crescimento, desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de diversos organismos (Campeau et al., 1994). Muitos grupos de algas fazem parte do perifiton, com destaque para as diatomáceas (filo Ochrophyta) que são muito abundantes e comumente o grupo dominante no perifiton (Burliga & Kociolek, 2016). As diatomáceas são organismos eucarióticos unicelulares, que podem apresentar hábitos coloniais ou filamentosos (Reviere,

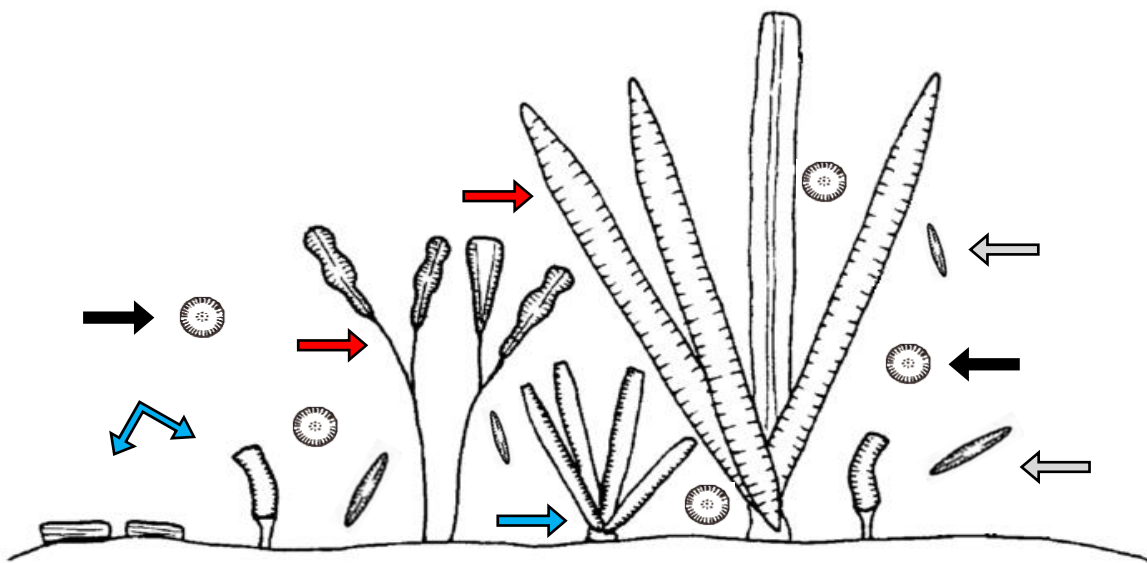
2006); a principal característica deste grupo é a presença de uma estrutura silicosa denominada frústula, a qual é formada por duas valvas (Burliga & Kociolek, 2016). Existem cerca de 12.000 espécies descritas (Rivers, 2006) e segundo Rimet & Bouchez (2012) centenas de taxas são descobertas e descritas anualmente. De acordo com análises filogenéticas, são consideradas três classes taxonômicas de diatomáceas Coscinodiscophyceae, Mediophyceae e Bacillariophyceae (Medlin & Kaczmarska, 2004).

Algumas diatomáceas cêntricas (Coscinodiscophyceae e Mediophyceae) podem apresentar hábito perifítico, mas devido à grande maioria das espécies ser desprovida de estruturas que permitam a fixação ao substrato, são predominantemente planctônicas e encontradas frequentemente em ambientes marinhos (Hoek et al., 1995). Já a classe Bacillariophyceae apresenta muitas espécies comumente caracterizadas por hábitos perifíticos (Burliga & Kociolek, 2016). As diatomáceas possuem estruturas que secretam mucilagem (rafe, pórtulas, poros apicais) (Round et al., 2007), que proporcionam às diatomáceas ou capacidade de adesão ou motilidade no substrato (Hoek et al., 1995; Round et al., 2007). Tais características promovem diversas formas de vida e favorecem a predominância das diatomáceas no perifíton (Round et al., 2007).

Dentre as adaptações morfológicas para aderência aos substratos estão a formação de tubos de mucilagem (e.g. *Nitzschia*, *Amphipleura*, *Gyrosigma*), formas prostradas fortemente aderidas ao substrato (e.g. *Cocconeis*, *Eunotia*), formas eretas aderidas por almofadas de mucilagem (e.g. *Synedra*), pedunculares aderidas na extremidade por uma haste de mucilagem (e.g. *Gomphonema*, *Cymbella*), além de organismos móteis (e.g. *Navicula*) (Round et al., 2007; Rimet & Bouchez, 2012; Burliga & Schwarzbald, 2013). Diante da diversidade de formas de vida de diatomáceas perifíticas e sua ocupação no substrato alguns autores sugerem a formação de grupos funcionais: baixo perfil, alto perfil, móteis e planctônicas (Passy, 2007; Rimet & Bouchez, 2012) (Fig. 5).

As espécies de baixo perfil possuem comumente menor tamanho corporal (Passy, 2007) e apresentam formas de crescimento prostradas ou aderidas paralelamente ao substrato por curtos pedúnculos (adnatas) (Passy, 2007; Rimet & Bouchez, 2012). Estas espécies ocorrem na camada inferior do biofilme, sendo mais tolerantes às limitações de recursos (e.g. luz e nutrientes) e mais resistentes aos distúrbios físicos (Passy, 2007). Espécies pertencentes ao grupo de alto perfil

apresentam tamanho corporal maior, podem ser pedunculares, filamentosas, eretas, envoltas por tubos de mucilagem ou coloniais, se estendendo desde as camadas inferiores do biofilme até a camada mais externa (Passy, 2007; Rimet & Bouchez, 2012). Estas diatomáceas têm mais acesso à luz e aos nutrientes, apresentando vantagens competitivas em habitats ricos em recursos, mas estão sujeitas a distúrbios físicos (Passy, 2007). O grupo de espécies móteis é formado por espécies não aderidas ao substrato e, tal como as diatomáceas de alto perfil, estão sujeitas a distúrbios físicos, mas possuem capacidade de se movimentar no biofilme, que lhes permite selecionar habitats mais adequados, livres de limitação de recursos (Consalvey et al., 2004; Passy, 2007; Bondoc et al., 2016). Diatomáceas planctônicas apresentam vida livre e podem ocorrer no perifíton, exibem características morfológicas que proporcionam resistência à sedimentação (e.g. formação de longos filamentos, formas coloniais) (Rimet & Bouchez, 2012) e, por estarem à deriva, são sensíveis a fortes perturbações físicas (Rimet & Bouchez, 2012); algumas espécies cêntricas são características deste grupo (e.g. *Cyclotella* e *Discostella*).



**Fig. 5** Imagem adaptada de Hauer & Lamberti (2007). No esquema apresentado a seta azul indica o grupo funcional de baixo perfil, a seta vermelha indica o grupo de alto perfil, a seta cinza o grupo das espécies móteis e a seta preta indica as diatomáceas planctônicas.

## Objetivo

Efeitos do aumento da temperatura sobre comunidades aquáticas vêm sendo estudados e discutidos (Schabhüttl et al., 2013; Cao et al., 2014; Mahdy et al., 2015), da mesma forma que estudos averiguando efeitos de estressores como o aumento do escoamento superficial (Jeppesen et al., 2009; Liess et al., 2015; Deininger et al., 2016) e mudanças na cor da água (Mormul et al., 2012; Nicolle et al., 2012; Hedström et al., 2017). Contudo, são poucos os trabalhos que avaliam os efeitos da interação destes fatores em ambientes aquáticos (e.g. Kritzberg et al., 2014; Nicolle et al., 2012; Weidman et al., 2014).

Segundo o IPCC (2013), a combinação da intensificação dos fenômenos climáticos comprometerá a biodiversidade. Assim, dada a pouca compreensão acerca das consequências da interação destes fenômenos para os produtores primários de ambientes aquáticos, este estudo tem como objetivo avaliar através de um experimento bi-fatorial (temperatura controle e elevada; com e sem simulação de escoamento superficial) como as características climáticas globais futuras, aumento da temperatura e do escoamento artificial (adição de solo), afetarão a comunidade de diatomáceas perifíticas de ambientes aquáticos continentais.

## Referências

Abraham, J. P. & M. Baringer, 2013. A review of global ocean temperature observations: Implications for ocean heat content estimates and climate change. *Reviews of Geophysics* 51: 450–483.

Albertoni, E. F., C. Palma-Silva, C. R. T. Trindade & L. M. Furlanetto, 2014. Field evidence of the influence of aquatic macrophytes on water quality in a shallow eutrophic lake over a 13-year period. *Acta Limnologica Brasiliensia* 26: 176–185.

Behrenfeld, M. J., R. T. O'Malley, D. A. Siegel, C. R. McClain, J. L. Sarmiento, G. C. Feldman, A. J. Milligan, P. G. Falkowski, R. M. Letelier & E. S. Boss, 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444: 752–755.

Bondoc, K. G. V., J. Heuschele, J. Gillard, W. Vyverman & G. Pohnert, 2016. Selective silicate-directed motility in diatoms. *Nature Communications*, *Nature* 7: 1–7.

- Bourassa, N. & A. Cattaneo, 2000. Responses of a lake outlet community to light and nutrient manipulation: effects on periphyton and invertebrate biomass and composition. *Freshwater Biology* 44: 629–639.
- Burliga, A. L. & J. P. Kociolek, 2016. Diatoms (Bacillariophyta) *In* Jr., O. N. (ed), *River Algae*. Springer International Publishing, Switzerland: 93-128.
- Burliga, A. L. & A. Schwarzbald, 2013. Perifiton: Diversidade taxonômica e morfológica *In* Schwarzbald, A., A. L. Burliga & L. C. Torgan (eds), *Ecologia do Perifiton*. Rima, São Carlos, Brasil: 1-6.
- Campeau, S., H. R. Murkin & R. D. Titman, 1994. Relative importance of algae and emergent plant litter to freshwater marsh invertebrates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 681–692.
- Cao, Y., W. Li & E. Jeppesen, 2014. The response of two submerged macrophytes and periphyton to elevated temperatures in the presence and absence of snails: a microcosm approach. *Hydrobiologia* 738: 49–59.
- Carpenter, S. R., S. G. Fisher, N. B. Grimm & J. F. Kitchell, 1992. Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecological Systems* 23: 119–139.
- Carvalho, L. & A. Kirika, 2003. Changes in shallow lake functioning: response to climate change and nutrient reduction. *Hydrobiologia* 506–509: 789–796.
- Chmielewski, F.-M. & T. Rötzer, 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 108: 101–112.
- Consalvey, M., D. M. Paterson & G. J. C. Underwood, 2004. The ups and downs of life in a benthic biofilm: migration of benthic diatoms. *Diatom Research* 19: 181–202.
- Crowley, T. J., 2000. Causes of climate change over the past 1000 years. *Science* 289: 270–277.
- Daufresne, M., K. Lengfellner & U. Sommer, 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 12788–12793.

- Davison, I. R., 1991. Environmental effects on algal photosynthesis: temperature. *Journal of Phycology* 27: 2–8.
- Deininger, A., C. L. Faithfull, K. Lange, T. Bayer, F. Vidussi & A. Liess, 2016. Simulated terrestrial runoff triggered a phytoplankton succession and changed seston stoichiometry in coastal lagoon mesocosms. *Marine Environmental Research* 119: 40–50.
- Deutsch, C., A. Ferrel, B. Seibel, H.-O. Portner & R. B. Huey, 2015. Climate change tightens a metabolic constraint on marine habitats. *Science* 348: 1132–1135.
- Ekström, S., 2013. Brownification of freshwaters: the role of dissolved organic matter and iron. Doctoral Thesis Lund University.
- Erwin, K. L., 2009. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management* 17: 71–84.
- Esteves, F. D. A., 1998. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência, Rio de Janeiro.
- Farjalla, V. F., A. M. Amado, A. L. Suhett & F. Meirelles-pereira, 2009. DOC removal paradigms in highly humic aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research* 16: 531–538.
- Feuchtmayr, H., D. McKee, I. F. Harvey, D. Atkinson & B. Moss, 2007. Response of macroinvertebrates to warming, nutrient addition and predation in large-scale mesocosm tanks. *Hydrobiologia* 584: 425–432.
- Guadayol, Ò., F. Peters, C. Marrasé, J. Gasol, C. Roldán, E. Berdalet, R. Massana & A. Sabata, 2009. Episodic meteorological and nutrient-load events as drivers of coastal planktonic ecosystem dynamics: a time-series analysis. *Marine Ecology Progress Series* 381: 139–155.
- Guerra, A. J. T., 2011. *Geomorfologia Urbana*. Editora Bertrand Brasil Ltda, Rio de Janeiro.
- Guimarães, T. de F. R., 2013. Influência de variáveis de paisagem sobre a riqueza e composição de assembleias de peixes em lagoas costeiras no Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Hallegraeff, G. M., 2010. Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: a formidable predictive challenge. *Journal of Phycology* 46: 220–235.

Hanson, P. C., S. R. Carpenter, J. A. Cardille, M. T. Coe & L. A. Winslow, 2007. Small lakes dominate a random sample of regional lake characteristics. *Freshwater Biology* 52: 814–822.

Harley, C. D. G., K. M. Anderson, K. W. Demes, J. P. Jorve, R. L. Kordas, T. A. Coyle & M. H. Graham, 2012. Effects of climate change on global seaweed communities. *Journal of Phycology* 48: 1064–1078.

Hauer, F. R. & G. A. Lamberti, 2007. *Methods in Stream Ecology*. Elsevier Academic Press, Burlington, USA.

Hedström, P., D. Bystedt, J. Karlsson, F. Bokma & P. Byström, 2017. Brownification increases winter mortality in fish. *Oecologia* 183: 587–595.

Hiddink, J. G. & R. Ter Hofstede, 2008. Climate induced increases in species richness of marine fishes. *Global Change Biology* 14: 453–460.

Hughes, L., 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution* 15: 56–61.

Ihm, B-S., J-S. Lee, J. W. Kim & J.-H. Kim, 2007. Relationship between global warming and species richness of vascular plants. *Journal of Plant Biology* 50: 321–324.

IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The physical science basis: contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York.

Iverson, L. R. & A. M. Prasad, 2001. Potential changes in tree species richness and forest community types following climate change. *Ecosystems* 4: 186–199.

Jeppesen, E., B. Kronvang, M. Meerhoff, M. Søndergaard, K. M. Hansen, H. E. Andersen, T. L. Lauridsen, L. Liboriussen, M. Beklioglu, A. Özen & J. E. Olesen, 2009. Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake



ecological state, and potential adaptations. *Journal of Environment Quality* 38: 1930-1941.

Jeppesen, E., M. Meerhoff, K. Holmgren, I. González-Bergonzoni, F. T. Mello, S. A. J. Declerck, L. Meester, M. Søndergaard, T. L. Lauridsen, R. Bjerring, J. M. Conde-Porcuna, N. Mazzeo, C. Iglesias, M. Reizenstein, H. J. Malmquist, Z. Liu, D. Balayla & X. Lazzaro, 2010. Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia* 646: 73-90.

Kaushal, S. S., P. M. Mayer, P. G. Vidon, R. M. Smith, M. J. Pennino, T. A. Newcomer, S. Duan, C. Welty & K. T. Belt, 2014. Land use and climate variability amplify carbon, nutrient, and contaminant pulses: a review with management implications. *Journal of the American Water Resources Association* 50: 585–614.

Knouft, J. H. & D. L. Ficklin, 2017. The potential impacts of climate change on biodiversity in flowing freshwater systems. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48: 111–133.

Kratina, P., H. S. Greiga, P. L. Thompson, T. S. A. Pereira-Carvalho & J. B. Shurin, 2012. Warming modifies trophic cascades and eutrophication in experimental freshwater communities. *Ecology* 96: 1421–1430.

Kritzberg, E. S., W. Granéli, J. Björk, C. Brönmark, P. Hallgren, A. Nicolle, A. Persson & L-A. Hansson, 2014. Warming and browning of lakes: consequences for pelagic carbon metabolism and sediment delivery. *Freshwater Biology* 59: 325–336.

Kuussaari, M., R. Bommarco, R. K. Heikkinen, A. Helm, M. Pa, J. Krauss, R. Lindborg, O. Erik, T. Teder, M. Zobel, F. Roda & I. Steffan-Dewenter, 2009. Extinction debt: a challenge for biodiversity conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 564–571.

Landkildehus, F., M. Søndergaard, M. Beklioglu, R. Adrian, D. G. Angeler, J. Hejzlar, E. Papastergiadou, P. Zingel, A. I. Çakiroğlu, U. Scharfenberger, S. Drakare, T. Nöges, M. Šorf, K. Stefanidis, Ü. N. Tavşanoğlu, C. Trigal, A. Mahdy, C. Papadaki, L. Tuvikene, S. E. Larsen, M. Kernan & E. Jeppesen, 2014. Climate change effects on shallow lakes: design and preliminary results of a cross-European climate gradient mesocosm experiment. *Estonian Journal of Ecology* 63: 71–89.

Lange, K., A. Liess, J. J. Piggott, C. R. Townsend & C. D. Matthaei, 2011. Light, nutrients and grazing interact to determine stream diatom community composition and functional group structure. *Freshwater Biology* 56: 264–278.

Liess, A., C. Faithfull, B. Reichstein, O. Rowe, J. Guo, R. Pete, G. Thomsson, W. Uszko & S. N. Francoeur, 2015. Terrestrial runoff may reduce microbenthic net community productivity by increasing turbidity: a Mediterranean coastal lagoon mesocosm experiment. *Hydrobiologia* 753: 205–218.

Liess, A., K. Lange, F. Schulz, J. J. Piggott, C. D. Matthaei & C. R. Townsend, 2009. Light, nutrients and grazing interact to determine diatom species richness via changes to productivity, nutrient state and grazer activity. *Journal of Ecology* 97: 326–336.

Mahdy, A., S. Hilt, N. Filiz, M. Beklioğlu, J. Hejzlar, D. Özkundakci, E. Papastergiadou, U. Scharfenberger, M. Šorf, K. Stefanidis, L. Tuvikene, P. Zingel, M. Søndergaard, E. Jeppesen & R. Adrian, 2015. Effects of water temperature on summer periphyton biomass in shallow lakes: a Pan-European mesocosm experiment. *Aquatic Sciences* 77: 499–510.

Marengo, J. A., S. C. Chou, G. Kay, L. M. Alves, J. F. Pesquero, W. R. Soares, D. C. Santos, A. A. Lyra, G. Sueiro, R. Betts, D. J. Chagas, J. L. Gomes, J. F. Bustamante & P. Tavares, 2012. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. *Climate Dynamics* 38: 1829–1848.

Marengo, J. A., R. Jones, L. M. Alves & M. C. Valverde, 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology* 29: 2241–2255.

Mckee, D., K. Hatton, J. W. Eaton, D. Atkinson, A. Atherton, I. Harvey & B. Moss, 2002. Effects of simulated climate warming on macrophytes in freshwater microcosm communities. *Aquatic Botany* 74: 71–83.

Medlin, L. K. & I. Kaczmarska, 2004. Evolution of the diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. *Phycologia* 43: 245–270.

Menendez, R., A. G. Megias, J. K. Hill, B. Braschler, S. G. Willis, Y. Collingham, R. Fox, D. B. Roy & C. D. Thomas, 2006. Species richness changes lag behind climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 273: 1465–1470.

Mooij, W. M., J. H. Janse, L. N. D. S. Domis, S. Hülsmann & B. W. Ibelings, 2007. Predicting the effect of climate change on temperate shallow lakes with the ecosystem model PCLake. *Hydrobiologia* 584: 443–454.

Mormul, R. P., J. Ahlgren, M. K. Ekvall, L-A. Hansson & C. Brönmark, 2012. Water brownification may increase the invasibility of a submerged non-native macrophyte. *Biological Invasions* 14: 2091–2099.

Moss, B., D. Mckee, D. Atkinson, S. E. Collings, J. W. Eaton, A. B. Gill, I. Harvey, K. Hatton, T. Heyes & D. Wilson, 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.

Nagelkerken, I. & P. L. Munday, 2016. Animal behaviour shapes the ecological effects of ocean acidification and warming: moving from individual to community-level responses. *Global Change Biology* 22: 974–989.

NASA, 2018. Vital Signs of the Planet, <https://climate.nasa.gov/>.

Navarro-Cano, J. A., B. Karlsson, D. Posledovich, T. Toftegaard, C. Wiklund, J. Ehrlén & K. Gotthard, 2015. Climate change, phenology, and butterfly host plant utilization. *AMBIO* 44: 78–88.

Newbold, T., L. N. Hudson, S. L. L. Hill, S. Contu, I. Lysenko, R. A. Senior, L. Börger, D. J. Bennett, A. Choimes, B. Collen, J. Day, A. De Palma, S. Díaz, S. Echeverria-Londoño, M. J. Edgar, A. Feldman, M. Garon, M. L. K. Harrison, T. Alhusseini, D. J. Ingram, Y. Itescu, J. Kattge, V. Kemp, L. Kirkpatrick, M. Kleyer, D. L. P. Correia, C. D. Martin, S. Meiri, M. Novosolov, Y. Pan, H. R. P. Phillips, D. W. Purves, A. Robinson, J. Simpson, S. L. Tuck, E. Weiher, H. J. White, R. M. Ewers, G. M. Mace,

J. P. W. Scharlemann & A. Purvis, 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature* 520: 45–50.

Ng, T. P. T., S. L. Y. Lau, L. Seuront, M. S. Davies, R. Stafford, D. J. Marshall & G. A. Williams, 2017. Linking behaviour and climate change in intertidal ectotherms: insights from littorinid snails. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 492: 121–131.

Nicolle, A., P. Hallgren, J. von Einem, E. S. Kritzberg, W. Granéli, A. Persson, C. Brönmark & L.-A. Hansson, 2012. Predicted warming and browning affect timing and magnitude of plankton phenological events in lakes: A mesocosm study. *Freshwater Biology* 57: 684–695.

Osland, M. J., L. C. Feher, K. T. Griffith, K. C. Cavanaugh, N. M. Enwright, R. H. Day, C. L. Stagg, K. W. Krauss, R. J. Howard, J. B. Grace & K. Rogers, 2017. Climatic controls on the global distribution, abundance and species richness of mangrove forests. *Ecological Monographs* 87: 341–359.

Parmesan, C., & G. Yohe, 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.

Passy, S. I., 2007. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany* 86: 171–178.

PBMC, 2013. Base científica das mudanças climáticas: contribuição do grupo de trabalho 1 ao primeiro relatório de avaliação nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1, Rio de Janeiro.

Poff, N. L., S. Tokar & P. Johnson, 1996. Stream hydrological and ecological responses to climate change assessed with an artificial neural network. *Limnology and Oceanography* 41: 857–863.

Pörtner, H. O. & A. P. Farrell, 2008. Physiology and climate change. *Science* 322: 690–692.

- Rasconi, S., A. Gall, K. Winter & M. J. Kainz, 2015. Increasing water temperature triggers dominance of small freshwater plankton. *PLOS ONE* 10: 1–17.
- Ratcovich, J., 2014. The impact of climate change and brownification on primary and bacterial production. Master thesis, Lund University.
- Rimet, F. & A. Bouchez, 2012. Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in european rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 406: 1–12.
- Rivers, B., 2006. *Biologia e Filogenia das Algas*. Artmed, Porto Alegre.
- Rooney, N. & J. Kalff, 2000. Inter-annual variation in submerged macrophyte community biomass and distribution: the influence of temperature and lake morphometry. *Aquatic Botany* 68: 321–335.
- Root, T., J. Price, K. Hall & S. Schneider, 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.
- Round, F. E., R. M. Crawford & D. G. Mann, 2007. *The diatoms: biology & morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rühland, K. M., A. M. Paterson & J. P. Smol, 2015. Lake diatom responses to warming: reviewing the evidence. *Journal of Paleolimnology* 54: 1–35.
- Sala, O. E., F. S. Chapin, J. J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. F. Huenneke, R. B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. M. Lodge, H. A. Mooney, M. Oesterheld, N. L. Poff, M. T. Sykes, B. H. Walker, M. Walker & D. H. Wall, 2012. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60: 731–739.
- Sánchez, M. L., G. L. Pérez, I. Izaguirre & H. Pizarro, 2013. Influence of underwater light climate on periphyton and phytoplankton communities in shallow lakes from the Pampa plain (Argentina) with contrasting steady states. *Journal of Limnology* 72: 6.
- Schabhüttl, S., P. Hingsamer, G. Weigelhofer, T. Hein, A. Weigert & M. Striebel, 2013. Temperature and species richness effects in phytoplankton communities. *Oecologia* 171: 527–536.

Schindler, D. W., S. E. Bayley, B. R. Parker, K. G. Beaty, D. R. Cruikshank, E. J. Fee, E. U. Schindler & M. P. Stainton, 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.

Schlesinger, W. H., 2006. Global change ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 21: 348–351.

Steinberg, C. E. W., S. Kamara, V. Y. Prokhot'skaya, L. M. Ianas, T. A. Karasyova, M. A. Timofeyev, Z. Jie, A. Paul, T. Meinelt, V. F. Farjalla, A. Y. O. Matsuo, B. K. Burnison & R. Menzel, 2006. Dissolved humic substances – ecological driving forces from the individual to the ecosystem level? *Freshwater Biology* 51: 1189–1210.

Steinman, A. D. & D. McIntire, 1989. Effects of irradiance and grazing on lotic algal assemblages. *Journal of Phycology* 25: 478–489.

Taniwaki, R. H., T. C. Borghi, A. Geraldo & E. Magrin, 2013. Structure and dynamics of the community of periphytic algae in a subtropical reservoir (state of São Paulo, Brazil). *Acta Botanica Brasilica* 27: 551–559.

Taniwaki, R. H., J. J. Piggott, S. F. B. Ferraz & C. D. Matthaei, 2016. Climate change and multiple stressors in small tropical streams. *Hydrobiologia* 793: 41–53.

Thomas, C. D., A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. N. Erasmus, M. F. de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huerta, A. Townsend Peterson, O. L. Phillips & S. E. Williams, 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145–148.

Von Scheibner, M., P. Dörge, A. Biermann, U. Sommer, H. Hoppe & K. Jürgens, 2014. Impact of warming on phyto-bacterioplankton coupling and bacterial community composition in experimental mesocosms. *Environmental Microbiology* 16: 718–733.

Weidel, B. C., K. Baglini, S. E. Jones, P. T. Kelly, C. T. Solomon & J. A. Zwart, 2017. Light climate and dissolved organic carbon concentration influence species-specific changes in fish zooplanktivory. *Inland Waters* 7: 210–217.

Weidman, P. R., D. W. Schindler, P. L. Thompson & R. D. Vinebrooke, 2014. Interactive effects of higher temperature and dissolved organic carbon on planktonic communities in fishless mountain lakes. *Freshwater Biology* 59: 889–904.

Wetzel, R. G., 1964. A Comparative study of the primary productivity of higher aquatic plants, periphyton, and phytoplankton in a large, shallow lake. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 49: 1–61.

Winder, M. & U. Sommer, 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia* 698: 5–16.

Wrona, F. J., T. D. Prowse, J. D. Reist, J. E. Hobbie & L. M. J. Le, 2006. Climate change effects on aquatic biota, ecosystem structure and function. *Climate Change Impacts on Arctic Freshwater Ecosystems and Fisheries* 35: 359–369.

## CAPÍTULO 1

### **Efeitos do escoamento superficial e do aumento da temperatura sobre diatomáceas perifíticas**

Cássia Fernanda Martins da Silva<sup>1</sup>, Lezilda Carvalho Torgan<sup>2</sup>, Luiz Ubiratan Hepp<sup>3</sup>, Fabiana Schneck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Instituto de Ciências Biológicas – ICB, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, RS, 96203-900, Brasil

<sup>2</sup> Museu de Ciências Naturais, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 90690-000, Brasil

<sup>3</sup> Laboratório de Biomonitoramento, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, RS, 99709-910, Brasil

E-mail para correspondência: [cassiamartins.ecologia@gmail.com](mailto:cassiamartins.ecologia@gmail.com)

#### **Resumo**

Cenários futuros de mudanças climáticas sugerem um aumento na temperatura e aumento de 40% no regime de chuvas em regiões subtropicais, o que acarretará em aumento nos eventos de escoamento superficial e conseqüentemente, mudanças na turbidez e cor da água. Sendo assim, espera-se para o período de ≈2100 águas mais quentes e mais escuras. Nós testamos os efeitos do aumento da temperatura e do escoamento superficial sobre a comunidade de diatomáceas perifíticas de ambientes aquáticos continentais através de um experimento bi-fatorial. A interação da temperatura e de fenômenos relacionados ao escoamento superficial não afetaram a riqueza total de espécies de diatomáceas, mas explicou as diferenças nas abundâncias relativas entre os grupos funcionais. O aumento da temperatura e a adição de solo atuando isoladamente reduziram a riqueza de espécies total de diatomáceas. Os efeitos interativos explicaram as mudanças sobre a composição e estrutura de diatomáceas, mas não explicaram alterações na composição e estrutura dos grupos funcionais, que foram afetadas principalmente pelos fatores isolados. Os resultados obtidos a partir de estudos experimentais tal como este, podem



proporcionar a compreensão de possíveis consequências para estes ambientes em um futuro e proporcionando a possibilidade de mitigar impactos negativos sobre os ecossistemas.

**Palavras-chave:** aquecimento global, mudanças climáticas, turbidez, perifíton, grupos funcionais.

## **Introdução**

Os ecossistemas aquáticos continentais estão sujeitos a uma série de pressões, sendo que as mudanças climáticas são atualmente consideradas um dos principais estressores destes ambientes (Rühland et al., 2015; Taniwaki et al., 2016). O clima do planeta está mudando constantemente e é previsto para o período de 2100 um aumento médio de 3°C na temperatura média global, além de um aumento médio de 40% na precipitação nas regiões subtropicais da América do Sul (Marengo et al., 2009; PBMC, 2013). Espera-se ainda que haja um aumento no escoamento superficial em detrimento do aumento da chuva (Jeppensen et al., 2009; IPCC, 2013; Knouft & Ficklin, 2017), levando a um maior aporte de substâncias alóctones e um aumento nas concentrações de nutrientes e substâncias orgânicas nos ambientes aquáticos continentais (Carpenter et al., 1992; Kritzberg & Ekström, 2012; Kritzberg et al., 2014; Knouft & Ficklin, 2017). Em resposta às mudanças climáticas, ambientes aquáticos como lagos apresentam mudanças expressivas em suas características (Rühland et al., 2015), tal como o aumento na temperatura da água e aumento nas concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) (Hanson et al., 2007), resultando em águas mais turvas (Liess et al., 2015; Deiningner et al., 2016) e escuras (Mormul et al., 2012; Nicolle et al., 2012; Reader et al., 2014).

As alterações nas características físicas e químicas da água nos ecossistemas aquáticos consequentes dos fenômenos das mudanças climáticas afetam a biota (Carpenter et al., 1992) levando a alterações na produtividade primária (Behrenfeld et al., 2006), biomassa dos organismos (Liess et al., 2015; Rasconi et al., 2015), composição e estrutura de comunidades de algas planctônicas e perifíticas (Rühland et al., 2015), logo que a temperatura (Davison, 1991) e a luz (Liess et al., 2009; Lange et al., 2011) atuam como fatores controladores no

crescimento de algas. Os efeitos do aumento da temperatura sobre algas ainda são incertos, sendo observadas respostas negativas da biomassa de algas planctônicas (Carvalho & Kirika, 2003) e positivas da biomassa de algas perifíticas (Mckee et al., 2002; Cao et al., 2014). Além dos efeitos sobre a biomassa, o aumento da temperatura pode alterar os padrões de riqueza de espécies de algas continentais (Schabhüttl et al., 2013; Rasconi et al., 2015), tal como tem sido observado para outros organismos aquáticos (Mckee et al., 2002; McKee et al., 2003; Moss et al., 2003; Hiddink & Hofstede, 2008) e terrestres (Iverson & Prasad, 2001; Menendez et al., 2006; Navarro-Cano et al., 2015). Estudos experimentais sugerem uma relação positiva entre o aumento da temperatura sobre a riqueza de espécies de cianobactérias (Schabhüttl et al., 2013; Rasconi et al., 2015) e relações negativas sobre a riqueza de diatomáceas (Schabhüttl et al., 2013). Rasconi et al. (2015) ainda observaram que diatomáceas e dinoflagelados foram grupos mais diversos em águas sem aumento de temperatura.

Segundo Liess et al. (2015), os efeitos do escoamento superficial podem ser inibidores, pois proporcionam juntamente a entrada de solo e de substâncias orgânicas que podem tornar as águas mais turvas com coloração acastanhadas, o que acarreta na redução da disponibilidade de luz. A disponibilidade de luz apresenta relações efetivas com produtores primários (Mormul et al., 2012; Nicolle et al., 2012; Weidman et al., 2014); ambientes com maior disponibilidade de luz apresentam relações positivas com a biomassa do perifíton (Bourassa & Cattaneo, 2000; Liess et al., 2009, Liess et al., 2015; Sánchez et al., 2013), além de alterar a composição de espécies da comunidade (Bourassa & Cattaneo, 2000). Segundo Sánchez et al. (2013), ambientes com maior disponibilidade de luz são dominados por clorofíceas, enquanto ambientes menos iluminados tendem a ser dominados por diatomáceas. Liess et al. (2009) demonstraram que diatomáceas são sensíveis à disponibilidade de luz, havendo aumento na riqueza de espécies de diatomáceas em ambientes com maiores disponibilidades de luz. Além dos efeitos observados sobre a riqueza de espécies, a disponibilidade de luz pode causar efeitos sobre a estrutura e composição de espécies da comunidade, favorecendo espécies mais aptas a condições de menor disponibilidade deste recurso (Liess et al., 2009; Rasconi et al., 2015).

Diatomáceas contribuem significativamente para a produção primária nos ambientes aquáticos (Burliga & Kociolek, 2016; Burliga e Schwarzbald, 2013), principalmente em ambientes aquáticos rasos (e.g. lagos e riachos). Estão entre as algas mais abundantes e comumente encontradas no perifíton (Burliga & Schwarzbald, 2013; Burliga & Kociolek, 2016) e são amplamente distribuídas no planeta, podendo ocorrer na maioria dos ambientes aquáticos (Rivers, 2006). Diante da diversidade de habitats ocupados e distintas formas de vida (unicelulares ou filamentosas) (Round et al., 2007; Burliga & Kociolek, 2016), as diatomáceas apresentam uma ampla variedade de adaptações morfológicas para aderência aos substratos (Passy, 2007; Rimet & Bouchez, 2012). As formas de vida estão associadas ao estrato que ocupam no biofilme, podendo ser classificadas em grupos funcionais tais como de alto perfil, baixo perfil, móteis (Passy, 2007) e planctônicas (Rimet e Bouchez, 2012). As espécies pertencentes ao grupo de alto perfil apresentam formas que lhes permitem ocupar desde a camada inferior até a camada mais externa do biofilme, proporcionando maior acesso à luz e aos nutrientes, o que lhes fornece vantagens competitivas em habitats ricos em recursos e com baixos níveis de distúrbios (Passy, 2007). Diatomáceas de baixo perfil, que vivem diretamente aderidas ao substrato ou que ocupam a porção inferior do biofilme (Rimet & Bouchez, 2012), são frequentemente associadas às limitações de recursos (e.g. luz e nutrientes) (Passy, 2007). As diatomáceas móteis não vivem aderidas ao substrato e também estão sujeitas a distúrbios físicos (Rimet & Bouchez, 2012), porém possuem capacidade de se movimentar no biofilme (Consalvey et al., 2004; Passy, 2007), que lhes permite selecionar habitats mais adequados, com disponibilidade de recursos (Passy, 2007; Bondoc et al., 2016). Diatomáceas planctônicas podem ocorrer no perifíton, e tal como as diatomáceas móteis também apresentam vida livre (Rimet & Bouchez, 2012). A adoção de grupos funcionais como indicadores ecológicos tem sido sugerida para estudos sobre mudanças ambientais globais, tais como mudanças na temperatura e fenômenos decorrentes do escoamento superficial (e.g. mudanças na cor da água, aumento de substâncias orgânicas, em inglês é utilizado o termo *brownification*) (Lange et al., 2011; Soininen et al., 2016).

Uma vez que os impactos das mudanças climáticas são mais expressivos em ambientes que não são afetados por outros estressores (Smol, 2010), estudos em

mesocosmos são considerados boas ferramentas para compreender os impactos das mudanças climáticas (Stewart et al., 2013), pois proporcionam o controle ideal para avaliar os efeitos de seus fenômenos (e.g. aumento da temperatura, escoamento superficial) (Rühland, et al., 2015). Neste estudo testamos experimentalmente quatro predições (i) a adição de solo (i.e. simulação de escoamento superficial) reduzirá a biomassa de algas perifíticas independente da temperatura, contudo o aumento da temperatura terá um efeito positivo sobre a biomassa de algas perifíticas em águas sem adição de solo; (ii) o aumento da temperatura e a adição de solo, atuando de maneira isolada ou conjunta, reduzirão a riqueza de espécies de diatomáceas; (iii) os grupos funcionais apresentarão respostas diferentes ao aumento da temperatura e à adição de solo, sendo observado aumento na riqueza de espécies e na abundância relativa do grupo funcional de baixo perfil em detrimento de espécies de alto perfil e móteis; (iv) haverá uma alteração na composição das espécies de diatomáceas entre os tratamentos, uma vez que espécies mais aptas a temperaturas mais elevadas e a condições de pouca luz serão selecionadas em ambientes com maior temperatura e mais turvos e com cores elevadas.

## **Materiais e Métodos**

### **Delineamento experimental**

O experimento foi realizado em janeiro de 2017 (verão) na Universidade Federal do Rio Grande (FURG, 32° 4' 37.560" S, 52° 10' 8.400" W), região costeira no extremo sul do Brasil (Material Suplementar 1). O clima da região é subtropical úmido com forte influência oceânica, temperatura média anual de 17,5°C e precipitação média anual de 1300 mm (Tagliani, 2011). Antes de iniciar o experimento, lâminas de cerâmica ( $\cong 8 \times 8$  cm) foram expostas no Lago Polegar para a colonização do perifíton, um lago raso (com profundidade média de 1,5 m) caracterizado como oligomesotrófico (Palma-Silva et al., 2013) localizado dentro da Universidade, próximo ao local onde foi realizado o experimento. A exposição dos substratos para colonização foi feita em blocos (seguindo o delineamento do experimento) durante 40 dias, sendo então realocados para os mesocosmos, dando início ao experimento.

Simulamos durante 12 dias as características de um ambiente lêntico subtropical em 12 mesocosmos de polietileno (comprimento: 49 cm × altura: 31 cm, volume: 40 litros). O delineamento experimental contou com dois fatores com dois níveis cada: temperatura (ambiente e alta) e escoamento superficial (sem e com adição de solução de solo), totalizando quatro tratamentos: temperatura ambiente sem adição de solo (controle, C), temperatura alta sem adição de solo (T), temperatura ambiente com adição de solo (S), temperatura alta com adição de solo (TS) (Material Suplementar 2). O experimento foi composto por três blocos aleatorizados, sendo que cada bloco contou com uma réplica de cada tratamento (3 blocos × 2 tratamentos temperatura × 2 tratamentos escoamento superficial = 12 unidades experimentais).

Para a simulação do aumento da temperatura da água utilizamos um sistema composto por aquecedores e termostatos (Microsol RI/06 - Full Gauge®). Este sistema regulou a temperatura nos tratamentos aquecidos através de sensores que operaram em tempo real para obter um aumento de 2,5°C em relação à temperatura ambiente. Estes equipamentos operaram com um erro de 0,1°C, alcançando ao longo do período experimental um diferencial médio de 2,6°C (Material Suplementar 3). Para simular o cenário de escoamento superficial e consequente aumento de cor e turbidez da água utilizamos uma solução composta por água do lago filtrada em rede de plâncton (25 µm) e solo natural. Para tal, coletamos solo em uma área próxima ao lago, sendo este seco em estufa a 40°C durante 48 horas (Lefébure et al., 2013). Posteriormente, removemos as partículas grandes manualmente e peneiramos em malha de 100 µm (Deininger et al., 2016), obtendo um material fino. Em seguida, diluímos 1 kg de solo tratado em 40 litros de água. Em cada réplica dos tratamentos com adição de solo acrescentamos um litro desta solução, sendo que estes tratamentos apresentaram aproximadamente o dobro de cor e turbidez em relação ao observado no controle (Material Suplementar 4A-B). Devido à evaporação, adicionamos diariamente ao longo do experimento água filtrada oriunda do lago em todas as réplicas, sendo que nas réplicas dos tratamentos com adição de solo, adicionamos pequenas concentrações da solução de solo junto à água. Os aquários foram oxigenados com bomba de oxigênio.

## **Variáveis físicas e químicas**

Utilizamos uma sonda multiparâmetros (Horiba U-50) para medir diariamente as variáveis pH, condutividade elétrica (Cond.), oxigênio dissolvido (OD) e sólidos totais dissolvidos (STD). Os parâmetros cor verdadeira da água e turbidez foram mensurados diariamente em um espectrofotômetro (comprimento de onda 420 nm) e turbidímetro (Quimis), respectivamente. Coletamos amostras de água para análise do nitrogênio total (NT), fósforo dissolvido ( $PO_4$ ) e fósforo total (PT) três vezes ao longo do experimento, no primeiro (1º), sexto (6º) e último (12º) dia. Nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl (Allen et al., 1974) e o fósforo dissolvido e fósforo total, segundo Valderrama (1981) e Baumgartem & Rocha (1996). Realizamos cinco coletas ao longo do experimento para análise de carbono total (COT), carbono inorgânico dissolvido (CID), carbono orgânico dissolvido (COD) e nitrogênio dissolvido (NID), no primeiro (1º), terceiro (3º), sexto (6º), nono (9º) e último dia (12º) de experimento, as quais foram realizadas no analisador TOC-VCSH (Shimadzu®).

## **Biomassa do perifíton**

Utilizamos as concentrações de clorofila *a* para estimar a biomassa de algas perifíticas. Realizamos três coletas ao longo do experimento, no primeiro (1º), sexto (6º) e último (12º) dia de experimento, totalizando 36 amostras (3 blocos × 4 tratamentos × 3 coletas). O material perifítico foi removido utilizando lâminas envolvidas em folha de alumínio e água destilada. Posteriormente, o material foi filtrado em filtro de microfibras de vidro (filtros GF/F, Whatman). Utilizamos etanol como solvente e realizamos a leitura em espectrofotômetro seguindo procedimentos estabelecidos por Biggs & Kilroy (2000).

## **Quantificação e identificação de diatomáceas**

Realizamos cinco coletas ao longo do experimento, no primeiro (1º), terceiro (3º), sexto (6º), nono (9º) e último dia (12º) de experimento, totalizando 60 amostras (3 blocos × 4 tratamentos × 5 coletas). Os substratos foram retirados dos mesocosmos e o material perifítico foi removido através do uso de lâminas envolvidas em folha de alumínio e água destilada. O material foi oxidado com permanganato de potássio ( $KMnO_4$ ) e ácido clorídrico (HCl) concentrado (Simonsen, 1974), seguido pela

preparação de lâminas permanentes utilizando Naphrax. As análises qualitativas e quantitativas foram realizadas em microscópio óptico com aumento de 1000×, no qual realizamos registro fotográfico dos táxons. Quantificamos 500 valvas por réplica para avaliar a abundância relativa, riqueza e estrutura da comunidade. A identificação das espécies foi realizada utilizando literatura específica, considerando o tamanho das células e os caracteres micromorfológicos dos táxons, sempre analisando a variação populacional. Todos os táxons foram identificados no menor nível taxonômico possível, comumente espécie. Os táxons foram classificados em quatro grupos funcionais: baixo perfil, alto perfil, móteis e planctônicas, seguindo Rimet & Bouchez (2012). Neste estudo foram identificados representantes dos quatro grupos funcionais, alto perfil, baixo perfil, motéis e planctônicas. Dos 108 taxa encontrados, 9 não foram identificados a nível de gênero ou espécie, não sendo classificados em grupos funcionais. Desta forma, 99 taxa foram classificados.

### **Análise de dados**

Para verificar a existência de diferenças na biomassa de algas (clorofila *a*), riqueza total de diatomáceas, riqueza e abundância relativa dos grupos funcionais (baixo perfil, alto perfil, móteis e planctônicas) entre os tratamentos e os possíveis efeitos isolados e interações das variáveis preditoras (temperatura e escoamento superficial) ao longo do experimento, realizamos Análises de Variância de dois fatores em blocos de medidas repetidas (ANOVA-MR), onde as réplicas foram tratadas como sujeito, as coletas ao longo do tempo experimental como as medidas repetidas dentro dos sujeitos (*within-subject*) e a temperatura e o escoamentos superficial como fatores entre sujeitos (*between-subject*) (Lawrence, 2016). A esfericidade foi calculada pelo teste de Mauchl's e corrigida com o método de Huynh-Feldt quando necessário (Quinn & Keough, 2002).

Para verificar se houveram diferenças significativas na composição total das espécies e diferenças na composição de espécies dos diferentes grupos funcionais entre os tratamentos realizamos Análises de Variância Multivariada permutacional (PERMANOVA; Anderson, 2001) com 999 permutações, utilizando os índices de dissimilaridade de Sørensen para dados de presença-e-ausência e de Bray-Curtis para dados quantitativos transformados em  $\log(x+1)$  (Legendre & Legendre, 1998). Buscando visualizar melhor as relações entre a composição das espécies nos

diferentes tratamentos realizamos Análises de Coordenadas Principais (PCoA) com as mesmas matrizes de dissimilaridade mencionadas acima. Realizamos as Análises de Variância de medidas repetidas utilizando o pacote “ez” (Lawrence, 2016) e calculamos as dissimilaridades e PERMANOVAs com o pacote “vegan” (Oksanen et al., 2017) no ambiente R (R Core Team, 2017). A PCoA foi realizada no software Past versão 3.18 (Hammer et al., 2011).

## **Resultados**

### **Variáveis físicas e químicas**

Verificamos efeitos significativos do tempo sobre a maioria dos parâmetros físicos e químicos analisados, com exceção do PO<sub>4</sub>, STD, PT e COT. Nos tratamentos com aumento de temperatura e adição de solo observamos que houve aumento significativo do pH e redução do NT. A adição de solo aumentou significativamente a cor verdadeira da água, a turbidez e as concentrações de COT, COD e PT. Observamos efeito significativo do aumento de temperatura sobre a condutividade elétrica. As concentrações médias de OD, STD, NID, PO<sub>4</sub>, CID não foram afetadas pela interação do aumento da temperatura e adição de solo, ou pelos fatores isolados (Tabela 1, Material Suplementar 7, 8 e 10).

### **Biomassa de algas perifíticas**

Houve aumento significativo da biomassa ao longo do tempo em todos os tratamentos (Tabela 2), com valores iniciais médios de clorofila *a* de  $2,44 \pm 0,7$  mg m<sup>-2</sup>, e  $4,16 \pm 0,9$  mg m<sup>-2</sup> ao final do experimento (12º dia). Observamos os maiores valores médios de clorofila *a* nos dois tratamentos com aumento de temperatura (T e TS) e os menores valores médios nos tratamentos com temperatura ambiente C e S (Fig. 1A). Contudo, nossos resultados não indicaram efeitos significativos do aumento da temperatura (T), da adição de solo (S) ou das interações dos fatores (TS) (Tabela 2).

### **Comunidade de diatomáceas**

Encontramos 108 espécies de diatomáceas distribuídas em 36 gêneros (Material Suplementar 11). A espécie *Achnantheidium minutissimum* foi a mais abundante, representando 26% das valvas contadas, seguida de *Discostella stelligera* (11%),



*Pseudostaurosira* sp1 (12%), *Fragilaria longifusiformis* (10%), *Nitzschia palea* (8%), *Fragilaria billingsii* (7%) e *Staurosirella martyi* (6%). O grupo funcional com maior riqueza de espécies foi o grupo de alto perfil, com 45 taxa, seguido do grupo das diatomáceas móteis (37 taxa); diatomáceas de baixo perfil (13) e planctônicas (4) apresentaram as menores riquezas de espécies. O grupo das diatomáceas de alto perfil foi o mais abundante, representando 48% as valvas contadas, seguido pelo grupo de baixo perfil (27%), diatomáceas móteis (13%) e planctônicas (11%).

Não foram observadas interações significativas entre temperatura, adição de solo e tempo sobre a riqueza total de espécies de diatomáceas (Tabela 2). Porém, os fatores afetaram isoladamente a riqueza de espécies, sendo observada uma redução no número de espécies nos tratamentos com o aumento da temperatura e adição de solo, assim como ao longo do tempo (Tabela 2, Fig. 1B).

Já os grupos funcionais apresentaram respostas distintas entre os tratamentos, tanto para riqueza de espécies (Fig. 1C-F) quanto para a abundância relativa (Fig. 2A-D). Os resultados indicaram que os efeitos interativos da temperatura e da adição de solo não foram significativos para a riqueza de espécies de nenhum dos grupos funcionais. Foram observados efeitos isolados do tempo para diatomáceas de alto perfil e móteis (Tabela 2). Os efeitos isolados da temperatura não afetaram a riqueza de espécies de diatomáceas dos grupos de alto e baixo perfil (Tabela 2, Fig. 1C-D), mas foram significativos sobre a riqueza de espécies de diatomáceas móteis e planctônicas (Tabela 2), sendo observada redução da riqueza destes grupos quando comparada com a riqueza no controle (Fig. 1E-F). A adição de solo afetou negativamente a riqueza de espécies de diatomáceas de alto perfil, móteis e planctônicas (Tabela 2), porém não apresentou efeitos significativos sobre as espécies de baixo perfil (Tabela 2).

A interação foi significativa sobre a abundância de diatomáceas de alto perfil, sendo observado um efeito positivo em tratamentos com adição de solo e aumento de temperatura (TS). Na ausência de adição de solo, o aumento da temperatura não afetou significativamente a abundância de diatomáceas de alto perfil, o mesmo foi observado para os tratamentos com adição sem aumento da temperatura (Fig. 2B). A interação da adição de solo e aumento de temperatura também foi significativa sobre a abundância de diatomáceas planctônicas afetando-as negativamente (TS)

(Fig. 2D). Na ausência de adição de solo, o aumento da temperatura afetou positivamente a abundância de diatomáceas planctônicas, mas em tratamentos com adição de solo sem aumento da temperatura os efeitos observados foram negativos (Fig. 2D). Os efeitos interativos não afetaram a abundância de diatomáceas de baixo perfil (Fig. 2A) ou móteis (Tabela 2, Fig. 2C), mas os efeitos da adição de solo foram positivos sobre a abundância relativa de diatomáceas de baixo perfil (Tabela 2, Fig. 2A).

As diferenças na composição total de espécies (dados de presença e ausência) e na estrutura da comunidade (dados de abundância) entre os tratamentos foram explicadas pelo tempo e pela interação do aumento da temperatura e da adição de solo, tal como pelos fatores isolados, dependendo do conjunto de dados (Tabela 3, Material Suplementar 5). De acordo com a PCoA para composição das espécies o eixo 1 demonstrou um agrupamento do tratamento controle em relação aos demais, enquanto o eixo 2 refletiu as diferenças entre os efeitos interativos do aumento da temperatura e da adição de solo dos tratamentos com aumento da temperatura, mas sem adição de solo; tal como demonstrados pelos resultados da PERMANOVA (Material Suplementar 5). A PCoA evidenciou que mudanças na estrutura da comunidade total em função dos tratamentos foram mais expressivas ao final do experimento (Fig. 3). Corroborando os resultados da PERMANOVA, a distribuição dos dados no eixo 1 demonstrou efeito dos tratamentos com adição de solo, gerando um agrupamento entre as comunidades de S e TS, que sugere mudanças nas comunidades de diatomáceas (Fig. 3). O eixo 2 evidenciou os efeitos da interação entre o aumento da temperatura e da adição de solo (Fig. 3), promovendo um agrupamento entre as comunidades em TS ao final do experimento. Os fortes efeitos do tempo sobre a estrutura das comunidades também ficaram evidentes, refletindo em comunidades de diatomáceas perifíticas mais similares durante o início do experimento (1º, 3º e 6º dias) que ao final (9º e 12º dias, Fig. 3).

Considerando os grupos funcionais, a interação do aumento da temperatura e adição de solo afetou significativamente a composição e a estrutura da comunidade de diatomáceas móteis, tal como o tempo e suas interações com os fatores (Tabela 3, Material Suplementar 5). Os resultados da PCoA para composição da

comunidade de diatomáceas móveis ilustraram os efeitos observados na PERMANOVA, o eixo 1 indicou a separação das comunidades de diatomáceas móveis de tratamentos com águas aquecidas das demais (Material Suplementar 6D). A A PCoA para a estrutura da comunidade não refletiu os efeitos observados na PERMANOVA para as comunidades de diatomáceas móveis, logo que não houve formação de grupos devido à grande dispersão dos dados (Fig. 4C). Não observamos efeitos significativos da interação dos fatores sobre a composição de espécies de diatomáceas de alto perfil, contudo os efeitos isolados do aumento da temperatura foram significativos (Tabela 3, Material Suplementar 5). Já para dados de abundância, a interação do aumento da temperatura e adição de solo explicou as diferenças na estrutura de comunidades de diatomáceas de alto perfil (Tabela 3, Material Suplementar 5). A PCoA para a composição de espécies de diatomáceas de alto perfil refletiu os efeitos do tempo, bem como visto nos resultados da PERMANOVA, o eixo 2 da PCoA indicou uma tendência a formação de dois grupos em função do aumento da temperatura (Material Suplementar 6B). Tal como observado para a comunidade total, o eixo 1 da PCoA para a estrutura de comunidades de diatomáceas de alto perfil refletiu os efeitos do tempo sobre as comunidades, onde as maiores diferenças foram observadas ao final do período experimental (Fig. 4A). Corroborando os efeitos da PERMANOVA, os efeitos da interação do aumento da temperatura e da adição de solo também foram ilustrados no eixo 2, que formou um agrupamento entre TS ao final do experimento, separando das comunidades de diatomáceas de alto perfil de águas aquecidas (T) (Fig. 4A). Para as diatomáceas planctônicas, não observamos efeitos interativos ou isolados do aumento da temperatura ou da adição de solo sobre a composição das comunidades (Tabela 3, Material Suplementar 5). A adição de solo atuou sobre a estrutura da comunidade, que apresentou maiores diferenças em S ao longo do tempo (Tabela 3, Material Suplementar 5). A PCoA para composição das comunidades de diatomáceas planctônicas não refletiram os resultados observados na PCoA (Material Suplementar 6E). O eixo 1 da PCoA demonstrou que ao final do experimento houve uma maior similaridade entre as comunidades dos tratamentos com aumento de temperatura durante o final do experimento (12º dia), os efeitos do tempo também foram expressados no eixo 2 isolando as comunidades de TS ao final do experimento das demais (Fig. 4D). Finalmente, os resultados da PERMANOVA para as comunidades de diatomáceas de baixo perfil não indicaram

efeitos significativos da interação ou efeitos isolados do aumento da temperatura e adição de solo sobre a composição ou estrutura da comunidade, mas os efeitos do tempo foram observados nas comunidades de diatomáceas de baixo perfil nos tratamentos com adição de solo (Tabela 3, Material Suplementar 5). A PCoA para a composição das espécies de diatomáceas de baixo perfil não refletiu efeitos dos tratamentos, ou de suas interações (Material Suplementar 6C). A PCoA refletiu os efeitos observados na PERMANOVA em relação os efeitos do tempo sobre as comunidades de S e TS (Fig. 4B).

## **Discussão**

Os resultados indicam que as respostas de diatomáceas perifíticas ao aumento da temperatura e escoamento superficial são complexas e variam entre os grupos funcionais. Nossa predição de que a simulação de escoamento superficial reduziria a biomassa de algas perifíticas independente da temperatura não foi suportada, uma vez que a biomassa não foi significativamente diferente entre os tratamentos. O aumento da temperatura tem proporcionado um aumento na biomassa de algas perifíticas (Cao et al., 2014), já a interação do aumento da temperatura com o aumento da cor não tem apresentado relações significativas sobre a biomassa de algas (Kritzberg et al., 2014). Ainda, efeitos ambíguos das consequências do escoamento superficial e do aumento da temperatura sobre a biomassa de algas perifíticas têm sido observados em outros estudos. Por exemplo, Liess et al. (2009) observaram redução na biomassa de algas perifíticas em tratamentos com redução de luz. Efeitos negativos do escoamento superficial também foram relatados por Liess et al. (2015) que observaram relação negativa entre o aumento da turbidez e a clorofila *a*. Já Mormul et al. (2012) observaram efeitos contrários, que indicaram efeitos positivos sobre biomassa de algas perifíticas em tratamentos com águas mais escuras, enquanto os efeitos da interação do aumento da temperatura e aumento da cor não foram significativos. Cianobactérias se desenvolvem bem em temperaturas mais elevadas (Rasconi et al., 2015; Kosten et al., 2012), enquanto espécies adaptadas as condições baixa disponibilidade de luz (e.g. algas verdes (Rasconi et al. (2015), diatomáceas de baixo perfil (Liess et al., 2011) apresentam sucesso frente aos eventos de escoamento superficial (e.g. mudanças na cor). Sendo assim, mudanças nas condições ambientais podem selecionar espécies

melhor adaptadas, podendo gerar um balanço entre a biomassa dos grupos de algas, fato que não é refletido nas concentrações de clorofila *a*.

Neste estudo observamos uma elevada riqueza de espécies e abundância relativa de diatomáceas do grupo de alto perfil (Material suplementar 4), organismos que apresentam vantagens competitivas em ambientes e substratos estáveis (Passy, 2007). É possível que as características lênticas e livres de distúrbios do experimento tenham proporcionado estabilidade ambiental e o sucesso deste grupo frente aos demais. Apesar do sucesso de diatomáceas frente a outros grupos de algas ser frequentemente associado a condições de baixa disponibilidade de luz (Sánchez et al., 2013), observamos redução na riqueza de diatomáceas de alto perfil em tratamentos com simulação de escoamento superficial. Este resultado sugere uma maior sensibilidade deste grupo em condições de baixa luminosidade, fato que já havia sido reportado por Passy (2007). Possivelmente a redução da riqueza de espécies na comunidade total está relacionada com a perda de espécies de alto perfil (que no controle são dominantes), devido à elevada contribuição deste grupo para a riqueza total de espécies. Os efeitos da interação dos fatores estudados também foram importantes para explicar a estrutura da comunidade de diatomáceas de alto perfil. Estas mudanças na estrutura da comunidade de diatomáceas de alto perfil pode estar associada às mudanças na abundância relativa, que foi positivamente afetada pela adição de solo e aumento concomitante de temperatura.

Embora os efeitos negativos da temperatura e da adição de solo observados sobre a riqueza total de espécies tenham sido parcialmente refletidos na riqueza dos grupos funcionais, a riqueza de espécies do grupo funcional de baixo perfil foi a única não afetada pelos tratamentos. Apesar deste resultado não suportar nossa predição de que diatomáceas de baixo perfil apresentariam aumento na riqueza de espécies em situações de baixas luminosidades, a manutenção da riqueza de espécies e o aumento na abundância relativa do grupo indicam que estas espécies apresentam características adaptativas (Passy, 2007; Liess et al., 2011; Rimet & Bouchez, 2012) que lhes conferem vantagens em relação aos demais grupos frente a condições de escassez de luz (Johnson et al., 1997; Passy, 2007). Espécies que compõem o grupo das diatomáceas de baixo perfil demonstram tolerâncias a baixos níveis de luz (Passy, 2007; Rimet & Bouchez, 2012), tal como observado para

*Achnantheidium minutissimum* (Johnson et al., 1997; Lange et al., 2011), uma das espécies dominantes no nosso estudo. Tal como visto em nossos resultados, Lange et al. (2011) verificaram que em tratamentos com disponibilidade de luz reduzida houve elevada abundância relativa de diatomáceas de baixo perfil, sendo observada dominância de espécies prostradas e adnatas (e.g. *Achnantheidium minutissimum*). O sucesso de diatomáceas de baixo perfil também foi reportada por Liess et al. (2009), que observaram que em ambientes com menor disponibilidade de luz houveram relações positivas com as espécies *Cocconeis placentula* e *Planothidium lanceolatum*. Os efeitos simulados não afetaram significativamente a composição ou a estrutura de diatomáceas de baixo perfil, entretanto efeitos positivos dos fenômenos decorrentes do escoamento superficial favoreceram a abundância relativa deste grupo. Mudanças climáticas podem favorecer espécies mais adaptadas ao conjunto de condições ambientais fornecidas (Rühland et al., 2015).

Tal como observado para a riqueza total, a riqueza de diatomáceas móteis foi afetada negativamente pelo aumento da temperatura e pelos fenômenos decorrentes do escoamento superficial. Apesar dos efeitos negativos observados sobre a riqueza de espécies de diatomáceas móteis, não observamos efeitos significativos do aumento da temperatura ou da adição de solo sobre a abundância relativa deste grupo. Diatomáceas móteis apresentam vantagens em relação a outros grupos de algas pois apresentam capacidade de selecionar habitats mais adequados livre de estresse, tal como a limitação de recursos (Passy, 2007), o que pode explicar a ausência de efeitos negativos sobre a abundância relativa deste grupo. Gêneros de diatomáceas móteis como *Navicula* e *Nitzchia* são caracterizadas por se moverem rapidamente (Passy, 2007), e segundo Bondoc et al. (2016) a busca por habitats com maior disponibilidade de recurso pode impulsionar a movimentação de diatomáceas móteis. Neste trabalho, *Nitzchia palea* representou 8% da abundância relativa total de diatomáceas; provavelmente o sucesso desse taxa está associado à capacidade de buscar habitats mais adequados para seu desenvolvimento.

De acordo com nossos resultados o aumento da temperatura apresentou efeitos negativos sobre a riqueza e positivos sobre abundância de diatomáceas planctônicas. Diatomáceas planctônicas são relativamente insensíveis a mudanças

na temperatura (Anderson, 2000), contudo efeitos positivos do aumento da temperatura sobre diatomáceas planctônicas foram relatados em observações paleolimnológicas (Winder & Sommer, 2012), onde diatomáceas planctônicas tais como *Discostella stelligera* e *Cyclotella comensais* apresentaram sucesso frente às mudanças na temperatura em lagos temperados (Rühland et al., 2015). Independente dos efeitos positivos do aumento da temperatura sobre a abundância de diatomáceas planctônicas, nos tratamentos interativos com adição de solo efeitos contrários foram observados, havendo redução na abundância relativa de diatomáceas planctônicas. Apesar de Rühland et al. (2015) relatar que diatomáceas planctônicas são excelentes na captação de luz devido às relações de superfície/volume observadas para células cêntricas, este estudo demonstrou uma redução na riqueza e abundância relativa de diatomáceas planctônicas em tratamentos com adição de solo e conseqüentemente redução de luz (S e TS). Nossos resultados sugerem que a composição de espécies de diatomáceas planctônicas não foi afetada por nenhum dos fatores ou por suas interações, tal como observado por Rasconi et al. (2015), que não verificaram alterações significativas na composição da comunidade de algas planctônicas em tratamentos com águas mais escuras. Apesar de não observarmos efeitos sobre a composição de espécies, de acordo com os resultados da PERMANOVA os efeitos da adição de solo foram expressivos sobre a estrutura da comunidade de diatomáceas planctônicas, possivelmente devido à redução da abundância de diatomáceas planctônicas em resposta a condições de alta turbidez e pouca disponibilidade de luz. Este resultado reflete a importância da avaliação dos efeitos interativos e isolados do aumento da temperatura e fenômenos relacionados ao escoamento superficial.

Houve forte efeito do tempo sobre a riqueza, abundância, composição e estrutura dos diferentes grupos funcionais e conseqüentemente sobre a comunidade total de diatomáceas, resultado este já esperado, considerando que comunidades de algas são extremamente dinâmicas, apresentando respostas rápidas em um curto espaço de tempo (Deininger et al., 2016; Johnson et al., 1997). Embora não tenhamos encontrado diferenças na composição e estrutura da comunidade no início do experimento, ao final as diferenças foram expressivas, influenciadas tanto pela interação do aumento da temperatura e da adição de solo, quanto pelos fatores

isolados. Além de observarmos uma redução na riqueza de espécies ao longo do tempo, verificamos que no 9º e no 12º dia de experimento nos tratamentos com adição de solo as diatomáceas de baixo perfil foram dominantes (Material Suplementar 9), enquanto que nos tratamentos com aumento de temperatura houve predomínio de espécies do grupo de alto perfil e planctônicas.

Os efeitos das mudanças climáticas simulados neste estudo foram significativamente importantes, gerando mudanças substanciais na composição e na estrutura das comunidades de diatomáceas. Os efeitos do aumento da turbidez e da cor foram importantes para determinar a estrutura da comunidade de diatomáceas, da mesma forma que foi observado por outros autores para outros grupos de algas (Cloern, 1987; Lange et al., 2011; Liess et al., 2009; Passy, 2007). No entanto, ao observar isoladamente as respostas dos diferentes grupos funcionais em relação à composição e estrutura foi possível verificar que os grupos respondem diferentemente às mudanças nas condições. As mudanças climáticas modificam as características físicas e químicas da água, refletindo em modificações nas comunidades de diatomáceas, contudo nossos resultados permitiram verificar que os grupos funcionais de diatomáceas podem apresentar diferentes respostas frente ao aquecimento global e às consequências decorrentes de fenômenos de escoamentos superficial, sendo observada uma maior tolerância de diatomáceas de baixo perfil em condições de turbidez elevada, altos valores de cor e de substâncias orgânicas (COT, COD), enquanto os demais grupos foram afetados negativamente em cenários de eventos isolados. Ademais, os efeitos interativos do aumento de temperatura e adição de solo foram distintos entre os grupos funcionais. Impactos das mudanças climáticas sobre os grupos funcionais de diatomáceas perifíticas podem ser refletidos a outros níveis de organização biológica, já que invertebrados buscam recursos alimentares em diferentes posições dentro do perifíton (Tall et al., 2006). Diatomáceas de alto perfil estão mais acessíveis a consumidores pastadores, enquanto diatomáceas de baixo perfil podem ser ingeridas por consumidores (e.g. Elmidae, Hydroptilidae e Ephemerellidae) que apresentam aparelho bucal especializado para removê-las do substrato (Tall et al., 2006). Mudanças na comunidade de algas perifíticas podem conduzir modificações nas relações tróficas em ambientes aquáticos, promovendo efeitos bottom-up nos ecossistemas (Rosemond et al., 1993).



## **Conclusão**

Nossos resultados sugerem que o aumento da temperatura e efeitos decorrentes do escoamento superficial foram importantes para explicar os efeitos sobre a riqueza, abundância, composição e estrutura da comunidade de diatomáceas perifíticas. As respostas dos grupos funcionais frente às modificações decorrentes dos eventos climáticos foram complexas e variam entre os grupos funcionais. Nosso estudo aponta que as mudanças climáticas afetam fortemente as diatomáceas perifíticas, e visto a relevância deste grupo como produtores primários em muitos ambientes aquáticos continentais, é importante da compreender dos efeitos interativos e isolados das mudanças climáticas sobre as diatomáceas perifíticas de ambientes aquáticos continentais. Os resultados obtidos a partir de estudos experimentais podem proporcionar a compreensão de possíveis consequências para os ecossistemas, subsidiando a compreensão do comportamento destes ambientes no futuro e proporcionando a possibilidade de mitigar impactos negativos sobre os ecossistemas.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem a fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa concedida para a realização desta pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais por fornecer infraestrutura para a realização do experimento.

## **Referências**

- Allen, S., W. M. Grimsha, J. A. Parkinson & C. Quarmby, 1974. *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Blackwell Scientific Publishers, London.
- Anderson, M., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26: 32–46.
- Anderson, N. J., 2000. Miniview: Diatoms, temperature and climatic change. *European Journal of Phycology* 35: 307–314.

- Baumgarten, M. G. Z. & J. M. B. Rocha, 1996. Manual de Análises em Oceanografia Química. Editora FURG, Rio Grande.
- Behrenfeld, M. J., R. T. O'Malley, D. A. Siegel, C. R. McClain, J. L. Sarmiento, G. C. Feldman, A. J. Milligan, P. G. Falkowski, R. M. Letelier & E. S. Boss, 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444: 752–755.
- Biggs, B. J. F. & C. Kilroy, 2000. Stream Periphyton Monitoring Manual. Christchurch, New Zealand.
- Bondoc, K. G. V., J. Heuschele, J. Gillard, W. Vyverman & G. Pohnert, 2016. Selective silicate-directed motility in diatoms. *Nature Communications*, Nature 7: 1–7.
- Bourassa, N. & A. Cattaneo, 2000. Responses of a lake outlet community to light and nutrient manipulation: effects on periphyton and invertebrate biomass and composition. *Freshwater Biology* 44: 629–639.
- Burliga, A. L. & J. P. Kociolek, 2016. Diatoms (Bacillariophyta) In Jr., O. N. (ed), *River Algae*. Springer International Publishing, Switzerland: 93-128.
- Burliga, A. L. & A. Schwarzbald, 2013. Perifiton: Diversidade taxonômica e morfológica In Schwarzbald, A., A. L. Burliga & L. C. Torgan (eds), *Ecologia do Perifiton*. Rima, São Carlos, Brasil: 1-6.
- Cao, Y., W. Li & E. Jeppesen, 2014. The response of two submerged macrophytes and periphyton to elevated temperatures in the presence and absence of snails: a microcosm approach. *Hydrobiologia* 738: 49–59.
- Carpenter, S. R., S. G. Fisher, N. B. Grimm & J. F. Kitchell, 1992. Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecological Systems* 23: 119–139.
- Carvalho, L. & A. Kirika, 2003. Changes in shallow lake functioning: response to climate change and nutrient reduction. *Hydrobiologia* 506–509: 789–796.
- Cloern, J. E., 1987. Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Continental Shelf Research* 7: 1367–1381.

- Consalvey, M., D. M. Paterson & G. J. C. Underwood, 2004. The ups and downs of life in a benthic biofilm: migration of benthic diatoms. *Diatom Research* 19: 181–202.
- Daufresne, M., K. Lengfellner & U. Sommer, 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 12788–12793.
- Davison, I. R., 1991. Environmental effects on algal photosynthesis: temperature. *Journal of Phycology* 27: 2–8.
- Deininger, A., C. L. Faithfull, K. Lange, T. Bayer, F. Vidussi & A. Liess, 2016. Simulated terrestrial runoff triggered a phytoplankton succession and changed seston stoichiometry in coastal lagoon mesocosms. *Marine Environmental Research* 119: 40–50.
- Hanson, P. C., S. R. Carpenter, J. A. Cardille, M. T. Coe & L. A. Winslow, 2007. Small lakes dominate a random sample of regional lake characteristics. *Freshwater Biology* 52: 814–822.
- Hiddink, J. G. & R. Ter Hofstede, 2008. Climate induced increases in species richness of marine fishes. *Global Change Biology* 14: 453–460.
- Hughes, L., 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution* 15: 56–61.
- IPCC, 2013. *Climate change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Iverson, L. R. & A. M. Prasad, 2001. Potential changes in tree species richness and forest community types following climate change. *Ecosystems* 4: 186–199.
- Jeppesen, E., B. Kronvang, M. Meerhoff, M. Søndergaard, K. M. Hansen, H. E. Andersen, T. L. Lauridsen, L. Liboriussen, M. Beklioglu, A. Özen & J. E. Olesen, 2009. Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations. *Journal of Environment Quality* 38: 1930–1941.

Johnson, R. E., N. C. Tuchman & C. G. Peterson, 1997. Changes in the vertical microdistribution of diatoms within a developing periphyton mat. *Journal of the North American Benthological Society* 16: 503–519.

Knouft, J. H. & D. L. Ficklin, 2017. The potential impacts of climate change on biodiversity in flowing freshwater systems. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48: 111–133.

Kosten, S., V. L. M. Huszar, E. Bécares, L. S. Costa, E. Donk, L-A. Hansson, E. Jeppesen, C. Kruk, G. Lacerot, N. Mazzeo, L. Meester, B. Moss, M. Lürling, T. Nöges, S. Romo & M. Scheffer, 2012. Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology* 18: 118-126.

Kritzberg, E. S. & S. M. Ekström, 2012. Increasing iron concentrations in surface waters – a factor behind brownification? *Biogeosciences* 9: 1465–1478.

Kritzberg, E. S., W. Granéli, J. Björk, C. Brönmark, P. Hallgren, A. Nicolle, A. Persson & L-A. Hansson, 2014. Warming and browning of lakes: consequences for pelagic carbon metabolism and sediment delivery. *Freshwater Biology* 59: 325–336.

Lange, K., A. Liess, J. J. Piggott, C. R. Townsend & C. D. Matthaei, 2011. Light, nutrients and grazing interact to determine stream diatom community composition and functional group structure. *Freshwater Biology* 56: 264–278.

Lawrence, M. A., 2016. ez: Easy Analysis and Visualization of Factorial Experiments. R package version 4.4-0, <https://CRAN.R-project.org/package=ez>.

Lefébure, R., R. Degerman, A. Andersson, S. Larsson, L. O. Eriksson, U. Bamstedt & P. Byström, 2013. Impacts of elevated terrestrial nutrient loads and temperature on pelagic food-web efficiency and fish production. *Global Change Biology* 19: 1358–1372.

Legendre, P. & L. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam.

Liess, A., C. Faithfull, B. Reichstein, O. Rowe, J. Guo, R. Pete, G. Thomsson, W. Uszko & S. N. Francoeur, 2015. Terrestrial runoff may reduce microbenthic net

community productivity by increasing turbidity: a Mediterranean coastal lagoon mesocosm experiment. *Hydrobiologia* 753: 205–218.

Liess, A., K. Lange, F. Schulz, J. J. Piggott, C. D. Matthaei & C. R. Townsend, 2009. Light, nutrients and grazing interact to determine diatom species richness via changes to productivity, nutrient state and grazer activity. *Journal of Ecology* 97: 326–336.

Marengo, J. A., R. Jones, L. M. Alves & M. C. Valverde, 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology* 29: 2241–2255.

McKee, D., D. Atkinson, S. E. Collings, J. W. Eaton, A. B. Gill, I. Harvey, K. Hatton, T. Heyes, D. Wilson & B. Moss, 2003. Response of freshwater microcosm communities to nutrients, fish, and elevated temperature during winter and summer. *Limnology and Oceanography* 48: 707–722.

McKee, D., K. Hatton, J. W. Eaton, D. Atkinson, A. Atherton, I. Harvey & B. Moss, 2002. Effects of simulated climate warming on macrophytes in freshwater microcosm communities. *Aquatic Botany* 74: 71–83.

Menendez, R., A. G. Megias, J. K. Hill, B. Braschler, S. G. Willis, Y. Collingham, R. Fox, D. B. Roy & C. D. Thomas, 2006. Species richness changes lag behind climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 273: 1465–1470.

Mormul, R. P., J. Ahlgren, M. K. Ekvall, L.-A. Hansson & C. Brönmark, 2012. Water brownification may increase the invasibility of a submerged non-native macrophyte. *Biological Invasions* 14: 2091–2099.

Moss, B., D. McKee, D. Atkinson, S. E. Collings, J. W. Eaton, A. B. Gill, I. Harvey, K. Hatton, T. Heyes & D. Wilson, 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.

Navarro-Cano, J. A., B. Karlsson, D. Posledovich, T. Toftegaard, C. Wiklund, J. Ehrlén & K. Gotthard, 2015. Climate change, phenology, and butterfly host plant utilization. *AMBIO* 44: 78–88.

Newbold, T., L. N. Hudson, S. L. L. Hill, S. Contu, I. Lysenko, R. A. Senior, L. Börger, D. J. Bennett, A. Choimes, B. Collen, J. Day, A. De Palma, S. Díaz, S. Echeverria-Londoño, M. J. Edgar, A. Feldman, M. Garon, M. L. K. Harrison, T. Alhusseini, D. J. Ingram, Y. Itescu, J. Kattge, V. Kemp, L. Kirkpatrick, M. Kleyer, D. L. P. Correia, C. D. Martin, S. Meiri, M. Novosolov, Y. Pan, H. R. P. Phillips, D. W. Purves, A. Robinson, J. Simpson, S. L. Tuck, E. Weiher, H. J. White, R. M. Ewers, G. M. Mace, J. P. W. Scharlemann & A. Purvis, 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature* 520: 45–50.

Nicolle, A., P. Hallgren, J. von Einem, E. S. Kritzberg, W. Granéli, A. Persson, C. Brönmark & L.-A. Hansson, 2012. Predicted warming and browning affect timing and magnitude of plankton phenological events in lakes: A mesocosm study. *Freshwater Biology* 57: 684–695.

Oksanen, J., F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn, P.R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens, E. Szoecs & H. Wagner, 2017. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-3, <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

Palma-Silva, C., C. C. Marinho, E. F. Albertoni, I. B. Giacomini, M. P. Figueiredo Barros, L. M. Furlanetto, C. R. T. Trindade & F. de A. Esteves, 2013. Methane emissions in two small shallow neotropical lakes: The role of temperature and trophic level. *Atmospheric Environment* 81: 373–379.

Passy, S. I., 2007. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany* 86: 171–178.

PBMC, 2013. Base científica das mudanças climáticas: contribuição do grupo de trabalho 1 ao primeiro relatório de avaliação nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1, Rio de Janeiro.

Quinn, G. P. & M. J. Keough, 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press, Cambridge.

R Core Team, 2017. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>.

Rasconi, S., A. Gall, K. Winter & M. J. Kainz, 2015. Increasing water temperature triggers dominance of small freshwater plankton. *PLOS ONE* 10: 1–17.

Reader, H. E., C. A. Stedmon & E. S. Kritzberg, 2014. Seasonal contribution of terrestrial organic matter and biological oxygen demand to the Baltic Sea from three contrasting river catchments. *Biogeosciences* 11: 3409–3419.

Rimet, F. & A. Bouchez, 2012. Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in european rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 406: 1–12.

Rivers, B., 2006. *Biologia e Filogenia das Algas*. Artmed, Porto Alegre.

Rosemond, A. D., P. J. Mulholland & J. W. Elwood, 2011. Top-down and bottom-up control of stream periphyton: effects of nutrients and herbivores. *Ecology* 74: 1264–1280.

Round, F. E., R. M. Crawford & D. G. Mann, 2007. *The diatoms: biology & morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge.

Rühland, K. M., A. M. Paterson & J. P. Smol, 2015. Lake diatom responses to warming: reviewing the evidence. *Journal of Paleolimnology* 54: 1–35.

Sala, O. E., F. S. Chapin, J. J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. F. Huenneke, R. B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. M. Lodge, H. A. Mooney, M. Oesterheld, N. L. Poff, M. T. Sykes, B. H. Walker, M. Walker & D. H. Wall, 2012. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60: 731–739.

Sánchez, M. L., G. L. Pérez, I. Izaguirre & H. Pizarro, 2013. Influence of underwater light climate on periphyton and phytoplankton communities in shallow lakes from the Pampa plain (Argentina) with contrasting steady states. *Journal of Limnology* 62: 78.

Schabhüttl, S., P. Hingsamer, G. Weigelhofer, T. Hein, A. Weigert & M. Striebel, 2013. Temperature and species richness effects in phytoplankton communities. *Oecologia* 171: 527–536.

Simonsen, R., 1974. The Diatom plankton of the Indian Ocean Expedition of R. V. Meteor, 1964-66. Meteor. Forschungsengeb Riehe. D. Biologie. 9–166.

Smol, J. P., 2010. The power of the past: using sediments to track the effects of multiple stressors on lake ecosystems. *Freshwater Biology* 55: 43–59.

Soininen, J., A. Jamoneau, J. Rosebery & S. I. Passy, 2016. Global patterns and drivers of species and trait composition in diatoms. *Global Ecology and Biogeography* 25: 940–950.

Stewart, R. I. A., M. Dossena, D. A. Bohan, E. Jeppesen, R. L. Kordas, M. E. Ledger, M. Meerhoff, B. Moss, C. Mulder, J. B. Shurin, B. Suttle, R. Thompson, M. Trimmer & G. Woodward, 2013. Mesocosm experiments as a tool for ecological climate-change. *Advances in Ecological Research: Global Change in Multispecies Systems: Part III* 48: 71–181.

Tall, L., A. Cattaneo, L. Cloutier, S. Dray & P. Legendre, 2006. Resource partitioning in a grazer guild feeding on a multilayer diatom mat. *Journal of the North American Benthological Society* 25: 800–810.

Taniwaki, R. H., J. J. Piggott, S. F. B. Ferraz & C. D. Matthaei, 2016. Climate change and multiple stressors in small tropical streams. *Hydrobiologia* 793: 41–53.

Urrutia-Cordero, P., M. K. Ekvall, J. Ratcovich, M. Soares, S. Wilken, H. Zhang & L-A. Hansson, 2017. Phytoplankton diversity loss along a gradient of future warming and brownification in freshwater mesocosms. *Freshwater Biology* 62: 1–10.

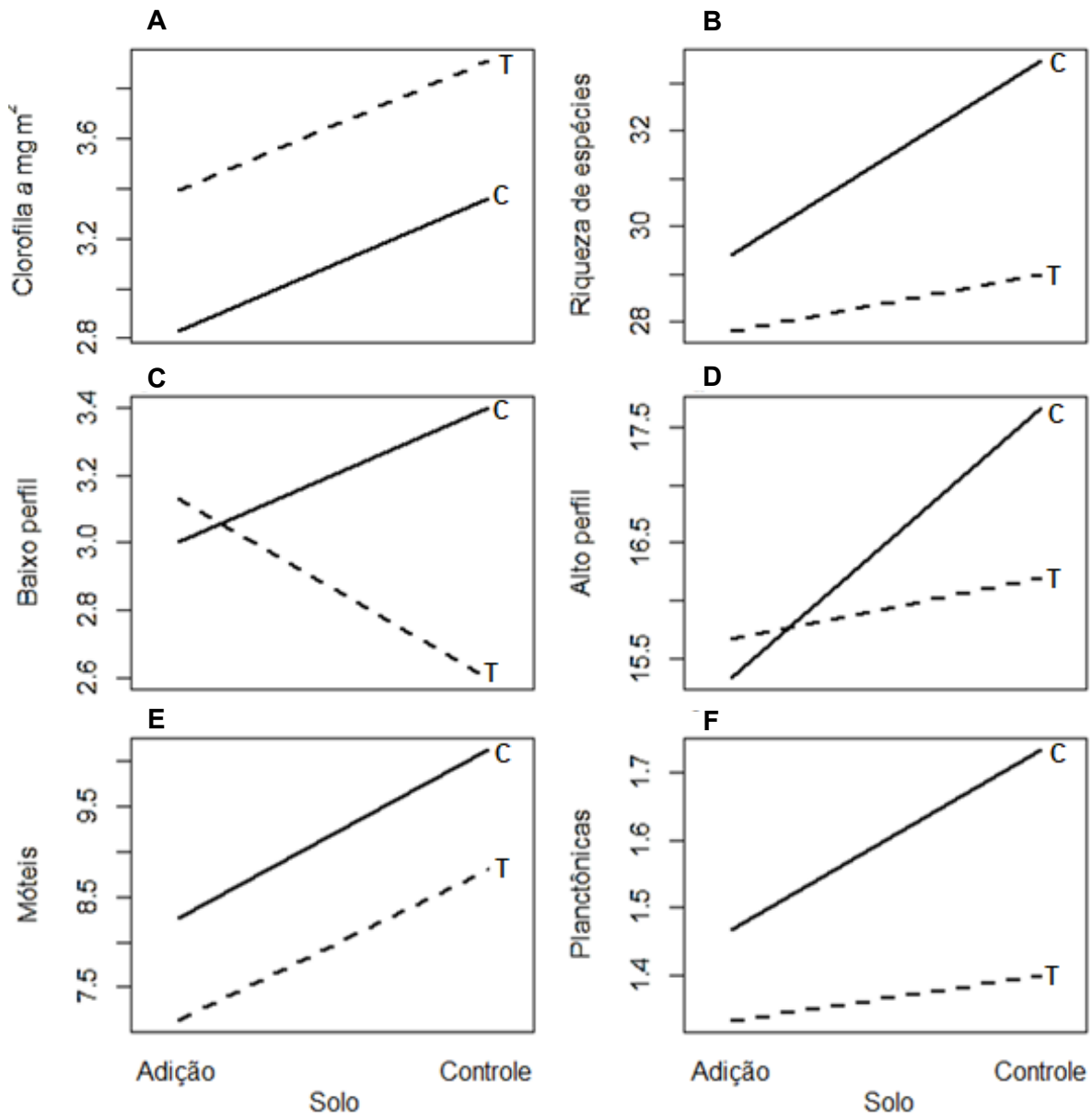
Valderrama, J. C., 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry* 10: 109–122.

Weidman, P. R., D. W. Schindler, P. L. Thompson & R. D. Vinebrooke, 2014. Interactive effects of higher temperature and dissolved organic carbon on planktonic communities in fishless mountain lakes. *Freshwater Biology* 59: 889–904.

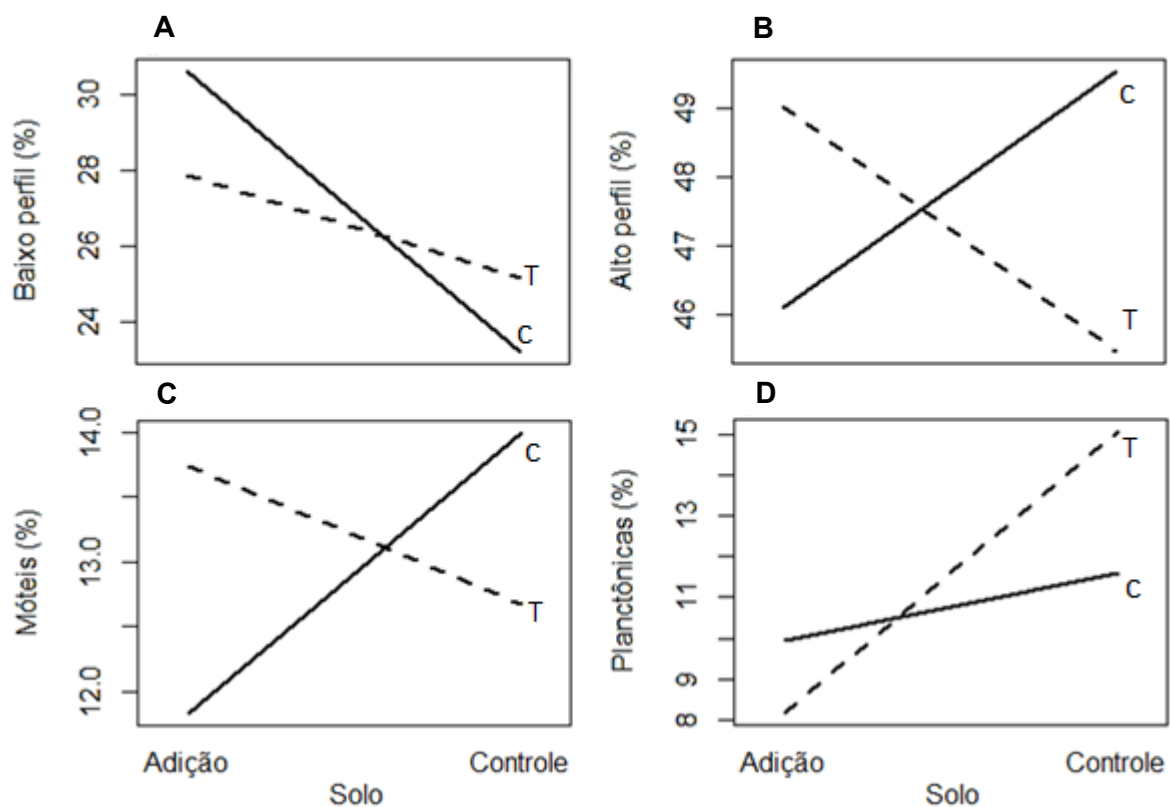


Winder, M. & U. Sommer, 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia* 698: 5–16.

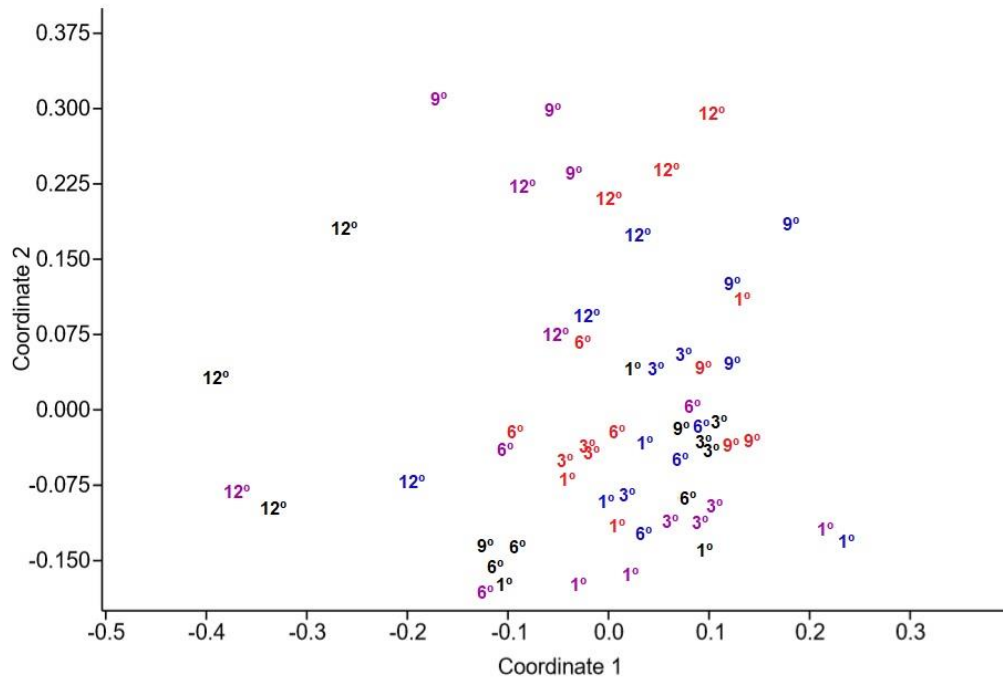
## Figuras



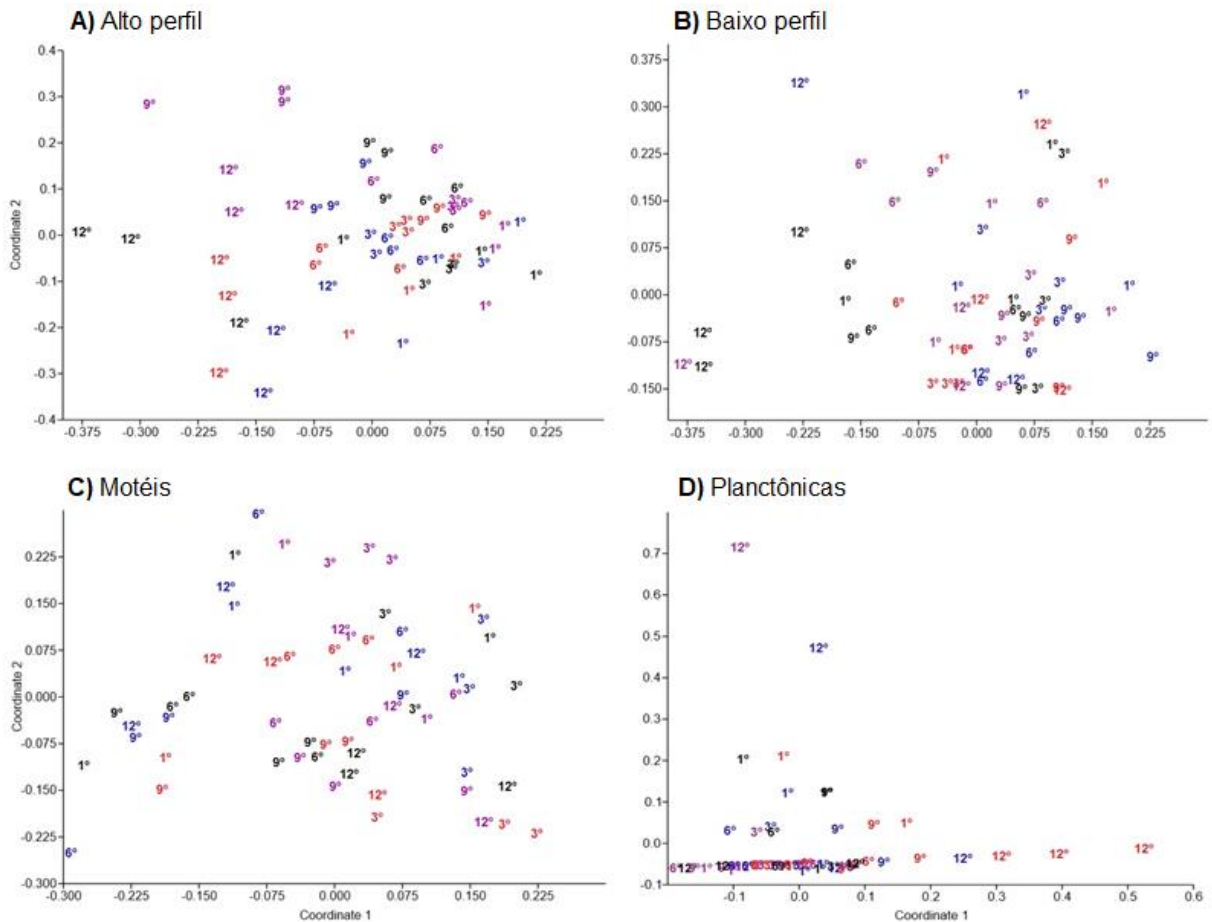
**Fig. 1A)** Biomassa total de algas perifíticas (clorofila *a*) nos tratamentos; **B)** Riqueza total de espécies de diatomáceas perifíticas; **C)** Riqueza de espécies de baixo perfil, **D)** Riqueza de espécies de alto perfil; **E)** Riqueza de espécies de diatomáceas móteis; **F)** Riqueza de espécies de diatomáceas planctônicas. A linha contínua indica os tratamentos com temperatura ambiente (C e S) e a linha tracejada indica os tratamentos com aumento de temperatura (T e TS).



**Fig. 2A)** Abundância relativa de espécies do grupo funcional de baixo perfil, **B)** Abundância relativa de espécies do grupo funcional de alto perfil; **C)** Abundância relativa de espécies do grupo funcional de diatomáceas móteis; **D)** Abundância relativa de espécies do grupo funcional de diatomáceas planctônicas. A linha contínua indica os tratamentos com temperatura ambiente (C e S) e a linha tracejada indica os tratamentos com aumento de temperatura (T e TS).



**Fig. 3** Análise de coordenadas principais (PCoA) considerando a estrutura da comunidade de diatomáceas perifíticas nos tratamentos (C, T, S e TS) ao longo do período experimental (1°, 3°, 6°, 9° e 12° dias de experimento) A cor azul refere-se ao controle (temperatura ambiente sem adição de solo, C), a cor vermelha refere-se ao tratamento com temperatura alta e sem adição de solo (T), a cor preta refere-se ao tratamento com adição de solo e temperatura ambiente (S) e a cor roxa indica o tratamento com temperatura alta e com adição de solo (TS).



**Fig. 4** Análise de coordenadas principais (PCoA) considerando a estrutura da comunidade de diatomáceas perifíticas de diferentes grupos funcionais nos tratamentos (C, T, S e TS) ao longo do período experimental (1°, 3°, 6°, 9° e 12° dias de experimento). A cor azul refere-se ao controle (temperatura ambiente sem adição de solo, C), a cor vermelha refere-se ao tratamento com temperatura alta e sem adição de solo (T), a cor preta refere-se ao tratamento com adição de solo e temperatura ambiente (S) e a cor roxa indica o tratamento com temperatura alta e com adição de solo (TS). **A)** Diatomáceas de alto perfil, **B)** baixo perfil, **C)** móteis e **D)** planctônicas.

## Tabelas

**Tabela 1** Média e desvio padrão ( $x \pm SD$ ) de variáveis limnológicas coletadas em cada tratamento. C= controle/temperatura ambiente sem adição de solo; T= temperatura alta sem adição de solo, S= temperatura ambiente com adição de solo, TS= temperatura alta com adição de solo. Cond. = condutividade elétrica, OD = oxigênio dissolvido, STD = sólidos totais dissolvidos, ND = nitrogênio dissolvido, PO<sub>4</sub> = fósforo dissolvido, PT = fósforo total, NT = nitrogênio total, COT = carbono orgânico total, CID = carbono inorgânico dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido.

	<b>C</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>TS</b>
<b>pH</b>	8 ± 0.3	8 ± 0.3	8 ± 0.2	8 ± 0.2
<b>Cond.</b> (mS cm <sup>-1</sup> )	0.07 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.08 ± 0.01
<b>OD</b> (mg L <sup>-1</sup> )	7.9 ± 0.9	7.8 ± 0.9	7.8 ± 0.9	7.7 ± 0.9
<b>STD</b> (mg L <sup>-1</sup> )	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01
<b>NID</b> (mg L <sup>-1</sup> )	0.82 ± 0.2	0.97 ± 0.3	0.96 ± 0.5	0.91 ± 0.2
<b>PO<sub>4</sub></b> (mg L <sup>-1</sup> )	0.003 ± 0.003	0.003 ± 0.005	0.003 ± 0.002	0.005 ± 0.003
<b>PT</b> (mg L <sup>-1</sup> )	0.12 ± 0.1	0.11 ± 0.1	0.20 ± 0.1	0.25 ± 0.1
<b>NT</b> (mg L <sup>-1</sup> )	2.72 ± 0.2	3.21 ± 0.6	3.86 ± 1.6	3.00 ± 0.7
<b>COT</b> (mg L <sup>-1</sup> )	20.10 ± 3.09	21.35 ± 1.50	23.16 ± 7.83	23.17 ± 4.41
<b>CID</b> (mg L <sup>-1</sup> )	1.89 ± 0.02	1.90 ± 0.02	1.90 ± 0.02	1.90 ± 0.02
<b>COD</b> (mg L <sup>-1</sup> )	17.87 ± 2.81	18.99 ± 1.51	20.92 ± 7.90	20.99 ± 4.93
<b>Cor verdadeira</b> (abs cm <sup>-1</sup> )	0.062 ± 0.006	0.060 ± 0.006	0.108 ± 0.017	0.103 ± 0.017
<b>Turbidez</b> (NTU)	28 ± 3	27 ± 2	54 ± 13	51 ± 12

**Tabela 2** Resultados das Análises de Variância em blocos de medidas repetidas com as correções de Huynh-Feldt para as variáveis dependentes clorofila *a*, riqueza total de espécies, riqueza de espécies dos grupos funcionais e abundância relativa dos grupos funcionais.

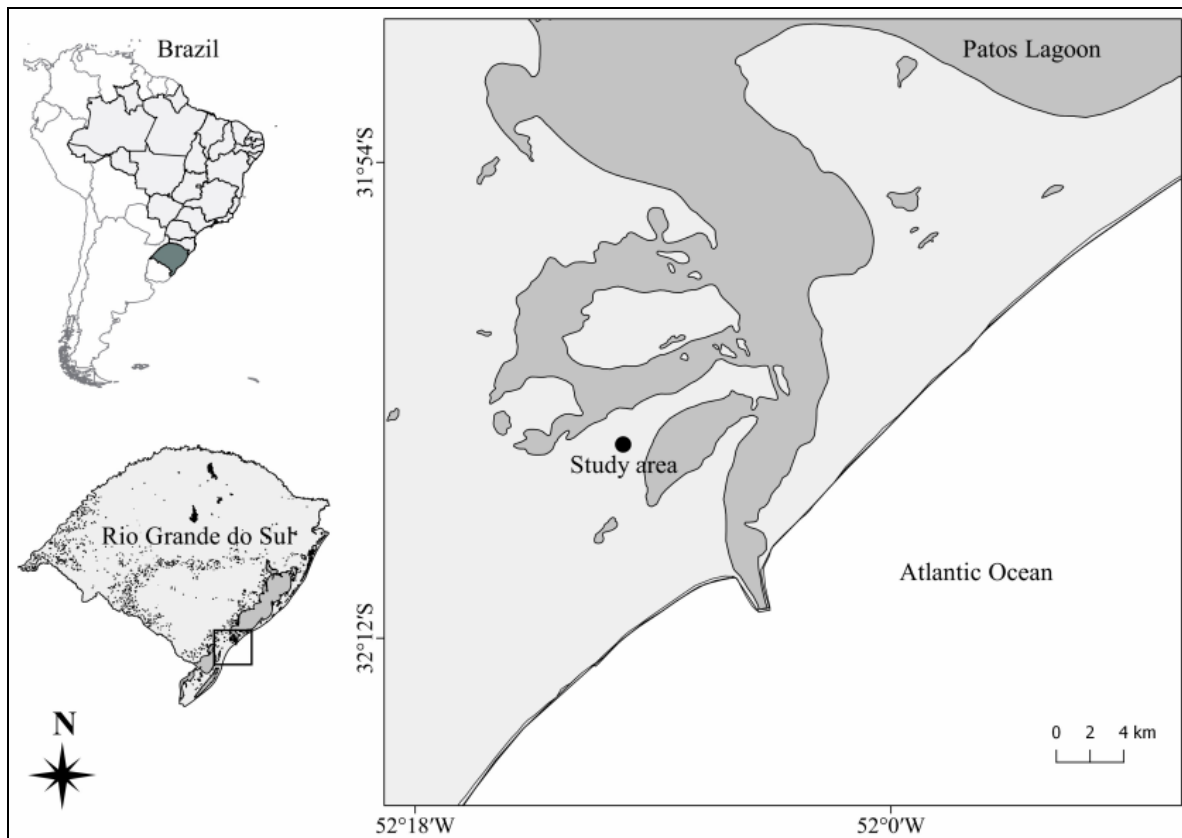
		Clorofila <i>a</i>	Riqueza de espécies	Riqueza de Grupos Funcionais				Abundância de Grupos Funcionais			
				Alto perfil	Baixo perfil	Móteis	Planctônicas	Alto perfil	Baixo perfil	Móteis	Planctônicas
Tempo	<i>F</i>	13,20	5,4	5,3	1,9	4,4	2,1	12,4	7,3	3,5	7,5
	<i>p</i>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	NS	<b>0,005</b>	NS	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,016</b>	<b>&lt;0,001</b>
Solo	<i>F</i>	2,7	11,6	8,9	0,1	21,6	5,9	0,002	9,7	0,3	99,5
	<i>p</i>	NS	<b>0,009</b>	<b>0,017</b>	NS	<b>0,001</b>	<b>0,041</b>	NS	<b>0,014</b>	NS	<b>&lt;0,001</b>
Temperatura	<i>F</i>	3,2	15,4	1,37	2,2	10,5	11,5	0,2	0,1	0,1	3,8
	<i>p</i>	NS	<b>0,004</b>	NS	NS	<b>0,01</b>	<b>0,009</b>	NS	NS	NS	NS
Temperatura × Solo	<i>F</i>	0,0003	3,4	3,4	4,3	0,1	2,1	8,8	2,0	2,9	37,5
	<i>p</i>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	<b>0,01</b>	NS	NS	<b>&lt;0,001</b>
Tempo × Solo	<i>F</i>	0,1	1,6	2,2	2,5	0,6	3,1	0,3	3,5	0,3	13,1
	<i>p</i>	NS	NS	NS	NS	NS	<b>0,02</b>	NS	<b>0,03</b>	NS	<b>&lt;0,001</b>
Tempo × Temperatura	<i>F</i>	0,1	1,4	0,4	0,8	3,7	0,4	1,9	2,4	1,1	4,6
	<i>p</i>	NS	NS	NS	NS	<b>0,01</b>	NS	NS	NS	NS	<b>0,009</b>
Tempo × Temperatura × Solo	<i>F</i>	1,6	2,4	1,4	1,1	2,6	1,2	1,1	0,08	0,6	1,2
	<i>p</i>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

**Tabela 3** Resultado da PERMANOVA para dados de abundância (Bray-Curtis).

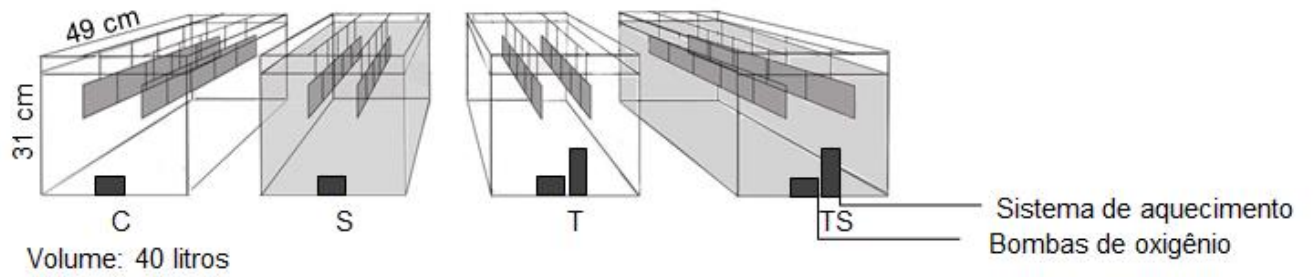
	Comunidade total		Alto perfil		Baixo perfil		Móteis		Planctônicas	
	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>
<b>Tempo</b>	0,20	<b>0,001</b>	0,24	<b>0,001</b>	0,13	<b>0,005</b>	0,02	<b>0,001</b>	0,08	NS
<b>Solo</b>	0,03	<b>0,001</b>	0,02	<b>0,013</b>	0,02	NS	0,03	<b>0,004</b>	0,07	<b>0,006</b>
<b>Temperatura</b>	0,26	<b>0,005</b>	0,03	<b>0,001</b>	0,01	NS	0,02	<b>0,046</b>	0,01	NS
<b>Temperatura × Solo</b>	0,22	<b>0,011</b>	0,01	NS	0,01	NS	0,03	<b>0,004</b>	0,03	NS
<b>Tempo × Solo</b>	0,11	<b>0,001</b>	0,11	<b>0,001</b>	0,16	<b>0,002</b>	0,13	<b>0,001</b>	0,14	<b>0,003</b>
<b>Tempo × Temperatura</b>	0,06	<b>0,014</b>	0,07	<b>0,013</b>	0,06	NS	0,04	NS	0,03	NS
<b>Tempo × Temperatura × Solo</b>	0,07	<b>0,012</b>	0,06	NS	0,07	NS	0,07	<b>0,028</b>	0,13	<b>0,013</b>



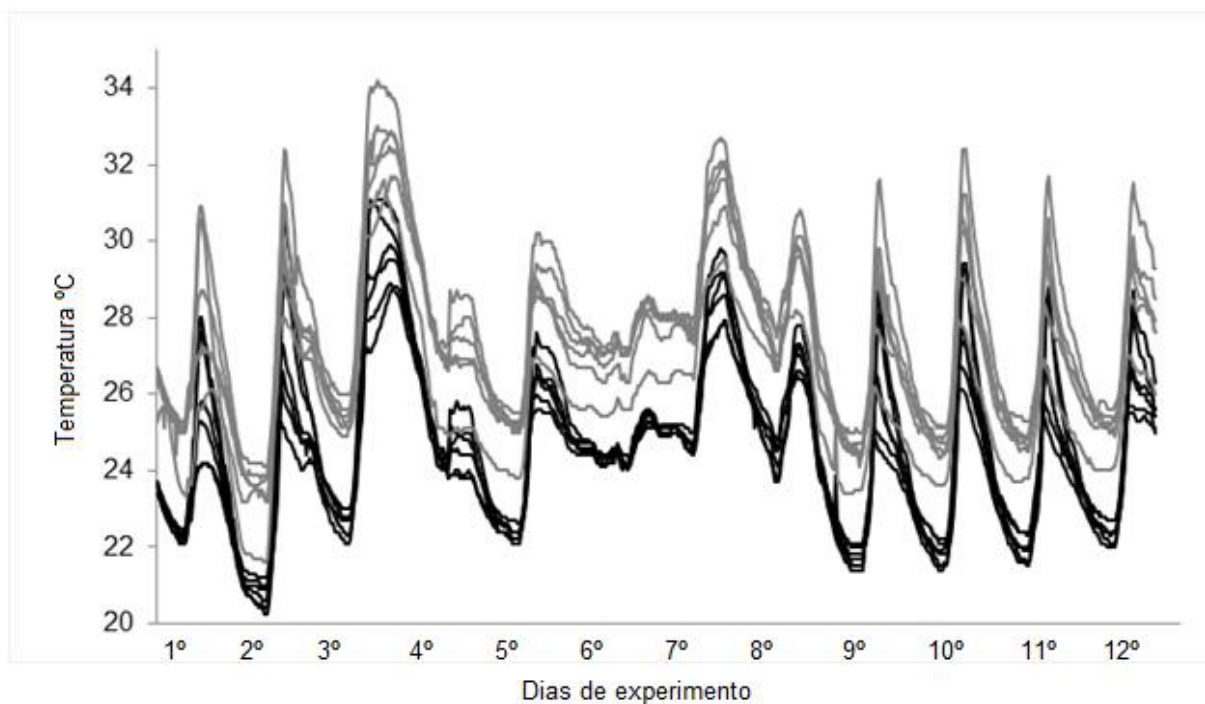
## Material suplementar



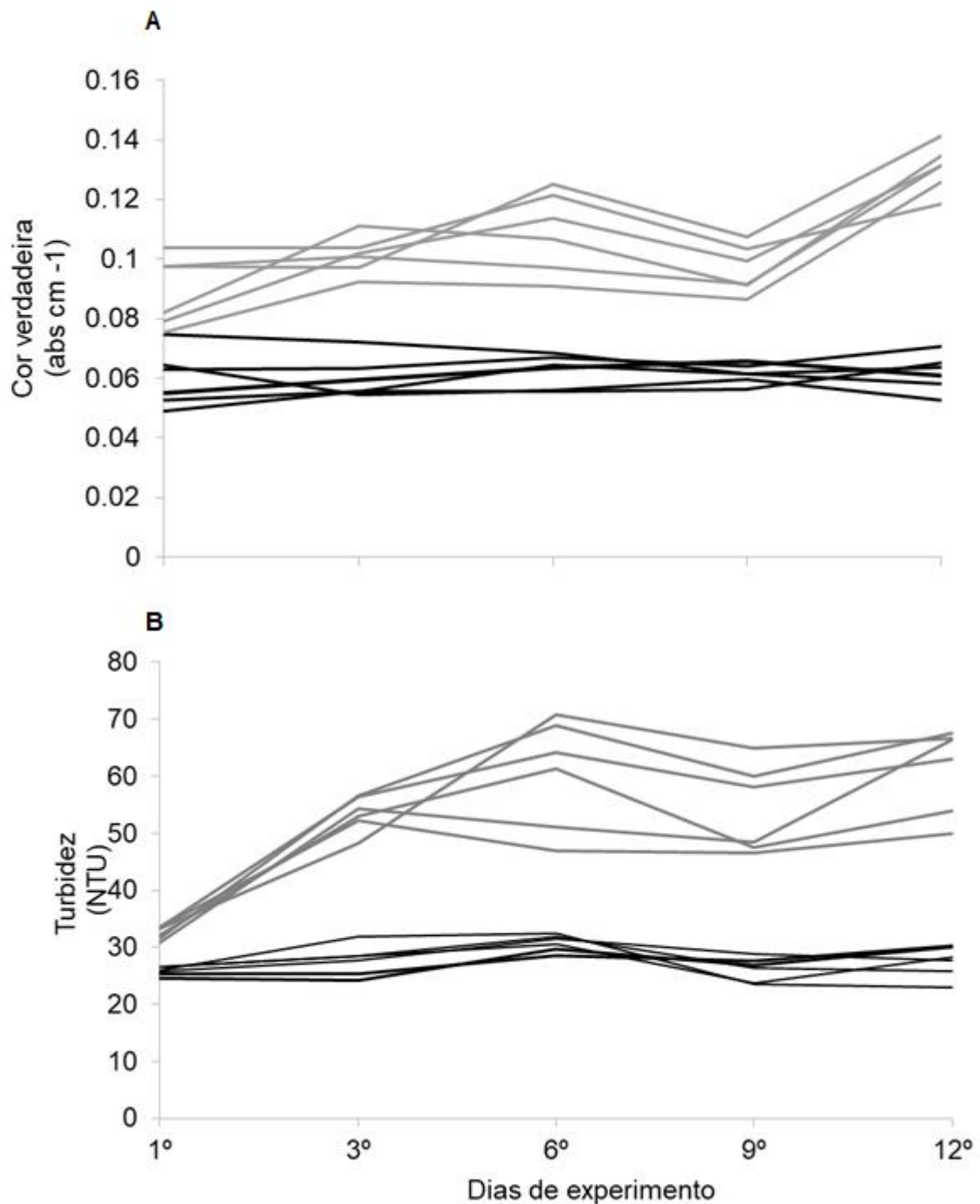
**Material suplementar 1** O ponto preto indica a localização da área de realização do experimento, que se encontra inserida no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.



**Material suplementar 2** Esquema dos mesocosmos (n=12) com os quatro tratamentos experimentais propostos. Os aquários eram retangulares com volume de 40 litros. Temperatura ambiente e sem adição de solo (controle, C), temperatura alta e sem adição de solo (T), com adição de solo e temperatura ambiente (S), temperatura alta e com adição de solo (TS).



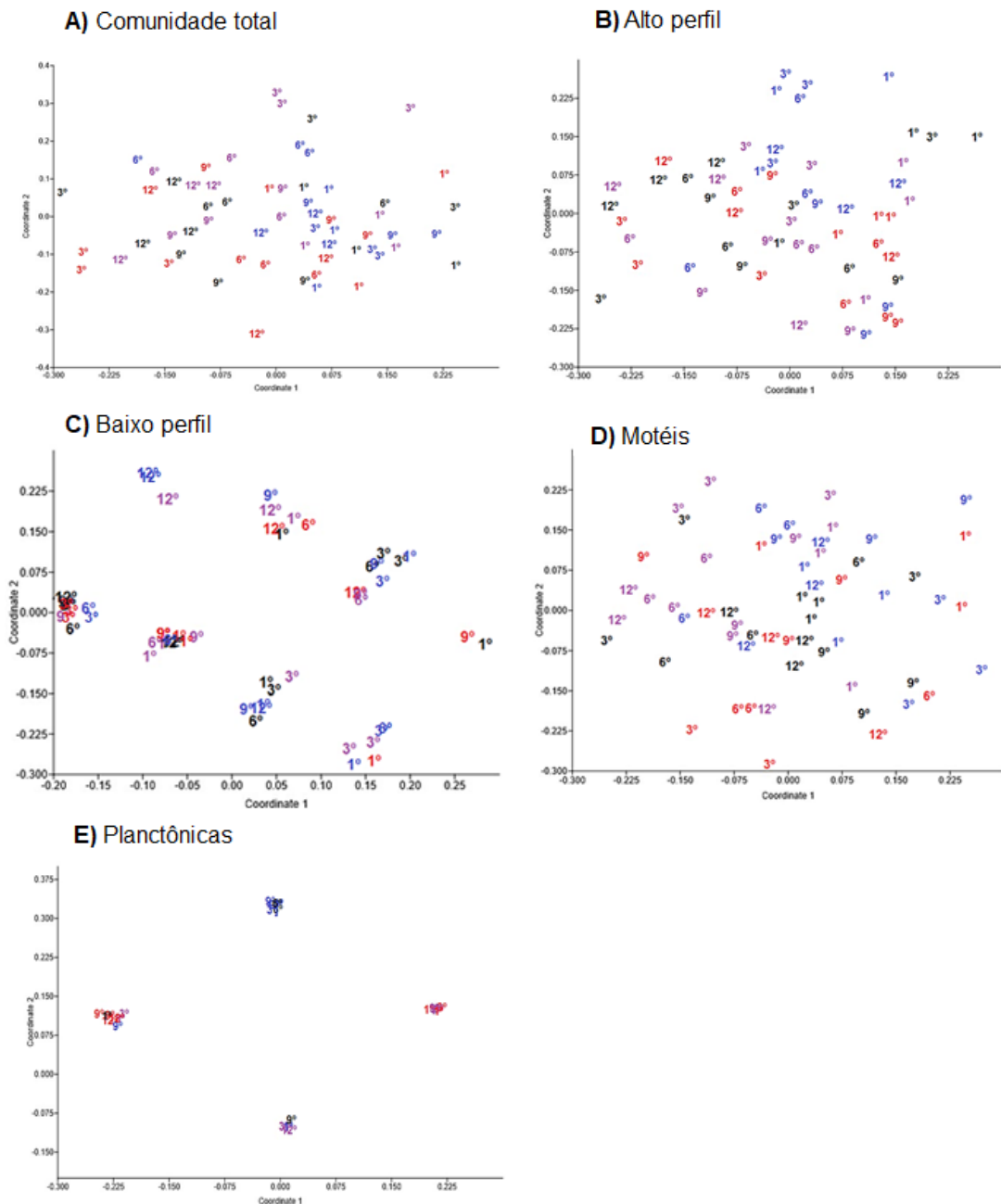
**Material Suplementar 3** Temperatura observada durante o experimento nos tratamentos. Em preto os tratamentos com temperatura ambiente (C e S) e em cinza os tratamentos com aumento de temperatura (T e TS). Média  $\pm$  DP: **C** e **S** =  $24,63 \pm 2,0$ ; **T** e **TS** =  $27,25 \pm 2,15$ . O eixo x indica os dias de experimento (1°-12°) e o eixo y indica os valores de temperatura (°C).



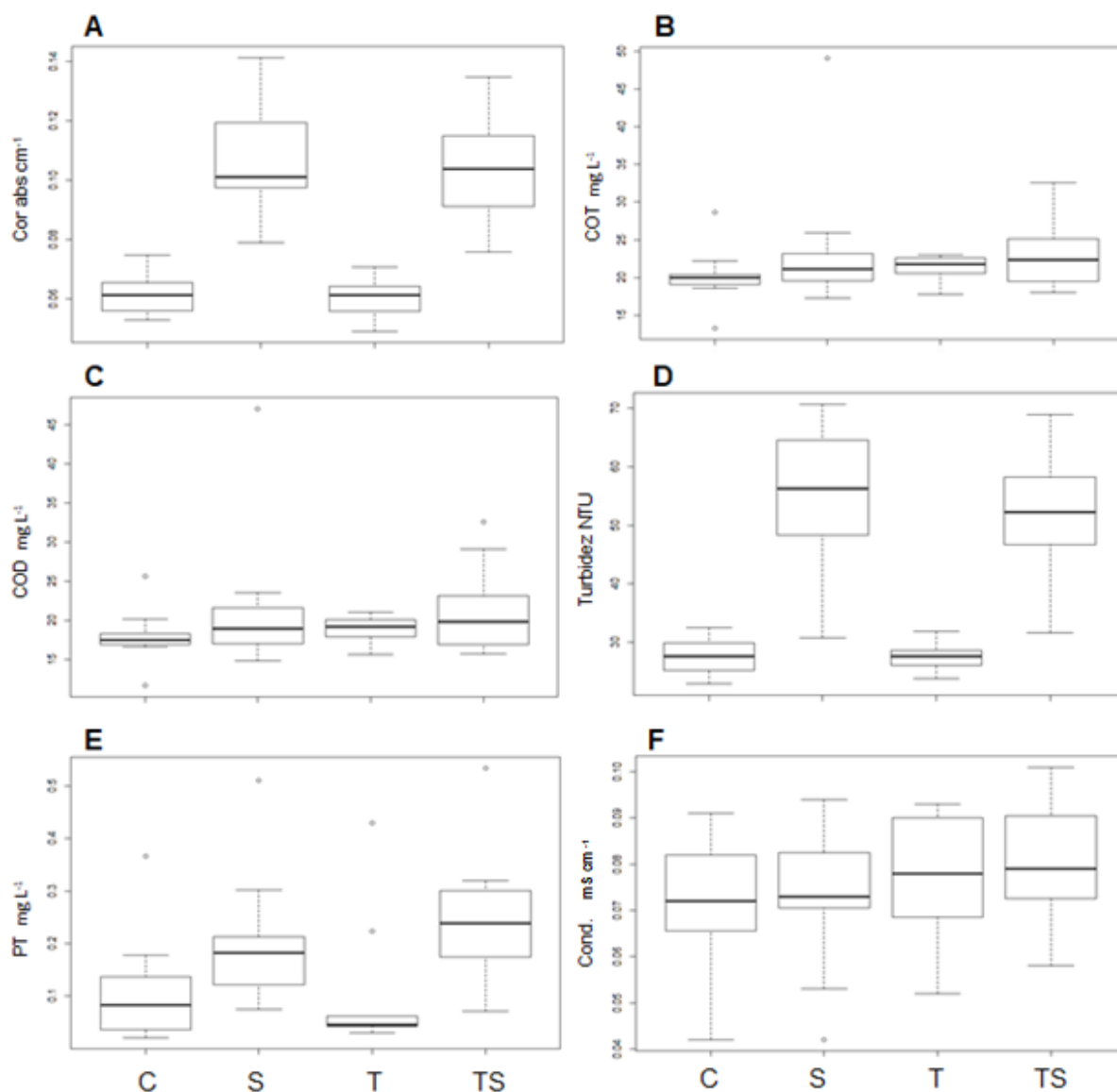
**Material Suplementar 4** Valores de cor verdadeira e turbidez observados ao longo dos 12 dias de experimento nos tratamentos. Em preto sem adição de solo (C e T) e em cinza os tratamentos com adição de solo (S e TS) **A)** Cor verdadeira (abs cm<sup>-1</sup>): média ± DP: **C e T** = 0,06 ± 0,006; **S e TS** = 0,10 ± 0,01, **B)** Turbidez (NTU) observados ao longo dos 12 dias de experimento nos tratamentos, em preto sem adição de solo (C e T) e em cinza os tratamentos com adição de solo (S e TS). Média ± DP: **C e T** = 25, ± 1,9; **S e TS** = 52,38 ± 11,3.

**Material Suplementar 5** Resultado da PERMANOVA para dados de presença e ausência (Sørensen).

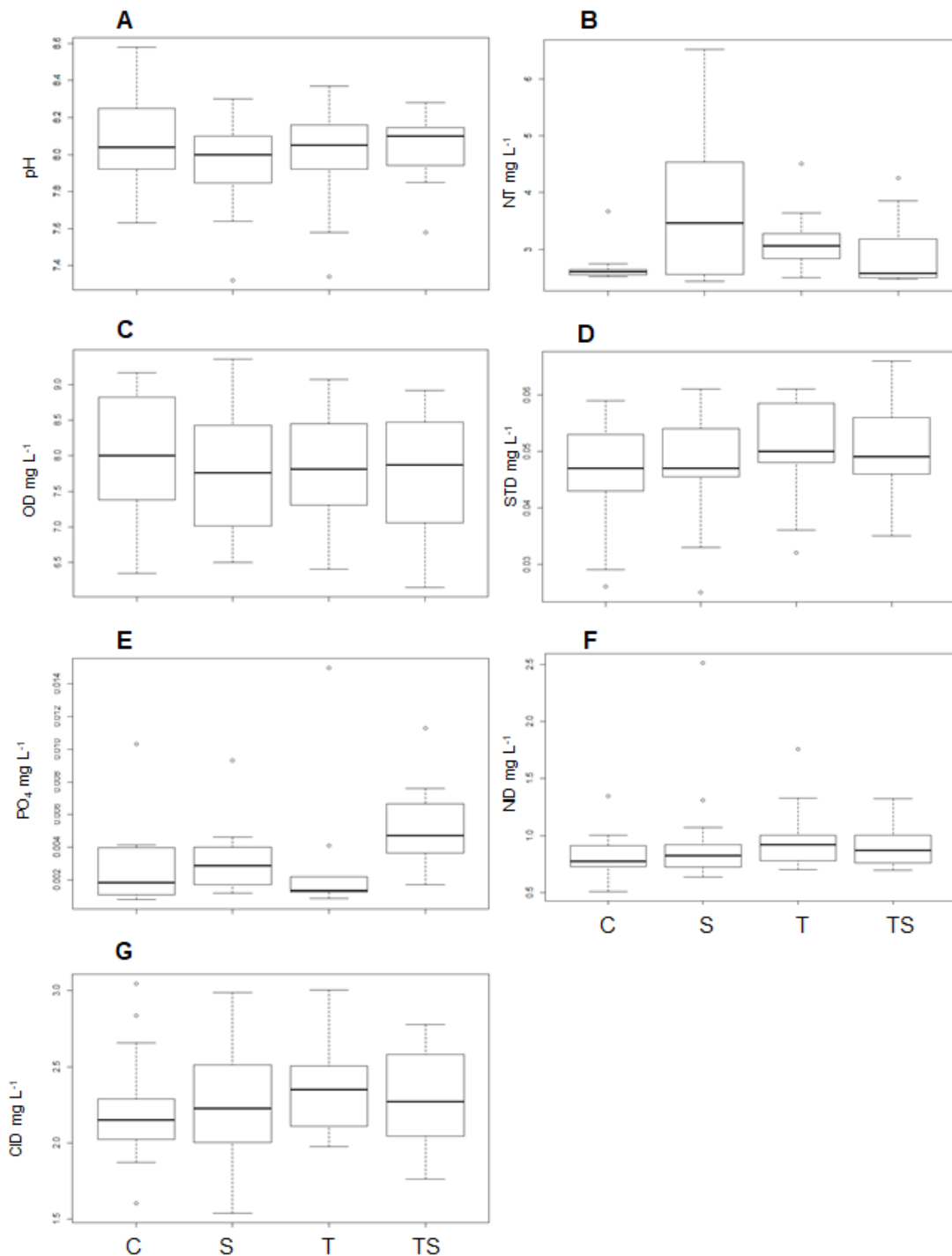
	Comunidade total		Alto perfil		Baixo perfil		Móteis		Planctônicas	
	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>
<b>Tempo</b>	0,14	<b>0,001</b>	0,12	<b>0,004</b>	0,12	<b>0,028</b>	0,17	<b>0,001</b>	0,06	NS
<b>Solo</b>	0,03	<b>0,011</b>	0,02	NS	0,02	NS	0,05	<b>0,001</b>	<0,01	NS
<b>Temperatura</b>	0,30	<b>0,007</b>	0,04	<b>0,014</b>	0,01	NS	0,02	NS	0,02	NS
<b>Temperatura × Solo</b>	0,03	<b>0,020</b>	0,02	NS	0,02	NS	0,04	<b>0,003</b>	0,01	NS
<b>Tempo × Solo</b>	0,10	<b>0,001</b>	0,08	NS	0,14	<b>0,01</b>	0,15	<b>0,001</b>	0,11	NS
<b>Tempo</b> ×	0,06	NS	0,08	NS	0,03	NS	0,03	NS	0,01	NS
<b>Temperatura</b> ×	0,08	<b>0,035</b>	0,05	NS	0,11	<b>0,041</b>	0,08	<b>0,014</b>	0,11	NS
<b>Tempo</b> ×										
<b>Temperatura × Solo</b>										



**Material suplementar 6** Análise de coordenadas principais (PCoA) considerando a composição da comunidade de diatomáceas perifíticas de diferentes grupos funcionais nos tratamentos (C, T, S e TS) ao longo do período experimental (1°, 3°, 6°, 9° e 12° dias de experimento). A cor azul refere-se ao controle (temperatura ambiente sem adição de solo, C), a cor vermelha refere-se ao tratamento com temperatura alta e sem adição de solo (T), a cor preta refere-se ao tratamento com adição de solo e temperatura ambiente (S) e a cor roxa indica o tratamento com temperatura alta e com adição de solo (TS). **A)** Comunidade total de diatomáceas, **B)** Diatomáceas de alto perfil, **C)** baixo perfil, **D)** móteis e **E)** planctônicas.

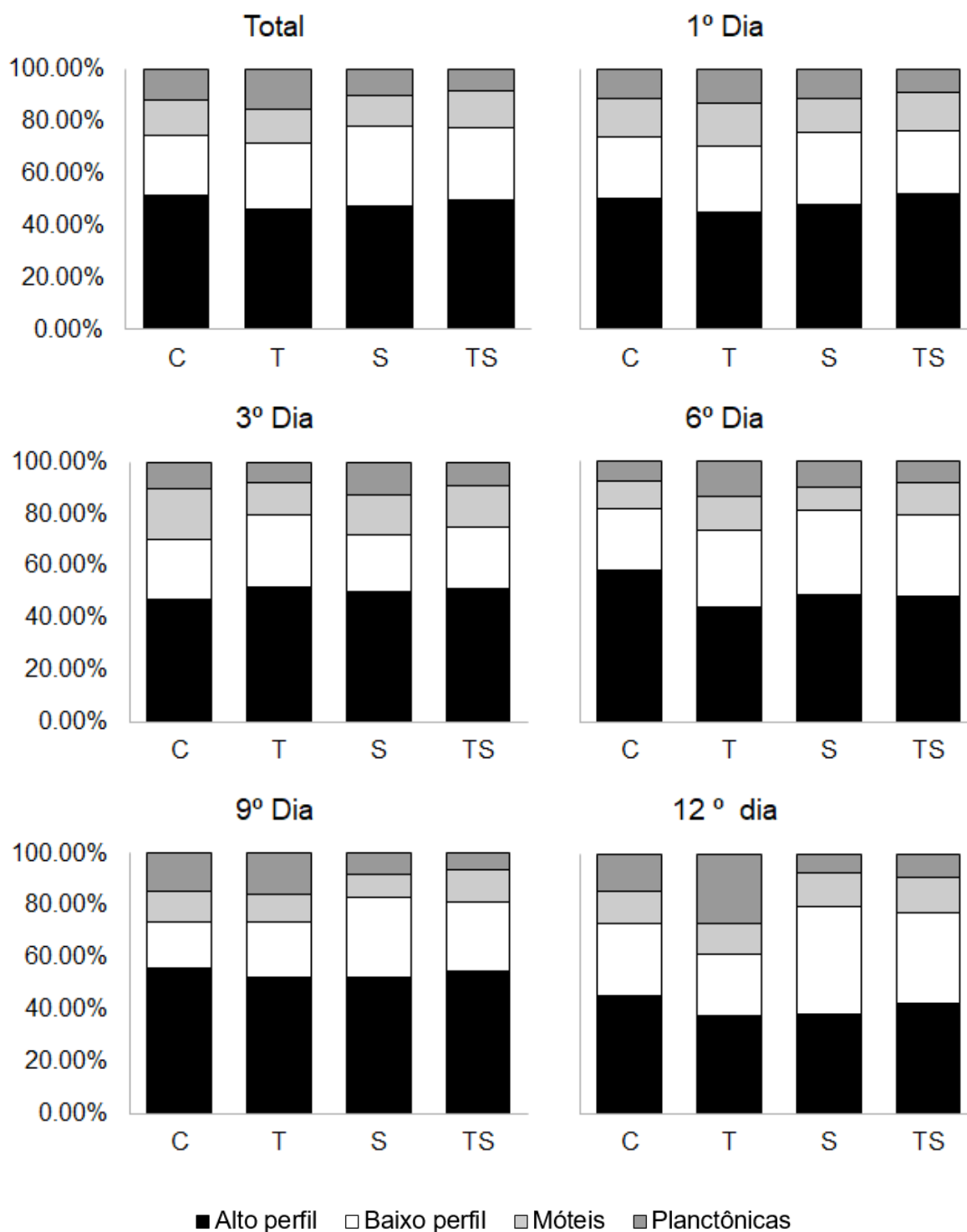


**Material suplementar 7** Boxplot das concentrações das variáveis físicas e químicas da água nos diferentes tratamentos. C= controle/temperatura ambiente sem adição de solo; T= temperatura alta sem adição de solo, S= temperatura ambiente com adição de solo, TS= temperatura alta com adição de solo. **A)** Cor verdadeira, **B)** COT = carbono orgânico total, **C)** COD = carbono orgânico dissolvido, **D)** Turbidez, **E)** PT = fósforo total, **F)** Cond. = condutividade elétrica.



**Material suplementar 8** Boxplot das concentrações das variáveis físicas e químicas da água nos diferentes tratamentos. C= controle/temperatura ambiente sem adição de solo; T= temperatura alta sem adição de solo, S= temperatura ambiente com adição de solo, TS= temperatura alta com adição de solo. **A)** pH, **B)** NT = nitrogênio total, **C)** OD = oxigênio dissolvido, **D)** STD = sólidos totais dissolvidos, **E)** PO<sub>4</sub> = fósforo dissolvido, **F)** NID = nitrogênio dissolvido **G)** CID = carbono inorgânico dissolvido.





**Material suplementar 9** Distribuição das abundâncias relativas das diatomáceas dos diferentes grupos funcionais nos tratamentos durante o período experimental. C= controle/temperatura ambiente sem adição de solo; T= temperatura alta sem adição de solo, S= temperatura ambiente com adição de solo, TS= temperatura alta com adição de solo. **A)** 1º dia de experimento, **B)** 3º dia de experimento, **C)** 6º dia de experimento, **D)** 9º dia de experimento e **D)** 12º dia de experimento.

**Material suplementar 10** Resultados das Análises de Variância em blocos de medidas repetidas com as correções de Huynh-Feldt para as variáveis dependentes: OD = oxigênio dissolvido, pH, Cond. = condutividade elétrica, PO<sub>4</sub> = fósforo dissolvido, STD = sólidos totais dissolvidos, NID = nitrogênio dissolvido, NT = nitrogênio total, CID = carbono inorgânico dissolvido, PT = fósforo total, COD = carbono orgânico dissolvido, COT = carbono orgânico total, Cor e Turb. = turbidez.

	Tempo		Solo		Temperatura		Temperatura × Solo		Tempo × Solo		Tempo × Temperatura		Tempo × Solo × Temperatura	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
OD	96.2	<b>&lt;0,001</b>	1.9	NS	3.9	NS	0.001	NS	0.650	NS	0.26	NS	0.050	NS
pH	4.4	<b>0.006</b>	2.1	NS	0.01	NS	6.375	<b>0.030</b>	0.342	NS	0.185	NS	0.347	NS
Cond.	3.2	<b>0.040</b>	1.6	NS	6.7	<b>0.030</b>	0.099	NS	0.486	NS	0.83	NS	0.311	NS
PO <sub>4</sub>	1.4	NS	1.1	NS	0.6	NS	0.410	NS	0.24	NS	0.54	NS	3.08	NS
STD	2.6	NS	0.3	NS	5.3	NS	0.080	NS	0.4	NS	1.3	NS	0.45	NS
NID	4.1	<b>0.040</b>	0.3	NS	0.5	NS	0.310	NS	0.53	NS	2.33	NS	1.15	NS
NT	7.8	<b>0.020</b>	4.9	NS	0.8	NS	10.240	<b>0.010</b>	2.03	NS	1.032	NS	4.993	NS
CID	1.4	NS	0.01	NS	0.7	NS	1.080	NS	4.252	<b>0.010</b>	1.114	NS	0.181	NS
PT	>0.001	NS	9.7	<b>0.010</b>	0.2	NS	0.563	NS	1.531	NS	1.439	NS	1.461	NS
COD	14.4	<b>0.005</b>	7.4	<b>0.020</b>	0.5	NS	0.799	NS	1.533	NS	0.169	NS	2.41	NS

<i>COT</i>	3.3	NS	6.6	<b>0.03</b>	0.6	NS	0.863	NS	0.709	NS	1.047	NS	0.664	NS
<i>Cor</i>	15.4	<b>&lt;0,001</b>	219.9	<b>&lt;0,001</b>	1.0	NS	0.179	NS	12.68	<b>&lt;0,001</b>	0.145	NS	0.41	NS
<i>Turb.</i>	27.3	<b>&lt;0,001</b>	212.4	<b>&lt;0,001</b>	0.894	NS	0.916	NS	17.94	<b>&lt;0,001</b>	0.535	NS	0.71	NS

---

**Material suplementar 11** Lista de espécies de diatomáceas perifíticas classificadas de acordo com o grupo funcional.

---

Taxas

**Alto perfil**

---

*Cymbella* sp1  
*Diploneis* sp1  
*Encyonema silesiacum* (Bleisch) D.G.Mann  
*Encyonema* sp1  
*Encyonema* sp2  
*Eunotia camelus* Ehrenberg  
*Eunotia flexuosa* (Brébisson ex Kützing) Kützing  
*Eunotia* cf. *flexuosa* m2  
*Eunotia* sp1  
*Eunotia* sp2  
*Eunotia* sp3  
*Eunotia* sp4  
*Eunotia* sp5  
*Eunotia* sp6  
*Eunotia* sp7  
*Eunotia* sp8  
*Eunotia* sp9  
*Eunotia* sp10  
*Eunotia* sp11  
*Eunotia* sp12  
*Eunotia* sp13  
*Eunotia* sp14  
*Eunotia* sp15  
*Fragilaria billingsii* Wengrat, Wetzel & Morales  
*Fragilaria longifusiformis* (Hains & Sebring) Siver et al.  
*Fragilaria parva* (Grunow) A.Tuji & D.M.Williams  
*Fragilaria* sp1  
*Fragilaria vaucheriae* (Kützing) J.B.Petersen  
*Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni  
*Frustulia saxonica* Rabenhorst  
*Gomphonema affine* Kützing  
*Gomphonema gracile* Ehrenberg  
*Gomphonema lagenula* Kützing  
*Gomphonema* sp1  
*Gomphonema* sp2  
*Gomphonema* sp3  
*Melosira moniliformis* (O.F.Müller) C.Agardh  
*Pseudostaurosira neoeliptica* (Witkowski) Morales  
*Pseudostaurosira* sp1

*Pseudostaurosira* sp2  
*Pseudostaurosira trainorii* E.A.Morales  
*Stauroforma* sp1  
*Staurosira construens* Ehrenberg  
*Staurosirella martyi* (Héribaud-Joseph) E.A.Morales & K.M.Manoylov  
*Ulnaria* sp1

---

## **Móteis**

---

*Craticula* sp1  
*Eolimna* sp1  
*Eolimna* sp2  
*Epithemia sorex* Kützing  
*Navicula cryptocephala* Kützing  
*Navicula* sp1  
*Navicula* sp2  
*Neidium* sp1  
*Nitzschia gracilis* Hantzsch  
*Nitzschia nana* Grunow  
*Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith  
*Nitzschia paleaceae* (Grunow) Grunow  
*Nitzschia* sp1  
*Nupela* sp1  
*Nupela* sp2  
*Nupela* sp3  
*Nupela* sp4  
*Pinnularia* sp1  
*Pinnularia* sp2  
*Pinnularia* sp3  
*Pinnularia* sp4  
*Pinnularia* sp5  
*Pinnularia* sp6  
*Pinnularia* sp7  
*Pinnularia* sp8  
*Pinnularia* sp9  
*Placoneis* sp1  
*Placoneis* sp2  
*Placoneis* sp3  
*Rhopalodia* sp1  
*Rhopalodia* sp2  
*Rhopalodia* sp3  
*Rhopalodia brebissonii* Krammer  
*Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschkovsky  
*Sellaphora* sp1  
*Stauroneis* sp1

*Stauroneis* sp2

---

**Baixo Perfil**

---

*Achnanthydium exiguum* (Grunow) Czarnecki

*Achnanthydium exiguum* var. *constrictum* (Grunow) N.A.Andresen, Stoermer & R.G.Kreis

*Amphora* sp1

*Amphora* sp2

*Cocconeis euglypta* Ehrenberg

Complexo *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarnecki

*Cymboplectura naviculiformis* (Auerswald ex Heiberg) Krammer

*Encyonopsis* sp1

*Encyonopsis* sp2

*Kobayasiella* sp1

*Planothidium* sp1

*Planothidium* sp2

*Planothidium* sp3

---

**Planctônicas**

---

*Cyclotella meneghiniana* Kützing

*Desikaneis* sp1

*Discostella stelligera* (Cleve & Grunow) Houk & Klee

*Fragilaria gracilis* Østrup

---

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS**

Os resultados deste trabalho somado a outros trabalhos recentes que abordam os efeitos das mudanças climáticas sobre os produtores primários e suas consequências para os ecossistemas aquáticos continentais sugerem que as mudanças climáticas afetam a biodiversidade e que as respostas das comunidades são complexas. Desta forma, este estudo vem agregar aos demais estudos experimentais na compreensão das relações entre as comunidades ecológicas e as mudanças esperadas para um futuro próximo. A complexidade das respostas dos diferentes grupos funcionais frente às mudanças climáticas simuladas demonstraram a importância da temperatura e dos fenômenos relacionados ao escoamento superficial para a riqueza, composição e estrutura de comunidades de diatomáceas perifíticas. Impactos sobre produtores primários afetam diretamente outros níveis tróficos, acarretando severas efeitos sobre os mais variados níveis de organização biológica. Desta forma, sugerimos que estudos futuros abordem questões envolvendo as relações entre produtores e consumidores, além de considerar outros cenários de impactos ambientais, tais como ambientes eutrofizados.

## **ANEXOS**

Segue as normas da revista a qual o manuscrito será submetido:

Hydrobiologia

## **GENERAL**

Hydrobiologia publishes original articles in the fields of limnology and marine science that are of interest to a broad and international audience. The scope of Hydrobiologia comprises the biology of rivers, lakes, estuaries and oceans and includes palaeolimnology and –oceanology, taxonomy, parasitology, biogeography, and all aspects of theoretical and applied aquatic ecology, management and conservation, ecotoxicology, and pollution. Purely technological, chemical and physical research, and all biochemical and physiological work that, while using aquatic biota as test-objects, is unrelated to biological problems, fall outside the journal's scope.

THERE IS NO PAGE CHARGE, provided that manuscript length, and number and size of tables and figures are reasonable (see below). Long tables, species lists, and other protocols may be put on any web site and this can be indicated in the manuscript. Purely descriptive work, whether limnological, ecological or taxonomic, can only be considered if it is firmly embedded in a larger biological framework.

## **LANGUAGE**

Manuscripts should conform to standard rules of English grammar and style. Either British or American spelling may be used, but consistently throughout the article. Conciseness in writing is a major asset as competition for space is keen.

## **EDITORIAL POLICY**

Submitted manuscripts will first be checked for language, presentation, and style. Scientists who use English as a foreign language are strongly recommended to have their manuscript read by a native English-speaking colleague. Manuscripts which are substandard in these respects will be returned without review.



Papers which conform to journal scope and style are sent to at least 2 referees, mostly through a member of the editorial board, who will then act as coordination editor. Manuscripts returned to authors with referee reports should be revised and sent back to the editorial as soon as possible. Final decisions on acceptance or rejection are made by the editor-in-chief. *Hydrobiologia* endeavours to publish any paper within 6 months of acceptance. To achieve this, the number of volumes to be published per annum is readjusted periodically.

Authors are encouraged to place all species distribution records in a publicly accessible database such as the national Global Biodiversity Information Facility (GBIF) nodes ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)) or data centers endorsed by GBIF, including BioFresh ([www.freshwaterbiodiversity.eu](http://www.freshwaterbiodiversity.eu))

## **CATEGORIES OF CONTRIBUTIONS**

There are four categories of contributions to *Hydrobiologia*:

[1.] Primary research papers generally comprise up to 25 printed pages (including tables, figures and references) and constitute the bulk of the output of the journal. These papers **MUST** be organized according to the standard structure of a scientific paper: Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, References, Tables, Figure captions.

[2.] Review papers, and Taxonomic revisions are long papers; prospective authors should consult with the editor before submitting such a long manuscript, either directly or through a member of the editorial board. Review papers may have quotations (text and illustrations) from previously published work, but authors are responsible for obtaining copyright clearance wherever this applies.

[3.] Opinion papers reflect authors' points of view on hot topics in aquatic sciences. Such papers can present novel ideas, comments on previously published work or extended book reviews.

[4.] Special section papers. Occasionally, regular volumes contain a special section devoted to topical collections of papers: for example, Salt Ecosystems Section and Aquatic Restoration Section.

## **MANUSCRIPT SUBMISSION**

### **Manuscript Submission**

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

### **Permissions**

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

### **Online Submission**

Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

## **TITLE PAGE**

Title Page

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

### **Abstract**

Please provide an abstract of 150 to 200 words. Abstracts longer than 200 words cannot be uploaded. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

The abstract should start with the aim of research, preferably a hypothesis to be tested, followed by the main methods used, major results obtained and implications of these findings that may be of interest to a wide and international, scientific audience. Numerical data in the abstract should be avoided as much as possible.

### **Keywords**

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Keywords should not include any word or term that already appears in the title.

## **TEXT**

### **Text Formatting**

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

[LaTeX macro package \(zip, 181 kB\)](#)

## **Headings**

Please use no more than three levels of displayed headings.

## **Abbreviations**

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

## **Footnotes**

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

## **Acknowledgments**

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

## **ADDITIONAL REMARK TEXT**

Do not include section numbers.

## **SCIENTIFIC STYLE**

Authors are urged to comply with the rules of biological nomenclature, as expressed in the International Code of Zoological Nomenclature, the International Code of Botanical Nomenclature, and the International Code of Nomenclature of Bacteria. When a species name is used for the first time in an article, it should be stated in full, and the name of its describer should also be given. Descriptions of new taxa should comprise official repository of types (holotype and paratypes), author's collections as repositories of types are unacceptable.

Genus and species names should be in italics.

### Wording

Please, do not use words as “physicochemical”, “physico.chemical”, “physiochemical”, etc. “Physical and chemical” or, when appropriated, “physiological and chemical” or “biochemical” should be preferred.

## **REFERENCES**

References in the text will use the name and year system:

Adam & Eve (1983) or (Adam & Eve, 1983). For more than two authors, use Adam et al. (1982). References to a particular page, table or figure in any published work is made as follows: Brown (1966: 182) or Brown (1966: 182, fig. 2). Cite only published items; grey literature (abstracts, theses, reports, etc) should be avoided as much as possible. Papers which are unpublished or in press should be cited only if formally accepted for publication.

References will follow the styles as given in the examples below, i.e. journals are NOT abbreviated (as from January 2003), only volume numbers (not issues) are given, only normal fonts are used, no bold or italic.

Engel, S. & S. A. Nichols, 1994. Aquatic macrophytes growth in a turbid windswept lake. *Journal of Freshwater Ecology* 9: 97–109.

Horne, D. J., A. Cohen & K. Martens, 2002. Biology, taxonomy and identification techniques. In Holmes, J. A. & A. Chivas (eds), *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. American Geophysical Union, Washington DC: 6–36.

Maitland, P. S. & R. Campbell, 1992. *Fresh Water Fishes*. Harper Collins Publishers, London.

Tatrai, I., E. H. R. R. Lammens, A. W. Breukelaar & J. G. P. Klein Breteler, 1994. The impact of mature cyprinid fish on the composition and biomass of benthic macroinvertebrates. *Archiv für Hydrobiologie* 131: 309–320.

## **TABLES**

All tables are to be numbered using Arabic numerals.

Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.

Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

## **ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES**

### **Electronic Figure Submission**

Supply all figures electronically.

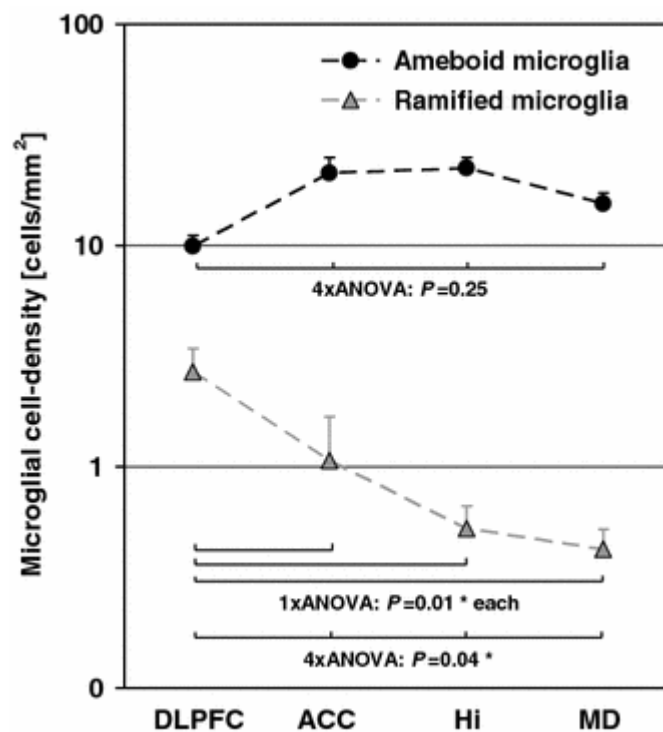
Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

### Line Art



Definition: Black and white graphic with no shading.

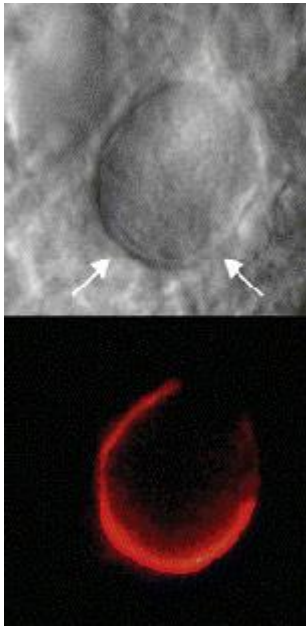
Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.

All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.

Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

## Halftone Art

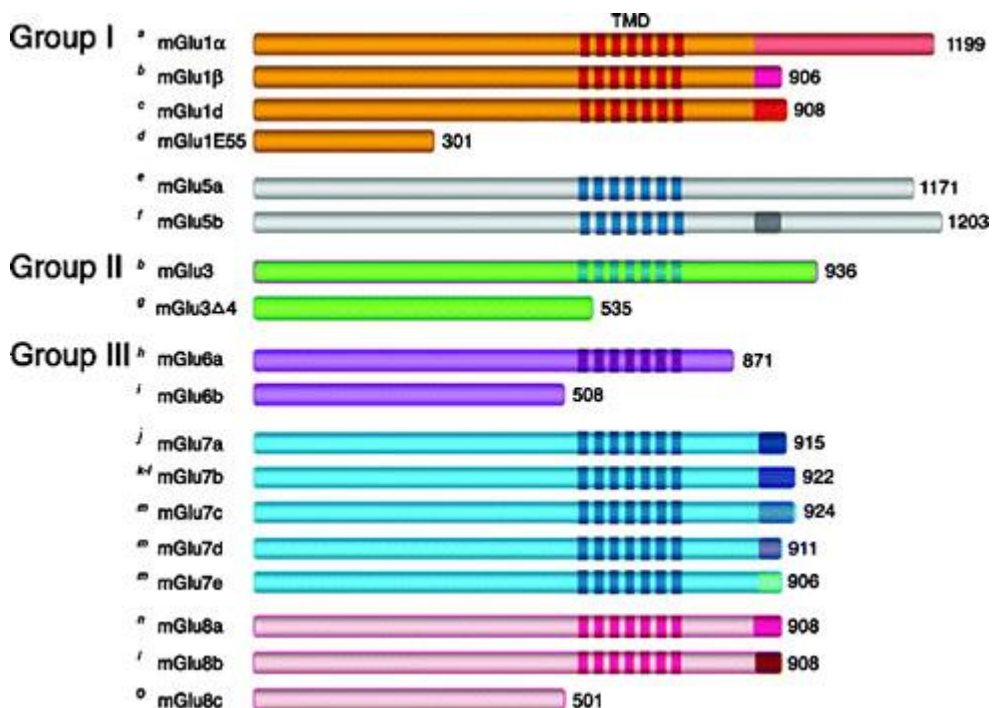


Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.

If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.

Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

## Combination Art





Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.

Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

### **Color Art**

Color art is free of charge for online publication.

If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.

If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.

Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

### **Figure Lettering**

To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).

Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).

Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.

Avoid effects such as shading, outline letters, etc.

Do not include titles or captions within your illustrations.

### **Figure Numbering**

All figures are to be numbered using Arabic numerals.

Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.

Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).

If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures,

"A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

### **Figure Captions**

Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.

Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.

No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.

Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

### **Figure Placement and Size**

Figures should be submitted separately from the text, if possible.

When preparing your figures, size figures to fit in the column width.

For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.

For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

### **Permissions**

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that

Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

### **Accessibility**

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)

Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)

Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

### **ELECTRONIC SUPPLEMENTARY MATERIAL**

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as electronic supplementary material, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

### **Submission**

Supply all supplementary material in standard file formats.

Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.

To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

### **Audio, Video, and Animations**

Aspect ratio: 16:9 or 4:3

Maximum file size: 25 GB

Minimum video duration: 1 sec

Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

### **Text and Presentations**

Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.

A collection of figures may also be combined in a PDF file.

### **Spreadsheets**

Spreadsheets should be submitted as .csv or .xlsx files (MS Excel).

### **Specialized Formats**

Specialized format such as .pdb (chemical), .vrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

### **Collecting Multiple Files**

It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

### **Numbering**

If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

Refer to the supplementary files as "Online Resource", e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4".

Name the files consecutively, e.g. "ESM\_3.mpg", "ESM\_4.pdf".

### **Captions**

For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

### **Processing of supplementary files**

Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

### **Accessibility**

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material

Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

### **AFTER ACCEPTANCE**

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer's web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice and offprints.

Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

### **Copyright transfer**

Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws.

[Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](#)

### **Offprints**

Offprints can be ordered by the corresponding author.

### **Color illustrations**

Publication of color illustrations is free of charge.

### **Proof reading**

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

### **Online First**

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.

### **OPEN CHOICE**

In addition to the normal publication process (whereby an article is submitted to the journal and access to that article is granted to customers who have purchased a subscription), Springer provides an alternative publishing option: Springer Open Choice. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular subscription-based article, but in addition is made available publicly through Springer's online platform SpringerLink.

[Open Choice](#)

### **Copyright and license term – CC BY**

Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, the author(s) agree to publish the article under the Creative Commons Attribution License.

[Find more about the license agreement](#)

### **ETHICAL RESPONSIBILITIES OF AUTHORS**

This journal is committed to upholding the integrity of the scientific record. As a member of the Committee on Publication Ethics (COPE) the journal will follow the COPE guidelines on how to deal with potential acts of misconduct.

Authors should refrain from misrepresenting research results which could damage the trust in the journal, the professionalism of scientific authorship, and ultimately the entire scientific endeavour. Maintaining integrity of the research and its presentation can be achieved by following the rules of good scientific practice, which include:

The manuscript has not been submitted to more than one journal for simultaneous consideration.

The manuscript has not been published previously (partly or in full), unless the new work concerns an expansion of previous work (please provide transparency on the re-use of material to avoid the hint of text-recycling (“self-plagiarism”)).

A single study is not split up into several parts to increase the quantity of submissions and submitted to various journals or to one journal over time (e.g. “salami-publishing”).

No data have been fabricated or manipulated (including images) to support your conclusions

No data, text, or theories by others are presented as if they were the author’s own (“plagiarism”). Proper acknowledgements to other works must be given (this includes material that is closely copied (near verbatim), summarized and/or paraphrased), quotation marks are used for verbatim copying of material, and permissions are secured for material that is copyrighted.

**Important note:** the journal may use software to screen for plagiarism.

Consent to submit has been received explicitly from all co-authors, as well as from the responsible authorities - tacitly or explicitly - at the institute/organization where the work has been carried out, **before** the work is submitted.

Authors whose names appear on the submission have contributed sufficiently to the scientific work and therefore share collective responsibility and accountability for the results.

Authors are strongly advised to ensure the correct author group, corresponding author, and order of authors at submission. Changes of authorship or in the order of authors are **not** accepted **after** acceptance of a manuscript.

Adding and/or deleting authors and/or changing the order of authors **at revision stage** may be justifiably warranted. A letter must accompany the revised manuscript to explain the reason for the change(s) and the contribution role(s) of the added and/or deleted author(s). Further documentation may be required to support your request.

Requests for addition or removal of authors as a result of authorship disputes after acceptance are honored after formal notification by the institute or independent body and/or when there is agreement between all authors.

Upon request authors should be prepared to send relevant documentation or data in order to verify the validity of the results. This could be in the form of raw data, samples, records, etc. Sensitive information in the form of confidential proprietary data is excluded.

If there is a suspicion of misconduct, the journal will carry out an investigation following the COPE guidelines. If, after investigation, the allegation seems to raise valid concerns, the accused author will be contacted and given an opportunity to address the issue. If misconduct has been established beyond reasonable doubt, this may result in the Editor-in-Chief's implementation of the following measures, including, but not limited to:

If the article is still under consideration, it may be rejected and returned to the author.

If the article has already been published online, depending on the nature and severity of the infraction, either an erratum will be placed with the article or in severe cases complete retraction of the article will occur. The reason must be given in the published erratum or retraction note. Please note that retraction means that the



paper is **maintained on the platform**, watermarked "retracted" and explanation for the retraction is provided in a note linked to the watermarked article.

The author's institution may be informed.

## **COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS**

To ensure objectivity and transparency in research and to ensure that accepted principles of ethical and professional conduct have been followed, authors should include information regarding sources of funding, potential conflicts of interest (financial or non-financial), informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals.

Authors should include the following statements (if applicable) in a separate section entitled "Compliance with Ethical Standards" when submitting a paper:

Disclosure of potential conflicts of interest

Research involving Human Participants and/or Animals

Informed consent

Please note that standards could vary slightly per journal dependent on their peer review policies (i.e. single or double blind peer review) as well as per journal subject discipline. Before submitting your article check the instructions following this section carefully.

The corresponding author should be prepared to collect documentation of compliance with ethical standards and send if requested during peer review or after publication.

The Editors reserve the right to reject manuscripts that do not comply with the above-mentioned guidelines. The author will be held responsible for false statements or failure to fulfill the above-mentioned guidelines.

## **DISCLOSURE OF POTENTIAL CONFLICTS OF INTEREST**

Authors must disclose all relationships or interests that could have direct or potential influence or impart bias on the work. Although an author may not feel there is any

conflict, disclosure of relationships and interests provides a more complete and transparent process, leading to an accurate and objective assessment of the work. Awareness of a real or perceived conflicts of interest is a perspective to which the readers are entitled. This is not meant to imply that a financial relationship with an organization that sponsored the research or compensation received for consultancy work is inappropriate. Examples of potential conflicts of interests **that are directly or indirectly related to the research** may include but are not limited to the following:

Research grants from funding agencies (please give the research funder and the grant number)

Honoraria for speaking at symposia

Financial support for attending symposia

Financial support for educational programs

Employment or consultation

Support from a project sponsor

Position on advisory board or board of directors or other type of management relationships

Multiple affiliations

Financial relationships, for example equity ownership or investment interest

Intellectual property rights (e.g. patents, copyrights and royalties from such rights)

Holdings of spouse and/or children that may have financial interest in the work

In addition, interests that go beyond financial interests and compensation (non-financial interests) that may be important to readers should be disclosed. These may include but are not limited to personal relationships or competing interests directly or indirectly tied to this research, or professional interests or personal beliefs that may influence your research.

The corresponding author collects the conflict of interest disclosure forms from all authors. In author collaborations where formal agreements for representation allow it, it is sufficient for the corresponding author to sign the disclosure form on behalf of all authors. Examples of forms can be found

[here:](#)

The corresponding author will include a summary statement in the text of the manuscript in a separate section before the reference list, that reflects what is recorded in the potential conflict of interest disclosure form(s).

See below examples of disclosures:

**Funding:** This study was funded by X (grant number X).

**Conflict of Interest:** Author A has received research grants from Company A. Author B has received a speaker honorarium from Company X and owns stock in Company Y. Author C is a member of committee Z.

If no conflict exists, the authors should state:

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.