

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
– CIÊNCIAS BIOLÓGICAS –
BACHARELADO

A ocorrência de *Ceratium* em um reservatório subtropical: aspectos ecológicos e sua influência sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica

Aluna: Lyssa Cunha da Rocha

Orientadora: Profa. Luciane O. Crossetti (UFRGS)
Co-Orientadora: Gabriele Volkmer (Bióloga CEEE-GT)

Porto Alegre, 2016

Agradecimentos

À CEE-GT pela autorização para a utilização dos dados de qualidade da água.

À orientadora Professora Luciane muito obrigado por ter aceitado o convite, por todo aprendizado e pelos conselhos.

À co-orientadora Gabriele pela agradável convivência diária, pelo apoio, ideias, conselhos, enfim, pela amizade.

Por fim e mais importante agradeço a minha Mãe, meu Pai, meu Irmão e meu Marido por estarem ao meu lado sempre me apoiando, aguentando e incentivando a seguir em frente, sem vocês não seria o que sou hoje.

A ocorrência de *Ceratium furcoides* em um reservatório subtropical:
aspectos ecológicos e sua influência sobre a estrutura da comunidade
fitoplanctônica

Lyssa Cunha da Rocha¹

Gabriele Volkmer²

Luciane Oliveira Crossetti³

Resumo: Espécies do gênero *Ceratium* são consideradas exóticas na América do Sul. Em vista dos recorrentes registros da espécie em todo o Brasil, estudos diversos tentam compreender sua dinâmica em ecossistemas tropicais e subtropicais. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi identificar os fatores relacionados à ocorrência de *Ceratium furcoides* no Reservatório Divisa, localizado no sul do Brasil, analisando como a estrutura da comunidade fitoplanctônica foi alterada após o estabelecimento deste organismo. As amostragens foram realizadas no período de 2011 a 2016, em duas campanhas em cada ano (verão e inverno). Amostras de água da superfície do reservatório foram analisadas para mensuração de variáveis físicas, químicas e da comunidade fitoplanctônica (densidade total, densidade de *C. furcoides*, diversidade, riqueza de espécies e equitabilidade). Os resultados evidenciaram que o desenvolvimento desta espécie foi significativamente influenciado pelas maiores concentrações de nitrogênio total e a interação desta variável às maiores concentrações de fósforo total e aumento da transparência ($p < 0,05$). Ainda, evidenciou-se que o desenvolvimento de *C. furcoides* não influenciou na estruturação da comunidade fitoplanctônica, embora a dominância desta espécie (87,7%) em 2014/1 tenha justificado os baixos valores de riqueza de espécies, diversidade e equitabilidade observados. Apesar deste dinoflagelado não ter apresentado floração no reservatório Divisa, deve-se continuar o acompanhamento do desenvolvimento da população da espécie nesse local a fim de compreender melhor suas demandas ecológicas e o grau de comprometimento que pode vir a gerar nos usos deste ecossistema.

Palavras chaves: invasão biológica, diversidade, reservatório subtropical, fitoplâncton

¹ Acadêmica do Curso de Ciências Biológicas (Bacharelado) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

² Bióloga CEEE-GT.

³ Professora do Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Introdução

Fitoplâncton são organismos geralmente microscópicos, que possuem pouca capacidade de locomoção, assim, flutuando na zona eufótica de oceanos, rios e lagos. São de fundamental importância na cadeia alimentar como produtores, representando o início da cadeia alimentar para organismos heterotróficos, como por exemplo, o zooplâncton e alguns vertebrados (Raven et al., 2001). Espécies exóticas de fitoplâncton podem ser um grave problema para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Se as condições climáticas e nutrientes disponíveis forem favoráveis para a espécie exótica, ela irá competir com espécies nativas e terá potencial de causar florações, assim modificando completamente o ambiente e, dependendo da espécie, liberando toxinas que prejudicam a qualidade da água e podem ser extremamente nocivas à biota (Padisák, 1997; Cybis et al., 2006).

A ocorrência do gênero *Ceratium* vem sendo registrada em vários ecossistemas de água doce do mundo, com registros publicados na Hungria (Padisák 1985), Taiwan (Wu & Chou 1998), Austrália (Whittington et al. 2000; Baldwin et al. 2003), Espanha (Pérez-Martínez & Sánchez- Castillo 2001), Estados Unidos, Canadá, Japão (Carty 2003) e África do Sul (Hart & Wragg, 2009). Na América do Sul, o *Ceratium* ocorreu pela primeira vez no Chile nos anos 90 (Parra, 1998), espalhando-se para Argentina (Meichtry de Zaburlin et al., 2014), Colômbia (Bustamante-Gil et al., 2012) e por vários outros países. No Brasil, o primeiro registro do gênero *Ceratium* foi realizado em 2006 no estado de São Paulo por Ferrareze & Nogueira (2006), enquanto no sul do Brasil foi registrada pela primeira vez por Cavalcante et al. (2013), e sua ocorrência tem sido registrada em ecossistemas aquáticos de muitos estados (ex. Oliveira et. al, 2011; Silva et. al., 2012; Cassol, 2014; Moreira et. al, 2015).

Nos ecossistemas de água doce da América do Sul, *Ceratium* é considerado invasor (Silva et al., 2012; Boltovskoy et al., 2013), sendo comumente referenciada a ocorrência de duas espécies: *Ceratium furcoides* e *Ceratium hirundinella*. Pouco se sabe ainda sobre as variações morfológicas e demandas ambientais destas espécies em ambientes tropicais e subtropicais, sendo que *Ceratium furcoides* pode ser facilmente confundida com *Ceratium hirundinella*, devido à semelhança morfológica e ecológica destas espécies, o que levou alguns especialistas a alertarem que muito do que existe na literatura a respeito de *C. hirundinella*, pode ser de fato sobre *C. furcoides* (Calado & Larsen, 1997).

No Brasil, os registros de *Ceratium* têm geralmente ocorrido em ecossistemas aquáticos lânticos, especialmente reservatórios. De uma forma geral, reservatórios apresentam um padrão de zonação em três porções distintas: uma zona com características de rio onde encontra-se alta turbidez e reduzida produção primária; uma zona de transição com aumento da sedimentação e da disponibilidade de luz havendo conseqüentemente um aumento do fitoplâncton; e uma zona lântica com características de lago, situada próxima ao vertedouro onde há maior sedimentação de nutrientes, podendo haver diminuição da produção primária pela limitação destes (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). Por apresentar esse padrão, a zona de transição dos reservatórios acaba sendo um dos lugares propícios para a ocorrência desses dinoflagelados, pois eles são normalmente encontrados em ambientes ricos em matéria orgânica, principalmente com fosfatos e nitratos, frequentemente em associação com cianobactérias (Lund et al., 1965).

Por ser uma espécie exótica e invasora recente, pouco se sabe sobre as condições que favorecem sua dispersão e estabelecimento nos ecossistemas aquáticos subtropicais e tropicais, quais fatores ambientais estão relacionados às suas altas densidades e as conseqüências que ela trará para esses ambientes em que estão se adaptando, incluindo as interações biológicas e conseqüências na estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica. Mac Donagh et. al (2005) afirmaram que a presença do dinoflagelado poderia ser um fenômeno regional associado a mecanismos de dispersão específico e condições locais que favorecem o seu crescimento. Recentemente, Cavalcante et al. (2016) evidenciaram que a ocorrência e floração de *Ceratium furcoides* em dois reservatórios de abastecimento de água em Caxias do Sul (RS) estiveram associadas à combinação de condições ótimas de temperatura e disponibilidade de nutrientes. Contudo, estudos ainda se fazem necessários para que padrões possam ser evidenciados, colaborando para o entendimento sobre a ecologia desse gênero e seus efeitos na biota e funcionamento do ecossistema.

Neste trabalho, buscamos compreender os fatores relacionados à ocorrência de *Ceratium furcoides* em um reservatório subtropical (reservatório Divisa), evidenciando aspectos ecológicos desta espécie e sua influência sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica, contribuindo para geração de conhecimento sobre a ecologia desta espécie invasora em ambientes subtropicais. A partir disso, as seguintes hipóteses serão testadas: (i) a espécie *Ceratium furcoides* é favorecida em condições de maior disponibilidade de nutrientes (nitrogênio e fósforo), bem como de altas temperaturas,

alto pH, transparência e oxigênio dissolvido. Assim, espera-se que a abundância deste organismo esteja fortemente correlacionada a estes parâmetros; (ii) a estrutura da comunidade fitoplantônica se modificará após a invasão de *Ceratium furcoides*. Em função de sua ampla habilidade competitiva, espera-se que diante de sua ocorrência e maior abundância, serão observados menores valores de densidade do fitoplâncton, riqueza de espécies, diversidade e equitabilidade.

Material e Métodos

Área de Estudo

A Usina Hidrelétrica de Bugres, concessão da Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica CEEE-GT, é composta pelos reservatórios Divisa, Blang e Salto, sendo o Reservatório Divisa o local onde o presente estudo foi realizado (Fig. 1). A usina de Bugres localiza-se na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, sendo que a casa de força está situada no município de Canela. Contudo, os três reservatórios estão localizados no município de São Francisco de Paula, sendo Divisa o mais à montante, Blang o intermediário e Salto o mais à jusante. Esta usina utiliza o potencial hidráulico dos rios Santa Cruz e Santa Maria.

O Reservatório Divisa está situado no Arroio Divisa, tem 239 m de comprimento total, 2,29 km² de superfície e 18,07 km de perímetro. Sua profundidade média é 10 m e o tempo de residência da água no reservatório é de 25 dias (Plano de Uso e Ocupação do Solo no entorno do reservatório Divisa, 2011).

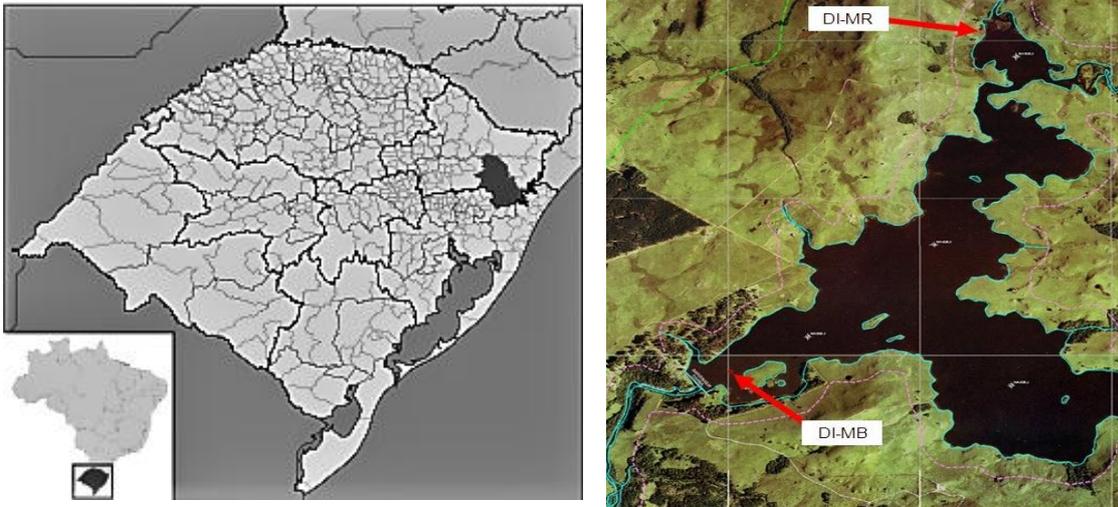


Figura1. Localização do município São Francisco de Paula e Reservatório Divisa. A sigla DI-MR indica a montante do reservatório e DI-MB indica a montante do barramento.

Análises Abióticas e Biológicas

Os dados utilizados neste estudo são provenientes do monitoramento de qualidade da água do Reservatório Divisa da CEEE GT, entre os anos de 2011 e 2016. Esse monitoramento é realizado desde 2011 com campanhas semestrais, sempre no inverno e no verão, sendo 1 campanha de verão e 2 de inverno. As coletas foram realizadas na superfície da coluna d'água, à montante do barramento (Fig. 1).

Em campo, com auxílio de sonda multiparâmetros, foram medidas as seguintes variáveis: temperatura, pH, condutividade e oxigênio dissolvido. A transparência da água foi medida com Disco de Secchi. Amostras de água da superfície da coluna d'água foram coletadas para análise dos seguintes parâmetros físico e químicos: alcalinidade total (Standard Methods 2320 B), condutividade (Standard Methods. 2510 B), Demanda Bioquímica de Oxigênio 5dias (Standard Methods - 5210 B), Demanda Química de Oxigênio (Standard Methods 5220 B), fosfatos (PO-091 revisão 7), fósforo total (PO-091 revisão 7), coliformes termotolerantes (Standard Methods 9221 E), nitratos (NBR 12620 Setembro/1992), nitritos (Standard Methods 4500 NO2 B), nitrogênio amoniacal (Standard Methods 4500 NH3-C), nitrogênio total Kjeldahl (Standard Methods 4500 NORG), oxigênio dissolvido (Standard Methods 4500 O2 C) e turbidez (Standard Methods 2130 B). Os dados climáticos (temperatura do ar e precipitação) foram

obtidos da estação meteorológica do INMET mais próxima do reservatório, a de Canela-RS.

Amostras de água da superfície do reservatório foram coletadas com frascos de polietileno para a análise da comunidade fitoplanctônica, e fixadas com formol. Os dados biológicos analisados foram: densidade do fitoplâncton (indivíduos.ml⁻¹). A análise qualitativa foi realizada em microscópio óptico e a análise quantitativa foi realizada utilizando-se câmara de Sedwick-Rafter, em microscópio óptico (Apha, 2012). As espécies foram agrupadas em classes do fitoplâncton (Hoek et. al., 1998). A partir dos dados gerados, foram estimadas a riqueza de espécies (nº de táxons), a diversidade de Shannon (Shannon & Weaver, 1963) e equitabilidade (Lloyd & Ghelardi, 1964).

Análise dos Dados

Análises estatísticas descritivas foram realizadas para explorar a variação dos dados ambientais.

Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis ambientais e a abundância de *Ceratium furcoides*, foram realizados os testes de correlações de Pearson (intervalo de confiança de 95%, $\alpha = 0.05$) e regressões simples e múltiplas.

Para avaliar a influência sobre a abundância de *Ceratium furcoides* na densidade do fitoplâncton, riqueza de espécies, diversidade e equitabilidade, foram realizadas regressões simples e teste t (intervalo de confiança de 95%, $\alpha = 0.05$, ajuste de Bonferroni) para verificar a significância da diferença destes atributos entre os períodos de ocorrência e não ocorrência de *C. furcoides*. Para esta última análise, os dados foram transformados por $\log(x+1)$.

O programa utilizado para a execução destas análises foi o e MINITAB version 10.1 (State College) e Systat versão 12.0.

Resultados

Durante o período de estudo, grande variação foi registrada nos valores de precipitação média no mês da coleta (Fig. 2). Os períodos mais chuvosos ocorreram em 2012/1 (252 mm) e 2015/2 (272 mm), enquanto os menores valores de precipitação foram verificados em 2015/1 (80 mm) e 2016/2 (36 mm) (Fig. 2). Os maiores valores de temperatura média do ar nos meses de coleta foram observados nos verões, variando

entre 17 e 22 C°. Nas campanhas de inverno, os valores de temperatura apresentaram uma variação de 10 a 17 C° (Fig. 2, Tab. 1).

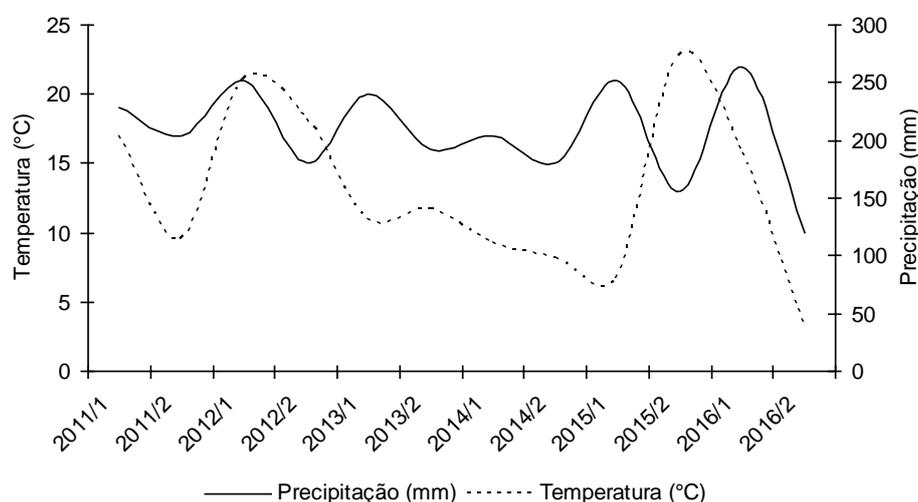


Figura 2. Variação da temperatura média do ar (°C) e precipitação total (mm), de 2011 a 2016, na região do Reservatório Divisa.

Dentre as variáveis analisadas, coliformes termotolerantes, condutividade, DBO, turbidez e transparência apresentaram as maiores amplitudes de variação também demonstraram uma grande variação nos valores (Tab. 1). Os valores de pH indicaram que o Reservatório Divisa oscilou entre ácido (valor mínimo de pH 5,3) a levemente alcalino (valor máximo de pH 8,1). Os maiores valores de nitrogênio total foram registrados em setembro de 2012, abril de 2014 e fevereiro de 2016.

Tabela 1. Valores mínimos (mín), máximos (máx), média (méd) e desvio padrão (dp) das variáveis no Reservatório Divisa, entre 2011 a 2016 (n=12).

Variáveis	mín	máx	méd	dp
Alalinidade (mg CaCO ₃ /L ⁻¹)	4	15	9,275	3,167
Condutividade (µS/cm)	13,78	89	28,12	19,84
DBO (mg O ₂ /L ⁻¹)	2	21	5,66	5,26
Fosfatos (mg PO ₄ ⁻³ /L ⁻¹)	0,01	1,13	0,249	0,3408
Fosforo total (mg P/L ⁻¹)	0,01	0,37	0,098	0,1019
Coliformes Termotolerantes (N.M.P./100mL)	1	787	115,7	238,9
Nitratos (mg N/L ⁻¹)	0,1	0,61	0,328	0,1505
Nitritos (mg N/L ⁻¹)	0,01	0,022	0,016	0,0053
Nitrogênio amoniacal (mg N/L ⁻¹)	0,1	0,22	0,143	0,0425
Nitrogênio total Kejeldahl (mg N/L ⁻¹)	0,08	2,28	0,643	0,713

OD (mg O ₂ /L ⁻¹)	3,2	9,02	6,678	1,675
pH	5,3	8,12	6,886	0,78
Transparência Secchi (cm)	50	160	94,17	33,66
Turbidez (N.T.U.)	1	32,68	7,67	8,68

Os maiores valores de densidade total da comunidade fitoplanctônica foram observados em 2013/1 (7362 ind.mL⁻¹), 2012/2 (6206 ind.mL⁻¹) e 2016/1 (4595 ind.mL⁻¹) (Fig. 3). A primeira ocorrência de *Ceratium furcoides* no Reservatório Divisa ocorreu em 2013/2 (134 ind.mL⁻¹). Desde então, o registro de sua ocorrência se deu em todas as demais campanhas amostrais, com exceção de 2015/1. As maiores densidades de *C. furcoides* foram observadas em 2016/1 (915 ind.mL⁻¹) e 2014/1 (561 ind.mL⁻¹), coincidindo com o aumento na densidade total do fitoplâncton (Fig. 3). Não foi observada diferença significativa entre os valores de densidade nos períodos com e sem a ocorrência de *C. furcoides* (t=1,7, gl=10, p=0,14).

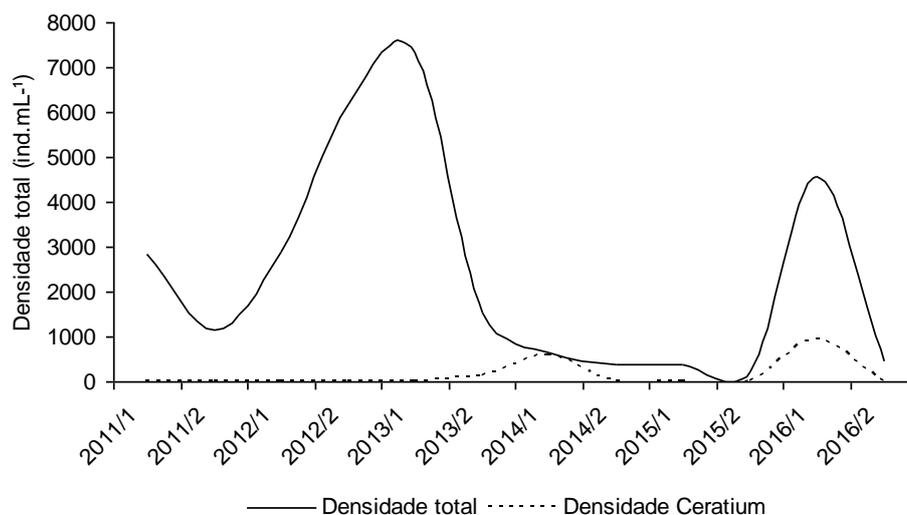


Figura 3. Densidade total (ind.mL⁻¹) e densidade de *Ceratium furcoides* (ind.mL⁻¹), de 2011 a 2016, no Reservatório Divisa.

Dez classes fitoplanctônicas foram registradas ao longo dos anos estudados no Reservatório Divisa (Fig. 4). No geral, as maiores densidades relativas foram das classes Bacillariophyceae e Chlorophyceae. Nos meses de ocorrência de *C. furcoides*, a contribuição relativa de Dinophyceae não foi significativa para o aumento da densidade total, sendo que foram registradas outras classes com maiores densidades relativas. Porém, na campanha de 2014/1, a contribuição de Dinophyceae para a densidade total

do fitoplâncton foi de 87,7%, especialmente devido ao aumento significativo da densidade de *C. furcoides* (Fig. 4). A co-ocorrência de espécies da classe Cyanophyceae e *C. furcoides* foi apenas registrada em 2015/2, porém em baixa densidade (1 ind.mL⁻¹).

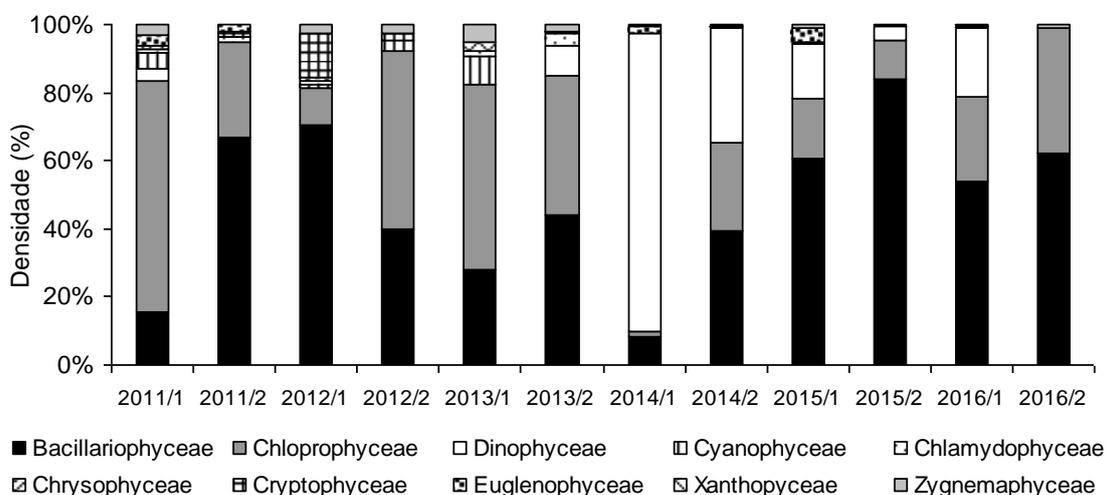


Figura 4. Densidade das classes fitoplanctônicas, de 2011 a 2016, no Reservatório Divisa.

Os valores de diversidade e riqueza (Figs. 5A e 5B) variaram muito ao decorrer das coletas e não diferiram significativamente entre os períodos com e sem a ocorrência de *C. furcoides* ($t = 1,7$, $gl=10$, $p= 0,10$ e $t=0,35$, $gl=10$, $p=0,73$, respectivamente). O mesmo foi verificado para a equitatividade ($t=1,6$, $gl=10$, $p=0,12$), embora os menores valores tenham sido registrados durante as campanhas de 2014/1 ($J=0,22$) e 2016/1 ($J=0,43$), quando foram registradas as maiores densidades desta espécie (Fig.5C).

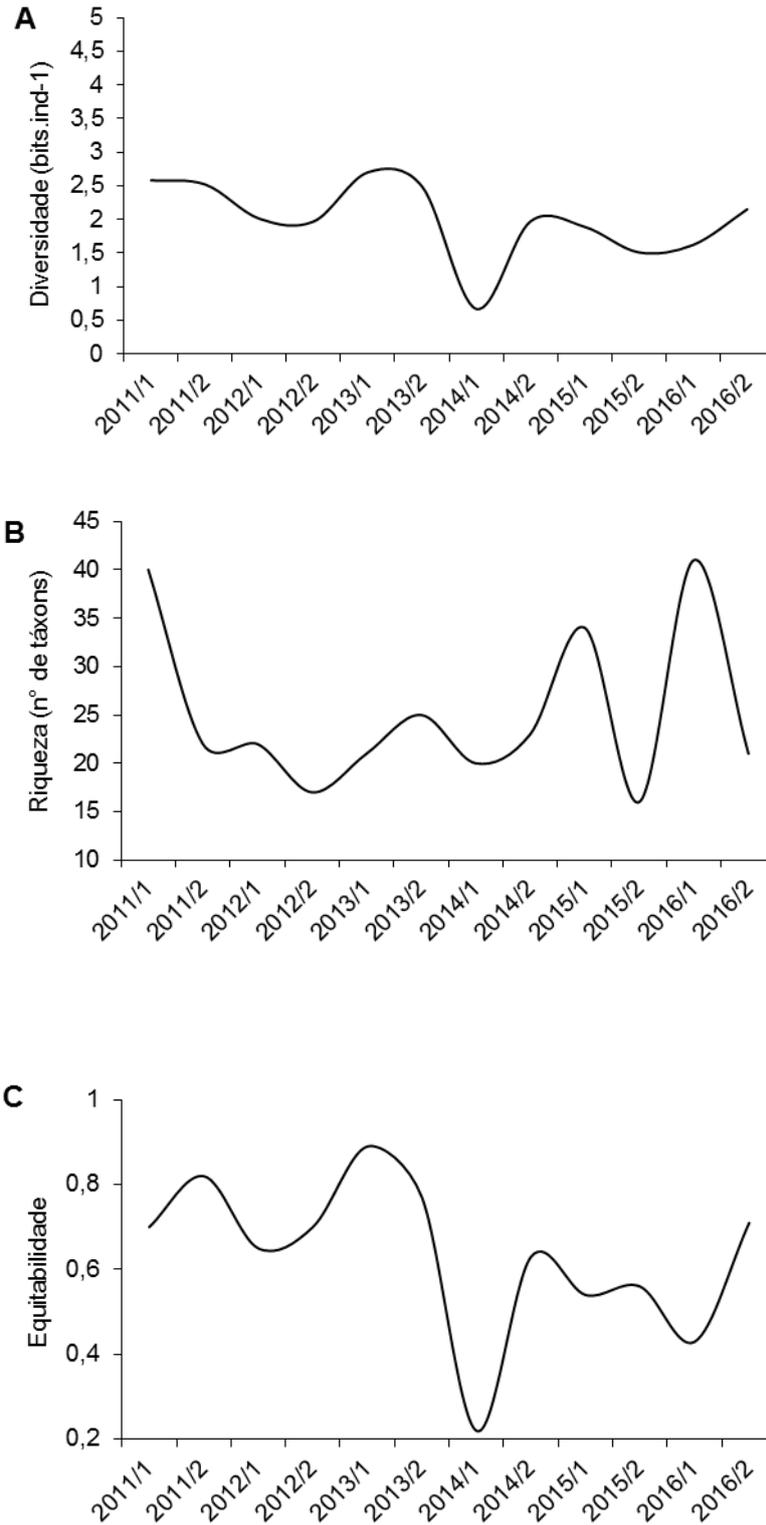


Figura 5. Diversidade (bits.ind⁻¹), riqueza de espécies (nº de táxons) e equitabilidade da comunidade fitoplactônica de 2011 a 2016, no Reservatório Divisa.

A partir da análise de correlação entre a abundância de *C. furcoides* e as variáveis ambientais, observou-se que o nitrogênio total foi a única variável que apresentou correlação significativa ($r=0,796$, $p=0,002$) (Tab. 2).

Tabela 2. Correlações de Pearson (r) e entre variáveis e abundância de *Ceratium furcoide*, no Reservatório Divisa, entre 2011 a 2016 (n=12).

	<i>Ceratium</i>	
	r	p
Temperatura do ar	0,353	0,261
Precipitação	0,033	0,919
Alcalinidade	0,096	0,767
Condutividade	-0,107	0,740
DBO	-0,166	0,607
Fosfatos	0,046	0,888
Fósforo total	0,006	0,985
Coliformes Termotolerantes	-0,103	0,750
Nitratos	0,075	0,817
Nitritos	0,472	0,121
Amônio	0,140	0,664
Nitrogênio total	0,796	0,002
Oxigênio dissolvido	0,251	0,431
pH	0,287	0,365
Transparência	0,256	0,422
Turbidez	0,550	0,064
Densidade total	0,113	0,727
Diversidade	-0,570	0,053
Riqueza de espécies	0,420	0,174
Equitabilidade	-0,688	0,013
Temperatura do ar	0,353	0,261
Precipitação	0,033	0,919

Análise de regressão simples evidenciou que nitrogênio total influenciou significativamente o aumento na abundância de *C. furcoides*, explicando 64% da variação desta espécie ($Ceratium furcoides = -75,7 + (328,4 \times NT)$, $R^2 = 0,64$, $F_{1,10} = 17,3$, $p = 0,002$) (Fig. 6A). Embora a transparência e fósforo total não tenham sido significativamente correlacionados à abundância desta espécie, a regressão múltipla incluindo nitrogênio total e transparência explicou 72% da variação de *C. furcoides* no Reservatório Divisa ($Ceratium furcoides = -333,8 + (336,4 \times NT) + (2,7 \times \text{transparência})$, $R^2 = 0,72$, $F_{1,10} = 12,06$, $p = 0,003$) (Fig. 6B), e, adicionando fósforo total, 75% ($Ceratium furcoides = -366,1 + (350,4 \times NT) + (2,4 \times \text{transparência}) + (441,6 \times \text{PT})$, $R^2 = 0,75$, $F_{1,10} = 8,0$, $p = 0,009$).

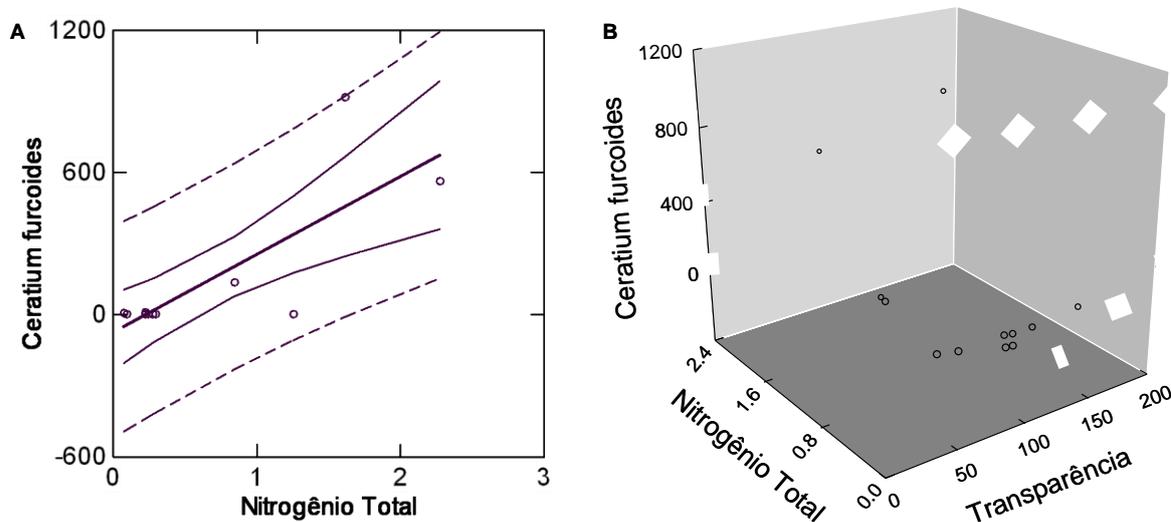


Figura 6. Regressão linear entre (A) densidade de *Ceratium furcoides* (ind.mL⁻¹) (variável dependente) e nitrogênio total (mg.L⁻¹) (variável explanatória), (B) densidade de *Ceratium furcoides* (ind.mL⁻¹) (variável dependente), e nitrogênio total (mg.L⁻¹) e transparência (cm) (variáveis explanatórias). Legendas: linha pontilhada = limites superior e inferior de predição; linha grossa = linha de tendência da regressão; linha contínua = limites superior e inferior de confiança.

Discussão

Os resultados do presente estudo evidenciaram que o desenvolvimento de *Ceratium furcoides* no Reservatório Divisa foi significativamente influenciado pelas maiores concentrações de nitrogênio total e a interação desta variável às maiores concentrações de fósforo total e aumento da transparência. Ainda, evidenciou-se que o desenvolvimento de *C. furcoides* não influenciou na estruturação da comunidade fitoplanctônica, embora a dominância desta espécie em 2014/1 tenha justificado os baixos valores de riqueza de espécies, diversidade e equitabilidade observados.

A invasão e estabelecimento do *Ceratium* em outros lugares do mundo pode estar ligado as mudanças nos regimes hidrológicos e a construção de muitos reservatórios na América do Sul (Meichtry de Zaburlín et al., 2016) e também as características ecofisiológicas e estratégias reprodutivas que permitem seu desenvolvimento e sobrevivência em condições não favoráveis às outras algas (Pollinger, 1988). *Ceratium* também é capaz de formar florações porque estes organismos

são dotados de relativa mobilidade, resistindo à sedimentação, o que facilita a ocupação de camadas superficiais e a otimização de recursos como luz e nutrientes (Mac Donagh et al., 2005). Tanto *Ceratium furcoides* quanto *Ceratium hirundinella* toleram grandes variações ambientais, mas preferem condições com alta densidade de nutrientes disponíveis, temperatura entre 15-25 C°, estratificação termal da coluna d'água e pH maior que 8 (Heaney & Talling, 1980; Lindström, 1992).

A temperatura não foi um fator determinante para a presença do *Ceratium*, visto que foi registrada presença tanto nas campanhas de verão quanto nas de inverno, mas as duas maiores densidades registradas foram durante campanhas de verão (variação de temperatura de 17 a 22 C°), período de temperaturas mais elevadas na região do Reservatório da Divisa, evidenciando que o *C. furcoides* tem picos de proliferação em períodos mais quentes. No presente estudo, foi registrada presença do *Ceratium* em temperaturas médias de 10C°, mas em baixa densidade. Cavalcante et. al. (2016) também evidenciaram este mesmo padrão em dois reservatórios subtropicais no Sul do Brasil, ou seja, a presença da espécie *C. furcoides* entre as temperaturas de 15-25C°. Contudo, alguns estudos já demonstraram a resistência destes organismos a baixas temperaturas, como foi o caso de Silva et. al. (2012), que em um reservatório tropical, registraram altas densidades no mês de inverno, com temperaturas entre 18 e 1C°.

Além da ampla tolerância à variação de temperatura, estudos têm demonstrado que a estabilidade da coluna d'água parece ser um importante fator para o desenvolvimento de *Ceratium furcoides* (Cassol, 2014), sendo este fator tido como importante para o tamanho das populações de espécies deste gênero (Heaney & Butterwick, 1985). Embora a estabilidade térmica não seja mensurada no programa de monitoramento do Reservatório Divisa, estudo em reservatório relativamente próximo (Reservatório do Faxinal, localizado em Caxias do Sul), demonstrou que o verão é caracterizado por estratificações da coluna d'água (Becker et al., 2009).

No presente estudo, a precipitação também não apresentou correlação com a presença *Ceratium*. A maior densidade de *Ceratium* registrada foi em fevereiro de 2016 quando a precipitação média mensal foi de 190 mm, Cavalcante et. al. (2016) mostraram um comportamento parecido em um dos reservatórios subtropicais que estudaram, associando o pico de *Ceratium* com precipitação de 197.3 mm. Porém, para o reservatório Divisa, os de maiores valores de precipitação (272 mm em julho de 2015) registrados parecem não ter influenciado o desenvolvimento de *C. furcoides*, pois

apenas 8 ind.mL⁻¹ foram registrados. Isso indica que, possivelmente, a interação de outros fatores ambientais pode ser determinante no recrutamento desta espécie.

O fator abiótico mais correlacionado com a presença de *C. furcoides* foi nitrogênio total, que foi observado em elevada quantidade nos períodos de maior densidade do *Ceratium*. A interação de nitrogênio total e transparência também foram importantes para o desenvolvimento da espécie, assim como a interação destas duas variáveis às concentrações de fósforo total. Cavalcante et al. (2016) também encontraram nitrogênio associado com alta densidade da espécie mesmo com o pH ácido. Altas densidades de *Ceratium* estiveram relacionadas com alta concentração de fósforo para Matsumura-Tundisi (2010), em um reservatório tropical. Em um reservatório na Colômbia, Gil et. al. (2012) registraram que, mesmo com pouca penetração de luz e alcalinidade baixa, porém com alta concentração de amônia e estabilidade da coluna térmica, ocorreu altas densidades de *Ceratium*. Assim, os resultados do presente trabalho corroboram parte dos resultados de estudos anteriores sobre estes organismos, indicando que a disponibilidade de nutrientes e disponibilidade de luz foram fatores limitantes para a presença da espécie no Reservatório Divisa.

Os menores valores na diversidade, riqueza e equitatividade foram registrados diante da alta densidade de *C. furcoides*, mostrando assim que a estrutura fitoplânctonica tendeu a ser mais equitativa na ausência desta espécie. Hart & Wragg (2009) registraram a dominância de *Ceratium hirundinella* sobre assembleia fitoplânctonica em um reservatório subtropical na África do Sul, demonstrando o sucesso competitivo da espécie. Entre as habilidades de *Ceratium* está a capacidade de migrar em busca de camadas mais enriquecidas e a capacidade de otimizar o aproveitamento da luz e reduzir sua palatabilidade pela presença de cornos, promovendo maior resistência à herbivoria (Ginkel et al., 2001). No presente estudo, nos períodos de elevada densidade de *C. furcoides* foi registrada coexistência de outras classes do fitoplâncton, padrão este já registrado na literatura (Ginkel et al., 2001; Cassol, 2014). Contudo, a interação de espécies deste gênero com cianobactérias, amplamente conhecida para ecossistemas aquáticos temperados, não foi evidenciada no Reservatório Divisa. Situação semelhante já foi descrita para reservatórios tropicais (Wu & Chou, 1998; Nishimura et. al., 2015).

Embora as florações de *Ceratium* não apresentem toxicidade, o florescimento destas espécies pode ser problemático para o tratamento de água devido ao consumo de oxigênio dissolvido após a decomposição, comprometendo a qualidade da água e

umentando os custos do tratamento (Matsumura-Tundisi, 2010). Importante ressaltar que as águas do reservatório Divisa são, também, utilizadas para consumo humano e a alteração do odor e sabor da água, assim como o entupimento de filtros durante o processo de purificação da água, já foram atribuídos à ocorrência de *Ceratium* (Ewerts et. al., 2013). Além disso, é uma espécie de tamanho grande e seu desenvolvimento pode levar à redução da transparência da água (Lindström, 1992), comprometendo o funcionamento de todo o ecossistema aquático.

Em suma, as maiores concentrações de nitrogênio total influenciaram significativamente o desenvolvimento de *Ceratium furcoides* no Reservatório Divisa. Transparência da água e as concentrações de fósforo total, juntamente com nitrogênio total, também foram importantes para o recrutamento desta espécie. Ao contrário do que era esperado, não observou-se alterações significativas na estrutura da comunidade fitoplanctônica, mesmo sendo observados indícios de redução de diversidade e equitabilidade diante de altas abundâncias de *C. furcoides*. Pelo fato de ter sido registrada duas florações do dinoflagelado no reservatório Divisa, deve-se continuar o acompanhamento do desenvolvimento da população da espécie no reservatório a fim de compreender melhor suas demandas ecológicas e o grau de comprometimento que pode vir a gerar nos usos deste ecossistema. Percebe-se, pelos dados da literatura, que o dinoflagelado invasor não tem apresentado um comportamento único e específico e tem cada vez mais se adaptado a diversas variações ambientais, desde que haja disponibilidade de matéria orgânica no ambiente.

Agradecimentos

À CEE-GT pela autorização para a utilização dos dados de qualidade da água.

Referências

Apha, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 22th Edition, 2012.

Baldwin, D.S.; Whittington, J.; Oliver, R. Temporal variability of dissolved P speciation in a eutrophic reservoir: implications for predicating algal growth. *Water Research*, vol. 37, no. 19, p. 4595-4598, 2003.

Becker, V.; Huszar, V.L.M.; Crossetti, L.O. Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir. *Hydrobiologia* 628, 137-151, 2009.

Boltovskoy, A.; Echenique R.O.; Guerrero J.M. Sucesivas invasiones de especies de *Ceratium* (Dinophyceae) en Sudamérica: un proceso que lleva dos décadas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 48: 27, 2013.

Bustamante-Gil, C.; Restrepo, J.J.R.; Boltovskoy, A.; Vallejo, A. Spatial and temporal change characterization of *Ceratium furcoides* (Dinophyta) in the equatorial reservoir Riogrande II, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 24, no. 2, p. 207-219, 2012.

Calado, A.J.; Larsen, J. On the identity of the type species of the genus *Ceratium* Schrank (Dinophyceae), with notes on *C. hirundinella*. *Phycologia* 36: 500–505, 1997.

Carty, S. Dinoflagellates. In Wehrand, J.D.; Sheath, R.G. (Eds.). *Freshwater Algae of North America*. San Diego: Elsevier Science. p. 685-714, 2003.

Cavalcante, K.P.; Cardoso L.S.; Sussella R.; Becker V. Towards a comprehension of *Ceratium* (Dinophyceae) invasion in Brazilian freshwaters: autecology of *C. furcoides* in subtropical reservoirs. *Hydrobiologia* 771:265–280, 2016.

Cavalcante, K.P.; Zanotelli, J.C.; Müller C.C.; Scherer K.D.; Frizzo J.C.; Ludwig T.A.V.; Cardoso L.S. First record of expansive *Ceratium* Schrank, 1793 species (Dinophyceae) in southern Brazil, with notes on their dispersive patterns in Brazilian environments. *Check List* 9:862–866, 2013.

Calvacante, K. Dinoflagelados epicontinentais no sul do Brasil: estudos taxonômicos e ecológicos. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Programa de Pós-Graduação em Botânica). P. 204. 2016.

Cassol, A.P.V. Impacto da espécie invasora *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 em duas represas do alto Jacuí, RS. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria (Programa de pós-graduação em Agrobiologia). P. 16-18, 2014.

CEEE - Companhia estadual de geração e transmissão de energia elétrica. Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório Divisa da UHE Bugres. Março de 2011.

Cybis, L.F.; Bendati, M.M.; Maizonave, C.R.M.; Werner, V.R.; Domingues, C.D. Manual para o estudo de cianobactérias planctônicas em mananciais de abastecimento público: caso da represa da Lomba do Sabão e Lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. ABES, Programa de Pesquisa em Saneamento – PROSAB p. 4- 64, 2006.

Ewerts, H. ; Swanepoel A. ; du Preez H.H. Efficacy of conventional drinking water treatment processes in removing problem-causing phytoplankton and associated organic compounds. *Water SA* 39: 739–750, 2013.

Ferrezeze, M.; Nogueira, M.G. Phytoplankton assemblages and limnological characteristics in lotic systems of the Paranapanema Basin (Southeast Brazil). *Acta Limnol. Bras.*, v.18, n.4. p.389-405, 2006.

Gil, C.B.; Restrepo, J.J.R.; Boltovskoy, A.; Vallejo, A. Spatial and temporal change characterization of *Ceratium furcoides* (Dinophyta) in the equatorial reservoir Riogrande II, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia*. v.24. n. 2. p.207-219, 2012.

Ginkel, C.E.V.; Hohls, B.C.; Vermaak, E. A *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) bloom in Hartbeespoort Dam, South Africa. *Water SA*. v. 27, n. 2, 2001.

Hart, R.C.; Wragg, P.D. Recent blooms of the dinoflagellate *Ceratium* in Albert Falls Dam (KZN): History, causes, spatial features and impacts on a reservoir ecosystem and its zooplankton. *Water SA* Vol. 35 No. 2009.

Heaney, S.I.; Butterwick, C. Comparative mechanisms of algal movement in relation to phytoplankton production. In *Migration: Mechanisms and adaptive significance* (ed. M. A. Rankin). *Contributions in Marine Science Supplement*, 27, 114-134, 1985.

Heaney, S.I.; Talling, J.F. Dynamic aspects of dinoflagellate distribution patterns in a small productive lake. *Journal of Ecology* 68: 75–94, 1980.

Hoek, C.; Mann, D.G., Jahns, H.M. *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge: Cambridge University Press. 627 p, 1998.

Lindström, K. *Ceratium* in Lake Erken: vertical distribution, migration and form variation. *Nordic Journal of Botany* 12: 541–556, 1992.

Lloyd, M.; Ghelardi, R.J. A table for calculating the equitability component of species diversity. *Journal of Animal Ecology*, 33: 421-425, 1964.

Lund, J.W.G. The ecology of the freshwater phytoplankton. *Biological Reviews*, v. 40, p. 231-293, 1965.

Mac Donagh, M.E.; Casco, M.A.; Claps, M.C. Colonization of a neotropical reservoir (Córdoba, Argentina) by *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller). *Berghnales de limnologia (Ann. limnol.)*, vol. 41, no 4, p. 291-299, 2005.

Matsumura-Tundisi, T.; Tundisi, J.G.; Luzia, A.P.; Degani, R.M. Occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, vol. 70, no. 3, p. 825-829, 2010.

Meichtry de Zaburlin, N.; Boltovskoy, A.; Rojas, C.C.; Rodriguez, R.M. Primer registro del dinoflagelado invasor *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 em la Argentina y su distribución en el área de influencia Del Embalse Yacyretá (río Paraná, Argentina-Paraguay). *Limnetica* 33: 153–160, 2014.

Moreira, R.A.; Rocha, O.; Santos, R.M.; Laudares-Silva, R.; Dias, E.S.; Eskinazi-Sant'Anna, E. M. First record of *Ceratium furcoides* (Dinophyta), an invasive species, in a temporary high-altitude lake in the Iron Quadrangle (MG, Southeast Brazil). *Braz. J. Biol.* 75:98–103, 2015.

Nishimura, P.Y.; Pompêo, M.; Mochini, C.V. Invasive dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans in two linked tropical reservoirs. In Pompêo, M., Moschini, C. V., Nishimura, P. Y., Silva, S. C. & Lopez Doval, J. C. [Eds.] *Ecologia de reservatórios e interfaces*. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, pp. 132–42, 2015.

Oliveira, H.S.B.; Moura, A.N.; Cordeiro-Araújo, M.K. First record of *Ceratium* Schrank, 1973 (Dinophyceae: Ceratiaceae) in freshwater ecosystems in the semiarid region of Brazil. *Check List*, vol. 7, no. 5, p. 626-628, 2011.

Parra, O. Una aproximación sistémica para la evaluación de la biodiversidad algal en ambientes acuáticos continentales de Chile. *Sociedad Ficológica de América Latina y el Caribe. Sociedad Brasileña de Ficología*, 167–178, 1998.

Padisák, J. Population dynamics of the freshwater dinoflagellate *Ceratium hirundinella* in the largest shallow lake of Central Europe, Lake Balaton, Hungary. *Freshwater Biol.*, vol. 15, p. 43-52, 1985.

Padisák, J. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolozinska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptative cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Archiv für Hydrobiologie./ Supplement 107 (4)*: 563-593, 1997.

Pitcher, C.G.; Probyn, A.T. Anoxia in southern Benguela during the autumn of 2009 and its linkage to a bloom of the dinoflagellate *Ceratium balechii*. *Harmful Algae 11 (2011)* 23–32, 2011.

Pérez-Martínez, C.; Sánchez-Castillo, P. Temporal occurrence of *Ceratium hirundinella* in Spanish reservoirs. *Hydrobiologia*, vol. 452, no. 1/3, p. 101-107, 2001.

Pollinger, U. Freshwater armored dinoflagellates: growth, reproduction strategies, and population dynamics. In Sandgren, C.D. (ed.), *Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge University, Cambridge: 134–174, 1988.

Raven, P.H. *Biologia Vegetal*. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 2001.

Silva, L.C.; Leone, I.C.; Santos-Wisniewski, M. J.; Peret, A.C.; Rocha, O. Invasion of the dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 at tropical reservoir and its relation to environmental variables. *Biota Neotropical 12(2)*, 2012.

Taylor, F.; Fukuyo, Y.; and Larson, J. Taxonomy of harmful dinoflagellates. In Hallengreff, GM., Andersen, DM. and Cembella, AD. Unesco. France. (ed). *Manual of harmful marine microalgae*, p. 283-309, 1995

Tundisi J.G.; Matsumura-Tundisi T. *Limnologia*. Oficina de textos, São Paulo, 631p. 2008.

Zaburlín, N.M.; Vogler, R.E.; Molina, M.J.; Llano, V.M. Potential distribution of the invasive freshwater dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (Dinophyta) in South America. *Journal of Phycology 52(2)*:200-208. 2016

Whittington, J., et al. Growth of *Ceratium hirundinella* in a subtropical Australian reservoir: the role of vertical migration. *Journal of Plankton Research*. v. 22, n. 6, p. 1025-1045. 2000.

Wu, J.T.; Chou, J.W. Dinoflagellate associations in Feitsui Reservoir, Taiwan Bot. *Bull. Acad. Sin.*, vol. 39, p. 137-145. 1998.