



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA – PPGB



ALAN DELON SOARES DE AZEVEDO

**ESTRUTURA TAXONÔMICA E FUNCIONAL DA COMUNIDADE
FITOPLANCTÔNICA EM PEQUENOS RESERVATÓRIOS COM DIFERENTES
CENÁRIOS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS**

Recife, 2017

ALAN DELON SOARES DE AZEVEDO

ESTRUTURA TAXONÔMICA E FUNCIONAL DA COMUNIDADE
FITOPLANCTÔNICA EM PEQUENOS RESERVATÓRIOS COM DIFERENTES
CENÁRIOS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica (PPGB), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelo mestrando **Alan Delon Soares de Azevedo**, como parte dos requisitos para obtenção título de mestre em botânica.

ORIENTADORA

Ariadne do Nascimento Moura

COORIENTADORES

Ênio Wocyli Dantas

Nísia Karine Cavalcanti Aragão Tavares

Recife, 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

A994e Azevedo, Alan Delon Soares de
Estrutura taxonômica e funcional da comunidade
fitoplancônica em pequenos reservatórios com diferentes cenários
de macrófitas aquáticas / Alan Delon Soares de Azevedo. – 2017.
54 p.: il.

Orientadora: Ariadne do Nascimento Moura.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Recife,
BR-PE, 2017.
Inclui referências, anexo(s) e apêndice(s).

1. Classificação funcional 2. Interação biológica 3. Fitoplâncton
4. Macrófitas aquáticas I. Moura, Ariadne do Nascimento, orient.

II. Título

CDD 581

ALAN DELON SOARES DE AZEVEDO

ESTRUTURA TAXONÔMICA E FUNCIONAL DA COMUNIDADE
FITOPLANCTÔNICA EM PEQUENOS RESERVATÓRIOS COM DIFERENTES
CENÁRIOS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica (PPGB), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelo mestrando **Alan Delon Soares de Azevedo**, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em botânica.

2017

Ariadne do Nascimento Moura - UFRPE (Orientador)

Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha - UFPE

Elcida de Lima Araújo - UFRPE

José Etham de Lucena Barbosa - UEPB

Giulliani Alan da Silva Tavares de Lira - SAAE - Palmares (Suplente)

Dedicatória

À memória de Joel Ribeiro Pereira Junior, minha referência de bom homem

Agradecimentos

Fora Temer. Gostaria de mostrar aqui o quanto sou grato à cada uma das boas pessoas que tiveram seu caminho sobreposto ao meu e me deram a linda oportunidade de compartilhar ideias, emoções, histórias e conhecimento nesses dois rápidos anos de mestrado. Minha memória é falha, logo, se você esteve comigo em algum momento desses dois anos, saiba que foste muito importante para construção deste ser humano que aqui escreve.

Agradeço imensamente aos que contribuíram diretamente para a construção deste trabalho, principalmente à família de orientação, aos componentes da banca examinadora e às instituições de fomento (CNPq) e apoio (UEPB). Ao meu orientador que, me aguentando desde a graduação, deu o melhor de si, novamente. Aceitou orientar este complicado fã seu e o faz com muito preciosismo, apesar de mal ter tempo para isso. Ênio é um ser que me confunde. Mais parece um robô, por tanto saber/fazer/pensar/articular/absorver/ensinar. Porém, é impossível ser uma máquina tendo um coração gigante como o seu. Das melhores pessoas que já vi, é um orientador pai.

Tive também, duas orientadoras da melhor e inarrável qualidade. Ariadne, orientadora/avó/mãe colocou seu nome em risco ao aceitar minha orientação oficial. Tivemos bons momentos juntos entre caronas e aulas práticas. Agradeço enormemente a ela e espero ter suprido um mínimo de suas expectativas. E Nísia mãezona, deu ótimas contribuições ao trabalho e o ótimo exemplo de como ser uma orientadora amorosa e prestativa. Quantas vezes pedi sua ajuda e recebi toda sua solicitude.

Aos membros da banca examinadora que contribuíram de forma impar para a confecção final do trabalho e aos avaliadores Enide e Reginaldo, todos foram de suma importância no resultado final do nosso texto. Sou grato também, aos colegas de laboratório que ajudaram tanto nas coletas em campo quanto nas análises. Especialmente Allisson, Irma, Ju, Mil, Nat e Thai. Devo muito também a Davi Freire que além de ajudar nesses pontos, ainda me ajudou com o texto e com meu amadurecimento como ser humano.

Sou grato a todos grandes professores do PPGGB por terem contribuído na minha formação e aos funcionários dos serviços gerais de toda universidade por manterem a ordem. Impossível não citar a maravilhosa secretária Keninha a quem agradeço simplesmente por existir. E, também, aos meus colegas de curso, especialmente Julinha e Rê que estiveram sempre compartilhando ótimos momentos e questões de formatação do trabalho. A convivência com eles me enriqueceu muito. Hoje, odeio muito mais as mentiras.

Agradeço aos meus genitores por todos bons exemplos de como se portar diante da vida e por todo cuidado nesses dois anos. Papai, mesmo remoto, esteve preocupado com seu filho e sempre disposto a ajudar. Mamãe, cuidadora extrema que é, me cuidou e apoiou todos os dias. Se me esforço um pouco cada dia, é com o objetivo primeiro de tornar todo cuidado recíproco. A todo resto da família de sangue agradeço por todo companheirismo, especialmente à Viviane.

Desde a seleção para o mestrado, tive uma grandíssima amiga que foi essencial em todo o processo. Anninha participou desde o planejamento dos estudos à confecção dos frascos para a coleta. Este quase mestre deve muito a essa pessoa linda e dedicada.

Passei um tempo em Recife e nem consigo mensurar o quanto isso foi significativo para mim. O acaso me mostrou muita gente boa nessa cidade. No pensionato que fiquei por alguns meses, conheci Luiz César que compartilhou comigo uma serenidade incrível e bons momentos de conversa e festa. No campus I da UFRPE recebi o maior presente que Recife podia me dar: Lucas! Tao despretensiosamente começamos uma amizade e tao intensamente permanecemos na vida um do outro. Sou grato por todo apoio, cuidado e compartilhamento de ideias, meu irmão. Através de Lucas conheci um bucado de gente linda. Agradeço a todos e a cada um deles: Ezequiel que sempre me proporciona uma boa conversa, Jonnas com quem basta um olhar para nos entendermos, Ramon que me fez ver tanta coisa em mim mesmo, à Bárbara agradeço por cada minuto de aprendizado e amor, Mari minha cunhada agradeço por todo apoio logístico e troca de experiências. Agradeço ainda com muito esmero a Túlio, Spicolys, Victor, Milena, Paloma, Rayza, Thais, Will, Diana, Camila, Nilo e às minhas amigas lindas Maysa e Niully que me mostraram uma amizade intensa e cheia de aprendizado. Na Paraíba tive os amigos de sempre ao meu lado: Gerson, Mazé, Kinho, Alexs, Lúcifer, César, Nathália, Isadora, meus afilhados Negão e Day, entre tantos outros.

Aos amigos dos laboratórios pelos quais transitei como Adriano do laboratório de ecologia aquática – Campus I, UEPB; Davi Gomes, Amanda, Tati, Túlio, Bruno, Adriana, Dauline e Andreza do Laboratório de botânica – Campus V, UEPB; às ótimas pessoas de todos os laboratórios do campus V da UEPB; e meus queridos amigos do Laboratório de Ficologia: Danilo, Anamaria, Camila, Juliana e Cihelio. Agradeço também aos maravilhosos irmãos Hermes e Fábio.

Tenho meus méritos, mas agradeço também, ao cenário político brasileiro da última década que me ajudou a chegar até aqui e poder ver o sorriso orgulhoso no rosto de uma doméstica e de um porteiro por terem um filho que acabou de passar para o doutorado. Essa foi das cenas mais gratificantes da minha vida.

Sumário

Lista de Abreviaturas.....	ix
Resumo	x
Abstract	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Classificações funcionais	14
2.1.1 <i>Classificação ecofisiológica</i>	<i>15</i>
2.1.2 <i>Classificação morfológica</i>	<i>16</i>
2.2 Amostragem espacial detalhada	17
2.3 Interação fitoplâncton - macrófitas aquáticas	18
3. REFERÊNCIAS	19
4. CAPÍTULO I - Manuscrito a ser submetido à revista Functional ecology.	26
4.1 Introdução	27
4.2 Material e métodos	29
4.2.1 <i>Local do estudo</i>	<i>29</i>
4.2.2 <i>Coleta e análise de amostras</i>	<i>30</i>
4.2.3 <i>Análises dos dados</i>	<i>31</i>
4.3 Resultados	32
4.4 Discussão	39
4.5 Agradecimentos	41
4.6 Considerações finais	41
4.7 Referências bibliográficas	43
5. ANEXO.....	47
6. APÊNDICES	50

Lista de Abreviaturas

FG.....Functional Groups (Grupo Funcional). Se refere à unidade básica da classificação de Reynolds *et al.* (2002).

MBFG.....Morphologic Based Functional Groups (Grupos morfológicos). Se refere à unidade básica da classificação de Kruk *et al.* (2010).

Bsh.....Região com clima semiárido *sensu* Alvares *et al.* (2013)

As.....Região com clima tropical com verão seco *sensu* Alvares *et al.* (2013)

CCA.....Canonical Correspondence Analysis
(Análise de Correspondência Canônica)

ANOVA.....Análise de Variância

Azevedo, Alan Delon Soares de; Universidade Federal Rural de Pernambuco; Estrutura taxonômica e funcional da comunidade fitoplanctônica em pequenos reservatórios com diferentes cenários de macrófitas aquáticas; Orientador: Ariadne do Nascimento Moura; Coorientadores: Ênio Wocyli Dantas e Nísia Karine Aragão Tavares

Resumo

Classificações funcionais para o fitoplâncton utilizam características fisio, morfo e/ou fenológica para agrupar indivíduos. Tais abordagens são importantes no sentido de excluir o viés da redundância ecológica no entendimento das relações desta comunidade com as condições abióticas e outras comunidades. No presente trabalho testou-se as hipóteses: a cobertura de macrófitas aquáticas interfere na biomassa e riqueza (taxonômica e funcional) da comunidade fitoplanctônica; a classificação dos grupos funcionais (FG) gera modelos das relações ecológicas do fitoplâncton com maior poder explicativo que a classificação morfológica (MBFG) e taxonômica. Para isto, 12 pequenos reservatórios localizados em regiões secas do estado da Paraíba, foram estudados nos dois períodos sazonais, chuvoso em setembro de 2015 e de estiagem em maio de 2016. A cobertura de macrófitas foi registrada utilizando o método de pontos. Variáveis abióticas foram mensuradas com auxílio de sonda multiparamétrica Horiba U – 50. Coletou-se amostras qualitativas (preservadas com formol 4 %) e quantitativas (preservadas com lugol acético) do fitoplâncton utilizando frascos âmbar de 100mL e rede de plâncton de 20µm de abertura de malha. As microalgas foram identificadas até o menor nível taxonômico possível e classificadas nos grupos funcionais (FG) e morfológicos (MBFG). Análises de variância (ANOVA) foram feitas para exploração dos dados abióticos. Para testar a primeira hipótese, correlações de Spearman foram realizadas. Análises de Correspondência Canônica (CCA) geraram modelos relacionando o fitoplâncton (estrutura taxonômica e funcional) às variáveis ambientais (abióticas e macrófitas). Os ambientes apresentaram desde de cenários de ausência de macrófitas (maior parte no período de estiagem) até alta cobertura de macrófitas (principalmente no período chuvoso). Foram identificados 242 táxons fitoplanctônicos incluídos em 22 FG e nos sete MBFG. A cobertura total de macrófitas não apresentou correlação ($p > 0,05$) com os atributos do fitoplâncton, no entanto, as plantas proporcionaram condições específicas que estiveram associadas à variação da comunidade fitoplanctônica. As CCA mostraram que a classificação morfológica (MBFG) gera modelos com maior poder explicativo, maior lógica na ordenação dos dados das unidades amostrais e foi a única a incluir a cobertura de macrófita como variável descritiva. Considerando tais resultados, indicamos o uso da classificação MBFG.

Palavras chave: Classificação funcional, interação biológica, fitoplâncton, plantas aquáticas.

Azevedo, Alan Delon Soares de; Universidade Federal Rural de Pernambuco; Estrutura taxonômica e funcional da comunidade fitoplanctônica em pequenos reservatórios com diferentes cenários de macrófitas aquáticas; Orientador: Ariadne do Nascimento Moura; Coorientadores: Ênio Wocylly Dantas e Nísia Karine Aragão Tavares

Abstract

Functional classifications for phytoplankton use physio, morpho and phenological characteristics to group individuals. Such approaches are important to exclude the ecological redundancy in understanding of the relationships between phytoplankton and abiotic conditions and other communities. Two hypotheses were tested: the coverage of aquatic macrophytes interfere in the biomass and richness (taxonomic and functional) of the phytoplankton community; the functional groups (FG) classification generates models of the ecological relations of phytoplankton with greater explanatory power than the morphological (MBFG) and taxonomic classifications. For this, 12 small reservoirs located in dry regions of the state of Paraíba, were studied in the two seasonal periods, rainy in September 2015 and dry in May 2016. A coverage of macrophytes was recorded using the points method. Abiotic variables were measured using a Horiba U - 50 multiparameter probe. Qualitative (preserved with 4% formalin) and quantitative (preserved with lugol acetic) samples of phytoplankton were collected using amber flasks of 100mL and plankton net of 20 μ m Mesh. The microalgae were identified to the lowest possible taxonomic level and classified into the functional (FG) and morphological (MBFG) groups. Analyzes of variance (ANOVA) were made to explore the abiotic data. To test the hypothesis, Spearman correlations were performed. Canonical Correspondence Analysis (CCA) generated models relating phytoplankton (taxonomic and functional structure) to environmental variables (abiotic and macrophytes). The environments presented from the scenarios of absence of macrophytes to the high coverage of macrophytes (mainly in the rainy season). We identified 242 phytoplankton taxa included in 22 FG and seven MBFG. The total coverage of macrophytes did not show correlation ($p > 0.05$) with phytoplankton attributes, however, as plants provided specific conditions that are associated to phytoplankton community variation. To the extent that the CCA showed a morphological classification (MBFG), a greater logic in determining the data of the sample units and a single coverage for the definition of descriptive variable. Consider the results, we indicate the use of the MBFG classification.

Keywords: Functional classification, ecological interaction, phytoplankton, aquatic plants.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O entendimento da estrutura da comunidade fitoplanctônica, base da teia trófica lacustre, é parte essencial na análise da ecologia local, importante, tanto para o manejo adequado do ecossistema, quanto para o preenchimento das lacunas dos saberes científicos. Tal estrutura pode ser estudada considerando a tradicional classificação taxonômica ou classificações funcionais, nas quais, agrupamentos de indivíduos são feitos com base em critérios que impliquem em seu sucesso ecológico (Salmaso *et al.*, 2015). Estes critérios são os traços funcionais, que podem ser definidos como características fisiológicas, morfológicas e fenológicas que sejam mensuráveis e individuais e afetem diretamente o crescimento, reprodução e sobrevivência do organismo (Violle *et al.*, 2007).

Com a classificação taxonômica, a unidade básica da estrutura da comunidade é a espécie (estrutura taxonômica), enquanto que, utilizando classificações funcionais, a unidade básica é o grupo funcional (estrutura funcional). Considerar a estrutura taxonômica mostra as especificidades de cada uma das populações encontradas, enquanto que, considerar estruturas funcionais, resulta em uma análise mais direcionada à ecologia dos organismos e elimina a redundância ecológica, uma vez que agrupam as espécies que tiverem a mesma função em uma única unidade básica.

Várias classificações funcionais foram sugeridas para a comunidade fitoplanctônica (e.g. Reynolds *et al.* 2002; Salmaso e Padisák 2007; Kruk *et al.* 2010; Stanca *et al.* 2013). No presente estudo, foram utilizadas a classificação de Reynolds *et al.* (2002) e a de Kruk *et al.* (2010). A primeira se baseia em traços funcionais ecofisiológicos e apresenta 39 grupos funcionais de espécies ou gêneros (Functional Groups – FG) nomeados com códigos alfanuméricos, que foram validados (Kruk *et al.* 2002) e revisados (Padisák *et al.*, 2009). Vários trabalhos (Reynolds, 1980; 1984; 2000) foram necessários para o autor consolidar sua classificação. Já a classificação de Kruk *et al.* (2010) considera traços morfológicos no agrupamento das espécies em sete grupos nomeados com os algarismos romanos de I a VII, os grupos funcionais baseados na morfologia (Morphology Based Functional Group – MBFG). Esta classificação foi também validada e complementada (Kruk e Segura 2012).

Alguns autores (e.g. Abonyi *et al.* 2014; Salmaso *et al.* 2015) têm comparado tais classificações e observaram que a FG apresenta melhores resultados quando o objetivo do estudo é relacionar a estrutura fitoplanctônica às variáveis ambientais, enquanto a MBFG está associada a análises de variação de dados em larga escala de amostragem. Se faz importante a

análise em vários tipos de desenhos amostrais e as diversas variáveis ambientais para que se possa testar tais conclusões.

Uma variável ambiental importante a ser considerada nos estudos é a cobertura de macrófitas aquáticas (Nogueira *et al.* 2010) que geram diferentes nichos no ambiente de acordo com os níveis de cobertura. Esta comunidade e o fitoplâncton competem pelos mesmos recursos (espaço, luz e nutrientes), havendo, assim, interferência mútua entre elas. As macrófitas são encontradas em diferentes hábitos de vida (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008) e cada um destes compete de forma diferente com o fitoplâncton. As macrófitas submersas, por exemplo, suprimem as microalgas consumindo os nutrientes no sedimento que poderiam estar disponíveis para a água, enquanto as flutuantes, além de competirem pelos nutrientes da água, reduzem a penetração da luz (Mulderij *et al.* 2007). O gradiente ambiental induzido pela presença das macrófitas submersas pode influenciar mais a composição do fitoplâncton do que os níveis de nutrientes, por exemplo (Takamura *et al.* 2003).

Variáveis abióticas que interferem nesta interação, bem como nos ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas são, entre outras, precipitação pluviométrica e temperatura da água (Kosten *et al.* 2011). A temperatura é importante descritor da distribuição da comunidade fitoplanctônica por determinar os padrões de estratificação da lâmina d'água. E a precipitação pode aumentar a concentração de nutrientes totais (Dantas *et al.* 2008) e, conseqüentemente, a biomassa fitoplanctônica (Rangel *et al.* 2009). No entanto, outros autores (Rangel *et al.* 2012) consideram que a estruturação do fitoplâncton é influenciada de forma mais relevante pela distribuição dos ecossistemas no espaço. Logo, a fim de esclarecer tal questão, se faz importante analisar a influência destas variáveis.

Os tópicos até aqui abordados são importantes para o entendimento da estrutura do fitoplâncton sob diferentes aspectos (taxonômico e funcional) e para a geração de dados preditivos para possíveis intervenções ambientais. Considerando isto, o objetivo deste trabalho foi analisar a comunidade fitoplanctônica, taxonômica e funcionalmente, em diferentes cenários de macrófitas aquáticas, tendo como objetivos específicos: analisar o poder explicativo de modelos gerados com diferentes classificações para o fitoplâncton; mensurar o percentual de cobertura de cada hábito das macrófitas e as variáveis abióticas da água e relacioná-los à comunidade fitoplanctônica; e avaliar os efeitos das macrófitas sobre a biomassa e riqueza fitoplanctônica.

Testou-se as seguintes hipóteses: 1) os níveis de cobertura de macrófitas interferem em variáveis da comunidade fitoplanctônica como a biomassa e riqueza. Espera-se encontrar uma

comunidade de microalgas com menor biomassa e maior riqueza (em espécies e grupos funcionais) em ambientes com alta cobertura de plantas. 2) a classificação FG gera modelos com maior poder explicativo da variação do fitoplâncton em comparação com as classificações MBFG e taxonômica, uma vez que a variação na cobertura de macrófitas aquáticas dentro do desenho amostral, gera diferentes nichos específicos para o fitoplâncton.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão reúne estudos realizados em diversos tipos de ecossistemas e em diferentes regiões. E traz como temáticas as classificações funcionais, a interação biológica entre microalgas e plantas aquáticas e estudos com amostragem espacial mais detalhada (Carneiro *et al.* 2008; Câmara *et al.* 2015; Nabout *et al.* 2015; Török *et al.* 2015).

2.1 Classificações funcionais

A abordagem funcional surgiu da necessidade de entender a dinâmica ecossistêmica eliminando as desvantagens de uma classificação taxonômica. Esta última não necessariamente reflete as funções ecológicas dos indivíduos, principalmente em níveis taxonômicos maiores. Considerando as definições de competição, estresse e distúrbio, Grime (1974) desenvolveu uma classificação funcional com três possíveis grupos de organismos: competidores (grupo C), ruderais (grupo R) e tolerantes ao estresse (grupo S). Este mesmo autor (Grime, 1977), estudando populações de vegetais superiores, afirmou que as características utilizadas na delimitação das espécies não seriam as mais adequadas para um entendimento simplificado e eficaz da ecologia. Seus trabalhos se tornaram de grande importância na ecologia funcional.

Os traços funcionais datam de 1980 com o surgimento da ecologia funcional e podem ser definidos como ‘qualquer característica morfo, físico ou fenológica mensurável a nível de organismo ou celular, que tenha impacto no sucesso populacional pelo seu efeito no crescimento, reprodução e sobrevivência’ (Violle *et al.* 2007). Estes mesmos autores classificam os traços em: de resposta, de efeito e de performance. A escolha do traço funcional é passo crucial no desenvolvimento da classificação (Weithoff 2003). Salmaso *et al.* (2015) elencaram classificações funcionais para o fitoplâncton que diferem entre si quanto aos traços funcionais utilizados (apêndice 1).

2.1.1 Classificação ecofisiológica

A partir da década de 40, Rodhe e Margalef já caracterizavam ecossistemas lacustres considerando a comunidade fitoplanctônica (Franceschini *et al.* 2010). Porém, o início de uma ideia de classificação funcional para o fitoplâncton começa com o trabalho de Reynolds (1980) que, a partir de análise fitossociológica, identificou 14 agrupamentos de espécies. O autor atribuiu códigos alfanuméricos (**1 – 12, X e Y**) às associações de espécies que comumente ocorriam em codominância nos ecossistemas.

Posteriormente, Reynolds (1982) renomeia seus agrupamentos, adiciona cinco (**A – H; J, K, L_o, L_m, M, N, P, R e S**) e os relaciona com características dos ecossistemas. Tal mudança é consolidada em seu trabalho de revisão dois anos mais tarde (Reynolds 1984). Reynolds (2000) argumenta que tais associações possuem alto poder preditivo. Em 2001, o autor desenvolveu a base teórica para um modelo que simula a resposta de espécies fitoplanctônicas às variáveis ambientais (Reynolds *et al.* 2001).

Depois de mais de vinte anos do trabalho inicial (Reynolds, 1980), foi consolidada a classificação ecofisiológica baseada nas tolerâncias e sensibilidades das populações fitoplanctônicas com 31 possíveis grupos funcionais (Reynolds *et al.* 2002). No mesmo ano desta publicação, Kruk *et al.* (2002), trazendo a hipótese de que grupos funcionais representam melhor as respostas do fitoplâncton às mudanças ambientais, validaram a proposta utilizando dados de um lago artificial uruguaio. A partir daí vários estudos enfatizaram a relevância da classificação (Leitão *et al.* 2003; Moura *et al.* 2007; Fonseca e Bicudo 2008; Almeida e Melo 2011; Bortolini *et al.* 2014; Di Maggio *et al.* 2016).

Vários autores adicionaram novos grupos (p.e. Padisák *et al.* 2006; Souza *et al.* 2008). Padisák *et al.* (2009), avaliando o uso da classificação e atualizando, estabeleceu a ocorrência de 39 associações (apêndice 2). Alguns destes permanecem não substanciados o suficiente, uma vez que é necessário profundo conhecimento da taxonomia e ecologia das espécies para novas inclusões (Salmaso *et al.* 2015).

O primeiro estudo brasileiro demonstrando a significância dessa ferramenta foi o de Moura *et al.* (2007), o qual mostrou, em um reservatório pernambucano, eventos de dominância dos grupos **S1, S2 e S_N** relacionados a um ambiente com depleção de oxigênio dissolvido, alto pH e água relativamente turbida. Outras temáticas, com o uso das classificações funcionais, foram trazidas desde então, como distribuição nictemeral (Rangel *et al.* 2009) e influência da profundidade (Dantas *et al.* 2012) nas comunidades.

2.1.2 Classificação morfológica

Trabalho pioneiro considerando característica morfológica para o fitoplâncton foi o de Lewis (1976) que fez considerações a respeito da razão superfície/volume dos organismos. Assim como este, outros trabalhos utilizaram apenas as características morfológicas sem que houvesse uma delimitação de grupos. Crossetti e Bicudo (2008a), por exemplo, discutiram tais características relacionando-as aos índices de qualidade da água. Já Irwin *et al.* (2006) relacionaram o tamanho das células do fitoplâncton com a viabilidade de nutrientes da água.

Kruk *et al.* (2010) construíram uma classificação funcional baseada em traços morfológicos com 7 grupos funcionais baseados na morfologia (Morphologically Based Functional Groups - MBFG). Os autores utilizaram 8 traços funcionais na delimitação dos grupos: máxima dimensão linear (MDL), área de superfície (S), volume (V), proporção superfície/volume (S/V), presença de flagelo, mucilagem, aerótopo e exoesqueleto de sílica. No ano seguinte, Kruk *et al.* (2011) utilizaram dados de 211 lagos e concluíram que tais grupos predizem bem as funções ecológicas do fitoplâncton e sua composição. Kruk e Segura (2012) desenvolveram um modelo que relacionou cada MBFG a um conjunto de dados ambientais, dando suporte aos estudos e aumentando a relevância desta classificação (apêndice 3).

Desde então, vários autores incluíram essa abordagem em seus estudos, como, por exemplo, Izaguirre *et al.* (2012) que compararam esta e outras duas classificações, observando que a MBFG explicou melhor a variação de dados adquiridos em longo prazo de monitoramento, e ainda observou que esta classificação subestimou a importância da luz como fator regulador do fitoplâncton. Bortolini *et al.* (2015) que estudaram dados da comunidade fitoplanctônica de 12 anos consecutivos, concluíram que, mesmo simples, os MBFG foram bem representativos das tendências do biovolume e da ocorrência das espécies.

Mais recentemente, outros autores têm trabalhado utilizando tal classificação e chegando a resultados satisfatórios no sentido de entender a dinâmica da comunidade fitoplanctônica (Colina *et al.* 2016; Rangel *et al.* 2016; Wilk-Woźniak *et al.* 2016). Machado *et al.* (2016), estudando o fitoplâncton de lagos de inundação brasileiros, consideraram os traços desta classificação divididos em morfológicos (MDL, S, V e mucilagem), fisiológicos (exoesqueleto de sílica) e comportamentais (flagelo e aerótopo) e chegaram à conclusão que as duas últimas categorias foram mais fortemente relacionadas às variáveis ambientais.

Os autores até aqui citados exploraram o poder preditivo dos traços funcionais, porém, o poder de esclarecimento para comparação de ambientes com diferentes cenários de plantas aquáticas não foi abordado mesmo em trabalhos recentes.

2.2 Amostragem espacial detalhada

Os estudos com o fitoplâncton, a nível mundial, que apresentam uma amostragem com muitas unidades amostrais ao longo do espectro espacial, trataram de diversos tópicos. Soballe & Kimmel (1987), em um estudo de revisão que considerou diferentes ecossistemas nos Estados Unidos, atribuíram importância a disponibilidade de fósforo e ao tempo de residência da água na estruturação do fitoplâncton. Já o trabalho de Pacheco *et al.* (2010), estudando 12 lagos argentinos, verificou que a estrutura fitoplanctônica varia de acordo com o estado trófico dos ambientes.

Dentre os trabalhos brasileiros com o fitoplâncton desde de 1991, há predominância de estudos realizados com amostragem temporal maior (62%) em detrimento dos que estendem a amostragem espacial (38%). Porém, é percebida uma tendência ao uso desta última, nos últimos anos (Nabout *et al.* 2015). Isso indica uma intenção ao preenchimento de lacunas no conhecimento de tal comunidade, neste aspecto. Tais estudos que consideraram uma amostragem espacial mais ampla, em sua maioria, o fizeram em planícies de inundação. Granado & Henry (2014) observaram uma similaridade na variação da estrutura do fitoplâncton no sistema lêntico e nos lagos que se conectam a este, concluindo que há um alto grau de associação entre tais ambientes. Nabout *et al.* (2009) atribuíram grande importância aos fatores estocásticos internos à comunidade, como determinantes na estruturação da comunidade.

Os que estudaram outros ambientes, que não planícies de inundação, trouxeram diversas tópicos. Bouvy *et al.* (2000), estudando a estrutura da comunidade de Cianobactérias em reservatórios pernambucanos, confirmaram que fatores climáticos são relevantes sobre estados de dominância das algas. Já Silva *et al.* (2005) atribuíram maior importância à hidrodinâmica dos ambientes estudados, tendo encontrado cianobactérias, como *Anabaena* e *Aphanocapsa* nos períodos de maiores temperaturas e estabilidade hidrodinâmica.

Mais recentemente, Dantas *et al.* (2012) estudaram três diferentes reservatórios e encontraram que, em ambientes mais profundos, as condições abióticas influenciaram de forma menos intensa a comunidade fitoplanctônica. Santos *et al.* (2015), analisando 19 reservatórios

na região central do Brasil, encontraram uma significativa e positiva relação entre a diversidade taxonômica e a biomassa do fitoplâncton.

2.3 Interação fitoplâncton - macrófitas aquáticas

Desde a década de 1920, a interação fitoplâncton – macrófitas aquáticas vem sendo estudada (Jasser, 1995), predominantemente de forma descritiva. Na década de 1970, Kogan *et al.* (1972) relataram que, em experimentos, as macrófitas submersas diminuem em até 90% a densidade fitoplanctônica, demonstrando, assim, a relação competitiva entre estas comunidades. Sand-Jensen e Borum (1991) discutiram a respeito das condições ambientais que favorecem as microalgas ou as macrófitas.

Em 1993, Scheffer *et al.* (1993) publicaram a proposta da teoria dos estados estáveis alternativos, a qual evidencia tal interação. Estes autores hipotetizaram, e muitos outros trabalhos vêm confirmando, dois estados de dominância para os lagos rasos: um de águas turvas dominado por fitoplâncton e outro de águas claras com alta cobertura de macrófitas submersas. As macrófitas flutuantes foram inseridas no modelo mais tarde (Scheffer *et al.*, 2003).

Trabalhos cada vez mais explicativos foram publicados, Jasser (1995) por exemplo, mostrou que havia um padrão de substituição de espécies dominantes do fitoplâncton de acordo com a infestação das plantas em seus experimentos. Søndergaard e Moss (1998) reuniram os diferentes impactos das macrófitas submersas sobre o ecossistema, como na transparência da água, na limitação de nutrientes, na biomassa e composição do fitoplâncton, entre outros.

Takamura *et al.* (2003), estudando lagos japoneses, mostraram que a presença de macrófitas submersas depende do gradiente ambiental e estas afetam a composição e biomassa fitoplanctônica de forma mais evidente que apenas os níveis de nutrientes. Os estudos passam a trazer aspectos mais específicos. Mulderij *et al.* (2007) observaram os efeitos de diferentes hábitos (submersa e flutuante) de macrófitas sobre o fitoplâncton, trazendo as substâncias alelopáticas das macrófitas como importante fator nesta relação.

Xie *et al.* (2013) trabalharam com mesocosmos de forma a testar o papel dos fatores bióticos e abióticos sobre a relação de macrófitas submersas com o fitoplâncton e concluíram que, a partir da interação de tais fatores, há uma seleção das espécies de macrófitas que são aptas a colonizar um ambiente dominado por fitoplâncton.

No Brasil, entretanto, os estudos são bem mais recentes. Crossetti e Bicudo (2008b) e Bicudo *et al.* (2007) mostraram a variação na comunidade fitoplanctônica ao longo de oito anos e adicionaram à sua análise um evento de remoção de uma população de macrófita flutuante e notaram que houve um aumento contínuo da biomassa fitoplanctônica. Mais recentemente, Fonseca e Bicudo (2011), comparando dois lagos com cenários de macrófitas distintos (dominância e ausência), mostraram que a comunidade de plantas só explica a variação fitoplanctônica (taxonômica e funcional) associado com os níveis de nutrientes.

Analisando tal histórico, observa-se algumas conclusões que ainda precisam ser bem fundamentadas, como qual fator é mais importante na estruturação do fitoplâncton: as macrófitas, os nutrientes ou seria um efeito somado? Percebe-se, assim, a necessidade de análises mais abrangentes, que busquem entender como as comunidades produtoras primárias lacustres interfere uma na outra e quais variáveis são mais importantes nesta interação.

3. REFERÊNCIAS

- Abonyi, A., Leitão, M., Stanković, I., Borics, G., Várbíró, G. & Padisák, J. (2014) A large river (River Loire, France) survey to compare phytoplankton functional approaches: Do they display river zones in similar ways? *Ecological Indicators*, **46**, 11–22.
- Almeida, F.F.D. e Melo, S. (2011) Phytoplankton community structure in an Amazon floodplain lake (Lago Catalão, Amazonas, Brazil). *Neotropical Biology and Conservation*, **6**, 112–123.
- Bicudo, D. C. F., Faustino, S.M.M., Godinho, L.R. & Oliveira, M. (2007) Undesirable side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. *Freshwater Biology*, **52**, 1120–1133.
- Bortolini, J.C., Moresco, G.A., de Paula, A.C.M., Jati, S. e Rodrigues, L.C. (2015) Functional approach based on morphology as a model of phytoplankton variability in a subtropical floodplain lake: a long-term study. *Hydrobiologia*, **767**, 151–163.
- Bortolini, J.C., Rodrigues, L.C., Jati, S. e Train, S. (2014) Phytoplankton functional and morphological groups as indicators of environmental variability in a lateral channel of the Upper Paraná River floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **26**, 98–108.

- Bouvy, M., Falcão, D., Marinho, M., Pagano, M. e Moura, A. (2000) Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, **23**, 13–27.
- Câmara, F., Rocha, O., Pessoa, E., Chellappa, S. e Chellappa, N. (2015) Morphofunctional changes of phytoplankton community during pluvial anomaly in a tropical reservoir. *Brazilian Journal of Biology*, **75**, 628–637.
- Carneiro, F.M., Nabout, J.C. e Bini, L.M. (2008) Trends in the scientific literature on phytoplankton. *Limnology*, **9**, 153–158.
- Colina, M., Calliari, D., Carballo, C. e Kruk, C. (2016) A trait-based approach to summarize zooplankton–phytoplankton interactions in freshwaters. *Hydrobiologia*, **767**, 221–233.
- Crossetti, L.O. e de M. Bicudo, C.E. (2008a) Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (Garças Pond): the assemblage index application. *Hydrobiologia*, **610**, 161–173.
- Crossetti, L.O. e de M. Bicudo, C.E. (2008b) Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed change in a shallow urban tropical eutrophic reservoir, Garças Reservoir, over 8 years. *Hydrobiologia*, **614**, 91–105.
- Dantas, Ê.W., Bittencourt-Oliveira, M. do C. e Moura, A. do N. (2012) Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil assessed using Reynolds' theory. *Limnologica*, **42**, 72–80.
- Dantas, Ê.W., Moura, A.D.N., Bittencourt-Oliveira, M.D.C., Arruda Neto, J.D.D.T. e Cavalcanti, A.D.D.C. (2008) Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, **22**, 970–982.
- Di Maggio, J., Fernández, C., Parodi, E.R., Diaz, M.S. e Estrada, V. (2016) Modeling phytoplankton community in reservoirs. A comparison between taxonomic and functional groups-based models. *Journal of Environmental Management*, **165**, 31–52.
- Fonseca, B.M. e Bicudo, C.E.D.M. (2008) Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). *Hydrobiologia*, **600**, 267–282.
- Franceschini, I. M., Prado, J. F. e Burliga, A. L. (2010) *Algas: Uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica*. Artmed, Porto Alegre.

- Granado, D.C. e Henry, R. (2014) Phytoplankton community response to hydrological variations in oxbow lakes with different levels of connection to a tropical river. *Hydrobiologia*, **721**, 223–238.
- Grime, J.P. (1974) Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*, **250**, 26–31.
- Grime, J.P. (1977) Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory. *The American Naturalist*, **111**, 1169–1194.
- Irwin, A.J., Finkel, Z. V., Schofield, O.M.E. e Falkowski, P.G. (2006) Scaling-up from nutrient physiology to the size-structure of phytoplankton communities. *Journal of Plankton Research*, **28**, 459–471.
- Izaguirre, I., Allende, L., Escaray, R., Bustingorry, J., Pérez, G. e Tell, G. (2012) Comparison of morpho-functional phytoplankton classifications in human-impacted shallow lakes with different stable states. *Hydrobiologia*, **698**, 203–216.
- Jasser, I. (1995) The influence of macrophytes on a phytoplankton community in experimental conditions. *Hydrobiologia*, **306**, 21–32.
- Kamenir, Y., Dubinsky, Z. & Zohary, T. (2004) Phytoplankton size structure stability in a meso-eutrophic subtropical lake. *Hydrobiologia*, **520**, 89–104.
- Kogan, S. I., Chinnova G.A. e Kravchenko, M. E. (1972) The effect of macrophytes on certain algae in joint cultivation. *Izv. Akad. Nauk Turkm. SSR Ser. Biol.*, **3**, 3–8.
- Kosten, S., Jeppesen, E., Huszar, V.L.M., Mazzeo, N., Van Nes, E.H., Peeters, E.T.H.M. e Scheffer, M. (2011) Ambiguous climate impacts on competition between submerged macrophytes and phytoplankton in shallow lakes. *Freshwater Biology*, **56**, 1540–1553.
- Kruk, C., Huszar, V.L.M., Peeters, E.T.H.M., Bonilla, S., Costa, L., Lüring, M., Reynolds, C.S. e Scheffer, M. (2010) A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, **55**, 614–627.
- Kruk, C., Mazzeo, N., Lacerot, G. e Reynolds, C.. (2002) Classification schemes for phytoplankton : a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement. *Journal of Plankton Research*, **24**, 901–912.
- Kruk, C., Peeters, E.T.H.M., Van Nes, E.H., Huszar, V.L.M., Costa, L.S. e Scheffer, M. (2011) Phytoplankton community composition can be predicted best in terms of morphological groups. *Limnology and Oceanography*, **56**, 110–118.

- Kruk, C. e Segura, A.M. (2012) The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. *Hydrobiologia*, **698**, 191–202.
- Leitão, M., Morata, S.M., Rodriguez, S. e Vergon, J.P. (2003) The Effect of perturbations on phytoplankton assemblages in a deep reservoir (Vouglans, France). *Hydrobiologia*, **502**, 73–83.
- Lewis, W.M. (1976) Surface/Volume ratio: implications for phytoplankton morphology. *Science*, **192**, 885–887.
- Machado, K.B., Teresa, F.B., Vieira, L.C.G., Huszar, V.L. de M. e Nabout, J.C. (2016) Comparing the effects of landscape and local environmental variables on taxonomic and functional composition of phytoplankton communities. *Journal of Plankton Research*, **38**, 1334–1346.
- Margalef, R. (1978) Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta*, **1**, 493–509.
- Moura, A.D.N., Bittencourt-Oliveira, M.D.C., Dantas, Ê.W. e Arruda Neto, J.D.D.T. (2007) Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in a tropical Brazilian reservoir. *Acta Botanica Brasilica*, **21**, 641–648.
- Mulderij, G., Van Nes, E.H. e Van Donk, E. (2007) Macrophyte-phytoplankton interactions: The relative importance of allelopathy versus other factors. *Ecological Modelling*, **204**, 85–92.
- Nabout, J., Carneiro, F., Borges, P., Machado, K. e Huszar, V. (2015) Brazilian scientific production on phytoplankton studies: national determinants and international comparisons. *Brazilian Journal of Biology*, **75**, 216–223.
- Nabout, J.C., Siqueira, T., Bini, L.M. e Nogueira, I. de S. (2009) No evidence for environmental and spatial processes in structuring phytoplankton communities. *Acta Oecologica*, **35**, 720–726.
- Nogueira, I.D.S., Nabout, J.C., Ibañez, M.D.S.R., Bourgoïn, L.M. e Rodrigues, S. (2010) Determinants of beta diversity: the relative importance of environmental and spatial processes in structuring phytoplankton communities in an Amazonian floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **22**, 247–256.
- Pacheco, J.P., Iglesias, C., Meerhoff, M., Fosalba, C., Goyenola, G., Teixeira-de Mello, F., García, S., Gelós, M. e García-Rodríguez, F. (2010) Phytoplankton community structure in five

- subtropical shallow lakes with different trophic status (Uruguay): a morphology-based approach. *Hydrobiologia*, **646**, 187–197.
- Padisák, J., Borics, G., Grigorszky, I. e Soróczy-Pintér, É. (2006) Use of Phytoplankton Assemblages for Monitoring Ecological Status of Lakes within the Water Framework Directive: The Assemblage Index. *Hydrobiologia*, **553**, 1–14.
- Padisák, J., Crossetti, L.O. e Naselli-Flores, L. (2009) Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, **621**, 1–19.
- Rangel, L.M., Silva, L.H.S., Arcifa, M.S. e Peticarrari, A. (2009) Driving forces of the diel distribution of phytoplankton functional groups in a shallow tropical lake. *Brazilian Journal of Biology*, **69**, 75–85.
- Rangel, L.M., Silva, L.H.S., Rosa, P., Roland, F. & Huszar, V.L.M. (2012) Phytoplankton biomass is mainly controlled by hydrology and phosphorus concentrations in tropical hydroelectric reservoirs. *Hydrobiologia*, **693**, 13–28.
- Rangel, L.M., Soares, M.C.S., Paiva, R. e Silva, L.H.S. (2016) Morphology-based functional groups as effective indicators of phytoplankton dynamics in a tropical cyanobacteria-dominated transitional river-reservoir system. *Ecological Indicators*, **64**, 217–227.
- Reynolds, C.S. (1980) Phytoplankton Assemblages and Their Periodicity in Stratifying Lake Systems. *Holarctic Ecology*, **3**, 141–159.
- Reynolds, C.S. (1982) Phytoplankton periodicity: its motivation, mechanisms and manipulation. *Report of the Freshwater Biological Association*, **50**, 60–75.
- Reynolds, C.S. (1984) Phytoplankton periodicity: the interaction of form, function and environmental variability. *Freshwater Biology*, **14**, 111–142.
- Reynolds, C.S. (2000) Phytoplankton designer - Or how to predict compositional responses to trophic-state change. *Hydrobiologia*, **424**, 123–132.
- Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. e Melo, S. (2002) Review Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, **24**, 417–428.

- Reynolds, C.S., Irish, A.E. e Elliott, J.A. (2001) The ecological basis for simulating phytoplankton responses to environmental change (PROTECH). *Ecological Modelling*, **140**, 271–291.
- Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. e Melo, S. (2002) Review Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, **24**, 417–428.
- Salmaso, N., Naselli-Flores, L. e Padisák, J. (2015) Functional classifications and their application in phytoplankton ecology. *Freshwater Biology*, **60**, 603–619.
- Salmaso, N. e Padisák, J. (2007) Morpho-Functional Groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia*, **578**, 97–112.
- Sand-Jensen, K. e Borum, J. (1991) Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. *Aquatic Botany*, **41**, 137–175.
- Santos, A. M. C., Carneiro, F. M., e Cianciaruso, M. V. (2015) Predicting productivity in tropical reservoirs: The roles of phytoplankton taxonomic and functional diversity. *Ecological Indicators*, **48**, 428–435.
- Scheffer, M. (1990) Multiplicity of stable states in freshwater systems. *Hydrobiologia*, **200**, 475–486.
- Scheffer, M., Hosper, S. H., Meijer, M. L., Moss, B. e Jeppesen, E. (1993) Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution*, **8**, 275–279.
- Scheffer, M., Szabó, S., Gragnani, A., van Nes, E.H., Rinaldi, S., Kautsky, N., Norberg, J., Roijackers, R.M.M. e Franken, R.J.M. (2003) Floating plant dominance as a stable state. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **100**, 4040–4045.
- Scheffer, M. e Van Nes, E.H. (2007) Shallow lakes theory revisited: Various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia*, **584**, 455–466.
- Silva, C.A. da, Train, S. e Rodrigues, L.C. (2005) Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, **537**, 99–109.
- Soballe, D.M. e Kimmel, B.L. (1987) A Large-Scale Comparison of Factors Influencing Phytoplankton Abundance in Rivers, Lakes, and Impoundments. *Ecology*, **68**, 1943–1954.

- Søndergaard, M. e Moss, B. (1998) Impact of Submerged Macrophytes on Phytoplankton in Shallow Freshwater Lakes. The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes, **131**, 115–132.
- Souza, M.B.G., Barros, C.F.A., Barbosa, F., Hajnal, É. e Padisák, J. (2008) Role of atelomixis in replacement of phytoplankton assemblages in Dom Helvécio Lake, South-East Brazil. *Hydrobiologia*, **607**, 211–224.
- Stanca, E., Cellamare, M. e Basset, A. (2013) Geometric shape as a trait to study phytoplankton distributions in aquatic ecosystems. *Hydrobiologia*, **701**, 99–116.
- Takamura, N., Kadono, Y., Fukushima, M., Nakagawa, M. e Kim, B. (2003) Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes. *Ecological Research*, **18**, 381–395.
- Török, P., T-Krasznai, E., B-Béres, V., Bácsi, I., Borics, G. e Tóthmérész, B. (2016) Functional diversity supports the biomass-diversity humped-back relationship in phytoplankton assemblages (ed E Sayer). *Functional Ecology*, **30**, 1593–1602.
- Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T. (2008) *Limnologia*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Violle, C., Navas, M., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., Garnier, E. (2007) Let the Concept of Trait Be Functional ! *Oikos*, **116**, 882–892.
- Weithoff, G. (2003) The concepts of “plant functional types” and “functional diversity” in lake phytoplankton - a new understanding of phytoplankton ecology? *Freshwater Biology*, **48**, 1669–1675.
- Wilk-Woźniak, E., Koreivienė, J., Karosienė, J., Pocięcha, A., Strzesak, M. e Mróz, W. (2016) Contrasting Phytoplankton Structure and Morphologically Based Functional Groups of Reservoirs That Differ in the Adjacent Surrounding. *CLEAN - Soil, Air, Water*, **44**, 638–647.
- Xie, D., Yu, D., You, W.H. e Wang, L.G. (2013) Algae mediate submerged macrophyte response to nutrient and dissolved inorganic carbon loading: A mesocosm study on different species. *Chemosphere*, **93**, 1301–1308.

4. **CAPÍTULO I** - Manuscrito a ser submetido à revista *Functional ecology*.

Abordagens taxonômica e funcional do fitoplâncton em ecossistemas com diferentes cenários de plantas aquáticas.

Alan Delon S. de Azevedo^{1*}, Ariadne N. Moura¹, Nísia K. C. Aragão-Tavares¹; Ênio W. Dantas²

¹ *Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de biologia, Rua dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife – PE, 52171-900, Telefone: 081 33206361;*

² *Universidade Estadual da Paraíba, Departamento de Biologia, Rua Horácio Trajano de Oliveira, s/n - Cristo Redentor, João Pessoa – PB, 58070-450, Telefone: 083 32231138.*

*Autor para correspondência: alan.azevedo@ufrpe.br

Resumo

1. Classificações funcionais são importantes para estudos com o fitoplâncton por se basearem em características eco, fisio ou morfológicas diferente da classificação taxonômica. E variáveis como a interação biológica são relevantes para o entendimento do uso dessas classificações. No presente trabalho, foram testadas as seguintes hipóteses: a cobertura de macrófitas aquáticas interfere na estrutura da comunidade fitoplanctônica; a classificação funcional ecofisiológica gera modelos da variação do fitoplâncton com maior poder explicativo quando comparado aos modelos gerados com as classificações morfológica e taxonômica.

2. Doze pequenos reservatórios foram visitados nos meses de setembro de 2015 e maio de 2016. Coletou-se amostras qualitativa e quantitativas do fitoplâncton. Variáveis abióticas foram mensuradas com auxílio de sonda multiparamétrica. A cobertura de macrófitas foi registrada utilizando o método de pontos. As microalgas encontradas foram classificadas utilizando a classificação taxonômica (espécies), morfológica (MBFG) e dos grupos funcionais (FG). Correlações de Spearman mostraram a relação da cobertura total de macrófitas e a biomassa e riqueza (taxonômica e funcional) do fitoplâncton. Análises de variância ANOVA foram feitas para exploração dos dados abióticos. Análises de Correspondência Canônica (CCA) foram realizadas a fim de gerar modelos explicativos das diferentes estruturas do fitoplâncton.

3. Foram identificados 242 táxons, 22 EPGs e os sete MBFGs. As macrófitas apresentaram maior média de cobertura no período chuvoso (63%) que no período de estiagem (32%). A cobertura total de macrófitas não apresentou correlação ($p > 0,05$) com atributos do fitoplâncton, no entanto, o hábito de macrófitas submersas foi selecionado como variável explicativa no modelo da classificação MBFG. Tal modelo apresentou maior poder explicativo (47%) quando comparado com classificação FG (34%) e com taxonômica (27%).

4. As classificações funcionais são ferramentas eficientes no entendimento da relação do fitoplâncton com as variáveis bióticas e abióticas. Considerando nossos resultados, o uso da classificação MBFG é indicada em estudos com desenho amostral semelhante ao aqui utilizado, por ter apresentado maior poder explicativo e ter expressado a relação fitoplâncton-macrófitas aquáticas.

Palavras chave: Comunidade fitoplanctônica, grupo funcional, interação biológica, macrófitas aquáticas, Nordeste brasileiro.

4.1 Introdução

O fitoplâncton, grupo polifilético e base da teia trófica dos ecossistemas lacustres, é comumente estudado utilizando a classificação taxonômica (Sassi e Kutner 1982; Sthapit, Ochs e Zimba 2008; Costa, Barbosa e Dantas 2016). No entanto, como algumas espécies desempenham funções ecológicas similares no ecossistema, classificações que consideram tais funções em detrimento das características filogenéticas podem ser preferíveis (Salmaso, Naselli-Flores e Padisák 2015). No processo de construção e/ou uso de tais classificações, o passo mais importante é a escolha dos traços funcionais (Weithoff 2003), entendidos como qualquer característica mensurável e individual que afete o sucesso populacional (Violle *et al.* 2007). Tais características podem ser morfológicas, fisiológicas ou fenológicas e as classificações podem utilizar um ou mais destes tipos (Salmaso e Padisák 2007; Stanca, Cellamare e Basset 2013).

A classificação dos Grupos Funcionais (Functional Groups – FG) sugerida por Reynolds *et al.* (2002), utiliza traços ecofisiológicos e se baseia na sensibilidade e tolerâncias das espécies a determinadas condições ambientais. Esta classificação propõe agrupamentos de espécies fitoplanctônicas que sejam capazes de capturar a variação do ambiente (*e.g.* eutrofização,

variações sazonais). A inclusão das espécies nos FGs requer um profundo conhecimento sobre sua ecologia, fisiologia e, inclusive, sobre sua taxonomia (Padisák *et al.* 2009). Cada grupo é nomeado com códigos alfanuméricos (*e.g.* **A**, **B**, **NA**, **S1**, **W2**) e se adequa a uma faixa de variação das variáveis abióticas, tendo assim, seu nicho específico.

Uma classificação mais recente é a dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (Morphologically Based Functional Groups - MBFG) desenvolvida por Kruk *et al.* (2010). Os traços morfológicos máxima dimensão linear, proporção superfície/volume, presença de flagelo, aerótopo, mucilagem e exoesqueleto de sílica foram utilizados para classificar o fitoplâncton em 7 grupos nomeados com os algarismos romanos de I a VII. Esta classificação também se propõe a gerar grupos preditivos da variação ambiental como os FGs, no entanto, seu uso é mais simples e independe da taxonomia dos organismos. Tal classificação já foi testada (Kruk *et al.* 2011) e implementada com modelos ambientais (Kruk e Segura 2012).

Apesar destas classificações funcionais apresentarem semelhanças nas suas propostas, alguns autores têm sugerido que as mesmas são adequadas para tipos específicos de estudos. A classificação dos FG seria mais adequada em estudos que busquem as relações da comunidade biológica com diferentes condições ambientais (nichos específicos), enquanto a MBFG estaria associada a estudos com dados resultantes de uma amostragem mais detalhada, isto é, dados regionais (Bortolini *et al.* 2014; Abonyi *et al.* 2014) ou de longo monitoramento temporal (Izaguirre *et al.* 2012). Estas afirmações ainda precisam ser testadas em diferentes desenhos amostrais, considerando diferentes variáveis ambientais e em várias latitudes. No presente trabalho nós apresentamos um desenho amostral com baixo detalhamento temporal e consideramos a variável cobertura de macrófitas aquáticas.

A comunidade de macrófitas é competidora direta do fitoplâncton e, por isso, pode ser considerada fator importante na estruturação do mesmo. Mulderij *et al.* (2007) mostraram que os hábitos submersos e flutuantes das macrófitas, geram diferentes efeitos sobre a comunidade fitoplanctônica. As macrófitas submersas suprimem as microalgas consumindo os nutrientes no sedimento que poderiam estar disponíveis para a água, enquanto as flutuantes, além de competirem pelos nutrientes da água, reduzem a penetração da luz. Takamura *et al.* (2003) concluem que o gradiente ambiental induzido pela presença das macrófitas submersas pode influenciar mais a composição do fitoplâncton do que os níveis de nutrientes, por exemplo.

Considerando tais premissas, tomamos por hipóteses: (1) a cobertura de macrófitas têm correlação significativa e negativa com a biomassa e significativa e positiva com as riquezas taxonômica e funcional do fitoplâncton; (2) modelos explicativos da variação do fitoplâncton

pelas variáveis ambientais (abióticas e macrófitas) gerados com a classificação FG apresentará maior poder explicativo quando comparado com os modelos gerados com a classificação MBFG e a taxonômica, uma vez que temos diferentes cenários de condições ambientais gerados pelas macrófitas aquáticas. Desta forma, os objetivos deste trabalho são: examinar o papel da presença de macrófitas aquáticas sobre os atributos da comunidade fitoplanctônica e analisar o poder explicativo de modelos para a variação do fitoplâncton gerados com diferentes classificações funcionais e a taxonômica.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Local do estudo

O estudo foi realizado nas zonas tropical (A) e seca (B), com características de verão seco (As) e semiárida (Bsh), respectivamente (Alvares *et al.* 2013). Foram analisados 12 reservatórios de pequeno porte com até 10^6 m³ de capacidade máxima (Figura 1).

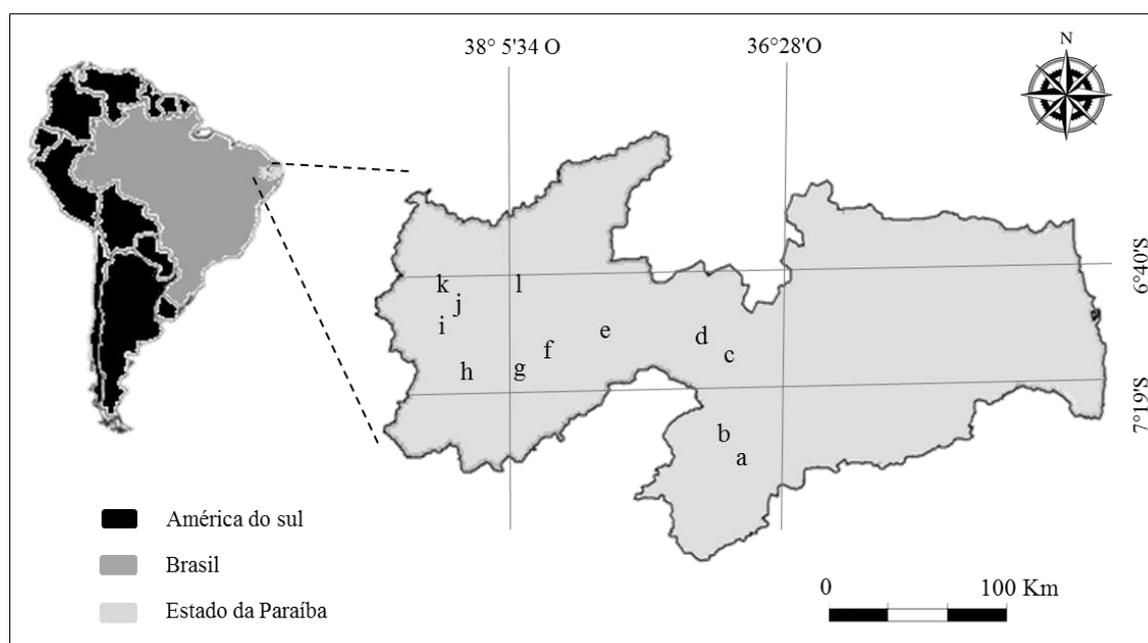


Figura 1. Localização dos ecossistemas estudados: a = Reservatório Rochas; b = Reservatório da Associação; c = Reservatório Assentamento; d = Reservatório Salgadinho 5; e = Reservatório Goiabeira; f = Reservatório Bela Vista; g = Reservatório Chara; h = Reservatório Haras; i = Reservatório Getúlio; j = Reservatório Carrapateira; k = Reservatório Nazarezinho; l = Reservatório Mofumbo.

Estes ecossistemas são geralmente classificados como polimíticos que, segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi, (2008), é definido como ambientes com vários eventos de circulação em um ano, e até mesmo diários. Estes reservatórios são, em sua maioria, utilizados para irrigação,

dessedentação de animais e uso doméstico. O georreferenciamento dos ambientes se encontra no apêndice 4 deste trabalho.

4.2.2 Coleta e análise de amostras

O desenho amostral se caracterizou por ser mais abrangente em escala espacial que em escala temporal. Cada reservatório foi visitado uma vez por período sazonal, sendo as coletas concentradas em setembro de 2015, correspondendo ao período de estiagem e em maio de 2016, período chuvoso (apêndice 5). Na zona litorânea de cada reservatório, foram mensuradas a cobertura de macrófitas, as variáveis abióticas e coletadas amostras qualitativas e quantitativas da comunidade fitoplanctônica.

Para mensurar a cobertura das macrófitas aquáticas, foi utilizado o método de amostragem de pontos (Yarranton 1966) com adaptação para ambiente aquático. A área para esta mensuração foi de 300 m², sendo composta de cinco transectos perpendiculares à margem e equidistantes 5 m um do outro. Em cada transecto foram marcados oito pontos com espaçamento de 2 m entre os mesmos. Nestes pontos foi registrada a presença dos hábitos de vida submersos, flutuantes, emergentes e anfíbios.

As variáveis abióticas temperatura (°C), pH, condutividade elétrica (mS.cm⁻¹), turbidez (NTU), oxigênio dissolvido (mg/L), sólidos totais dissolvidos (g/L), salinidade (‰) foram mensurados em campo com auxílio de sonda multiparamétrica Horiba U-50. A transparência da água foi medida a partir do desaparecimento do disco de Secchi e a profundidade, com cano de pvc marcado em centímetros. Uma alíquota de 500mL de água do ambiente foi coletada para análises de nutrientes em laboratório.

Para análise quantitativa do fitoplâncton foram coletadas trélicas de 100 mL tomadas diretamente da subsuperfície da água com auxílio de frascos âmbar, sendo imediatamente preservada com Lugol acético na proporção de 1:100. Para análise de composição de espécies, foram utilizadas amostras de água coletadas com rede de plâncton de 20 µm de abertura de malha, e preservadas com formol 4% (Dantas *et al.* 2008).

Em laboratório, as análises de nutrientes (fósforo total, ortofosfato, amônia, nitrito e nitrato) foram realizadas com base em APHA (1992). O valor de cobertura de cada hábito de macrófita foi fracionado pelo número de hábitos presentes em cada ponto, de forma que a cobertura total correspondesse a 100%. Para fins demonstrativos e com base na variação desses dados, 4

classes de ambientes foram criadas: sem cobertura de macrófitas (0%), com baixa cobertura de macrófitas (1 – 25%), média (26 – 65%) e alta (65 – 100%). Os dados da variável precipitação dos 30 dias anteriores a cada coleta foram adquiridos junto ao banco de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

A identificação dos táxons fitoplanctônicos encontrados foi realizada até o menor nível hierárquico possível, utilizando microscópio óptico comum e com consulta a chaves de identificação (Germain, 1981; John *et al.*, 2002; Komárek e Anagnostidis, 1999; Komárek e Anagnostidis, 2005; Komárek e Fott, 1983 e artigos especializados). O enquadramento das espécies nos MBFG foi realizado a partir dos trabalhos de Kruk *et al.* (2010) e Kruk e Segura (2012). Para a inclusão nos FG, foram utilizados Reynolds *et al.* (2002) e Padisák *et al.* (2009).

A contagem das algas foi realizada baseada em Utermöhl (1958), utilizando microscópio invertido. Os valores de biovolume foram determinados através de fórmulas descritas por Hillebrand *et al.* (1999) e Sun e Liu (2003) ou, em casos especiais, por junção de mais de uma dessas fórmulas. Posteriormente, a biomassa fitoplanctônica, expressa em mg.L^{-1} , foi calculada dividindo o produto de densidade (ind.mL^{-1}) e biovolume (μm^3) por 10^6 .

4.2.3 Análises dos dados

Análises de Variância (ANOVA de medidas repetidas) foram realizadas como forma de exploração dos dados abióticos, isto é, observar se estes variaram significativamente entre os ecossistemas (especialmente) e entre os períodos sazonais (temporalmente). Testes de correlação de Spearman foram realizados entre a cobertura de macrófitas (total e de cada hábito) e atributos do fitoplâncton (biomassa total, riqueza taxonômica e funcional). A escolha do teste foi baseada no resultado do teste de normalidade de Shapiro.

Com base no resultado de uma análise de correspondência destendenciada (DCA) e a fim de gerar modelos explicativos dos padrões de variabilidade do fitoplâncton, foram realizadas Análises de Correspondência Canônica (CCA) (Legendre e Gallagher, 2001) relacionando as diferentes estruturas do fitoplâncton (taxonômica, ecofisiológica e morfológica) com a matriz de variáveis explicativas (abióticas e hábitos de macrófitas). As variáveis incluídas nos modelos foram selecionadas através do modelo stepwise com permutações.

Para a CCA, as matrizes de espécies e de FG foram compostas apenas com as espécies e grupos que apresentaram biomassa superior a 5% de representatividade em ao menos uma

amostra (Kruk *et al.* 2002). A matriz de MBFG foi incluída na análise com todos os grupos (Bortolini *et al.* 2014). A matriz de variáveis explicativas foi padronizada e as matrizes bióticas, logaritmizadas. Foi utilizado o software R 3.2.2 para realização dos testes.

4.3 Resultados

As macrófitas aquáticas estiveram presentes em dez dos 12 reservatórios estudados, sendo os hábitos submersos e anfíbios os mais frequentes. Os hábitos submerso e flutuante foram os que apresentaram maior destaque, chegando a representar até 81 e 73 % do total da cobertura, respectivamente. O hábito emergente ocorreu em apenas duas unidades amostrais. Os ambientes apresentaram maiores porcentagens de cobertura de macrófitas no período chuvoso ($63,2 \pm 34$ %), comparado ao de estiagem ($32,8 \pm 32$ %) (Figura 2). A cobertura de macrófitas não mostrou correlação com a biomassa total fitoplanctônica ($p > 0,05$), com a riqueza taxonômica ($p > 0,05$) ou funcional ($p > 0,05$) do fitoplâncton.

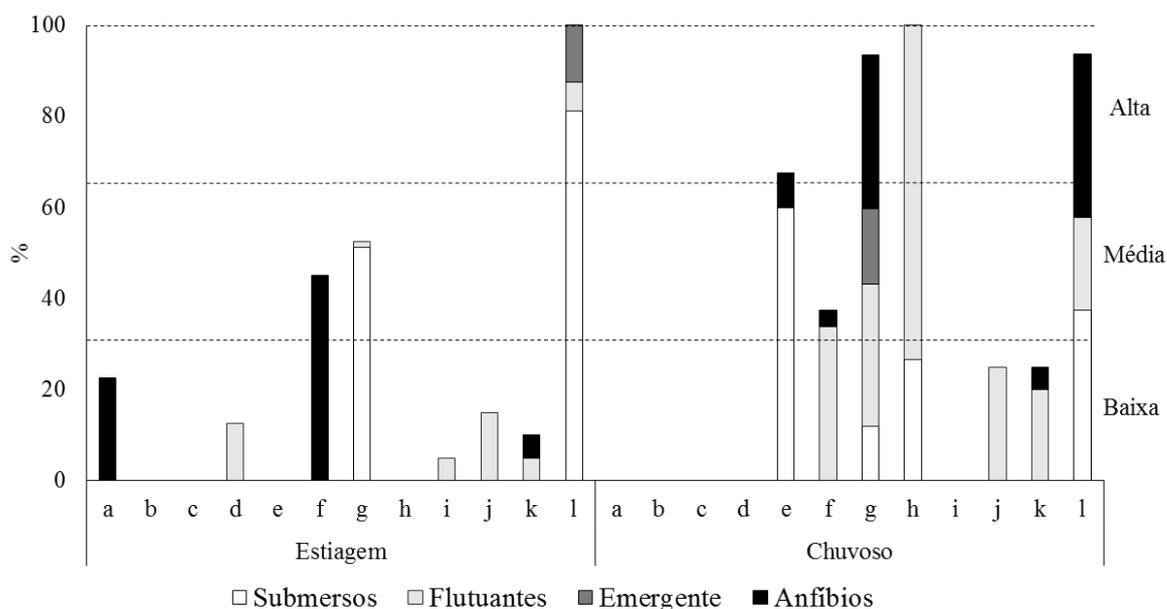


Figura 2. Cobertura dos diferentes hábitos de macrófitas aquáticas nos ambientes estudados divididos em classes de cobertura de macrófitas nos períodos sazonais de estiagem e chuvoso. Classes: Baixa = de 1 a 25% de cobertura; Média = de 26% - 65%; Alta = de 66% - 100%. Reservatórios: a = Reservatório Rochas; b = Reservatório da Associação; c = Reservatório Assentamento; d = Reservatório Salgadinho 5; e = Reservatório Goiabeira; f = Reservatório Bela Vista; g = Reservatório Chara; h = Reservatório Haras; i = Reservatório Getúlio; j = Reservatório Carrapateira; k = Reservatório Nazarezinho; l = Reservatório Mofumbo.

Os ecossistemas apresentaram elevadas temperaturas da água ($>25,2$ °C), altos valores de pH ($>7,3$), turbidez variando entre 0,8 e 232,0 NTU, baixa condutividade elétrica em cenários

com altos níveis de cobertura de macrófitas, e concentração de nutrientes com elevados coeficientes de variação espacial e com maiores concentrações de fósforo em cenários com alta cobertura de macrófitas. No período de estiagem a precipitação esteve próximo a 0 mm e, no período chuvoso, a precipitação média foi de $58,6 \pm 49,8$ mm. Temperatura, oxigênio dissolvido e nitrogênio total variaram significativamente no espectro espacial, isto é, entre os reservatórios. Transparência e ortofosfato variaram no espectro temporal, entre os períodos de coleta. O pH variou em ambos espectros (Tabela 1).

A comunidade fitoplanctônica esteve representada por 242 táxons, enquadrados em 22 FG e os sete MBFG. Dos táxons encontrados, 23 foram identificados a nível de gênero, 208 espécies e 11 variedades. Dentre estes, 56% foram Chlorophyta, 15% Cyanophyta, 14% Euglenophyta e 11% de Ochrophyta. Dinophyta e Cryptophyta somaram 4%. Os FG encontrados são característicos de ambientes enriquecidos (**F, J, P, W1, W2, X1**), rasos (**D, E**) e não estratificados (**B, D, S1**). Os grupos morfológicos mais frequentes ao longo do estudo foram IV, V (ambos com 100%) e I (87,5%) (tabela 2). A riqueza de espécies variou de 15 a 62 entre os ecossistemas e apresentou maior média (38) no período estiagem que no chuvoso (33). Já o número de grupos funcionais apresentou média de 10 FG e 5 MBFG por ambiente em ambos períodos sazonais.

A biomassa fitoplanctônica apresentou valor médio de $5,65 \pm 6,13$ mg.L⁻¹. As espécies que se destacaram em biomassa foram *Trachelomonas volvocinopsis* Svireenko, *Sphaerocystis schroeteri* Chodat, *Chroococcus minor* (Kützing) Nägeli, *Euglena acus* (O.F.Müller) Ehrenberg, *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg, *Scenedesmus ecornis* (Ehrenberg) Chodat, *Closterium diana* Ehrenberg ex Ralfs, *Cryptomonas* spp. Ehrenberg, *Planktosphaeria gelatinosa* G.M. Smith, *Volvox aureus* Ehrenberg e *Parvodinium umbonatum* (Stein) S.Carty. Os FG que apresentaram maiores valores de biomassa foram **W2, J, X1, W1, F** e **Y**. Dentre os MBFG, se destacaram o V, IV e VII (tabela 2, figura 3).

Foi possível observar que a estrutura da comunidade fitoplanctônica variou de acordo com os cenários de cobertura de macrófitas. Quanto maior a cobertura, um número menor de grupos fitoplanctônicos (taxonômicos e funcionais) representaram maior parte da biomassa da comunidade (figura 3). Além disso, grupos específicos estiveram relacionados aos cenários de macrófitas. Nas unidades amostrais com baixa cobertura e com ausência de plantas foram registradas maiores ocorrências de Euglenophyta componentes dos FG **W1** e **W2** e do MBFG V, além de uma menor representatividade de Chlorophyta.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão das variáveis limnológicas nos reservatórios estudados. Legenda: Ausente = grupo de ambientes que não apresentaram cobertura de macrófitas (0%); Baixa = ambientes com cobertura de macrófita entre 1 e 25%; Média = entre 26 e 65%; Alta = entre 66 - 100%; Temp. = Temperatura; CE = Condutividade Elétrica; Tur. = Turbidez; O2 = oxigênio dissolvido; ST = sólidos totais dissolvidos; Secchi = transparência; NO2 = nitrito; NO3 = nitrato; NH3 = amônia; PO4 = ortofosfato; PT = fósforo total; NT = nitrogênio total; Prec. = precipitação; f_{valor} = valor da análise de variância entre os grupos de ecossistemas (espacial) e entre os períodos sazonais (temporal).

Período	Estiagem				Chuvoso				Anova	
	Ausente (n = 4)	Baixa (n = 5)	Média (n = 2)	Alta (n = 1)	Ausente (n = 5)	Baixa (n = 2)	Média (n = 1)	Alta (n = 4)	f valor espacial	f valor temporal
Temp. (°C)	26,5 ± 2,1	27,8 ± 2,0	30,8 ± 0,7	30,5	30,3 ± 3,7	33,4 ± 2,9	32,3	33,7 ± 2,9	2,3	12,9*
pH	10,4 ± 0,2	10,2 ± 0,4	10,6 ± 0,1	11,0	9,3 ± 0,5	7,4 ± 0,0	8,8	7,4 ± 0,1	17,2*	242,2*
CE (mS.cm⁻¹)	0,5 ± 0,6	1,1 ± 1,7	0,8 ± 0,9	0,3	1,1 ± 1,7	0,2 ± 0,0	0,39	0,1 ± 0,0	0,3	0,2
Tur. (NTU)	95,5 ± 97,1	45,3 ± 43,8	58,4 ± 63,1	0,8	33,8 ± 15,8	11,0 ± 0,2	67,0	9,3 ± 4,2	1,1	2,9
O2 (mg.L⁻¹)	11,7 ± 3,5	18,8 ± 19,7	14,0 ± 0,3	13,1	7,1 ± 1,5	3,5 ± 0,9	8,03	6,1 ± 1,5	0,1	4,8*
ST. (g/L)	0,3 ± 0,4	0,7 ± 1,1	0,5 ± 0,6	0,2	0,5 ± 0,9	0,1 ± 0,0	0,19	0,0 ± 0,0	0,2	0,7
Sal. (‰)	0,02 ± 0,03	0,06 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,0	0,5 ± 0,9	0,1 ± 0,0	0,19	0,1 ± 0,1	0,5	1,7
Secchi (cm)	24,0 ± 12,3	42,5 ± 31,7	27,5 ± 10,6	95,0	32,5 ± 15,5	69,3 ± 4,6	16,5	70,6 ± 29,6	5,1*	1,6
NO2 (µg.L⁻¹)	8,3 ± 5,4	30,6 ± 49,2	19,3 ± 19,9	43,6	8,5 ± 6,5	11,5 ± 10,6	81,5	8,9 ± 6,4	1,1	0,4
NO3 (µg.L⁻¹)	28,1 ± 42,4	8,7 ± 19,6	5,3 ± 7,4	0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0	37,0 ± 74,0	0,5	0,01
NH3 (µg.L⁻¹)	109,2 ± 100,2	241,6 ± 342,6	157,0 ± 196,6	147,0	16,2 ± 21,7	12,4 ± 2,7	138	0,9 ± 1,4	0,3	4,2
PO4 (µg.L⁻¹)	65,1 ± 89,1	146,1 ± 152,4	269,0 ± 248,8	571,5	144,0 ± 63,8	187,2 ± 161,4	73,86	260,5 ± 104,4	3,2*	0,03
PT (µg.L⁻¹)	134,5 ± 125,1	259,1 ± 212,2	332,0 ± 332,3	762,0	391,7 ± 207,9	423,7 ± 240,4	77,0	378,7 ± 159,8	0,7	1,3
NT (µg.L⁻¹)	178,3 ± 97,9	614,7 ± 722,0	979,1 ± 873,7	593,3	1729,4 ± 855,1	655,4 ± 452,5	2654,0	711,9 ± 185,6	2,6	9,07*
Prec. (mm)	0,0 ± 0,0	0,4 ± 0,9	0,0 ± 0,0	0,0	24,7 ± 55,2	122,9 ± 4,1	56,6	69,5 ± 13,9	2,5	-

*variância significativa (p<0,05)

Tabela 2. Espécies e grupos funcionais com maior representatividade da comunidade fitoplanctônica em cada cenário de macrófitas encontrados. Legenda: Ausente = grupo de ambientes que não apresentaram cobertura de macrófitas (0%); Baixa = 1 a 25%; Média = 26 a 65%; Alta = 66 a 100%.

Macrófitas	Espécies	FG	MBFG
Período de estiagem			
Ausente	<i>Euglena acus</i> ; <i>Kirchneriella irregularis</i> ; <i>Volvox aureus</i> ; <i>Trachelomonas volvocinopsis</i> ; <i>Pinnularia acuminata</i>	W2; W1; J; MP	V; IV; VI
Baixa	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> ; <i>Scenedesmus ecornis</i> ; <i>Chroococcus minor</i> ; <i>Euglena proxima</i>	F; J; W2; W1	IV; VII; V
Média	<i>Chlorolobion braunii</i> ; <i>Planktolyngbya limnetica</i> ; <i>Cryptomonas obovata</i> ; <i>Euglena acus</i> ; <i>Nitzschia sp.</i>	X1; S1; Y; J; MP	IV; V; I
Alta	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i> ; <i>Closterium diana</i> ; <i>Staurastrum gracile</i> ; <i>Scenedesmus planctonicus</i> ; <i>Cryptomonas obovata</i>	F; Tc; MP; P; N _A	VII; III; VI
Período chuvoso			
Ausente	<i>Cryptomonas ovata</i> ; <i>Monoraphidium contortum</i> ; <i>Trachelomonas volvocinopsis</i>	Y; W2; S1	V; IV; II
Baixa	<i>Scenedesmus ecornis</i> ; <i>Malomonas spp.</i> ; <i>Rhodomonas app.</i> ; <i>Euglena acus</i> ; <i>Trachelomonas volvocinopsis</i>	X1; W2; MP	V; II; IV
Média	<i>Cryptomonas marssonii</i> ; <i>Chlorella vulgaris</i> ; <i>Scenedesmus ecornis</i> ; <i>Strombomonas acuminata</i> ; <i>Parvodinium umbonatum</i>	X1; Y; W2; J; G	V; IV; II
Alta	<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> ; <i>Chlorococcum infusionum</i> ; <i>Planktosphaeria gelatinosa</i> ; <i>Micrasterias furcata</i> ; <i>Kirchneriella irregularis</i>	MP; J; Y; F; N _A	V; IV; I

As Chlorophyta do grupo **X1** típicas de ambientes rasos e eutrofizados, e as Cyanophyta do grupo **S1** próprias de águas turvas estiveram presentes em cenários com média cobertura de macrófitas. Em ambientes com cenário de alta cobertura de macrófitas ocorreram FG como **F**, **W2**, **MP**, típicos de ambientes claros e rasos, e os MBFG VII e V, algas de grande e médio

tamanhos. O grupo **Tc** ocorreu apenas no ambiente Alto piranhas 5, no período de estiagem cujo cenário era de alta cobertura de macrófitas submersas e emergentes (Tabela 2).

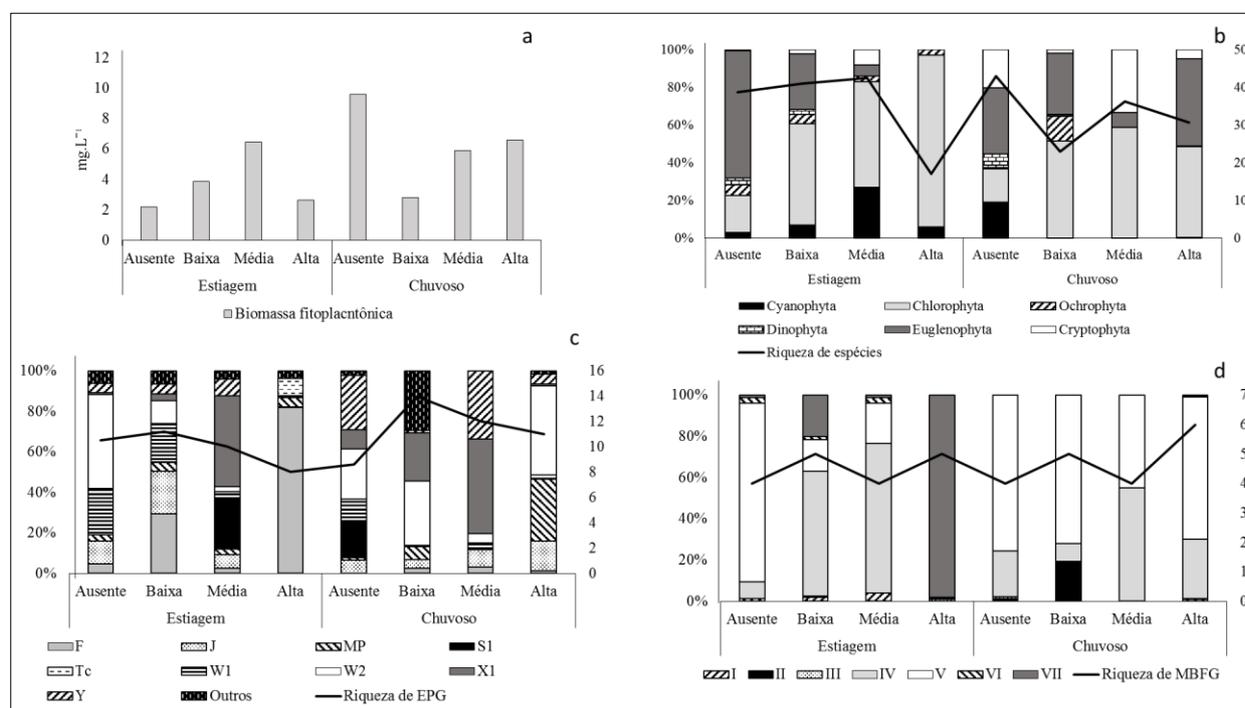


Figura 3. Biomassa e estrutura da comunidade fitoplanctônica nos reservatórios estudados agrupados nos seguintes cenários de macrófitas aquáticas nos dois períodos de coleta: Ausente = sem plantas (0%); Baixa = reservatórios com cobertura de macrófita entre 1 e 25%; Média = entre 26 e 65%; e Alta = entre 66 - 100%. a) Biomassa total do fitoplâncton (mg.L⁻¹). b) Biomassa relativa dos grupos taxonômicos do fitoplâncton. c) Biomassa relativa dos FG. d) Biomassa relativa dos MBFG.

O ponto de corte nas matrizes de espécies e de FG incluiu 49 espécies e 16 FG nas Análises Correspondência Canônica. Tais análises geraram modelos significativos ($p < 0,001$) e apresentaram diferentes valores de poder explicativo. Considerando a classificação taxonômica (CCA_{tax}), a variação da comunidade fitoplanctônica foi explicada em 27,63% (29,3% eixo 1 e 26,6% no eixo 2), com os FG (CCA_{fg}) a proporção explicada foi de 34,11% (36,8% no eixo 1 e 32,1% no eixo 2) e com os MBFG (CCA_{mbfg}) a variação fitoplanctônica foi explicada em 47,02% (75,8% no eixo 1 e 22,3% no eixo 2) (tabela 3).

Nas ordenações geradas por tais análises, foi observado que, na CCA_{tax} as unidades amostrais do período de estiagem e do período chuvoso tendem a se separar ao longo do eixo 2. Já na CCA_{mbfg} , esta separação sazonal é observada ao longo do eixo 1 (figura 4), que é o eixo que acumula maior proporção explicativa (tabela 3).

A variável pH foi selecionada em todos os modelos, já o fósforo, apenas na CCA_{tax} (na forma de ortofosfato) e na CCA_{fg} (fósforo total). A transparência foi importante apenas nos modelos com as classificações funcionais e a cobertura de macrófitas submersas foi selecionada apenas na CCA_{mbfg} e apresentou maior valor de relação com o primeiro eixo (tabela 3). O MBFG VII esteve relacionado a maiores coberturas de macrófitas submersa, enquanto o grupo II, a maiores valores de transparência. O FG T_c esteve relacionado aos níveis elevados de ortofosfato, o S1 a maiores valores de nitrogênio e os W2, N_A e F a elevados valores de transparência.

Tabela 3. Resumo estatístico das Análises de Correspondência Canônica. CCA_{tax} = modelo realizado utilizando a estrutura taxonômica do fitoplâncton; CCA_{fg} = modelo realizado com a classificação ecofisiológica; CCA_{mbfg} = modelo com a classificação morfológica; NT = nitrogênio total; PT = fósforo total; PO₄ = ortofosfato; Mac = cobertura do hábito submerso; Secchi = transparência da água.

Modelos	CCA _{tax}		CCA _{fg}		CCA _{mbfg}	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores	0,71	0,63	0,27	0,24	0,37	0,11
Proporção explicada (%)	29,3	26,6	36,8	32,1	75,8	22,3
Significância	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,05
Biplot scores						
pH (p<0,01)	-0,02	0,83	-0,45	0,89	-0,62	0,48
NT (p<0,01)	0,39	0,4	-0,86	-0,48	-	-
PT (p<0,01)	-0,71	0,16	-	-	-	-
PO₄ (p<0,05)	-0,61	0,11	-0,34	0,44	-	-
Sub. (p<0,05)	-	-	-	-	-0,69	-0,27
Secchi (p>0,05)	-	-	-0,51	-0,11	-0,37	-0,91

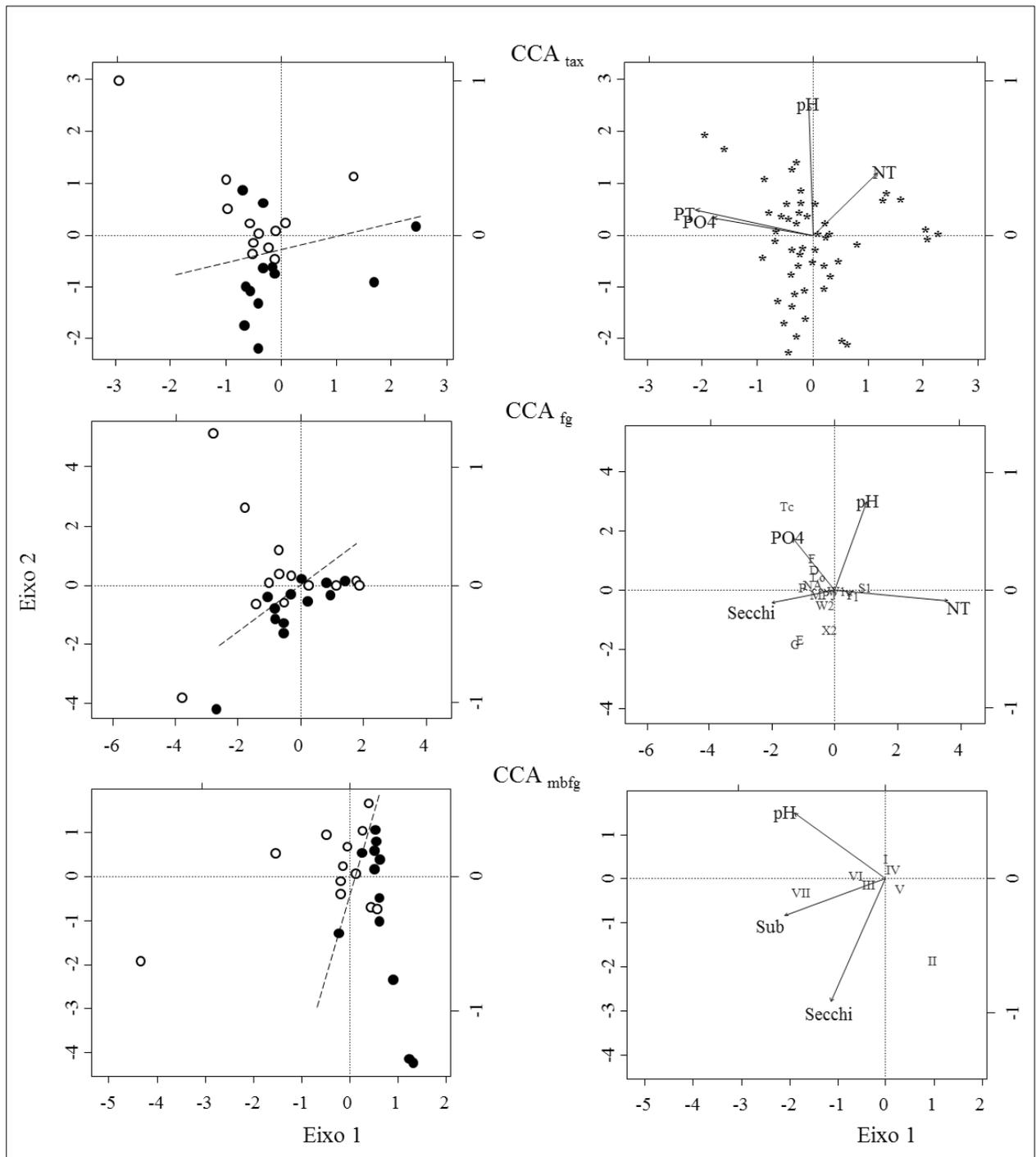


Figura 4. Ordenação das CCAs mostrando as unidades amostrais (à esquerda), as espécies/GFs e as variáveis explicativas selecionadas em cada modelo (à direita). Legenda: CCA_{tax} = modelo realizado utilizando a estrutura taxonômica do fitoplâncton; CCA_{fg} = modelo realizado com a classificação ecofisiológica; CCA_{mbfg} = modelo com a classificação morfológica; * = espécies fitoplanctônicas; ● = unidades amostrais do período chuvoso; ○ = unidades amostrais do período de estiagem; linhas tracejadas = tendência de separação sazonal das unidades amostrais. NT = nitrogênio total; PT = fósforo total; PO₄ = ortofosfato; Sub = cobertura do hábito submerso.

4.4 Discussão

As riquezas taxonômica e funcional e a biomassa do fitoplâncton não estiveram relacionadas à cobertura de macrófitas levando a rejeição da hipótese 1. Esta fraca relação pode ser explicada pela sensibilidade do ecossistema a interferências externas, como a poluição (Gallego *et al.* 2012). Outros autores, no entanto, reportaram essa relação como significativa (Declerck *et al.* 2007; Muylaert *et al.* 2010). Os atributos da comunidade fitoplanctônica (biomassa e riqueza) variaram entre os períodos sazonais, mesmo que não significativamente. A ocorrência da chuva contribuiu para o aumento da biomassa fitoplanctônica, o que pode ser explicado pelo carreamento de nutrientes dos arredores dos ecossistemas pela chuva (Dantas *et al.* 2012). Esse aumento na biomassa fitoplanctônica não ocorre equitativamente entre as populações da comunidade, podendo assim, reduzir a riqueza (taxnômica e funcional), como foi observado.

Mesmo não havendo relação significativa entre a cobertura total de macrófitas e os atributos do fitoplâncton, podemos associar as estruturas fitoplanctônicas com os diferentes cenários de macrófitas. Em ambientes com média e alta cobertura de macrófitas, grupos funcionais como **NA**, **F** e **W2** ocorreram com maior representatividade que em cenários de menor cobertura. Tais grupos são reportados, por outros autores, como típicos de ambientes rasos, claros e sem mistura (Moura *et al.* 2007; Souza *et al.* 2008; Becker, Cardoso e Huszar 2009). Isto pode ser explicado, uma vez que as macrófitas causam estabilidade na lâmina d'água e altos valores de transparência. Como visto em nossos resultados, a presença de macrófitas esteve associada a baixos valores de condutividade elétrica, condição não favorável para microalgas do grupo **S1** (Bouvy *et al.* 2000) que ocorreram em cenários sem plantas. As microalgas perifíticas do grupo **TC** estiveram relacionadas a altos valores de ortofosfato, característica do cenário de alta cobertura de macrófitas. Isto corrobora com a descrição do ambiente feita pelos autores que sugeriram este grupo (Borics *et al.* 2007).

Além disso, a cobertura de macrófitas submersas foi considerada variável descritora da estrutura morfológica do fitoplâncton (MBFG) no modelo gerado pela CCA. Em cenários com alta cobertura de macrófitas submersas, onde os nutrientes não foram limitantes, as algas do grupo VII (grandes indivíduos coloniais com células pequenas) foram mais representativas. Edwards, Klausmeier e Litchman (2011) e Malerba, Heimann e Connolly (2016) relacionaram o tamanho das células com a absorção de nutrientes, sendo que células pequenas apresentam menor taxa de absorção de nutrientes. Isto corrobora com nossos resultados, uma vez que, em ambientes onde os nutrientes não são limitantes, não é necessária uma estratégia de alta taxa de absorção de nutrientes.

Os resultados das CCAs levam à rejeição da hipótese 2, uma vez que o modelo gerado com a MBFG representou melhor os dados, apresentando maior poder explicativo. O baixo número de grupos e os traços funcionais desta classificação a tornam eficiente para capturar as variações da estrutura fitoplanctônica relacionada às variáveis ambientais. Izaguirre *et al.* (2012) também encontraram maior poder explicativo com a estrutura da MBFG e concluem que esta classificação, comparada a FG, é mais sensível a certos aspectos da comunidade fitoplanctônica importantes para a dinâmica do ecossistema. Outros autores também encontraram melhores resultados estatísticos com a estrutura morfológica quando comparada com outras classificações funcionais (Hu, Han e Naselli-Flores 2013; Petar *et al.* 2014). A classificação morfológica apresenta como vantagens a objetividade, a relativa simplicidade na utilização e a independência da classificação taxonômica.

Em tais modelos as variáveis selecionadas como descritoras na estruturação do fitoplâncton foram radiação solar, que também foi considerada importante em lagos temperados (Beamud *et al.* 2015), níveis de nutrientes que têm relação significativa e positiva com a biomassa fitoplanctônica (Lv *et al.* 2014), pH que reflete o consumo de nutrientes como o carbono (Bouvy *et al.* 2000) e as macrófitas submersas que interferem diretamente no crescimento das microalgas (Dong *et al.* 2014). A importância de tais variáveis sustenta o fato de que os modelos gerados foram robustos, mesmo sendo diferentes entre si.

Beamud *et al.* (2015) observaram que o mesmo conjunto de variáveis foram descritoras das três estruturas do fitoplâncton (FG, MBFG e taxonômica), deixando, assim, livre a escolha da classificação a utilizar. No entanto, no presente estudo, bem como nos de outros autores (Izaguirre *et al.* 2012; Hu, Han e Naselli-Flores 2013; Abonyi *et al.* 2014), encontrou-se que diferentes variáveis foram selecionadas como descritoras dependendo da estrutura fitoplanctônica utilizada, fazendo com que o uso de uma destas seja indicado em detrimento das outras. Considerando nossos resultados, indicamos o uso da classificação MBFG que gerou modelo com maior poder explicativo da variação da estrutura fitoplanctônica, mesmo com um menor número de variáveis selecionadas. Além disso, as unidades amostrais na CCA_{mbfg} estiveram dispersas no eixo que acumulou maior faixa explicativa. Sendo assim, nós sugerimos que a classificação morfológica representa a ferramenta mais eficiente na explicação da variação da comunidade fitoplanctônica em estudos com amostragem espacial detalhada e considerando, inclusive, interações biológicas.

As classificações funcionais se utilizam de traços eco, fisio e fenológicos para agrupar indivíduos que compartilhem o mesmo nicho específico, independentemente de sua filogenia, o que reduz o viés da redundância ecológica contido na classificação taxonômica (Salmaso *et al.* 2015). Trabalhos que compararam as classificações funcionais com a taxonômica, encontraram resultados semelhantes aos nossos. Di Maggio *et al.* (2016) concluíram que o agrupamento

funcional provê padrões mais simples e baixa dispersão dos dados. Logo, podemos afirmar que as classificações funcionais, em comparação com a taxonômica, detectam de forma mais clara as relações do fitoplâncton com as variáveis ambientais.

Por conclusão, temos que, apesar de não haver forte relação entre a cobertura de macrófitas e a biomassa e riqueza fitoplanctônicas, as condições abióticas geradas em consequência da presença das macrófitas interferem na estrutura do fitoplâncton. E estas interações são verificadas mais claramente com o uso das classificações funcionais quando comparadas à classificação taxonômica uma vez que os grupos funcionais capturam informações sobre as relações ecológicas que as espécies nem sempre apresentam. Podemos, também, concluir que a classificação morfológica é a mais adequada em estudos com escala espacial detalhada e que considerem variáveis como interação biológica.

4.5 Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa, à Universidade Estadual da Paraíba – UEPB pelo apoio nas análises químicas no laboratório de limnologia no campus I e à Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas – Empasa pelo apoio logístico. E à bolsa produtividade da segunda autora (processo nº 304237/2015-9).

4.6 Considerações finais

Os ecossistemas estudados são importantes uma vez que abastecem a população circunvizinha nas atividades domésticas e agropecuárias de pequeno porte. Trabalhos que abordem as comunidades biológicas destes pequenos reservatórios se tornam essenciais para que se mantenha o conhecimento do estado dessas águas. Parte desses reservatórios estão localizados na região semiárida e sujeitos a períodos de estiagem extrema, o que pode gerar condições propícias para espécies de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas.

Apesar disto, nenhum dos reservatórios estudados apresentou dominância de cianobactérias. A comunidade fitoplanctônica esteve composta principalmente por Chlorophyta e Euglenophyta. Os grupos funcionais que se destacaram em biomassa foram **J**, **X1**, **F**, **W1** e **W2** e os grupos morfológicos IV e V. A ocorrência destes grupos sob as condições abióticas encontradas no

presente estudo corrobora com as descrições feitas pelos autores que sugeriram tais grupos, enfatizando o poder preditivo das classificações funcionais. A variação na estrutura da comunidade fitoplanctônica foi associada às condições abióticas geradas pela variação da cobertura de macrófitas aquáticas, ressaltando a importância desta interação biológica.

As macrófitas aquáticas se estabelecem facilmente em pequenos reservatórios. Logo, se faz importante o entendimento a respeito desta comunidade e suas influências sobre as condições abióticas e as outras comunidades. Tais organismos apresentam-se em diferentes hábitos de vida (submersos, flutuantes, anfíbios e emergentes) que interferem no ambiente de maneira distinta, gerando nichos específicos para o fitoplâncton. Logo, foi importante considerar a variação de cada uma desses hábitos neste estudo. No intuito de capturar diferentes cenários de cobertura de macrófitas, foram analisados vários reservatórios de diferentes bacias hidrográficas.

O desenho amostral com maior enfoque na escala espacial foi importante, também, para a comparação das classificações utilizadas, uma vez que, as diferentes classificações funcionais são adequadas para distintos tipos de dados. Apesar do espectro temporal não ter sido detalhado, coletou-se em períodos sazonais distintos com o objetivo de se capturar réplicas temporais das unidades amostrais analisadas e perceber a influência das chuvas na estruturação das comunidades. Diferentes dos outros trabalhos que compararam classificações, o presente estudo insere na análise, a interação ecológica e o enfoque na escala espacial.

Quanto as classificações utilizadas, verificamos, por diferentes evidências, que a classificação morfológica (MBFG) representou a estrutura fitoplanctônica de maneira mais clara e explicativa. Desta forma, podemos recomendar o uso desta classificação aos autores que, ao realizar um estudo com espectro espacial detalhado, tiverem o objetivo de entender as relações ecológicas das comunidades e gerar dados preditivos.

O estudo da estrutura funcional do fitoplâncton em pequenos reservatórios no Nordeste brasileiro revela importantes características ecológicas dos organismos fotossintetizantes encontrados nestes ecossistemas. O presente trabalho contribuiu, assim, para o entendimento da relevância e do uso das classificações funcionais para o fitoplâncton, considerando a importância do desenho amostral do estudo e de variáveis ambientais como a cobertura de macrófitas aquáticas. Este conhecimento se torna, assim, subsídio para possíveis intervenções ecossistêmicas e para estudos futuros.

4.7 Referências bibliográficas

Abonyi, A., Leitão, M., Stanković, I., Borics, G., Várbíró, G. e Padisák, J. (2014) A large river (River Loire, France) survey to compare phytoplankton functional approaches: Do they display river zones in similar ways? *Ecological Indicators*, **46**, 11–22.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., de Moraes Gonçalves, J.L. e Sparovek, G. (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, **22**, 711–728.

Beamud, S.G., León, J.G., Kruk, C., Pedrozo, F. e Diaz, M. (2015) Using trait-based approaches to study phytoplankton seasonal succession in a subtropical reservoir in arid central western Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, **187**, 1–16.

Becker, V., Cardoso, L.S. e Huszar, V.L.M. (2009) Diel variation of phytoplankton functional groups in a subtropical reservoir in southern Brazil during an autumnal stratification period. *Aquatic Ecology*, **43**, 285–293.

Borics, G., Varbiro, G., Grigorszky, I., Krasznai, E., Szabo, S. e Kiss, K.T. (2007) A new evaluation technique of potamo-plankton for the assessment of the ecological status of rivers. *Large Rivers*, **17**, 465–486.

Bortolini, J.C., Rodrigues, L.C., Jati, S. e Train, S. (2014) Phytoplankton functional and morphological groups as indicators of environmental variability in a lateral channel of the Upper Paraná River floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **26**, 98–108.

Bouvy, M., Falcão, D., Marinho, M., Pagano, M. e Moura, A. (2000) Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, **23**, 13–27.

Costa, D.F. da, Barbosa, J.E. de L. e Dantas, Ê.W. (2016) Productivity–diversity relationships in reservoir phytoplankton communities in the semi-arid region of northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, **129**, 64–70.

Dantas, Ê.W., Bittencourt-Oliveira, M. do C. e Moura, A. do N. (2012) Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil assessed using Reynolds' theory. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, **42**, 72–80.

Declerck, S., Vanderstukken, M., Pals, A., Muylaert, K. e De Meester, A.L. (2007) Plankton Biodiversity Along a Gradient of Productivity and Its Mediation By Macrophytes. *Ecology*, **88**, 2199–2210.

- Di Maggio, J., Fernández, C., Parodi, E.R., Diaz, M.S. e Estrada, V. (2016) Modeling phytoplankton community in reservoirs. A comparison between taxonomic and functional groups-based models. *Journal of Environmental Management*, **165**, 31–52.
- Dong, J., Yang, K., Li, S., Li, G. e Song, L. (2014) Submerged vegetation removal promotes shift of dominant phytoplankton functional groups in a eutrophic lake. *Journal of Environmental Sciences (China)*, **26**, 1699–1707.
- Edwards, K.F., Klausmeier, C.A. e Litchman, E. (2011) Evidence for a three-way trade-off between nitrogen and phosphorus competitive abilities and cell size in phytoplankton. *Ecology*, **92**, 2085–2095.
- Hillebrand, H., Dürselen, C.-D., Kirschtel, D., Pollinger, U. e Zohary, T. (1999) Biovolume Calculation for Pelagic and Benthic Microalgae. *Journal of Phycology*, **35**, 403–424.
- Hu, R., Han, B. e Naselli-Flores, L. (2013) Comparing biological classifications of freshwater phytoplankton: A case study from South China. *Hydrobiologia*, **701**, 219–233.
- Izaguirre, I., Allende, L., Escaray, R., Bustingorry, J., Pérez, G. e Tell, G. (2012) Comparison of morpho-functional phytoplankton classifications in human-impacted shallow lakes with different stable states. *Hydrobiologia*, **698**, 203–216.
- Kruk, C., Huszar, V.L.M., Peeters, E.T.H.M., Bonilla, S., Costa, L., Lürling, M., Reynolds, C.S. e Scheffer, M. (2010) A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, **55**, 614–627.
- Kruk, C., Mazzeo, N., Lacerot, G. e Reynolds, C.. (2002) Classification schemes for phytoplankton: a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement. *Journal of Plankton Research*, **24**, 901–912.
- Lv, H., Yang, J., Liu, L., Yu, X., Yu, Z. e Chiang, P. (2014) Temperature and nutrients are significant drivers of seasonal shift in phytoplankton community from a drinking water reservoir, subtropical China. *Environmental Science and Pollution Research*, **21**, 5917–5928.
- Malerba, M.E., Heimann, K. e Connolly, S.R. (2016) Nutrient utilization traits vary systematically with intraspecific cell size plasticity (ed S Leroux). *Functional Ecology*, **30**, 1745–1755.
- Moura, A.D.N., Bittencourt-Oliveira, M.D.C., Dantas, Ê.W. e Arruda Neto, J.D.D.T. (2007) Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in a tropical Brazilian reservoir. *Acta Botanica Brasilica*, **21**, 641–648.

- Mulderij, G., Van Nes, E.H. e Van Donk, E. (2007) Macrophyte-phytoplankton interactions: The relative importance of allelopathy versus other factors. *Ecological Modelling*, **204**, 85–92.
- Muylaert, K., Pérez-Martínez, C., Sánchez-Castillo, P., Lauridsen, T.L., Vanderstukken, M., Declerck, S.A.J., Van der Gucht, K., Conde-Porcuna, J.-M., Jeppesen, E., De Meester, L. e Vyverman, W. (2010) Influence of nutrients, submerged macrophytes and zooplankton grazing on phytoplankton biomass and diversity along a latitudinal gradient in Europe. *Hydrobiologia*, **653**, 79–90.
- Petar, Ž., Marija, G.U., Koraljka, K.B., Anđelka, P.-M. e Judit, P. (2014) Morpho-functional classifications of phytoplankton assemblages of two deep karstic lakes. *Hydrobiologia*, **740**, 147–166.
- Salmaso, N., Naselli-Flores, L. e Padisák, J. (2015) Functional classifications and their application in phytoplankton ecology. *Freshwater Biology*, **60**, 603–619.
- Salmaso, N. e Padisák, J. (2007) Morpho-Functional Groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia*, **578**, 97–112.
- Sassi, R. e Kutner, M.B.B. (1982) Variação Sazonal do Fitoplâncton da Região do Saco da Ribeira (Lat, 23o30'S; Long, 45o07'W), Ubatuba, Brasil. *Bolm Instituto Oceanográfico*, **31**, 29–42.
- Souza, M.B.G., Barros, C.F.A., Barbosa, F., Hajnal, É. e Padisák, J. (2008) Role of atelomixis in replacement of phytoplankton assemblages in Dom Helvécio Lake, South-East Brazil. *Hydrobiologia*, **607**, 211–224.
- Stanca, E., Cellamare, M. e Basset, A. (2013) Geometric shape as a trait to study phytoplankton distributions in aquatic ecosystems. *Hydrobiologia*, **701**, 99–116.
- Sthapit, E., Ochs, C.A. e Zimba, P.V. (2008) Spatial and temporal variation in phytoplankton community structure in a southeastern U.S. reservoir determined by HPLC and light microscopy. *Hydrobiologia*, **600**, 215–228.
- Sun, J. e Liu, D. (2003) Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, **25**, 1331–1346.
- Violle, C., Navas, M., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., Garnier, E., Oikos, S., May, N., Violle, C., Navas, M., Vile, D., Kazakou, E. e Fortunel, C. (2007) Let the Concept of Trait Be Functional ! *Oikos*, **116**, 882–892.

Weithoff, G. (2003) The concepts of “plant functional types” and “functional diversity” in lake phytoplankton—a new understanding of phytoplankton ecology? *Freshwater Biology*, **48**, 1669–1675.

Yarranton, G.A. (1966) A Plotless Method of Sampling Vegetation. *The Journal of Ecology*, **54**, 229.

5. ANEXO

Normas para submissão de manuscritos à revista **Functional Ecology**

Functional Ecology is published twelve times a year. The journal publishes original research papers that enable a mechanistic understanding of ecological pattern and process from the organismic to the ecosystem scale.

Page Limits

The journal does not impose specific length constraints on papers. However, papers will be returned for shortening before review if the editor deems the paper to be longer than the topic or data warrant. Authors will be asked to justify additional length over 7500 words for standard papers.

Standard Papers

A standard paper is a typical experimental, comparative or theoretical paper. Although we do not impose length restrictions on papers, we do require that papers make appropriate use of the space available. Please refer to the Functional Ecology **Manuscript Template** for an example of manuscript formatting. The target length of Standard Papers is approximately 7,500 words, including references.

The typescript should be arranged as follows:

Title page. This should contain the following.

A concise and informative title. Do not include the authorities for taxonomic names in the title.

A list of authors' names, with names and addresses of their Institutions.

The name, address and e-mail address of the correspondence author to whom proofs will be sent.

A running headline of not more than 45 characters.

Summary. This should list the main results and conclusions, using simple, factual, numbered statements.

Summaries are typically less than 350 words and should be understandable in isolation and by the non-specialist.

Summaries should start with a bullet point 1 describing the broad conceptual question addressed by the study, and only delve into the study system and specific question in bullet point 2.

Summaries should also end with a final bullet point highlighting the conceptual advance(s) that comes from the current study; i.e. it should highlight the broader conceptual implication of the results and conclusions of the current study.

Advice for optimizing your Summary (and Title) so that your paper is more likely to be found in online searches is provided at <http://authorservices.wiley.com/bauthor/seo.asp>

Key-words. A list in alphabetical order not exceeding eight words or short phrases.

Introduction. The Introduction should state the reason for doing the work, the nature of the hypothesis or hypotheses under consideration, and the essential background. Though the exact

structure of Introductions will vary among papers, they should always start by developing the broad conceptual context for the work before delving into the details of the study system and the specific question as framed for this paper.

Materials and methods. This section should provide sufficient details of the techniques to enable the work to be repeated. Do not describe or refer to commonplace statistical tests in Methods but allude to them briefly in Results. Details that are valuable but not critical can be presented in an Appendix to be published as online supporting information.

Results. The results should draw attention in the text to important details shown in tables and figures.

Discussion. This should point out the significance of the results in relation to the reasons for doing the work, and place them in the context of other work.

Author Contributions Statement. All submissions must include an Author Contributions statement. All persons listed as authors on a paper are expected to meet ALL of the following criteria for authorship:

- substantial contributions to conception and design, or acquisition of data, or analysis and interpretation of data, or drafting the article or revising it critically for important intellectual content;
- final approval of the version to be published;
- agreement to be accountable for the aspects of the work that they conducted and ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of their work are appropriately investigated and resolved.

Acquisition of funding, provision of facilities, or supervising the research group of authors without additional contribution are not usually sufficient justifications for authorship. The statement should include an explanation of the contribution of each author. We suggest the following format for the Author Contributions statement:

AB and CD conceived the ideas and designed methodology; CD and EF collected the data; EF and GH analysed the data; AB and CD led the writing of the manuscript. All authors contributed critically to the drafts and gave final approval for publication.

Acknowledgements. In addition to acknowledging collaborators, research assistants, and previous reviewers of your manuscript, include relevant permit numbers (including institutional animal use permits), acknowledgment of funding sources, and give recognition to nature reserves or other organizations that made this work possible.

Data Accessibility. Authors are required to provide a statement here. If the paper has archived data associated with it, the authors are required to state the location. To enable readers to locate archived data from papers, we require that authors list the database and the respective accession numbers or DOIs for all data from the manuscript that has been made publicly available. See the Specifications below or Data Archiving Q&A for more details.

If there are no archived data associated with this paper, the authors should give a statement with an explanation, eg.

All data used in this manuscript are present in the manuscript and its supporting information.

This manuscript does not use data (eg. Perspectives, FE Spotlights, etc.)

Some or all of the data associated with this paper have not been publically archived. [Please state the approved justification for this. Long embargoes and waivers will only be granted in exceptional circumstances.]

Tables. These should be referred to in the text as Table 1, Table 2, etc. Do not present the same data in both figure and table form. Do not use an excessive number of digits when writing a decimal number to represent the mean of a set of measurements (the number of digits should reflect the precision of the measurement).

Figures. Figures should be referred to in the text as Fig. 1, etc. (note Figs 1 and 2 with no period). Illustrations should be referred to as Figures. When possible, include a key to symbols on the figure itself rather than in the figure legend.

Reviews and Perspectives. Most Reviews and Perspectives will be in essay format, with the subject headings dependent on the topic of the paper. See recent editions of the journal for examples.

Manuscript Specifications

Manuscripts. The paper must include sequential line numbering throughout, and pages should be numbered consecutively, including those containing acknowledgements, references, tables and figure legends. Authors should submit the main document as a RTF or Word file. Figures can be embedded or uploaded as separate files. The RTF and Word will be converted to PDF (portable document format) upon upload. Reviewers will review the PDF version while the Word file will remain accessible by the Editorial Office. Manuscripts must be in English, and spelling should conform to the Oxford English Dictionary. Please refer to the Functional Ecology Manuscript Template for an example of manuscript formatting.

References to work by up to three authors in the text should be in full on first mention, e.g. (Able, Baker & Charles 1986), and subsequently abbreviated (Able et al. 1986). When different groups of authors with the same first author and date occur, they should be cited thus: (Able, Baker & Charles 1986a; Able, David & Edwards 1986b), then subsequently abbreviated to (Able et al. 1986a; Able et al. 1986b). If the number of authors exceeds three, they should always be abbreviated thus: (Carroll et al. 2007). References in the text should be listed in chronological order. References in the list should be in alphabetical order with the journal name in full. The format for papers, entire books, and chapters in books is as follows.

Carroll, S.P., Hendry A.P., Reznick, D.N. & Fox, C.W. (2007) Evolution on ecological time-scales. *Functional Ecology*, **21**, 387-393.

Darwin, C. (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. J. Murray, London.

Travis, J. (1994) Evaluating the adaptive role of morphological plasticity. *Ecological Morphology* (eds P.C. Wainwright & S.M. Reilly), pp. 99-122. University of Chicago Press, Chicago.

Platenkamp, G.A.J. (1989) *Phenotypic plasticity and genetic differentiation in the demography of the grass Anthoxanthum odoratum L.* PhD thesis, University of California, Davis.

6. APÊNDICES

Apêndice 1. Classificações funcionais para o fitoplâncton (adaptada de Salmaso *et al.*, 2015).
Legenda: MDL = máxima dimensão linear V = volume, S = área de superfície, S/V = relação superfície:volume.

Classificação funcional	Traços	Referências para fitoplâncton
r e K estrategistas (r/K)	Crescimento e características morfológicas	Margalef (1978)
Competitivo, Stress-tolerante e ruderal (CRS)	Crescimento, MDL e S/V	Reynolds (1988)
Grupos funcionais (FG)	Resistência e tolerância a condições abióticas	Reynolds <i>et al.</i> (2002)
Espectro de Tamanho de Biomassa (BSS, NBS)	Volume/Biomassa	Kamenir <i>et al.</i> (2004)
Grupos morfofuncionais (MFG)	Atributos estruturais, fisiológicos e taxonômicos	Salmaso e Padisák (2007)
Grupos funcionais baseados na morfologia (MBFG)	V, S, S/V, MDL, mucilagem, flagelo, aerótopo, heterócito e exoesqueleto de sílica	Kruk <i>et al.</i> (2010)
Formas geométricas do fitoplâncton (PGS)	Formato	Stanca <i>et al.</i> (2013)

Apêndice 2. Grupos funcionais da classificação de Reynolds *et al.* (2002) e seus respectivos ambientes e representantes. Lista adaptada de Padisák *et al.* (2009).

Grupo	Ambientes	Principais representantes
A	Claros, oligotróficos e com espécies sensíveis a altos valores de pH	<i>Urosolenia</i> spp.; <i>Rhizosolenia</i> spp.
B	Lagos rasos, mesotróficos e com espécies sensíveis a início de estratificação	<i>Aulacoseira subartica</i> ; <i>Aulacoseira islandica</i>
C	Pequenos e médios, eutrofizados e com espécies sensíveis a início de estratificação	<i>Asterionella formosa</i> ; <i>Aulacoseira ambigua</i> ; <i>Stephanodiscus rotula</i>
D	Rasos, enriquecidos e túrbidos, incluindo rios	<i>Nitzschia</i> spp.; <i>Synedra acus</i> ; <i>Stephanodiscus hantzschii</i>
E	Lagos pequenos, rasos e oligotróficos	<i>Dinobryon</i> spp.; <i>Mallomonas</i> spp.;

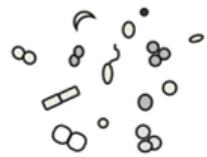
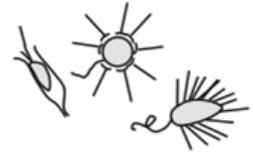
Continua

Grupo	Ambientes	Principais representantes
F	Meso-eutróficos, claros e com mistura profunda	Clorófitas coloniais e.g. <i>Botryococcus braunii</i> ; <i>Oocystis lacustris</i>
G	Ricos em nutrientes e sem mistura	<i>Eudorina</i> spp.; <i>Volvox</i> spp.
H1	Eutrofizados, rasos, estratificados e com baixos níveis de nitrogênio	<i>Anabaena flos-aquae</i> ; <i>Aphanizomenon</i> spp.
H2	Oligo-mesotróficos, profundos e estratificado ou rasos, mesotróficos e claros	<i>Anabaena lemmermanni</i> ; <i>Gloeotrichia echinulata</i>
J	Rasos, eutrofizados e com mistura	<i>Pediastrum</i> sp.; <i>Coelastrum</i> spp.; <i>Scenedesmus</i> spp.
K	Rasos e rico em nutrientes	<i>Aphanotece</i> spp.; <i>Aphanocapsa</i> spp.
Lo	Profundos ou rasos, médios ou grandes, de oligo a eutróficos	<i>Peridinium</i> spp.; <i>Merismopedia</i> spp.
LM	Eu-hipereutróficos, pequenos e médios	<i>Ceratium</i> spp.; <i>Microcystis</i> spp.
M	Eu-hipereutróficos, pequenos e médios	<i>Microcystis</i> spp.; <i>Sphaerocavum</i> spp.
MP	Todos tipos de lago	Algas do meroplâncton e.g. <i>Surirella</i> spp.; <i>Campylodiscus</i> spp.
N	Lagos temperados com epilímnio (2-3 m) mesotrófico	<i>Tabellaria</i> spp.; <i>Cosmarium</i> spp.; <i>Staurodesmus</i> spp.
NA	Lagos tropicais, oligo-mesotrófico e atelomíticos	<i>Cosmarium</i> spp.; <i>Staurodesmus</i> spp. e desmídeas filamentosas
P	Com epilímnio (2-3 m) eutrofizado	<i>Fragilaria crotonensis</i> ; <i>Aulacoseira granulata</i> ; <i>Closterium aciculare</i>
Q	Pequenos e húmicos	<i>Gonyostomum</i> spp.; <i>Heterosigma</i> spp.
R	Metalímnio de lagos profundos oligo-mesotróficos e estratificados	<i>Planktothrix rubescens</i> ; <i>P. mougeoti</i>
S1	Turvos e com mistura	<i>Planktothrix agardhii</i> ; <i>Limnothrix</i> spp.
S2	Quentes, rasas e altamente alcalinas	<i>Pseudanabaena</i> spp.; <i>Spirulina</i> spp.;
SN	Misturados e quentes	<i>Cylindrospermopsis</i> spp.; <i>Anabaena minutissima</i>
T	Profundos com epilímnio bem misturado	<i>Geminella</i> spp.; <i>Mougeotia</i> spp.; <i>Tribonema</i> spp.
TB	Ambientes lóticos	Diatomáceas epilíticas e.g. <i>Didymosphaenia geminata</i> ; <i>Gomphonema</i> spp.; <i>Fragilaria</i>
TC	Águas paradas eutróficas ou rios com baixo fluxo e macrófitas emergentes	Cianobactérias epifíticas e.g. <i>Oscillatoria</i> spp.; <i>Phormidium</i> spp.; <i>Lyngbya</i> spp.
TD	Águas paradas mesotróficas ou rios com baixo fluxo e macrófitas emergentes e submersas	Desmídeas epifíticas ou metafíticas; clorófitas filamentosas

Continua

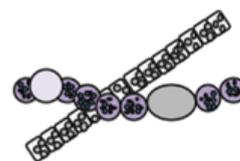
Grupo	Ambientes	Principais representantes
U	Oligo-mesotróficos e estratificados com nutrientes mal distribuídos	<i>Uroglena</i> spp.;
V	Metalímnio de lagos estratificados e eutróficos com evidentes gradientes de potencial redox	<i>Chromatium</i> ; <i>Chlorobium</i>
W1	Pequenos e eutróficos	Euglenóides; <i>Synura</i> spp.; <i>Gonium</i> spp.
W2	Meso-eutróficos e rasos	<i>Trachelomonas</i> spp.
Ws	Eutróficos e alcalinos	<i>Synura</i> spp. não planctônicas
W0	Lagos e rios eutróficos	<i>Chlamydomonas</i> spp.; <i>Pyrobotrys</i> spp.; <i>Chlorella</i> spp.; <i>Polytoma</i> spp.
X1	Eu-hipereutróficos, rasos e com mistura	<i>Chlorella</i> spp.; <i>Ankyra</i> spp. <i>Monoraphidium</i> spp.
X2	Meso-eutróficos, rasos e com mistura	<i>Plagioselmis</i> spp.; <i>Chrysochromulina</i> spp.
X3	Rasos, oligotróficos e com mistura	<i>Koliella</i> spp.; <i>Chrysococcus</i> spp.; Picoplâncton eucarioto
X_{Ph}	Pequenos, claros e alcalinos	<i>Phacotus lenticularis</i> ; <i>Phacotus</i> spp.;
Y	Com baixa pressão predatória	<i>Cryptomonas</i> spp.; pequenos dinoflagelados
Z	Metalímnio de lagos oligotróficos	<i>Synechococcus</i> spp.; <i>Cyanobium</i> spp.

Apêndice 3. Caracterização dos ambientes modelos e das espécies do fitoplâncton de cada grupo morfológico (Kruk e Segura, 2012).

Variáveis ambientais importantes/Caracterização das populações fitoplanctônicas	MBFGs
Fósforo e Nitrogênio são as variáveis mais importante na explicação da variação do biovolume. As populações presentes, de acordo com sua morfologia, são r-estrategistas.	 <p>I – Organismos pequenos com alta proporção S/V</p>
Águas oligotróficas e frias bem como lagos mesotróficos dominado por plantas aquáticas são o habitat deste grupo. Populações com moderada habilidade de adquirir recurso.	 <p>II – Pequenos flagelados com exoesqueleto de sílica</p>

Continua

Fósforo total e luminosidade são determinantes na variação do biovolume. Espécies K-estrategistas tolerantes às condições de pouca luz e nutriente.



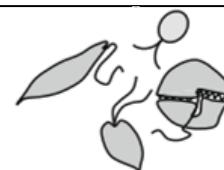
III – Grandes filamentos com aerótopos

Nitrogênio total e densidade de zooplâncton são variáveis explicativas importantes para o grupo. São susceptíveis à predação e tolerantes a limitação de recurso.



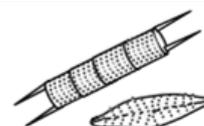
IV – Organismos médios sem características especializadas

Temperatura, densidade de zooplâncton e Nitrogênio explicam a distribuição do grupo. Boa assimilação de recursos pela sua mobilidade



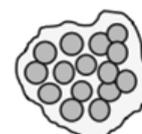
V – Médios e grandes flagelados

Temperatura, densidade de zooplâncton e nitrogênio são as variáveis que melhor explicam a variação do grupo. Melhores competidores em baixas temperaturas e tolerantes à predação.



VI – Aflagelados com exoesqueleto de sílica

Profundidade da zona de mistura e disponibilidade de sílica são determinantes. Espécies sensíveis a ausência de recurso.



VII – Grandes colônias mucilaginosas

Apêndice 4. Georreferenciamento dos ecossistemas estudados.

Reservatório	Clima	Coordenadas
a – Rochas	Bsh – Semiárido	07°46'29.9"S 36°46'16.9"W
b – da Associação	Bsh – Semiárido	07°43'47.1"S 36°48'09.8"W
c – Assentamento	Bsh – Semiárido	07°10'53.7"S 36°49'21.2"W

Continua

d - Salgadinho	Bsh – Semiárido	07°06'11.9"S 36°52'44.6"W
e - Goiabeira	As – Tropical com verão seco	07°05'21.3"S 37°28'59.1"W
f – Bela vista	As – Tropical com verão seco	07°08'13.5"S 37°36'57.8"W
g - Chara	As – Tropical com verão seco	07°11'44.3"S 37°43'27.7"W
h – Haras	As – Tropical com verão seco	07°19'12.7"S 38°12'53.5"W
i – Getúlio	As – Tropical com verão seco	07°07'05.2"S 38°26'43.3"W
j – Carrapateira	As – Tropical com verão seco	07°01'21.3"S 38°20'03.2"W
k – Nazarezinho	As – Tropical com verão seco	06°55'11.1"S 38°19'22.3"W
l - Mofumbo	As – Tropical com verão seco	06°44'05.2"S 37°55'02.5"W

Apêndice 5. Regime de chuvas nos ambientes estudados. Legenda: as setas cinza indicam a periodicidade de coleta.

