

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - CCBS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIVERSIDADE BIOLÓGICA E RECURSOS
NATURAIS - PPGDR

NATÁLIA MARCO DE OLIVEIRA

**ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO FITOPLÂNCTON SOB DIFERENTES REGIMES
HIDROLÓGICOS EM UM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO**

CRATO/CE
2025

NATÁLIA MARCO DE OLIVEIRA

**ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO FITOPLÂNCTON SOB DIFERENTES REGIMES
HIDROLÓGICOS EM UM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da Universidade Regional do Cariri-URCA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Diversidade Biológica e Recursos Naturais.

Orientadora: Dra. Maria Iracema Bezerra Loiola
Coorientadores: Dra. Sírleis Rodrigues Lacerda
Dr. Kaoli Pereira Cavalcante

CRATO/CE

2025

Eu, Natália Marco de Oliveira, autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha Catalográfica

Serviço de Biblioteca e Documentação da URCA/Campus Pimenta
Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais - PPGDR

Oliveira, Natália Marco de
Estrutura e composição do fitoplâncton sob diferentes regimes hidrológicos
em um reservatório do semiárido / Natália Marco de Oliveira. – Crato, 2025.
76 f. :.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Diversidade
Biológica e Recursos Naturais, Universidade Regional do Cariri, Crato, 2025.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Iracema Bezerra Loiola.

Coorientadores: Profa. Dra. Sírleis Rodrigues Lacerda e Prof. Dr. Kaoli
Pereira Cavalcante.

1. Fitoplâncton. 2. Semiárido. 3. Limnologia. 4. Reservatório

Dados fornecidos pelo autor

NATÁLIA MARCO DE OLIVEIRA

**ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO FITOPLÂNCTON SOB DIFERENTES REGIMES
HIDROLÓGICOS EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO**

Dissertação do Mestrado apresentada e aprovada pela Banca Examinadora em: 30/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Iracema Loiola Bezerra – Orientador(a)
Universidade Federal do Ceará

Profa. Dra. Valéria da Silva Sampaio
Universidade Regional do Cariri

Profa. Dra. Hortência de Sousa Barroso
Escola Estadual de Educação Profissional Presidente Roosevelt
Secretaria de Educação do Estado do Ceará (SEDUC/CE)

Dedico este trabalho à minha MÃE,
que sempre foi minha maior fonte de inspiração e força.
Seu amor incondicional, paciência e apoio constante me deram coragem para seguir em
frente,
mesmo nos momentos mais desafiadores.
Sem você, nada disso seria possível.
Te amo e sou eternamente grata por tudo o que você fez e faz por mim.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, por todo o apoio incondicional, amor e paciência. Sem você, eu não teria chegado até aqui. Obrigada por estar sempre ao meu lado, em todos os momentos.

À Universidade Regional do Cariri-URCA junto ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais-PPGDR.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão aos professores Iracema Loiola e Kaoli Cavalcante, que forneceram o apoio necessário para alcançar este momento. Agradeço profundamente pela confiança e por toda orientação ao longo dessa jornada.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pela concessão da bolsa para a realização da pesquisa.

À toda a coordenação do PPGDR, em especial ao Prof. Dr. Fábio Hideki Yamada, coordenador do curso e a Secretária do programa, Aninha Vasconcelos, por sempre solucionar as dúvidas com calma e serenidade.

Agradeço também ao meu namorado Felipe Alencar, pelo carinho, incentivo e por estar sempre presente nos momentos de dificuldade.

À minha amiga Naara Vasques, por sempre me apoiar, incentivar e oferecer amizade nos momentos em que mais precisei sua ajuda foi fundamental.

A todos vocês, meu mais sincero obrigado!

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar a composição, a diversidade e a dinâmica da comunidade fitoplanctônica no açude Paulo Sarasate, localizado no município de Varjota, noroeste do Ceará, considerando a influência dos fatores ambientais sobre sua variabilidade sazonal e espacial. A pesquisa foi estruturada em dois capítulos complementares. O primeiro abordou a diversidade de microalgas verdes (Chlorophyceae, Trebouxiophyceae e Zygnematophyceae) presentes no plâncton. Para isso, foram realizadas seis campanhas de coleta, três durante o período seco (setembro a novembro de 2022) e três no período chuvoso (abril a junho de 2023), em cinco pontos fixos no reservatório. As amostras foram obtidas por arrastos horizontais com rede de plâncton (25 µm) e fixadas em solução de Transeau. Foram identificados 25 táxons de microalgas verdes, distribuídos em 11 espécies, oito gêneros e sete famílias da classe Chlorophyceae, representando 44% do total. O segundo capítulo analisou a composição e a dinâmica sazonal da comunidade fitoplanctônica sob diferentes regimes hidrológicos. As coletas abrangeram 10 pontos no reservatório, nos mesmos períodos de seca e chuva, totalizando 60 amostras. Foram coletados 1 L de água subsuperficial por ponto, fixados em lugol acético a 10%. Ao todo, registraram-se 46 táxons fitoplanctônicos. As algas verdes (Chlorophyceae e Zygnematophyceae/desmídias) corresponderam a 55,5% da riqueza, sendo as Chlorophyceae responsáveis por 13 táxons (36,1%) e as desmídias por sete táxons (19,4%). As cianobactérias representaram 13,9% (5 táxons), seguidas pelas diatomáceas (11,1%; 4 táxons). Outros grupos menos representativos incluíram Dinoflagelados, Euglenofíceas e Xantofíceas (2 táxons cada; 5,6%) e Criptofíceas (1 táxon; 2,8%).

Palavras-chave: Semiárido; reservatórios; eutrofização; fitoplâncton; variabilidade sazonal.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the composition, diversity, and dynamics of the phytoplankton community in the Paulo Sarasate Reservoir, located in the municipality of Varjota, northwestern Ceará, considering the influence of environmental factors on its spatial and seasonal variability. The research was organized into two complementary chapters. The first focused on the diversity of green microalgae (Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, and Zygnematophyceae) within the plankton. Six sampling campaigns were conducted, three during the dry season (September to November 2022) and three during the rainy season (April to June 2023), at five fixed points in the reservoir. Samples were collected using horizontal drags with a plankton net (25 μm mesh) and immediately preserved in Transeau solution. A total of 25 taxa of green microalgae were identified, comprising 11 species, eight genera, and seven families of the class Chlorophyceae, which represented 44% of the records. The second chapter examined the composition and seasonal dynamics of the phytoplankton community under different hydrological regimes. Sampling was conducted at 10 reservoir sites during the same dry and rainy periods, totaling 60 samples. One liter of subsurface water was collected per site, preserved in 10% acetic Lugol solution. In total, 46 phytoplankton taxa were recorded. Green algae (Chlorophyceae and Zygnematophyceae/desmids) accounted for 55.5% of total richness, with Chlorophyceae contributing 13 taxa (36.1%) and seven taxa (19.4%). Cyanobacteria represented 13.9% (5 taxa), followed by diatoms (11.1%; 4 taxa). Other groups were less representative, including Dinoflagellates, Euglenophyceae, and Xanthophyceae (2 taxa each; 5.6%) and Cryptophyceae (1 taxon; 2.8%).

Keywords: Semiarid; reservoirs; eutrophication; phytoplankton; seasonal variability.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. OBJETIVOS	16
Objetivo geral:	16
Objetivos específicos:	16
3. REFERÊNCIAS	18
4. RESULTADOS: Capítulo 1: Diversidade de microalgas verdes (Chlorophyceae, Trebouxiophyceae e Zygnematophyceae) no fitoplâncton em reservatório no Semiárido cearense	21
Introduction	24
Material and methods	26
Results and discussion	29
Conclusions	44
Acknowledgements	45
References	45
5. RESULTADOS: Capítulo 2. Variação da comunidade fitoplanctônica em diferentes períodos hidrológicos em um reservatório do semiárido cearense	52
1 Introdução	55
2. Material e métodos	56
2.1. Área de estudo	56
2.2 Coleta e tratamento dos dados	57
3 Resultados	58
5 Conclusão	69
Referências	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS	75

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figure 1. Location map of the Paulo Sarasate Reservoir, Varjota-Ceará, with sample collection points.....29

Figure 2. Species of Chlorophyceae identified in the Paulo Sarasate Reservoir, Varjota, Ceará. **a, b.** *Bulbochaete* sp.; **c.** *Coelastrum indicum*; **d.** *Desmodesmus denticulatus*; **e.** *Desmodesmus opoliensis*; **f.** *Monoraphidium contortum*; **g.** *Ankyra judayi*; **h.** *Planktosphaeria gelatinosa*; **i.** *Scenedesmus ecornis*; **j.** *Sphaerocystis schroeteri*; **k.** *Stauridium tetras*; **l.** *Volvox aureus*. Scale bars = 20µm.....36

Figure 3. Species of Trebouxiophyceae found in the Paulo Sarasate Reservoir, Varjota, Ceará. **a, b.** *Actinastrum hantzschii*; **c.** *Botryococcus braunii*; **d.** *Botryococcus terribilis*; **f.** *Willea rectangularis*; **g.** *Micractinium pusillum*; **h.** *Oocystis lacustris*. Scale bars = 20µm.....39

Figure 4. Species of Zygnematophyceae identified in the Paulo Sarasate Reservoir, Varjota, Ceará. **a.** *Closterium parvulum*; **b.** *Closterium jenneeri*; **c.** *Cosmarium blyttii*; **d.** *Cosmarium lundelli*; **e.** *Cosmarium margaritatum*; **f.** *Cosmarium regnellii*; **g.** *Cosmarium granatum*; **h.** *Staurostrum leptocladum*. Scale bars = 20µm.....42

CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização do reservatório Paulo Sarasate (Araras), círculos vermelhos indicam os pontos amostrais.....53

Figura 2. Biplot da PCA indicando agrupamento dos dados limnológicos entre os períodos seco e chuvoso. DBO = demanda bioquímica de oxigênio.....56

Figura 3. Composição percentual da riqueza de táxons da comunidade fitoplanctônica do reservatório Paulo Sarasate.....59

Figura 4. Riqueza dos grupos fitoplanctônicos entre os períodos seco e chuvoso.....60

Figura 5. Valores médios de Diversidade de (bits.org ⁻¹) e equitabilidade dos períodos seco (set, out, nov/22) e chuvoso (abr, mai, jun/23) no reservatório Paulo Sarasate.....	60
Figura 6. Variação da densidade fitoplanctônica do reservatório Paulo Sarasate.....	61
Figura 7. Análise de escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS) com base nos dados bióticos do reservatório Paulo Sarasate.....	62

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Table I. Collection points at the Paulo Sarasate Reservoir, indicating collection dates, geographic coordinates, and registration codes in the HUVA collection.....30.

Table II. Species of green algae (Chlorophyceae, Zygnematophyceae and Trebouxiophyceae) recorded in the Paulo Sarasate reservoir, municipality of Varjota - CE. Legend: *=taxa cited for the first time in the state of Ceará. Period of recording: D= dry; R= rainy; D/R= Both periods. Frequency of occurrence: R= rare; I= infrequent; F= frequent; VF= Very frequent.....31

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Valores mínimos, máximos e médios $\pm$ desvio padrão, das variáveis limnológicas nos períodos seco e chuvoso no reservatório Paulo Sarasate (Varjota – CE). ND = abaixo do limite de detecção.....55

Tabela 2. Táxons fitoplanctônicos registrados no reservatório Paulo Sarasate (Varjota-CE), com respectivos períodos de ocorrência e classificação de frequência.....57

1. INTRODUÇÃO GERAL

A construção de reservatórios por meio do barramento de rios é uma prática antiga, cujo objetivo principal sempre foi assegurar a disponibilidade de água em regiões sujeitas à escassez hídrica (ANDRADE; MARQUES, 2017). Esses ambientes artificiais desempenham múltiplas funções, incluindo o abastecimento doméstico, a dessedentação animal, a irrigação e a pesca, tornando-se recursos hídricos de grande importância social, econômica e cultural (CRUZ *et al.*, 2018; MOURA-FILHO; ARAÚJO, 2020).

No Semiárido nordestino, a água representa um recurso especialmente valioso devido às características climáticas da região, como a irregularidade espacial e temporal das chuvas e a elevada evapotranspiração, aliadas à predominância de solos cristalinos, que dificultam a infiltração e o armazenamento de água (SALINAS *et al.*, 2019; VIEIRA *et al.*, 2021). Esse cenário impulsionou a construção de reservatórios de diferentes portes, conhecidos como açudes, visando mitigar os problemas de abastecimento e irrigação (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007).

Apesar de sua relevância, os reservatórios em regiões áridas e semiáridas apresentam elevada vulnerabilidade à escassez hídrica e a processos de degradação ambiental, como eutrofização, salinização e dessecação de habitats, muitas vezes intensificados por mudanças climáticas e pela perda de conectividade hidrológica (GUNKEL *et al.*, 2015; BARBOSA *et al.*, 2020). Entre esses processos, a eutrofização se destaca por comprometer a qualidade da água, resultante do acúmulo de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que favorece florações fitoplanctônicas, em especial de cianobactérias produtoras de cianotoxinas (BELÓ; MATHIAS; GONTARSKI, 2018; SILVA; SILVA, 2020).

O processo de eutrofização pode ser considerado um dos problemas mais relevantes para a qualidade hídrica de mananciais ao redor do mundo, fazendo-se necessários estudos mais abrangentes sobre o tema (SILVA *et al.*, 2019). Esse fenômeno decorre do incremento de nutrientes na água, em especial nitrogênio e fósforo (SILVA; SILVA, 2020), resultando em florações do fitoplâncton, especialmente de cianobactérias, as quais apresentam espécies produtoras de cianotoxinas (BELÓ; MATHIAS; GONTARSKI, 2018).

O fitoplâncton é um componente-chave dos ecossistemas aquáticos, atuando como principal produtor primário e respondendo rapidamente às variações ambientais (BHAVYA *et al.*, 2019). Trata-se de uma comunidade composta por microrganismos fotossintetizantes que vivem em suspensão na coluna d'água e são transportados passivamente por correntes e ventos (REYNOLDS, 2006). Além de constituir a base das cadeias tróficas, o fitoplâncton participa ativamente dos ciclos biogeoquímicos e

é altamente sensível a alterações em variáveis físicas, químicas e biológicas, como luminosidade, temperatura, alcalinidade e disponibilidade de nutrientes (ARRIGO, 2005; REYNOLDS, 2006).

Devido à sua sensibilidade, o fitoplâncton constitui uma ferramenta valiosa para o monitoramento ecológico, apresentando respostas em escalas temporais curtas às mudanças ambientais (ZANCO *et al.*, 2017). Em ecossistemas de água doce, os principais grupos fitoplanctônicos incluem cianobactérias, algas verdes, diatomáceas, euglenofíceas e dinoflagelados (REYNOLDS, 2006; BICUDO; MENEZES, 2017).

Estudos florísticos e ecológicos realizados em diferentes estados do Semiárido brasileiro têm revelado padrões sazonais marcantes na composição e estrutura do fitoplâncton (OLIVEIRA; ROCHA; PERET, 2011). Na região semiárida brasileira foram realizados diversos estudos com ênfase em várias comunidades fitoplanctônicas e com abordagens ecológica, taxonômica e florística. Entre os estudos realizados na região Nordeste, destacam-se os desenvolvidos no Rio Grande do Norte por Câmara *et al.* (2015), que analisaram as alterações morfofuncionais da comunidade fitoplanctônica no reservatório Armando Ribeiro, situado no município de Açu, onde identificaram 53 táxons. A classe Cyanophyceae apresentou maior representatividade, seguida por Chlorophyceae e Bacillariophyceae. Os resultados evidenciaram baixa diversidade específica na comunidade, com predominância de formas filamentosas. Além disso, foram observadas variações sazonais expressivas na composição taxonômica e na estrutura quantitativa do fitoplâncton, indicando influência de fatores ambientais sobre a dinâmica dessa comunidade. Nesse mesmo estado, Pessoa *et al.* (2017), estudando as variações temporais das variáveis limnológicas, os grupos frequentes e índices biológicos da comunidade fitoplanctônica do açude Santa Cruz, município de Santa Cruz, constataram que, durante o período de estiagem, houve uma dominância de diatomáceas (42%), enquanto no período chuvoso, a dominância foi de cianofíceas (47%).

Especificamente no estado do Ceará, os estudos sobre a comunidade fitoplanctônica focaram diferentes grupos. Barroso *et al.* (2018) investigaram a dinâmica temporal e funcional do fitoplâncton no reservatório Castanhão, durante o período de seca extrema entre 2012 e 2013, identificando 102 táxons distribuídos em 18 grupos funcionais, com cianobactérias dominando ao longo de todas as fases climáticas. A variação temporal da comunidade foi principalmente determinada pela disponibilidade de nutrientes e pela transparência da água, evidenciando a forte influência da sazonalidade e do volume do reservatório na estrutura fitoplanctônica. Complementarmente, Molisani *et al.* (2013) analisaram a retenção de nutrientes e material particulado no Castanhão, constatando altas taxas de retenção (até 98% para fósforo total e 87% para nitrogênio total), além de 97% do material particulado. Essa elevada capacidade de retenção, associada à relação TN:TP elevada e ao baixo escoamento a jusante, favoreceu

a dominância de cianobactérias não fixadoras e indica que o reservatório atua como um importante sumidouro de nutrientes, com risco potencial de florações nocivas durante estiagens prolongadas.

O *checklist* mais amplo até o momento sobre a flora ficológica cearense foi elaborado por Fernandes (2022). O autor identificou um total de 605 táxons, sendo as classes Bacillariophyceae, Cyanophyceae e Chlorophyceae as mais representativas. A cianobactéria *Microcystis aeruginosa* (Kützinger) Kützinger foi a espécie de maior registro de ocorrência, e a diatomácea *Stephanocyclus meneghinianus* (Kütz.) Kulikovskiy, Genkal et Kociolek, a espécie de maior registro de distribuição.

A maioria dos estudos de flora fitoplancônica no estado do Ceará têm foco ecológico e são escassos em detalhes descritivos e não apresentam registros fotográficos das espécies, resultando em uma lacuna significativa para o conhecimento e a compreensão da biodiversidade e das dinâmicas ecológicas locais. Pretendendo contribuir com o preenchimento desta lacuna, o presente estudo tem como principal objetivo analisar a composição e a dinâmica da comunidade fitoplancônica no açude Paulo Sarasate, município de Varjota – Ceará, e avaliar os fatores ambientais que influenciam sua variabilidade espacial e sazonal. Para atingir esse objetivo, a pesquisa encontra-se organizada em dois capítulos.

O primeiro, intitulado “Diversidade de microalgas verdes (Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, Zygnematophyceae) no plâncton de um açude no semiárido brasileiro”, teve como objetivo identificar e descrever as espécies de microalgas verdes presentes no fitoplâncton de um açude localizado no Noroeste do estado do Ceará, região Nordeste do Brasil. Este trabalho foi submetido ao periódico Anais da Academia Brasileira de Ciências. O segundo capítulo intitulado “Composição e dinâmica da comunidade fitoplancônica sob diferentes regimes hidrológicos” será submetido à revista Limnetica.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

- Analisar a composição e a dinâmica da comunidade fitoplancônica no açude Paulo Sarasate, e avaliar os fatores ambientais que influenciam sua variabilidade espacial e sazonal;

Objetivos específicos:

- Caracterizar a composição da comunidade fitoplancônica em um reservatório localizado no semiárido cearense, identificando seus principais grupos taxonômicos;
- Identificar e descrever os táxons de algas verdes presentes no reservatório Paulo Sarasate;
- Analisar as variáveis limnológicas nos períodos chuvosos e secos, considerando a influência da sazonalidade na qualidade da água;

- Investigar a relação entre variáveis limnológicas e composição da comunidade fitoplanctônica;

3. REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: Eduem, 2017. 501 p.
- ANDRADE, C. M.; MARQUES, L. S. Semiárido brasileiro: alguns desafios. **Diversitas Journal**, v. 2, n. 2, p. 279-288, 2017.
- ARRIGO, K. R. Marine microorganisms and global nutrient cycles. **Nature**, v. 437, n. 7057, p. 349-355, 2005.
- BARBOSA, L. G.; AMORIM, C. A.; PARRA, G.; LACO PORTINHO, J.; MORAIS, M.; MORALES, E. A.; MENEZES, R. F. Advances in limnological research in Earth's drylands. **Inland Waters**, v. 10, n. 4, p. 429-437, 2020.
- BELÓ, A.; MATHIAS, A. L.; GONTARSKI, C. A. U. Comparison of the physical, chemical, and biological parameter magnitudes and cyanobacterial bloom in the alagados reservoir of Ponta Grossa-PR. **Revista Ambiente Água**, v. 13, [e2016], 2018.
- BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil**: chave para identificação e descrições. 3. ed. São Carlos: Rima, 2017. 552 p.
- BRASIL, J.; HUSZAR, V. L. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 4, p. 799-834, 2011.
- BHAVYA, P. S.; KIM, B. Y.; JO, N.; KIM, K. W.; KANG, J. H.; LEE, J. S.; LEE, D.; LEE, J.-H.; JOO, H.; AHN, S. Y.; KIM, Y.; MIN, J.-O.; KANG, M. H.; YUN, M. R.; KANG, C.-K.; LEE, S. Y. A review on the macromolecular compositions of phytoplankton and the implications for aquatic biogeochemistry. **Ocean Science Journal**, v. 54, n. 1, p. 1-14, 2019.
- CÂMARA, F. R. A.; ROCHA, O.; PESSOA, E. K. R.; CHELLAPPA, S.; CHELLAPPA, N. T. Morphofunctional changes of phytoplankton community during pluvial anomaly in a tropical reservoir. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3, p. 628-637, 2015.
- CHELLAPPA, N. T.; CHELLAPPA, T.; CÂMARA, F. R.; ROCHA, O.; CHELLAPPA, S. Impact of stress and disturbance factors on the phytoplankton communities in Northeastern Brazil reservoir. **Limnologica**, v. 39, n. 4, p. 273-282, 2009.
- CRUZ, P. S.; SILVA, R. D. D. S.; OLIVEIRA, D. A. de; VIANA, L. G.; SILVA, D. D. L.; BARBOSA, J. E. D. L. Dinâmica do fitoplâncton e evolução trófica de reservatório no Semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 4, p. 495-500, 2018.
- DANTAS, E. W.; MOURA, A. N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; ARRUDA-NETO, J. D. T.; CAVALCANTI, A. D. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling

- intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 4, p. 970-982, 2008.
- FERNANDES, U. L. Cianobactérias e algas continentais do Ceará, Nordeste do Brasil: um checklist. **Revista de Biologia Neotropical / Journal of Neotropical Biology**, v. 19, n. 2, p. 35-49, 2022.
- GUNKEL, G.; LIMA, D. S. F.; SOBRAL, M.; CALADO, S. Aquatic ecosystem services of reservoirs in semi-arid areas: sustainability and reservoir management. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 197, p. 187-200, 2015.
- HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; MARINHO, M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C. L. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. In: REYNOLDS, C. S. (org.). **The trophic spectrum revisited: the influence of trophic state on the assembly of phytoplankton communities: proceedings of the 11th Workshop of the International Association of Phytoplankton Taxonomy and Ecology (IAP)**, held at Shrewsbury, UK, 15–23 August 1998. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000. p. 67–77.
- LEIGH, C.; BOULTON, A. J.; COURTWRIGHT, J. L.; FRITZ, K.; MAY, C. L.; WALKER, R. H.; DATRY, T. Ecological research and management of intermittent rivers: an historical review and future directions. **Freshwater Biology**, v. 61, n. 8, p. 1181-1199, 2016.
- LIAO, J.; HUANG, Y. Global trend in aquatic ecosystem research from 1992 to 2011. **Scientometrics**, v. 98, p. 1203-1219, 2014.
- MATEUCCI, S. D.; COLMA, A. **La Metodología para el Estudio de La Vegetacion**. Washington, DC: Organization of American States, 1982. 168 p. (Collection de Monografías Científicas, Serie Biología, n. 22).
- MELO, A. S.; BINI, L. M.; CARVALHO, P. Brazilian articles in international journals on Limnology. **Scientometrics**, v. 67, n. 2, p. 187-199, 2006.
- MOURA-FILHO, H. M.; ARAÚJO, G. M. Troffic state of the rosary reservoir located in the municipality of Lavras da Mangabeira-CE, northeast semiarid. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e623985761, 2020.
- OLIVEIRA, F. H. P.; DANTAS, E. W. Sodium and nitrate favor the steady state of cyanobacteria in a semiarid ecosystem. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 41, n. 1, p. 1-13, 2019.
- OLIVEIRA, T. M. A.; ROCHA, O. B.; PERET, A. C. C. Structure of the phytoplankton community in the Cachoeira Dourada reservoir (GO/MG), Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 3, p. 587-600, 2011.
- PADISÁK, J.; SORÓCZKI-PINTÉR, É.; REZNER, Z. Sinking properties of some phytoplankton shapes and the relation of form resistance to morphological diversity of plankton an experimental study. In: **Aquatic biodiversity**. Dordrecht: Springer, 2003. p. 43-52.

- PESSOA, E. K. R.; LIMA, P. L. S. C.; NASCIMENTO, W. S.; CHELLAPPA, S.; CHELLAPPA, N. T. Variações temporais dos parâmetros limnológicos, os grupos frequentes e índices biológicos da comunidade fitoplanctônica do açude Santa Cruz, Rio Grande do Norte, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 7, n. 2, p. 59-64, 2017.
- RANGEL JÚNIOR, A.; SANTOS, R. H. L.; NASCIMENTO, K. J.; RANGEL, A. J.; CAVALCANTE, F. C.; GÓES, M. I. L.; LACERDA, S. R. Composição de cyanobacteria planctônicas em um reservatório de abastecimento público, Ceará, Brasil. **Revista Desafios**, v. 5, n. 1, p. 100-110, 2018.
- REYNOLDS, C. S. **The Ecology of Phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 535 p.
- SILVA, H. B.; SILVA, C. E. Qualidade da água de um parque urbano em Teresina, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 1860-1875, 2020.
- SILVA, L. N.; MEDEIROS, C. M.; CAVALCANTE, K. P.; CARDOSO, L. S. Invasion and establishment of *Ceratium furcoides* (Dinophyceae) in an urban lake in Porto Alegre, RS, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, n. 4, p. 654-663, 2019.
- ZANCO, B. F.; PINEDA, A.; BORTOLINI, J. C.; JATI, S.; RODRIGUES, L. C. Phytoplankton functional groups indicators of environmental conditions in floodplain rivers and lakes of the Paraná Basin. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 29, e1, 2017.

4. RESULTADOS: Capítulo 1: Diversidade de microalgas verdes (Chlorophyceae, Trebouxioephyceae e Zygnematophyceae) no fitoplâncton em reservatório no Semiárido cearense

Manuscrito submetido à Revista Anais da Academia Brasileira de Ciências

Diversity of green microalgae (Chlorophyceae, Trebouxiophyceae and Zygnematophyceae) in phytoplankton of a reservoir in the semi-arid region of Ceará, Brazil

NATÁLIA MARCO DE OLIVEIRA^{1,5*}, BIANCA DE FREITAS TERRA^{2,6}, MARCUS VINÍCIUS FREIRE ANDRADE^{3,7}, SÍRLEIS RODRIGUES LACERDA^{1,8}, MARIA IRACEMA BEZERRA LOIOLA^{4,9}, KAOLI PEREIRA CAVALCANTE^{2,8}

¹ *Regional University of Cariri-URCA, Pimenta Campus.*

² *Acarau Valley State University (UVA), Betânia Campus.*

³ *Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará, Sobral Campus*

⁴ *Federal University of Ceara (UFC), Pici Campus.*

⁵ <https://orcid.org/0000-0001-7443-8003>

⁶ <https://orcid.org/0000-0003-0229-2388>

⁷ <https://orcid.org/0000-0002-0791-9197>

⁸ <https://orcid.org/0000-0002-1358-2420>

⁹ <https://orcid.org/0000-0003-3389-5560>

¹⁰ <https://orcid.org/0000-0001-7843-4114>

Corresponding author: Natalia Marco de Oliveira, Telephone: (88) 99747-1839. Email: nataliamarco1997@gmail.com

Keywords: Chlorophyta; Streptophyta; Caatinga, freshwater ecosystem

Title (Summary Version): Green microalgae in a semi-arid reservoir

AABC SECTION: Publication

Abstract: This study investigated the diversity of green microalgae in the phytoplankton of the Paulo Saraste Reservoir, located in the northwest of the state of Ceará, Brazil, a semiarid region with scarcity of floristic data. Collections were conducted in six campaigns — three in the dry season (September to November 2022) and three in the rainy season (April to June 2023) at five fixed points of the reservoir, using a plankton net with a 25 µm mesh. A total of 25 taxa belonging to the classes Chlorophyceae (44%), Zygnematophyceae (32%) and Trebouxiophyceae (24%) were identified, revealing a diverse and representative taxonomic composition of the main lineages of green microalgae. Nine species were recorded for the first time in the state of Ceará, expanding knowledge about the regional algal flora: *Coelastrum indicum*, *Scenedesmus ecornis* (Chlorophyceae), *Actinastrum hantzschii*, *Willea rectangularis* (Trebouxiophyceae), *Closterium jenneeri*, *Cosmarium blyttii*, *Cosmarium lundelli*, *Cosmarium granatum* and *Cosmarium regnellii* (Zygnematophyceae). The results highlight the relevance of floristic studies in poorly explored regions, contributing to filling taxonomic gaps and understanding the diversity of phytoplankton in freshwater environments of the Brazilian semiarid region.

Keywords: Chlorophyta; Streptophyta; Caatinga, freshwater ecosystem.

Introduction

Green algae are included in the Viridiplantae lineage together with terrestrial plants and represent one of the main clades of oxygenic photosynthetic organisms (Guiry 2024). They have macro- and microscopic representatives and are characterized by presenting chlorophylls a and b within chloroplasts with two membranes, originating from a process of primary endosymbiosis, and starch as an energy reserve, stored within the chloroplast (Sherwood 2011).

Microalgae have great potential for promoting human sustainability and the development of various economic activities. Among the most promising possibilities are the production of biofuels, specialized chemical compounds, biofertilizers, and environmental services such as effluent treatment and bioremediation of pollutant gases (Fernández et al. 2021). They are important sources of metabolites such as triacylglycerols, proteins, and high-value compounds, such as carotenoids and fatty acids (Victor et al. 2024). The most common application of microalgae has been in aquaculture, for the direct or indirect feeding of some species of fish, mollusks, crustaceans, and various organisms of economic interest (Derner et al. 2006).

In these environments, they respond to environmental variations in nutrient concentrations, light intensity, and temperature, which influence their occurrence, distribution, and abundance (Alencar et al. 2019) and are therefore a valuable group for studies employing diverse approaches.

Currently, 17 classes of algae are recognized within the Viridiplantae lineage, with Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, and Zygnematophyceae being the most diverse in the freshwater environment (Guiry 2024). In the Chlorophyceae class, 677 genera and 4,200 species are recognized (Verma; Toppo; Nayaka 2021). They present wide morphometric and ecophysiological variability and can develop in different habitats, being mainly influenced by

exposure to light, phosphorus availability, and mixing of the water column (Wehr et al. 2015, Fučíková et al. 2019).

The Trebouxiophyceae class is represented by 211 genera and 947 species (Verma; Toppo; Nayaka 2021). It comprises unicellular, colonial, filamentous or multicellular laminae organisms (Leliaert et al. 2012). The Zygnematophyceae encompass 4,563 species and 172 genera (Verma; Toppo; Nayaka 2021). This group includes organisms known as desmids, which stand out among green algae due to the high specific richness and complex morphology of their cell wall, often ornamented with structures such as granules, warts, pores, spines, and other projections of different shapes and sizes (Felisberto; Rodrigues 2010).

The green microalgae flora in the state of Ceará remains poorly explored. The diversity of species is still far from being completely studied and known, particularly in comparison to the floras of other regions of Brazil. Among the few taxonomic studies on green algae developed with samples from Ceará, the following stand out: (I) Transeau (1938), which proposed the species *Mougeotia drouetii* Transeau [today *Mougeotiella drouetii* (Transeau) Yamagishi] and *Spirogyra porangabae* Transeau (Zygnematophyceae), based on samples collected in 1935 in Fortaleza, Ceará; and (II) Comas-González & Krienitz 1997, who documented the occurrence of *Botryococcus terrebilis* Komárek & Marvan (Trebouxiophyceae), in Quixadá and Redenção, as well as *Schroederiella* Wołoszyńska sp., *Selenastrum rinoi* Komárek & Comas, *Desmodesmus brasiliensis* (Bohlin) E. Hegewald and *Stauridium tetras* (Ehrenberg) E. Hegewald (Chlorophyceae) in Maranguape, with all the samples collected in 1935. A total of 159 taxa from the classes Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, and Zygnematophyceae have been recorded in the state of Ceará, primarily through ecological studies and species lists (Fernandes 2022), yet without taxonomic focus or the inclusion of illustrations and descriptions that enable precise identification.

Considering the biological and ecological relevance of this group, this study aimed to identify and describe the species of green microalgae occurring in the phytoplankton of a reservoir located in the northwest region of Ceará state, in Northeastern Brazil. Our hypothesis is that seasonal variations associated with the rainy and dry periods promote significant changes in the composition and structure of the phytoplankton community.

Material and methods

The study was conducted in the Paulo Saraste Reservoir, commonly known as Açude Araras, which borders the cities of Varjota, Santa Quitéria, Pires Ferreira, Ipu, and Hidrolândia (Figure 1) in the state of Ceará, northeastern Brazil. The climate of the region is of the Bsh (hot semiarid) type, with an average temperature of 29°C, irregular precipitation rates between 300 and 800 mm per year, and a rainy season concentrated between January and May (Cogerh 2018). This large water reservoir is located in the Acaraú River Basin, with a maximum capacity of 859,533 m³.

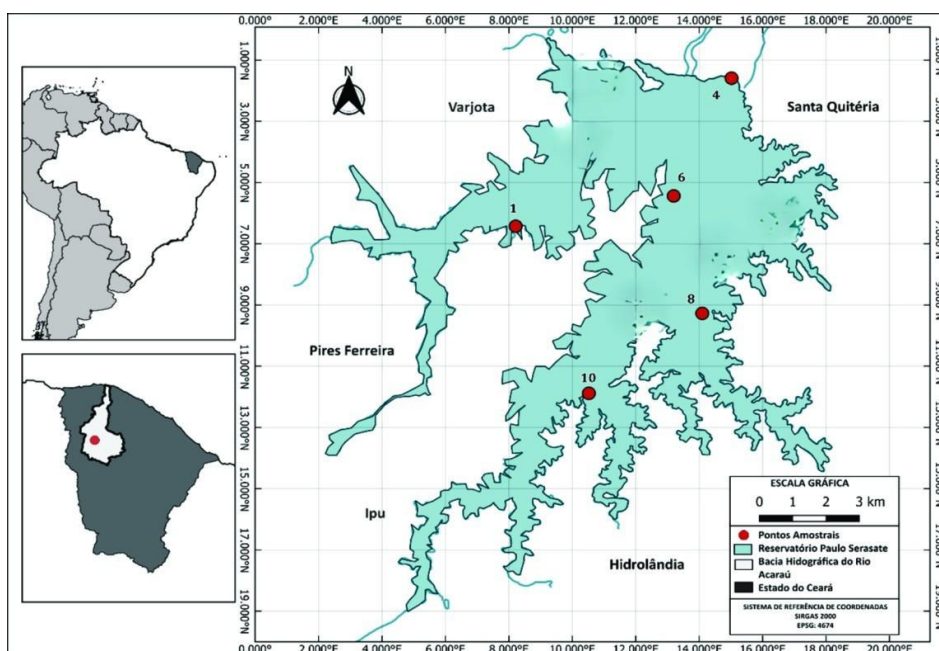


Figure 1. Location map of the Paulo Sarasate Reservoir, Varjota – Ceará, with sample collection points.

It is used for human supply and irrigation, in addition to playing an important role in the ecological dynamics of the semi-arid region (Cogerh 2018). Six collection campaigns were conducted, covering the three months of the dry season (September, October, and November/2022) and three months of the rainy season (April, May, and June/2023). In each campaign, phytoplankton was collected at five fixed points distributed in the reservoir (Table I), horizontal drags were performed with the aid of a plankton net (25 μm mesh) in the water subsurface. The samples were immediately fixed in Transeau solution (Bicudo & Menezes 2017).

The samples were observed under an Axio Imager 2 optical microscope coupled to an Axiocam 305 Color capture camera (Zeiss). The green algae were identified, measured, and photographed. Measurements (in μm) were expressed by the following abbreviations: comp. = length; larg. = width; diam. = diameter; esp. = spine length. For each sample, two slides were analyzed, and whenever possible, 10 organisms were measured.

Identification was based on classic works on the taxonomy of continental green algae (Komárek & Fott, 1983; West & West 1902, 1904, 1905, 1912), as well as recent reviews cited

next to each taxon. Furthermore, the Flora and Funga do Brasil portal was used to confirm the first records of the taxa for the state of Ceará.

Table I. Collection points at the Paulo Sarasate Reservoir, indicating collection dates, geographic coordinates, and registration codes in the HUVA collection.

Points	Sampling	Geographic coordinates	HUVA Registration
1	09/27/2022	04°14'53.14"S, 40°29'46.57"W	HUVA24592
	10/18/2022		HUVA24597
	11/30/2022		HUVA27808
	04/19/2023		HUVA27813
	05/15/2023		HUVA27818
	06/26/2023		HUVA27823
4	09/27/2022	04°12'35.89"S, 40°26'17.28"W	HUVA24593
	10/18/2022		HUVA24598
	11/30/2022		HUVA27809
	04/19/2023		HUVA27814
	05/15/2023		HUVA27819
	06/26/2023		HUVA27824
6	09/27/2022	04°14'32.66"S, 40°29'46.57"W	HUVA24594
	10/18/2022		HUVA24599
	11/30/2022		HUVA27810
	04/19/2023		HUVA27815
	05/15/2023		HUVA27820
	06/26/2023		HUVA27825
8	09/27/2022	04°16'27.25"S, 40°29'50.58"W	HUVA24595
	10/18/2022		HUVA24600
	11/30/2022		HUVA27811
	04/19/2023		HUVA27816
	05/15/2023		HUVA27821
	06/26/2023		HUVA27826
10	09/27/2022	04°17'50.24"S, 40°28'37.27"W	HUVA24596
	10/18/2022		HUVA27807
	11/30/2022		HUVA27812
	04/19/2023		HUVA27817

05/15/2023

HUVA27822

06/26/2023

HUVA27827

The frequency of occurrence of each taxon was evaluated according to the categories proposed Matteucci & Colma (1982): very frequent (VF>70% of presence in the total samples), frequent (40%<F≤70%), infrequent (10%<I≤40%) and rare (R≤10%). The samples were registered in the Herbarium Prof. Francisco José de Abreu Mattos (HUVA) of the Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, Ceará.

Results and discussion

In the Paulo Sarasate Reservoir, 25 taxa of green microalgae were recorded (Table II). The taxa are distributed in 11 species, 10 genera and seven families of the Chlorophyceae class (44%), six species, five genera and three families of the Trebouxiophyceae class (24%) and eight species, three genera and two families of the Zygnematophyceae class (32%).

Nine species had their first occurrence recorded for the state of Ceará: *Coelastrum indicum* WB Turner, *Scenedesmus ecornis* (Ehrenberg) Chodat (Chlorophyceae), *Actinastrum hantzschii* Lagerheim, *Willea rectangularis* (A. Braun) DM John, MJ Wynne & PM Tsarenko (Trebouxiophyceae), *Closterium jenneeri* Ralfs, *Cosmarium blyttii* Wille, *Cosmarium lundelli* Delponte, *Cosmarium granatum* Brébisson ex Ralfs, *Cosmarium regnellii* Wille (Zygnematophyceae).

Table II. Species of green algae (Chlorophyceae, Zygnematophyceae and Trebouxiophyceae) recorded in the Paulo Sarasate reservoir, municipality of Varjota - CE. Legend: *=taxa cited for the first time in the state of Ceará. Period of recording: D= dry; R= rainy; D/R= Both periods. Frequency of occurrence: R = rare; I= infrequent; F= frequent; VF= Very frequent.

Scientific name	Period	Frequency of occurrence
CHLOROPHYCEAE		
Hydrodictyaceae		
* <i>Planktosphaeria gelatinosa</i> GM Smith	D	R
Scenedesmaceae		

<i>*Coelastrum indicum</i> WB Turner	R	R
<i>Desmodesmus denticulatus</i> (Lagerheim) An, Friedl & Hegewald	R	R
<i>Desmodesmus opoliensis</i> (P. Richter) Hegewald	R	R
<i>*Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	R	R
<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) E. Hegewald	R	R
Selenastraceae		
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	R	R
Sphaerocystidaceae		
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	D/R	R
Sphaeroplacaceae		
<i>Ankyra judayi</i> (G.M. Smith) Fott	R	R
Oedogoniaceae		
<i>Bulbochaete</i> sp.	R	R
Volvocaceae		
<i>Volvox aureus</i> Ehrenberg	R	R
TREBOUXIOPHYCEAE		
Chlorellaceae		
<i>*Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	R	I
<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	R	I
Botryococcaceae		
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	R	F
<i>Botryococcus terribilis</i> Komárek & Marvan	R	I
Oocystaceae		
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	R	R
<i>*Willea rectangularis</i> (A. Braun) DM John, MJ Wynne & PM Tsarenko	D	R
ZYGNEMATOPHYCEAE		
Closteriaceae		
<i>Closterium jenneeri</i> Ralfs	D/R	R
<i>Closterium parvulum</i> Nageli	D/R	I
Desmidiaceae		
<i>*Cosmarium blyttii</i> Wille	R	I
<i>*Cosmarium granatum</i> Brébisson ex Ralfs	R	R
<i>*Cosmarium lundelli</i> Delponte	R	R
<i>Cosmarium margaritatum</i> (P. Lundell) J. Roy & Bisset	R	R
<i>*Cosmarium regnellii</i> Wille	R	R
<i>Staurostrum leptocladum</i> Nordstedt	D/R	VF

Regarding the taxonomic composition (Table II), 19 taxa are exclusive to the rainy period, two taxa exclusive to the dry period (*Planktosphaeria gelatinosa*/Chlorophyceae and *Willea rectangularis*/Trebouxiophyceae) and four taxa recorded in both periods.

Considering the occurrence, most of the taxa identified in the Paulo Sarasate Reservoir were considered rare (52%), followed by infrequent (44%). Only *Staurostrum leptocladum* Nordstedt (Zygnematophyceae) was considered very frequent, with records in all samples studied (Table II).

CHLOROPHYCEAE

1. *Bulbochaete* sp. Agardh, Syn. Alg. Scand.: xxix, 1817.

A genus of periphytic habit, occurring accidentally in plankton. Uniseriate filaments with unilateral branching; attached to the substrate by differentiated attachment cells. Vegetative cells uninucleate, highly vacuolated. Length: 25-32.5 µm, Diam: 15.0-20.0 µm (Fig. 2a, b).

Sample registration: June/2023 (HUVA27825).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: the only species of this genus recorded for Ceará is *Bulbochaete elatior* Pringsheim ex Hirn, with no precise locality record, according to Flora e Funga do Brasil (2025).

Comments: Due to the absence of reproductive structures, essential for the accurate identification of species of this genus (Keshri 2008), the taxon cannot be identified at a specific level. According to Bicudo & Menezes (2017), the genus *Bulbochaete* is epiphytic, attached to aquatic vegetation by basal cells and, occasionally, may be floating freely in the water column, composing the phytoplankton accidentally.

2. *Coelastrum indicum* WB Turner, Kungl. Svenska Vetensk. -Akad. Handl. 25: 161, pl. 20, fig.11., 1892.

Coenobium spherical, cells rounded, united by processes, with triangular intercellular spaces, smooth cell wall. Coenobium: Diam: 12–14µm (Fig. 2c).

Sample registration: September/2022 (HUVA24592, HUVA24597)

Frequency of occurrence: uncommon.

Distribution in the state of Ceará: first citation for Ceará.

Comments: *Coelastrum indicum* is morphologically similar to *C. cruciatum*; however, the latter is distinguished by the presence of four processes arranged in a cross and by cells with a subquadratic shape in apical view (Ramos et al. 2015).

3. *Desmodesmus denticulatus* (Lagerheim) Hegewald, Algol. Stud., 96: 9. 2000

Flat coenobia, composed of 4 elliptical cells, arranged alternately, with 1–2 spines at the ends. Length: 7–8.5 µm, Width: 2–4 µm. (Fig. 2d).

Sample registration: May/2023 (HUVA 27818).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: Fortaleza (Fernandes 2022).

4. *Desmodesmus opoliensis* (P. Richter) Hegewald, Algol. Stud., 96: 14. 2000.

Flat coenobia, formed by 4 linearly arranged cells, elliptical cells, with rounded ends in the inner cells and outer cells with slightly truncated and narrower ends. A long, curved, and divergent spine, at each end of the outer cells. Length: 12.5 µm, Width: 6.5 µm. (Fig. 2e).

Sample registration: May/2023 (HUVA 27818)

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: Crato (Góes et al. 2016).

5. *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová in Fott, Stud. Phycol., p. 104, pl. 18. 1969.

Solitary, small, filiform cells, irregularly sigmoid or spiral, with pointed apices. Length: 9.7 µm, Width: 1.5 µm. (Fig. 2f)

Sample registration: April, May, June/23 (HUVA 27816, HUVA 27818, HUVA 27821, HUVA 27825).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: Fortaleza (Fernandes 2022).

6. *Ankyra judayi* (G.M. Smith) Fott, Preslia 29: 303, 1957.

Solitary fusiform cells, with one side slightly concave and the other convex., tapered in the ends. The apical end is terminated by a long apical spine, while the antapical end bears a split posterior spine. Length: 35.5 µm, Width: 2.6 µm. (Fig. 2g).

Sample registration: May and June/2023 (HUVA 27813, HUVA 27824, HUVA 27825, HUVA 27827)

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: Jaguaribara (Barroso et al. 2018).

7. *Planktosphaeria gelatinosa* G.M. Smith, Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters 19(1): 627, pl. 10, fi g. 8-11. 1918.

Solitary colony, round, surrounded by a hyaline mucilage envelope. Diam: 20 µm. (Fig. 2h)

Sample registration: June/2023 (HUVA 27825).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: first citation for Ceará.

Comments: according to Ramos et al. (2015), *Planktosphaeria gelatinosa* has as diagnostic characteristics the mucilage sheath surrounding the spherical cell and the presence of several parietal chloroplasts in the form of polygonal plates in the adult phase.

8. *Scenedesmus ecornis* (Ehrenberg) Chodat, Zeitschrift für Hydrologie 3: 170. 192.

Flat, linear coenobia, composed of 2-4 elliptical, straight cells, with rounded ends. Length: 9.8-11.6 µm, Diam: 2.7-3.9 µm. (Fig. 2i).

Sample registration: June/2023 (HUVA 27825).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: first record for Ceará.

Comments: According to Ramos et al. (2015) *Scenedesmus ecornis* has cells with thickening in their cell wall, which makes it similar to *Scenedesmus ellipticus*.

9. *Sphaerocystis schroeteri* Chodat 1897: 119.

Spherical colonies, irregularly arranged, individual cells arranged within a homogeneous gelatinous matrix. Diam: 8-10 µm. (Fig. 2j).

Sample registration: September and November/2022 (HUVA24592, HUVA24597, HUVA27809, HUVA 27808), May and June/2023 (HUVA 27820, HUVA 27824).

Frequency of occurrence: infrequent.

Distribution in the state of Ceará: Fortaleza (Klein 1986).

10. *Stauridium tetras* (Ehrenberg) Hegewald in Buchheim et al., J. Phycol., 41:1051. 2005.

Flat, circular coenobia, composed of 8 or 16 cells arranged concentrically, with no space between them. The cells, both internal and external, have a polygonal shape with bifurcated extensions. Length: 5-8 µm; coenobia, Diam: 14-18 µm. (Fig. 2k).

Sample registration: May/2023 (HUVA 27822).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: Fortaleza (Rocha et al. 2016), Crato (Fernandes et al. 2016; Góes et al. 2016).

Comments *Stauridium tetras* is a cosmopolitan species that adapts to different environments, being normally found in acidic and eutrophic water bodies (Komárek & Fott, 1983, Bicudo & Menezes 2017).

11. *Volvox aureus* Ehrenberg 1832, Abh. Königl. Akad. Wiss. Berlin, Phys. Kl. 1831: 77

Large, hollow spherical colony connected by cytoplasmic filaments. Like small internal colonies. Diam: 101 µm. (Fig. 2l).

Sample registration: May and June/2023 (HUVA 27820, HUVA 27825)

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: Fortaleza (Klein 1986).

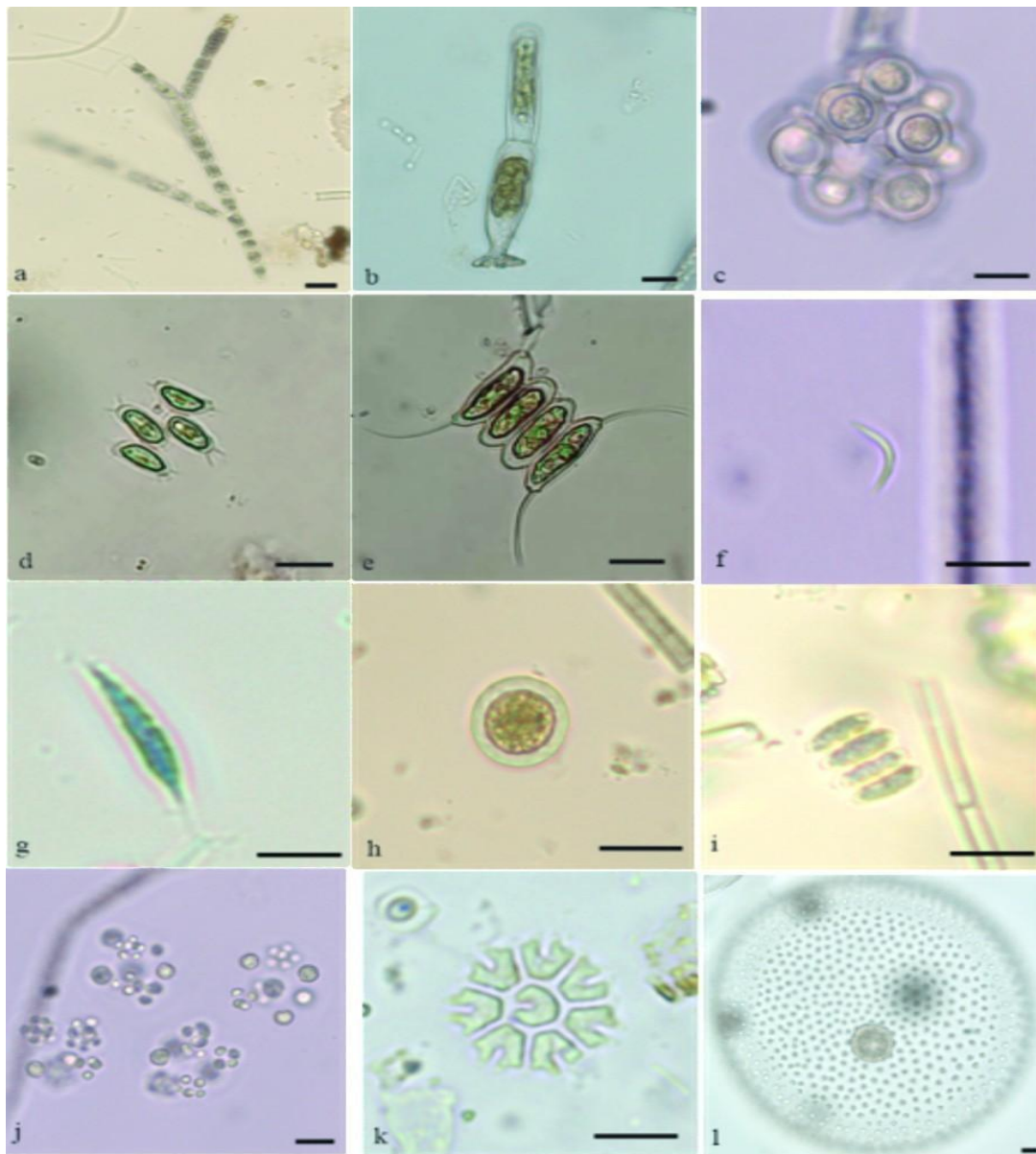


Figure 2. Species of Chlorophyceae identified in the Paulo Sarasate Reservoir, Varjota, Ceará. **a, b.** *Bulbochaete* sp.; **c.** *Coelastrum indicum*; **d.** *Desmodesmus denticulatus*; **e.** *Desmodesmus opoliensis*; **f.** *Monoraphidium contortum*; **g.** *Ankyra judayi*; **h.** *Planktosphaeria gelatinosa*; **i.** *Scenedesmus ecornis*; **j.** *Sphaerocystis schroeteri*; **k.** *Stauridium tetras*; **l.** *Volvox aureus*. Scale bars = 20µm.

TREBOUXIOPHYCEAE

12. *Actinastrum hantzschii* Lagerheim, Öfvers. Kongl. Vetenskaps-Akad. Förh., 39(2): 70, pl. III [3]: figs 25, 26, 1882.

Coenobia with 4–8 elongated and straight cells, slightly conical, with acute apex, which radiate from the center of the coenobia to all sides. Length: 2–3 μm , Diam: 10–11 μm . (Figs. 3a, b).

Records in the samples: April, May, and June/2023 (HUVA 27817, HUVA 27820, HUVA 27821, HUVA 27822, HUVA 27823, HUVA 27825, HUVA 27826, HUVA 27827).

Frequency of occurrence: infrequent

Distribution in the state of Ceará: first record for Ceará.

13. *Botryococcus braunii* Kützinger, Species Algarum: 892. 1849.

Irregular colonies, grouped in mucilaginous sub colonies, connected by mucilage strands. Length: 5.0 μm , width: 3.0 μm . (Fig. 3c).

Sample registration: April, May, and June/2023 (HUVA 27817, HUVA 27820, HUVA 27821, HUVA 27822, HUVA 27823, HUVA 27825, HUVA 27826, HUVA 27827).

Frequency of occurrence: infrequent.

Distribution in the state of Ceará: Lavras da Mangabeira (Alencar et al. 2019, Cavalcante et al. 2017), Jaguaribara (Fernandes 2022).

Comments: according to Comas (1996), *B. braunii* presents mucilaginous cellular extensions, in addition to colonies with a frequent brown coloration.

14. *Botryococcus terribilis* Komárek & Marvan, Arch. Protistenkd. 141: 92. 1992.

Irregular colonies, composed of subcolonies connected by mucilaginous cords, cells completely covered by colonial mucilage. Length: 7.5 μm , Width: 3.5 μm . (Fig. 3d)

Sample registration: May and June/ 2023 (HUVA 27820, HUVA 27825, HUVA 27826, HUVA 27827).

Frequency of occurrence: infrequent.

Distribution in the state of Ceará: Quixadá, Redenção (González & Krienitz 1997)

Comments: Rodrigues et al. (2010) highlighted that *Botryococcus terribilis* is morphologically similar to *Botryococcus neglectus*, from which it differs by the presence of mucilaginous extensions on the surface of the colony, which is a diagnostic characteristic of *B. terribilis*.

15. *Willea rectangularis* (A. Braun) DM John, MJ Wynne & P. Tsarenko, Phytotaxa, 167 (2): 213. 2014.

Coenobia with 4-12 ellipsoid cells, united in groups of 4 cells by a coenobial mucilage, which forms a trapezoidal empty space in the center. Smooth cell wall, generally with polar thickening. Length: 2.5- 4 µm, width: 1- 3 µm. (Figs. 3e, f).

Sample registration: September and October/2022 (HUVA 24596, HUVA24597).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: first record for Ceará.

Comments: according to Picelli-Vicentini (1987), *Willea rectangularis* resembles *Crucigenia quadrata*, however, it is distinct in that it has quadratic coenobia and not elongated rectangular ones like the first species.

16. *Micractinium pusillum* Fresenius, Abh. Senckenb. Naturf. Ges. 2: 236. 1858.

Tetrahedral colonies, composed of spherical cells, each one presenting long, straight spines arranged in a radial manner. Cell: Length: 1-3 µm, Diam: 4.2-5 µm. (Fig. 3g).

Sample registration: April and June/2023 (HUVA 27824, HUVA 27825, HUVA 27827)

Frequency of occurrence: infrequent.

Distribution in the state of Ceará: Jaguaribara (Silva 2015; Barroso et al. 2018).

Comments: the arrangement of *M. pusillum* cells is generally tetrahedral with several tetrahedral groups of cells gathered together, giving rise to a quadratic arrangement, with each cell having two to eight hyaline spines.

17. *Oocystis lacustris* Chodat, Bull. Herb. Boissier 5: 119, pl. 10, fig. 1-7. 1897.

Colony with 4 ellipsoid cells, arranged inside a spherical mucilage sheath. Length: 11.04 μm , Width: 7.2 μm . (Fig. 3h).

Sample registration: April and June/2023 (HUVA 27824, HUVA 27825, HUVA 27827).

Frequency of occurrence: rare.

Geographical distribution in the state of Ceará: Lavras da Mangabeira (Alencar et al. 2019, Cavalcante et al. 2017), Jaguaribara (Barroso et al. 2018).

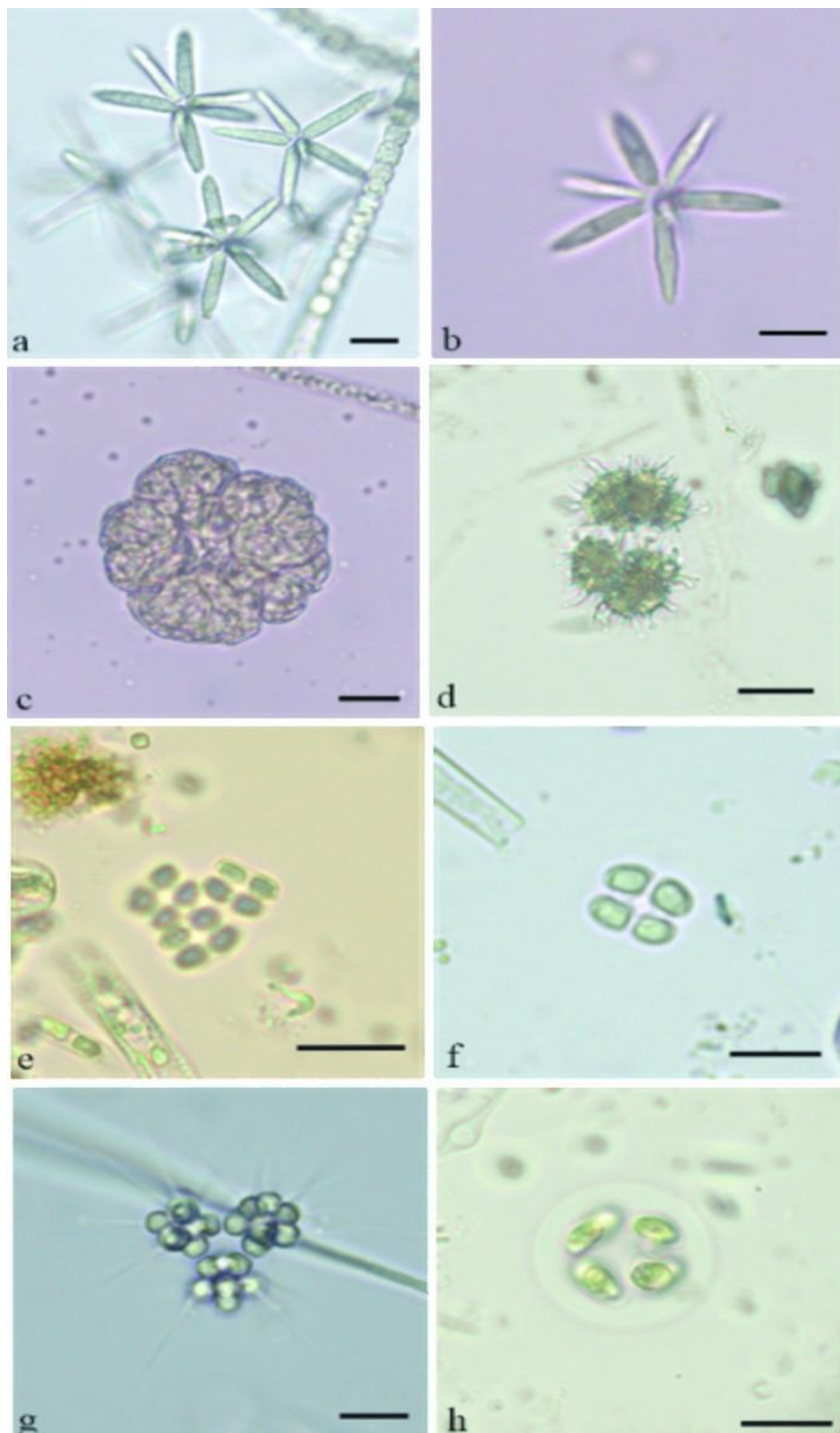


Figure. 3. Species of Trebouxiophyceae found in the Paulo Sarasate Reservoir, Varjota, Ceará. **a, b.** *Actinastrum hantzschii*; **c.** *Botryococcus braunii*; **d.** *Botryococcus terribilis*; **f.** *Willea rectangularis*; **g.** *Micractinium pusillum*; **h.** *Oocystis lacustris*. Scale bars = 20μm.

ZYGNEMATOPHYCEAE

18. *Closterium jenneri* Ralfs, The British Desmidiaceae: 167, pl. XXVIII, fig. 6. 1848.

Wide semilunar cells, of moderate curvature, with tapered ends. Length: 80 µm, Width: 8.5 µm. (Fig. 4a).

Sample registration: October/2022 (HUVA 24600), April, May, and June/2023 (HUVA 27815, HUVA 27820, HUVA 27825).

Frequency of occurrence: uncommon.

Distribution in the state of Ceará: first record for Ceará.

19. *Closterium parvulum* Nägeli, Neue Denkschr. Allg. Schweiz. Ges. Ges. Naturwiss., 10(7):106, pl. VI(c), fig. 2. 1849.

Semilunar cells, thin, of moderate curvature, with round ends. Length: 88 µm, Width: 5.4 µm. (Fig. 4b).

Sample registration: October/2022 (HUVA 24600), April, May, and June/2023 (HUVA 27815, HUVA 27820, HUVA 27825).

Frequency of occurrence: uncommon.

Distribution in the state of Ceará: Lavras da Mangabeira (Alencar et al. 2019), Crato (Amorim et al. 2015).

20. *Cosmarium blyttii* Wille, Forh. Vidensk. -Selsk. Kristiania, 11: 25, pl. 1, fig. 7. 1880.

Solitary cells, slightly longer than wide, with deep median constriction and closed, linear sinus. Reniform semicells, with entire wavy margin. Isthmus opening: Length: 5.2 µm, Semicell: Diam: 14.5 µm. (Fig. 4c)

Sample registration: June/2023 (HUVA 27824).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: first record for Ceará.

21. *Cosmarium granatum* Brébisson ex Ralfs, The British Desmidiaceae: 96, pl. XXXII, fig. 6. 1848.

Solitary cells, deep median constriction and closed, linear sinus. Pyramidal semicells, with wavy margins and truncated apex. Length: 25 µm, Width: 19.5 µm. (Fig.4d).

Sample registration: June/2023 (HUVA 27824, HUVA 27825).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: first citation for Ceará.

22. *Cosmarium lundelli* Delponte, Mem. Reale Accad. Sci. Torino, ser. 2(30): 13, pl. 7, figs 62-64. 1877.

Solitary cells, as long as wide, with deep median constriction and closed, linear sinus. Semicells are obovate to rhomboidal, apex slightly truncated and inclined. Length: 68.2 µm - Diam: 69 µm, Isthmus opening: Width: 25 µm. (Fig. 4e).

Sample registration: June/2023 (HUVA 27824).

Frequency of occurrence: rare.

Distribution in the state of Ceará: first record for Ceará.

23. *Cosmarium margaritatum* (P. Lundell) J. Roy & Bisset, No. I. Journal of Botany, 24: 194. 1886.

Solitary cells, with deep median constriction and closed, linear sinus. Semi rectangular semicells, with regularly granulated cell wall. Semicell: Length: 40 µm, Width: 31 µm, Isthmus opening: Width: 11.6 µm. (Fig. 4f).

Sample registration: June/2023 (HUVA 27824).

Frequency of occurrence: rare

Distribution in the state of Ceará: Lavras da Mangabeira (Alencar et al. 2019), and Crato (Amorim et al. 2015).

24. *Cosmarium regnellii* Wille, Bih. Kongl. Svenska Vetensk. -Akad. Handl., 8(18): 16, pl. I, fig. 34. 1884.

Cells are solitary, slightly longer than wide, with deep median constriction and closed, linear sinus. Semicells are hexagonal, with smooth lateral margins. Isthmus opening: Width: 3.2 μm , Semicell: Length: 13.6 μm , Width: 12 μm . (Fig. 4g).

Sample registration: May and June/2023 (HUVA 27820, HUVA 27825).

Frequency of occurrence: rare

Distribution in the state of Ceará: first record for Ceará.

25. *Staurostrum leptocladum* Nordstedt, Vidensk. Meddel. Dansk Naturhist. Foren. Kjøbenhavn, 21(14–15): 228, pl. IV, fig. 57. 1870.

Solitary cells, with shallow median constriction, narrow “V”-shaped isthmus. Two long cellular projections at the apex, almost straight and parallel, presenting a pair of small spines at each end. Isthmus: Width: 7.0 μm , Processes: Length: 42.5–44 μm . (Fig. 4h).

Sample recording: occurred throughout the study period (HUVA24592–HUVA24600, HUVA27807–HUVA 27827).

Frequency of occurrence: very frequent.

Distribution in the state of Ceará: Lavras da Mangabeira (Alencar et al. 2019), Orós (Rocha et al. 2016), Fortaleza (Klein 1986).

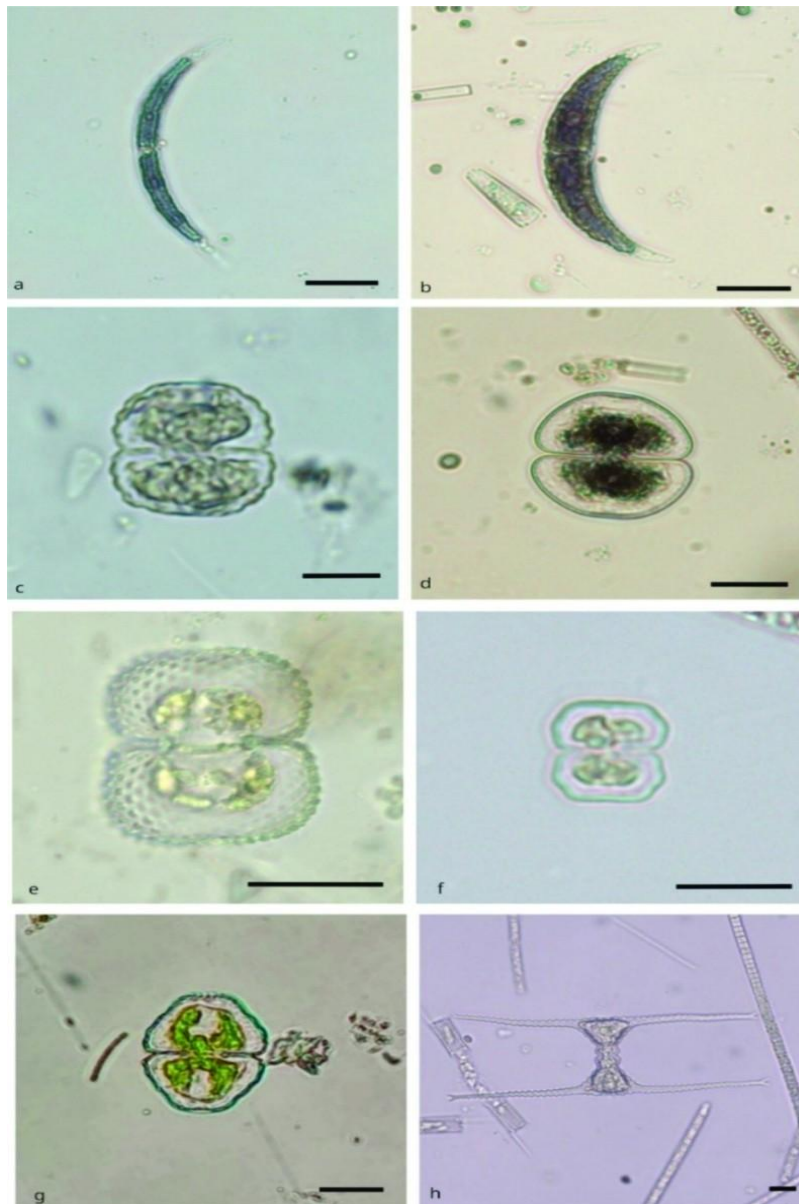


Figure 4. Species of Zygnematophyceae identified in the Paulo Sarasate Reservoir, Varjota, Ceará. **a.** *Closterium parvulum*; **b.** *Closterium jenneeri*; **c.** *Cosmarium blyttii*; **d.** *Cosmarium lundelli*; **e.** *Cosmarium margaritatum*; **f.** *Cosmarium regnellii*; **g.** *Cosmarium granatum*; **h:** *Staurastrum leptocladum*. Scale bars = 20µm.

Conclusions

The investigation of the green microalgae community in the Paulo Sarasate reservoir resulted in the unprecedented record of nine species for the state of Ceará, highlighting a significant gap in the floristic knowledge of the semiarid region. This finding reinforces the need for intensified

taxonomic and floristic studies focused on local algal biodiversity, especially in continental environments that are still little explored.

The different seasonal occurrence of the species recorded throughout the study period indicates that the taxonomic diversity of green microalgae is strongly associated with seasonal environmental variations, typical of the semi-arid region. In this context, it is essential that floristic surveys consider local seasonality as a strategy to characterize specific diversity. The continuation of this research will provide relevant subsidies for the understanding of the ecological patterns of green algae, contributing to the advancement of scientific knowledge about the algal flora of the Brazilian semiarid region.

Acknowledgements

This research was supported by the Ceará Foundation for Scientific and Technological Development Support (FUNCAP), under grant number PS1-0186-00331.01.00/21. FUNCAP also provided a scholarship to the first author.

References

- ALENCAR SA, RODRIGUES JLG, VIEIRA RDS, OLIVEIRA ECC, SILVA MAP & LACERDA SR. 2019. Planktonic microalgae (Chlorophyceae) as bioindicators of water quality in a reservoir in the semi-arid region of Ceará. *Cad Cult Ciênc* 18:41-51.
- AMORIM CA, LUCAS FHR, RANGEL AJ, NASCIMENTO KJ, GÓES MIL & LACERDA SR. 2015. Periphytic microalgae associated with *Nymphoides indica* (L.) O. Kuntze in a reservoir in the semi-arid region of Ceará. *Cad Cult Ciênc* 14:9-23.
- AQUINO CAN, BUENO NC, SERVAT LC & BORTOLINI JC. 2016. New records of *Cosmarium* Corda ex Ralfs in lotic environment, next to the Iguaçu National Park, Paraná State, Brazil. *Hoehnea* 43:669-688.

- BARROS MUG, LOPES IKC, CARVALHO SMC & CAPELO-NETO J. 2017. Impact of filamentous cyanobacteria on the water quality of two tropical reservoirs. *Rev Bras Recur Hídricos* 22:e6.
- BARROSO HS, SANTOS JA, MARINS RV & LACERDA LD. 2018. Assessing temporal and spatial variability of phytoplankton composition in a large reservoir in the Brazilian northeastern region under intense drought conditions. *J Limnol* 77:130-146.
- BICUDO CEM, RAMIREZ RJJ, TUCCI A & BICUDO DC. 1999. Dynamics of phytoplankton populations in a eutrophic environment: Lago das Garças, São Paulo, p. 451-507. In: HENRY R (Ed.), *Reservoir ecology: structure, function, and social aspects*. FUNDIBIO/FAPESP, Botucatu.
- BICUDO CEM. 2012. Cryptogams of the Ipiranga Springs State Park, São Paulo, SP, Brazil. Algae, 33: Chlorophyceae (families Palmellaceae, Hormotilaceae and Dictyosphaeriaceae). *Hoehnea* 39:565-575.
- BICUDO CE DE M & SILVA CA. 2013. New records and rare taxa of *Closterium* and *Spinoclosterium* (Closteriaceae, Zygnematophyceae) from Bahia, Brazil. *Iheringia Sér Bot* 68:115-138.
- BICUDO CEM & MENEZES M. 2017. *Genera of algae from continental waters of Brazil: key to identification and descriptions*. 3rd ed., Rima, São Carlos, 552 p.
- BOCK C, PRÖSCHOLD T & KRIENITZ L. 2011. Updating the genus *Dictyosphaerium* and description of *Mucidosphaerium* gen. nov. (Trebouxioophyceae) is based on morphological and molecular data. *J Phycol* 47:638-652.
- BÜDEL B, DULIĆ T, DARIENKO T, RYBALKO N & FRIEDL T. 2016. Cyanobacteria and algae of biological soil crusts, p. 55-80. In: WEBER B, BÜDEL B & BELNAP J (Eds.), *Biological soil crusts: structure, function, and management*. Springer, Berlin.
- CAVALCANTE FC, DIAS AS, GÓES MIL, RANGEL-JÚNIOR A, LUCAS FHR & LACERDA SR. 2017. Temporal and spatial variation of the phytoplankton community of the Rosário reservoir, Lavras da Mangabeira - CE. *J Cult Sci* 16:109-118.
- COGERH (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS). 2018. *Water resources management and use report for the Paulo Sarasate reservoir*. COGERH, Fortaleza.
- COESEL PFM & KRIENITZ L. 2008. Diversity and geographic distribution of desmids and other coccoid green algae. *Biodivers Conserv* 17:381-392.
- COMAS-GONZÁLEZ A & KRIENITZ L. 1997. Taxonomical observations on some coccal green algae exsiccatae (Chlorococcales, Chlorophyceae). *Algol Stud* 84:13-38.

- COSTA ACL, SILVA RM & ALMEIDA MA. 2019. Reservoirs in the Brazilian semiarid region: importance and socio-environmental impacts. *Rev Bras Recur Hídricos* 24:e1.
- DE CLERCK O, GUIRY MD, LELIAERT F, SAMYN Y & VERBRUGGEN H. 2013. Algae taxonomy: a road to nowhere? *J Phycol* 49:215-225.
- DERNER RD, OHSE S, VILLELA M, CARVALHO SM & FETT R. 2006. Microalgae, products, and applications. *Cienc Rural* 36:1959-1967.
- DOMINGUES CD & TORGAN LC. 2012. Chlorophyta from a hypereutrophic artificial lake in southern Brazil. *Iheringia Sér Bot* 67:75-91.
- DUNCK B, RODRIGUES L, BORTOLINI JC, FELISBERTO SA, BUENO NC, TRAIN S, MURAKAMI EA & MENEZES VC. 2018. Periphytic and planktonic algae records from the upper Paraná river floodplain, Brazil: an update. *Hoehnea* 45:560-590.
- ETTL H & GÄRTNER G. 2014. *Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen*. 2nd ed., Spektrum Akademischer Verlag, Munich, 773 p.
- FADUL-SOUZA B, BICUDO CEM, BORTOLINI JC, TUCCI A, FERREIRA RJ, GOES MIL & LACERDA SR. 2022. Periphytic algal flora of the Lower Doce River, Espírito Santo State, Brazil, after ore tailings flow, 1: smooth cell walled *Cosmarium* Corda (Zygnematophyceae, Desmidiaceae). *Hoehnea* 49: e222022.
- FANG L, LELIAERT F, ZHANG ZH, PENNY D & ZHONG BJ. 2017. Evolution of the Chlorophyta: insights from chloroplast phylogenomic analyses. *J Syst Evol* 55:322-332.
- FELISBERTO SA & RODRIGUES L. 2010. *Cosmarium* (Desmidiaceae, Zygnematophyceae) from the periphytic phycoflora of the Rosana reservoir, Paranapanema river basin, Paraná/São Paulo, Brazil. *Hoehnea* 37:267-292.
- FERNANDES S & BICUDO CEM. 2009. Cryptogams of the Ipiranga Springs State Park, São Paulo, SP. *Hoehnea* 36:41-52.
- FERNANDES UL, OLIVEIRA ECC & LACERDA SR. 2016. Role of macrophyte life forms in driving periphytic microalgal assemblages in a Brazilian reservoir. *J Limnol* 75:44-51.
- FERNÁNDEZ F, ACIÉN G, GARCIA JL & FERNÁNDEZ-SELA A. 2021. The role of microalgae in the bioeconomy. *New Biotechnol* 61:99-107.
- FERNANDES UL. 2022. Continental cyanobacteria and algae from Ceará, Northeastern Brazil: a checklist. *Rev Biol Neotrop* 19:35-49.
- FREITAS LC & LOVERDE-OLIVEIRA SM. 2013. Checklist of green algae (Chlorophyta) for the state of Mato Grosso, Central Brazil. *Check List* 9:1471-1483.
- FRIEDL T & RYBALKA N. 2012. Systematics of the green algae: a brief introduction to the current status. *Progr Bot* 73:259-280.

- FUCÍKOVÁ K, LEWIS PO, NEUPANE S, KAROL KG & LEWIS LA. 2019. Order, please! Uncertainty in the ordinal-level classification of Chlorophyceae. *PeerJ* 7:e6899.
- GOES MIL, BIRTH KJ, RANGEL AJ, FERREIRA RJ, SANTOS TML & LACERDA SR. 2016. Planktonic microalgae in recreational fishponds of the Crato municipality, Ceará State, Brazil. *Rev Agrogeoambiental* 9:163-179.
- GUIRY MD. 2024. How many species of algae are there? The rerun. Four kingdoms, fourteen phyla, sixty-three classes and still growing. *J Phycol* 60:214-228.
- GUIRY MD & GUIRY GM. 2025. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, University of Galway. Available at: <https://www.algaebase.org>. Accessed on May 23, 2025.
- HIGGINS BT, ANDERSON MJ, PEREZ LR, GOMEZ NS & CHEN W. 2020. Adaptation of green algae to extreme environmental conditions: temperature, light, and nutrient availability. *J Phycol* 56:789-803.
- HIRN KE. 1900. *Monographie und iconographie der Oedogoniaceen*. *Acta Soc Sci Fennicae* 27: i-iv, 1-394.
- HOLZINGER A & PICHRTOVÁ M. 2016. Abiotic stress tolerance of charophyte green algae: new challenges for omics techniques. *Front Plant Sci* 7:678.
- JOHN DM, WYNNE MJ & TSARENKO PM. 2014. Reinstatement of the genus *Willea* Schmidle 1900 for *Crucigeniella* Lemmermann 1900 nom. illeg. (Chlorellales, Trebouxiophyceae, Chlorophyta). *Phytotaxa* 167:212-214.
- KLEIN VLM. 1986. Planktonic community of the Santo Anastácio reservoir, Fortaleza, Ceará. *Rev Ciênc Agron* 17:55-59.
- KOMÁREK J & FOTT B. 1983. *Das Phytoplankton des Süßwassers: Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung Chlorococcales*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KOMÁREK J & MARVAN P. 1992. Morphological differences in natural populations of the genus *Botryococcus* (Chlorophyceae). *Arch Protistenkd* 141:65-100.
- KESHRI JP. 2008. *The genus Bulbochaete C.A. Agardh (Chlorophyta Oedogoniales) in West Bengal, India*. *Bibliotheca Phycologica* 114:1-103.
- LELIAERT F, VERBRUGGEN H, VANORMELINGEN P, STEEN F, LOURENÇO J, DE CLERCK O & COPPENS F. 2012. Phylogeny and molecular evolution of the green algae. *Crit Rev Plant Sci* 31:1-46.
- LELIAERT F. 2019. Green algae: Chlorophyta and Streptophyta, p. 457-468. In: SCHMIDT TM (Ed.), *Encyclopedia of microbiology*. 4th ed., Academic Press, Burlington.

- LOAIZA-RESTANO AM & BICUDO CE DE M. 2014. Cryptogams of the Ipiranga Springs State Park, São Paulo, SP, Brazil. Algae 40: Chlorophyceae (Hydrodictyaceae). *Hoehnea* 41:353-364.
- MATTEUCCI SD & COLMA A. 1982. *Methodology for the study of vegetation*. 22nd ed., General Secretariat of the Organization of American States, Washington, DC.
- MENDES MCDQ, BICUDO CEM, BUENO NC, BORTOLINI JC & MOURA CWDN. 2012. Morphological and ultrastructural characteristics of a strain of *Botryococcus terribilis* (Trebouxiophyceae) from Brazil. *J Appl Phycol* 24:1677-1684.
- MENEZES M, TUCCI A, PERES CK, FAJAR A & BRANCO CZ. 2010. Chlorophyceae. In: FORZZA RC et al. (Eds.), *Catalog of plants and fungi of Brazil*, vol. V (1), p. 335-352. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MIKHAILYUK T, GLADKOVA N, FRIEDL T, RYBALKA N, KRIENITZ L & MÜLLER J. 2020. *Dictyosphaerium*-like morphotype in terrestrial algae: what is *Xerochlorella* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta)? *J Phycol* 56:671-686.
- MORESCO C & BUENO NC. 2007. Scenedesmaceae (Chlorophyceae–Chlorococcales) from an urban artificial lake: *Desmodesmus* and *Scenedesmus*. *Hoehnea* 34:433-448.
- NOGUEIRA IS NABOUT JC, OLIVEIRA JE & SILVA KD. 2008. Diversity (alpha, beta, and gamma) of the phytoplankton community of four urban artificial lakes in the municipality of Goiânia, GO. *Hoehnea* 35:219-233.
- OLIVEIRA IB & BICUDO CE DE M. 2016. The genus *Staurostrum* Meyen ex Ralfs (Zygnemaphyceae, Desmidiaceae) from the Environmental Protection Area (APA) Litoral Norte, Bahia, Brazil. *Iheringia Sér Bot* 71:230-256.
- PERMANN C, BECKER B & HOLZINGER A. 2022. Temperature- and light-stress adaptations in Zygnematophyceae: the challenges of a semi-terrestrial lifestyle. *Front Plant Sci* 13:945394.
- PICELLI-VICENTIM MM. 1987. Planktonic Chlorococcales from the Iguaçu Regional Park, Curitiba, Paraná State. *Braz J Biol* 47:57-85.
- PILATTI MC, SILVA MJLD, BORTOLINI JC, BUENO NC, MOURA CWDN & FELISBERTO SA. 2023. Taxonomic study and local environmental conditions of occurrence of Chlorophyceae (Chlorophyta) from subtropical lotic environments, Paraná, Brazil. *Biota Neotrop* 23:e20221419.
- RAMOS GJP, PERES CK, BICUDO CEM, MOURA CWDN & BUENO NC. 2012. *Monoraphidium* and *Ankistrodesmus* (Chlorophyceae, Chlorophyta) from Pantanal dos Marimbus, Chapada Diamantina, Bahia State, Brazil. *Hoehnea* 39:421-434.

- RAMOS GJP, BICUDO CEM, MOURA CWDN, BUENO NC & PERES CK. 2014. New additions of coccoid green algae to the phycoflora of Brazil and the Neotropics. *Acta Bot Bras* 28:8-16.
- RAMOS GJP, BICUDO CE DE M & MOURA CWDN. 2015. Scenedesmaceae (Chlorophyta, Chlorophyceae) from two areas of the Pantanal dos Marimbus (Baiano and Remanso), Chapada Diamantina, State of Bahia, Brazil. *Hoehnea* 42:549-566.
- RAMOS GJP & MOURA CWDN. 2016. Hydrodictyaceae (Chlorophyceae, Chlorophyta) from the Marimbus Pantanal, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. *Iheringia Sér Bot* 71:13-21.
- ROCHA FC, BICUDO CEM, TUCCI A, GÓES MIL, LACERDA SR & RANGEL-JÚNIOR A. 2016. Physical chemicals determine properties of biological communities in continental semi-arid waters. *Environ Monit Assess* 188:489.
- RODRIGUES LL, SANT'ANNA CL & TUCCI A. 2010. Chlorophyceae from Billings Dams (Braço Taquacetuba) and Guarapiranga, SP, Brazil. *Braz J Bot* 31:1-15.
- ROSINI EF, SANT'ANNA CL & TUCCI A. 2013. Scenedesmaceae (Chlorococcales, Chlorophyceae) from fishing grounds in the metropolitan region of São Paulo, SP, Brazil: floristic survey. *Hoehnea* 40:661-678.
- SHERWOOD AR & PRESTING G. 2011. The plant tree of life: towards a new phylogeny of the Viridiplantae. *BMC Biol* 9:10.
- SILVA JA, PERES CK, MOURA CWDN, BORTOLINI JC, BUENO NC & FELISBERTO SA. 2022. Algal diversity in the state of Paraná: new citations and records of *Monactinus simplex* var. *echinulatum*. *Braz J Bot* 45:401-412.
- SILVA MJLD, PILATTI MC, BORTOLINI JC, BAUMGARTNER G & BUENO NC. 2023. Chlorophyceae and Trebouxiophyceae (Chlorophyta) in rivers of the area of influence of the Lower Iguaçu Hydroelectric Power Plant, Paraná State, Brazil. *Hoehnea* 50: e472022.
- STOYNEVA MP, COCQUYT C, GÄRTNER G & VYVERMAN W. 2007. *Oocystis lacustris* Chod. (Chlorophyta, Trebouxiophyceae) in Lake Tanganyika (Africa). *Linzer Biol Beitr* 39:571-632.
- TUCCI A, BICUDO CEM, BICUDO DC, SANT'ANNA CL, LOPES MR & LACERDA SR. 2019. *Atlas of cyanobacteria and microalgae from Brazilian continental waters*. Instituto de Botânica, São Paulo.
- TRANSEAU EN. 1938. Notes on Zygnemataceae. *Am J Bot* 25:524-528.
- VICTOR ML, MOUTINHO FLB & RIATTO VB. 2024. Microalgae: a sustainable strategy in the transformation and production of organic compounds. *Quim Nova* 47:e20230107.

- WEHR JD, SHEATH RG & KOCIOLEK JP (Eds.). 2015. *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. 2nd ed., Elsevier, San Diego.
- WEST W & WEST GS. 1902. *A monograph of the British Desmidiaceae*, vol. I. The Ray Society, London.
- WEST W & WEST GS. 1904. *A monograph of the British Desmidiaceae*, vol. II. The Ray Society, London.
- WEST W & WEST GS. 1905. *A monograph of the British Desmidiaceae*, vol. III. The Ray Society, London.
- WEST W & WEST GS. 1912. *A monograph of the British Desmidiaceae*, vol. IV. The Ray Society, London.
- ZIMMERMANN J, ALEXANDER N, SINGER D, EILERS KG, BARCELOS E, MONAGHAN MT & WEIGAND AM. 2015. Metabarcoding vs. morphological identification to assess diatom diversity in environmental studies. *Mol Ecol Resour* 15:526-542.

5. RESULTADOS: Capítulo 2. Variação da comunidade fitoplanctônica em diferentes períodos hidrológicos em um reservatório do semiárido cearense

Variação da comunidade fitoplanctônica em diferentes períodos hidrológicos em um reservatório do semiárido cearense.

Natália Marco de Oliveira¹, Bianca de Freitas Terra², Marcos Vinícius Freire Andrade³,
Síreleis Rodrigues Lacerda⁴, Maria Iracema Bezerra Loiola⁵, Kaoli Pereira Cavalcante²,

¹ Universidade Regional do Cariri-URCA, *Campus Pimenta*.

² Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), *Campus Betânia*.

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Sobral*.

⁴ Universidade Federal do Ceará (UFC), *Campus Pici*.

⁵ <https://orcid.org/0000-0001-7443-8003>

⁶ <https://orcid.org/0000-0003-0229-2388>

⁷ <https://orcid.org/0000-0002-0791-9197>

⁸ <https://orcid.org/0000-0002-1358-2420>

⁹ <https://orcid.org/0000-0003-3389-5560>

¹⁰ <https://orcid.org/0000-0001-7843-4114>

Autor correspondente: nataliamarco1997@gmail.com

Resumo

Este estudo investigou a composição e a dinâmica sazonal da comunidade fitoplanctônica no açude Paulo Sarasate, Varjota (CE), sob diferentes regimes hidrológicos. Foram realizadas seis campanhas de coleta, três no período seco (setembro a novembro de 2022) e três no chuvoso (abril a junho de 2023), em 10 pontos fixos no reservatório, totalizando 60 amostras. A água subsuperficial (1 L por ponto) foi fixada em lugol acético a 10% e analisada qualitativamente e quantitativamente. Foram identificados 46 táxons, distribuídos principalmente entre algas verdes (*Chlorophyceae* e *Zygnematophyceae/desmídias*, 55,5% da riqueza), cianobactérias (13,9%), diatomáceas (11,1%) e outros grupos menos representativos, como dinoflagelados, euglenofíceas, xantofíceas e criptofíceas. As análises mostraram influência significativa da sazonalidade sobre a comunidade fitoplanctônica. No período chuvoso, verificaram-se maiores valores de riqueza, diversidade e equitabilidade, indicando condições ambientais mais

favoráveis. Já no período seco, observou-se redução da diversidade e predominância de alguns grupos, refletindo a limitação de nutrientes e a maior pressão ambiental. Os resultados evidenciam que a sazonalidade hidrológica é fator determinante na estrutura e dinâmica do fitoplâncton em ambientes do Semiárido, regulando sua composição e abundância. O estudo reforça o papel do fitoplâncton como bioindicador ecológica sensível às mudanças ambientais e destaca sua relevância para o monitoramento da qualidade da água e a gestão sustentável de reservatórios em regiões semiáridas.

Palavras-chave: fitoplâncton; sazonalidade; semiárido; reservatórios; bioindicadores.

Abstract

This study investigated the composition and seasonal dynamics of the phytoplankton community in the Paulo Sarasate Reservoir, Varjota (Ceará), under different hydrological regimes. Six sampling campaigns were conducted, three during the dry season (September–November 2022) and three during the rainy season (April–June 2023), at 10 fixed sites in the reservoir, totaling 60 samples. Subsurface water (1 L per site) was preserved in 10% acetic Lugol solution and analyzed both qualitatively and quantitatively. A total of 46 taxa were identified, mainly distributed among green algae (Chlorophyceae and Zygnematophyceae/desmids, 55.5% of total richness), cyanobacteria (13.9%), diatoms (11.1%), and other less representative groups, such as dinoflagellates, euglenophyceae, xanthophyceae, and Cryptophyceae. The analyses revealed a significant influence of seasonality on the phytoplankton community. During the rainy season, higher values of wealth, diversity, and evenness were observed, indicating more favorable environmental conditions. In contrast, the dry season showed reduced diversity and the predominance of some groups, reflecting nutrient limitation and greater environmental stress. The results demonstrate that hydrological seasonality is a key factor in shaping the structure and dynamics of phytoplankton in semiarid environments, regulating its composition and abundance. This study highlights phytoplankton as a sensitive ecological indicator of environmental change and emphasizes its importance for water quality monitoring and the sustainable management of reservoirs in semiarid regions.

Keywords: phytoplankton; seasonality; semiarid; reservoirs; bioindicators.

1 Introdução

A água representa um recurso escasso e valioso para o semiárido do Nordeste do Brasil, devido à irregularidade temporal na distribuição das chuvas e à elevada evapotranspiração, fatores que, somados às ações antrópicas, afetam a qualidade hídrica (Rego et al., 2020; Moreira et al., 2021). As condições climáticas da região contribuem para um cenário de vulnerabilidade à escassez, o que, ao longo do tempo, motivou a criação de reservatórios artificiais com o objetivo de garantir a segurança hídrica, especialmente nos períodos de estiagem (Gunkel et al., 2015). A construção de reservatórios superficiais, popularmente chamados de “açudes”, é considerada essencial para o suprimento de água no semiárido brasileiro, sendo esta a principal fonte hídrica utilizada (Salinas et al., 2019).

Apesar de sua importância, a qualidade da água nesses sistemas vem sendo comprometida. Embora os açudes ofereçam serviços econômicos e sociais fundamentais, como o abastecimento de água potável para consumo humano, alterações no estado trófico e na composição das comunidades aquáticas têm prejudicado seus múltiplos usos, sobretudo pela perda de potabilidade (Znachor et al., 2020). Atividades humanas desenvolvidas no entorno das bacias hidrográficas, especialmente nas proximidades dos reservatórios, contribuem para o aporte excessivo de nutrientes, provocando mudanças no estado trófico, na composição da comunidade fitoplanctônica e nas condições físico-químicas da água (Moss et al., 2011).

As comunidades fitoplanctônicas são abundantes e desempenham papéis cruciais na estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Como produtores primários, fornecem oxigênio e matéria orgânica aos herbívoros, enquanto microrganismos decompositores, como bactérias, reciclam nutrientes e contribuem para o equilíbrio ecológico (Naeem et al., 2000; Niu et al., 2011; Yan et al., 2020). Por sua rápida resposta a alterações ambientais como variações na luz, disponibilidade de nutrientes e carga de sedimentos, o fitoplâncton é considerado um bioindicador sensível da qualidade da água (Suthers & Rissik, 2009; Zanco et al., 2017). Estudos

podem assumir abordagens qualitativas, baseadas na identificação taxonômica, ou quantitativas, investigando padrões espaciais e sazonais de distribuição (Barbosa, 2005).

Apesar da relevância ecológica e bioindicadora do fitoplâncton, ainda são escassos estudos voltados à análise integrada de sua dinâmica sazonal em reservatórios do semiárido cearense, especialmente aqueles localizados na Bacia do Acaraú. Essa lacuna é particularmente relevante, dado o papel estratégico desses sistemas para o abastecimento público e irrigação.

Diante disso, este estudo teve como objetivo analisar a estrutura e a dinâmica sazonal da comunidade fitoplanctônica em um reservatório do noroeste do Ceará, investigando sua relação com variáveis limnológicas.

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo

O reservatório Paulo Sarasate está situado no município de Varjota, no estado do Ceará. A região apresenta clima tropical quente, típico do semiárido, com precipitação média anual de aproximadamente 900 mm e temperatura média variando entre 26 e 28 °C (FUNCEPE, 2022). Este reservatório integra a Bacia do Acaraú e é alimentado pelos rios Acaraú e Jatobá, possuindo capacidade de armazenamento de 891 m³. Trata-se da principal fonte de abastecimento hídrico do município e de irrigação no perímetro irrigado do Baixo Acaraú (IBGE, 2019; FUNCEME, 2022; IPCE, 2023).

2.2 Coleta e tratamento dos dados

As amostragens foram realizadas em 10 pontos (Figura 1), com três campanhas no período seco (setembro a novembro de 2022) e três no período chuvoso (abril a junho de 2023), totalizando 60 amostras.

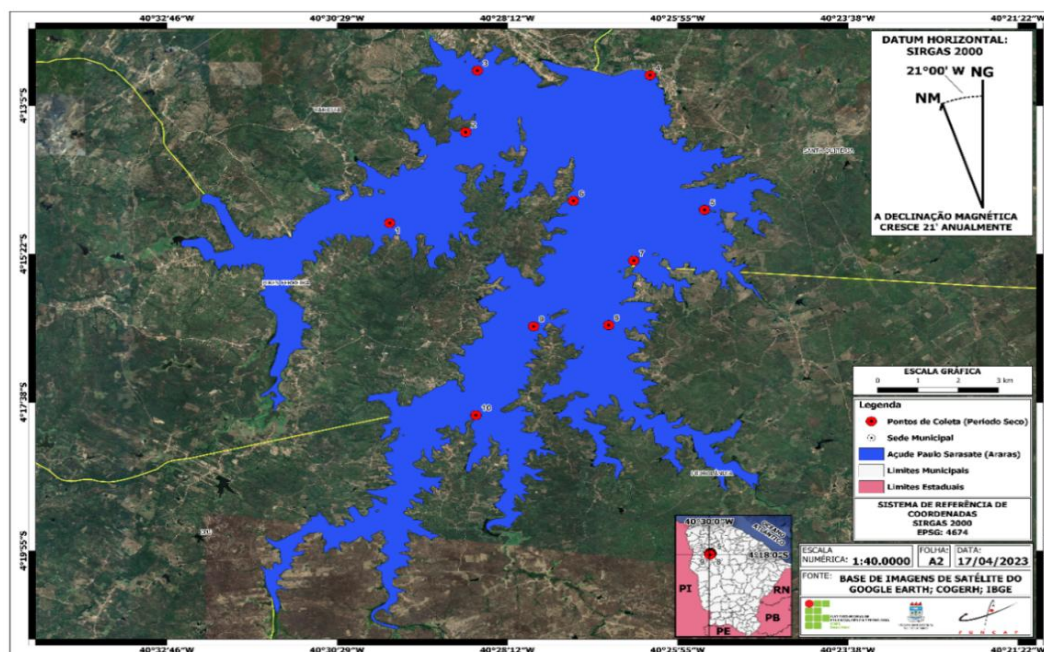


Figura 1 - Localização do reservatório Paulo Sarasate (Araras), círculos vermelhos indicam os pontos amostrais.

Foi coletado 1 L de água subsuperficial em cada ponto, utilizando garrafa apropriada, e as amostras foram preservadas em lugol acético (Bicudo & Menezes, 2017). Concomitantemente, mensuraram-se as seguintes variáveis físico-químicas: demanda bioquímica de oxigênio (DBO, mg O₂/L), oxigênio dissolvido (OD, mg O₂/L), amônia (mg/L), clorofila-a (µg/L), nitrito (mg/L), nitrato (mg/L), fósforo total (mg/L) e sólidos totais dissolvidos (STD, mg/L).

A análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica seguiu o método de Utermöhl (1958), com microscópio invertido (aumento de 400×). As amostras foram homogeneizadas, sedimentadas em câmaras de 10 mL por 6 h, e a contagem foi realizada em campos aleatórios até atingir, no mínimo, 100 indivíduos do táxon mais abundante e eficiência amostral mínima de 95% (Pappas & Stoermer, 1996).

A riqueza específica foi definida como o número total de táxons por amostra. A frequência de ocorrência foi calculada conforme Matteucci & Colma (1982):

$$F = \frac{Pa}{P} \times 100$$

onde Pa é o número de amostras com ocorrência do táxon, P o número total de amostras e 100 o fator de conversão para porcentagem. Os táxons foram classificados como muito frequentes ($F > 70\%$), frequentes ($40\% < F \leq 70\%$), pouco frequentes ($10\% < F \leq 40\%$) e esporádicos ($F \leq 10\%$).

As análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2023). Os dados limnológicos foram padronizados pelo método z-score e dados bióticos foram transformados pelo método Hellinger (vegan). Aplicou-se Análise de Componentes Principais (PCA) para caracterizar as unidades amostrais em relação às condições abióticas, com teste de significância via permutação (10.000 iterações).

A estrutura da comunidade foi investigada por Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (nMDS) com índice de Bray-Curtis, e a contribuição relativa dos táxons foi avaliada por análise SIMPER. Táxons indicadores foram identificados pelo método IndVal, com 1.000 permutações. A diversidade foi estimada pelo índice de Shannon e comparada entre períodos com teste t de Student, precedido por teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

3 Resultados

Os dados limnológicos mostraram maiores concentrações de oxigênio dissolvido, nitrato e fósforo total no período seco (Tabela 1). A PCA explicou 56,50% da variância total (PC1 =

32,24%; PC2 = 24,26%), evidenciando separação clara entre períodos, com o período seco relacionado principalmente à concentração de compostos nitrogenados, e o período chuvoso relacionado à redução da concentração de oxigênio dissolvido (Figura 2).

Tabela 1 - Valores mínimos, máximos e médios $\pm$ desvio padrão, das variáveis limnológicas nos períodos seco e chuvoso no reservatório Paulo Sarasate (Varjota – CE). ND = abaixo do limite de detecção.

Variável	Período Seco			Período Chuvoso		
	Mínimo	Máximo	Média $\pm$ DP	Mínimo	Máximo	Média $\pm$ DP
Demanda Bioquímica de						
Oxigênio – DBO (mg O ₂ /L)	0,79	11,64	5,96 $\pm$ 2,84	0,01	11,19	5,11 $\pm$ 3,08
Oxigênio Dissolvido – OD (mg O ₂ /L)	5,89	10,06	7,99 $\pm$ 0,80	2,77	8,41	6,11 $\pm$ 1,21
Amônia (mg/L)	0,21	0,91	0,53 $\pm$ 0,23	0,17	1,2	0,45 $\pm$ 0,28
Nitrito (mg/L)	ND	0,01	0,004 $\pm$ 0,002	ND	0,01	0,005 $\pm$ 0,001
Nitrato (mg/L)	ND	0,07	0,02 $\pm$ 0,02	0,01	0,35	0,12 $\pm$ 0,10
Fósforo Total (mg/L)	0,01	0,64	0,15 $\pm$ 0,20	ND	0,07	0,03 $\pm$ 0,02
Clorofila-a (µg/L)	0,08	26,73	5,46 $\pm$ 6,74	ND	36,98	3,77 $\pm$ 9,64
Sólidos Totais						
Dissolvidos – STD (mg/L)	119,33	254	175,00 $\pm$ 37,72	127,33	624	171,00 $\pm$ 90,94

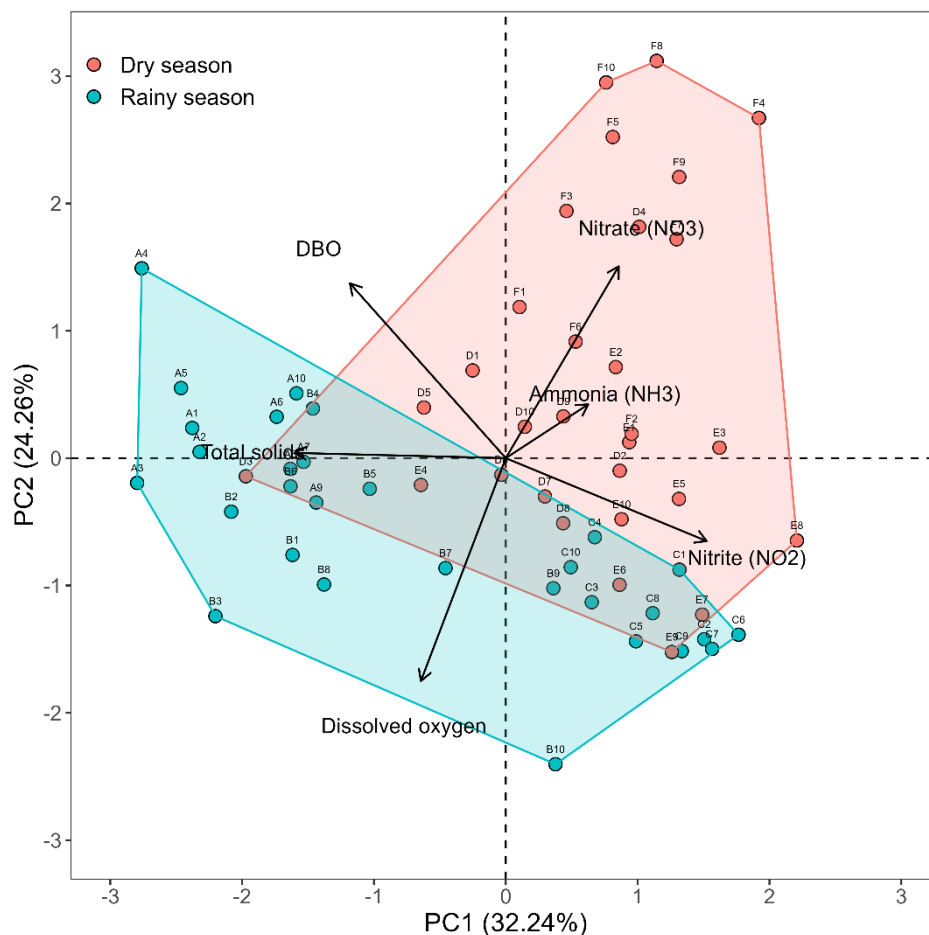


Figura 2. Biplot da PCA indicando agrupamento dos dados limnológicos entre os períodos seco e chuvoso. DBO = demanda bioquímica de oxigênio.

Neste estudo, o reservatório Paulo Sarasate apresentou um total de 46 táxons fitoplanctônicos. O grupo mais representativo em número de espécies foi o das algas verdes, que juntas corresponderam a 55,5% da riqueza total. As cianobactérias representaram 13,9% (5 táxons) e as diatomáceas, 11,1% (4 táxons). Outros grupos — dinoflagelados, euglenofíceas e xantofíceas — tiveram 2 táxons cada (5,6%), e as Criptofíceas apenas 1 táxon (2,8%). Doze táxons ocorreram exclusivamente no período chuvoso, apenas um exclusivo do período seco e 33 em ambos os períodos (Tabela 2, Figura 3).

Tabela 2 - Táxons fitoplanctônicos registrados no reservatório Paulo Sarasate (Varjota-CE), com respectivos períodos de ocorrência e classificação de frequência.

Táxon	Ocorrência	Frequência de Ocorrência
Cyanophyceae		
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Lemmermann	Ambos	Frequente
<i>Aphanocapsa annulata</i> McGregor	Ambos	Pouco frequente
<i>Coelomorion tropicale</i> Senna, Peres & Komárek	Chuvoso	Esporádica
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	Ambos	Pouco frequente
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau	Ambos	Esporádica
Cyanophyceae não identificada	Ambos	Pouco frequente
<i>Oscillatoria curcivops</i> Agardh ex Gomont	Chuvoso	Esporádica
<i>Oscillatoria limosa</i> Gomont	Ambos	Pouco frequente
<i>Oscillatoria princeps</i> Vaucher ex Gomont	Chuvoso	Esporádica
<i>Oscillatoria proboscidea</i> Gomont	Chuvoso	Esporádica
<i>Dolichospermum solitarium</i> (Klebahn) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek	Ambos	Muito frequente
<i>Raphidiopsis raciborskii</i> (Wołoszyńska) Aguilera et al.	Ambos	Muito frequente
<i>Phormidium tergestinum</i> (Kützing) Anagnostidis & Komárek	Chuvoso	Esporádica
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn	Ambos	Esporádica
<i>Planktothrix isothrix</i> (Skuja) Komárek & Komárková	Ambos	Pouco frequente
Chlorophyceae		
<i>Coelastrum indicum</i> W.B. Turner	Ambos	Esporádica
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat	Ambos	Esporádica
<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) E. Hegewald	Ambos	Esporádica
<i>Desmodesmus arthrodesmiformis</i> (Schröder) S.S. An, Friedl & E. Hegewald	Ambos	Esporádica
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	Chuvoso	Frequente
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	Chuvoso	Frequente
<i>Bulbochaete elatior</i> Pringsheim ex Hirn	Ambos	Frequente
Trebouxiophyceae		
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	Ambos	Pouco frequente
<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	Chuvoso	Esporádica
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	Ambos	Pouco frequente
<i>Willea rectangularis</i> (A. Braun) D.M. John, M.J. Wynne & P.M. Tsarenko	Chuvoso	Pouco frequente

<i>Botryococcus terribilis</i> Komárek & Marvan	Ambos	Pouco frequente
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	Ambos	Esporádica
Zygnematophyceae		
<i>Staurostrum leptocladum</i> Nordstedt	Ambos	Frequente
<i>Closterium jenneeri</i> Ralfs	Ambos	Esporádica
<i>Closterium parvulum</i> Nägeli	Ambos	Frequente
<i>Cosmarium blyttii</i> Wille	Ambos	Esporádica
<i>Cosmarium lundelli</i> Delponte	Ambos	Esporádica
<i>Cosmarium margaritatum</i> (P. Lundell) J. Roy & Bisset	Ambos	Esporádica
<i>Cosmarium regnellii</i>	Chuvoso	Esporádica
Euglenophyceae		
<i>Trachelomonas</i> sp. 1	Ambos	Pouco frequente
<i>Trachelomonas</i> sp. 2	Chuvoso	Esporádica
Dinophyceae		
<i>Peridinium</i> sp. Nygaard	Ambos	Esporádica
<i>Glochidinium penardiforme</i> (Er. Lemmermann) Boltovskoy	Ambos	Esporádica
Bacillariophyta		
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	Ambos	Frequente
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	Ambos	Frequente
<i>Epithemia gibba</i> (Ehrenberg) Kützing	Chuvoso	Esporádica
<i>Gomphonema</i> sp.	Chuvoso	Esporádica
Xanthophyceae		
<i>Tetraplektron torsum</i> (W.B. Turner) Dedusenko	Ambos	Pouco frequente
<i>Centrtractus belenophorus</i> (Schmidle) Lemmermann	Seco	
Cryptophyceae		
<i>Cryptomonas</i> sp.	Ambos	Pouco frequente

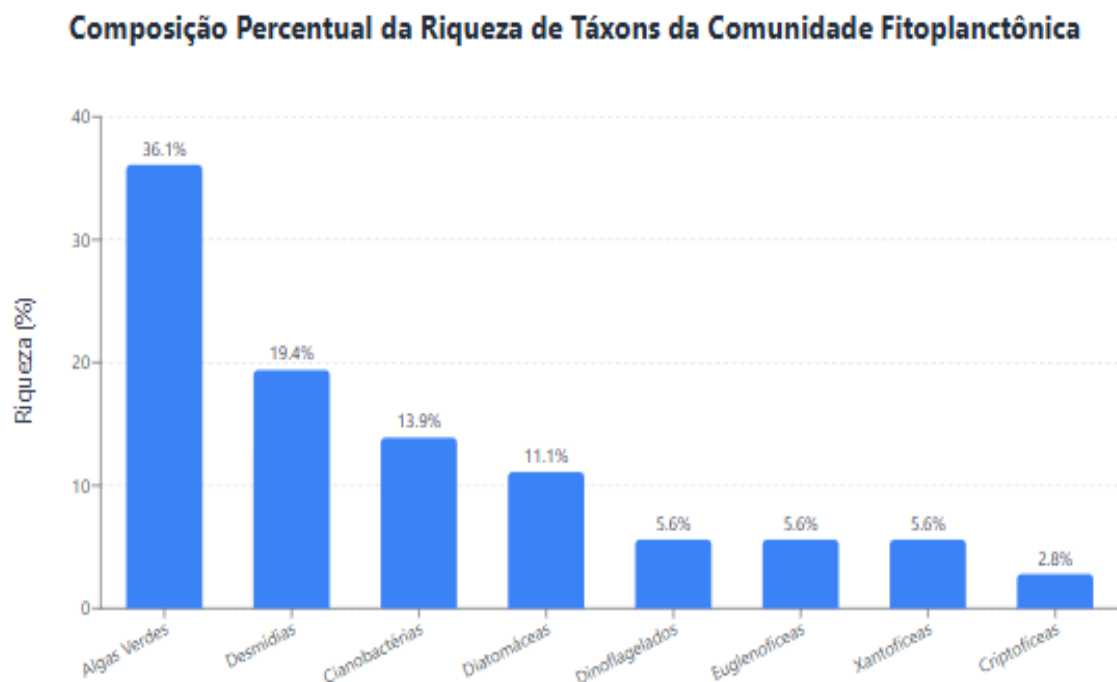


Figura 3 - Composição percentual da riqueza de táxons da comunidade fitoplanctônica do reservatório Paulo Sarasate

Quanto à frequência de ocorrência, duas espécies (4%) foram classificadas como muito frequentes, seis (13%) como frequentes, 13 (26%) como pouco frequentes e 26 (57%) como esporádicas. Entre as cianobactérias, *Dolichospermum solitarium* e *Raphidiopsis raciborskii* destacaram-se como muito frequentes.

Observou-se maior número de grupos e táxons durante o período chuvoso, com destaque para cianobactérias, algas verdes, desmídias e diatomáceas, que apresentaram riqueza superior à registrada no período seco (Figura 4).

As espécies mais recorrentes em todo o estudo foram *Dolichospermum solitarium* (95% das amostras), *Raphidiopsis raciborskii* (88%), *Staurastrum leptocladum* (58%), *Closterium parvulum* (57%), *Microcystis aeruginosa* (65%), *Aulacoseira granulata* (70%), *Epithemia argus* (48%) e *Monoraphidium contortum* (40%).

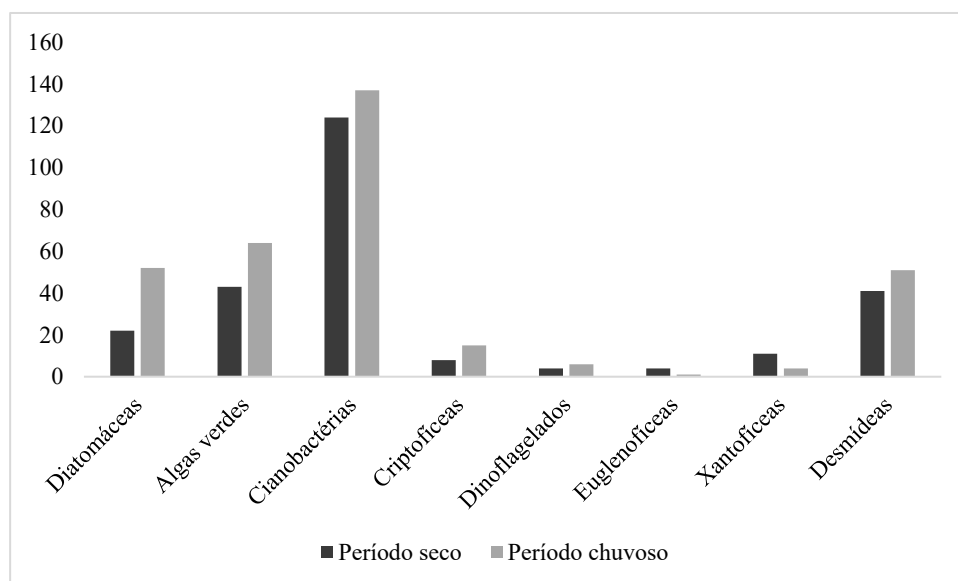


Figura 4 - Riqueza dos grupos fitoplantônicos entre os períodos seco e chuvoso.

O índice de diversidade de Shannon-Wiener apresentou valores médios de 1,25 bits.ind⁻¹ no período seco e 1,51 bits.ind⁻¹ no chuvoso. O menor valor (0,76 bits.ind⁻¹) e o maior (1,92 bits.ind⁻¹) ocorreram no período chuvoso (Figura 5).

O teste t indicou diferença significativa entre os períodos ($t = 3,8363$; $p = 0,0003$), com maior diversidade média no chuvoso.

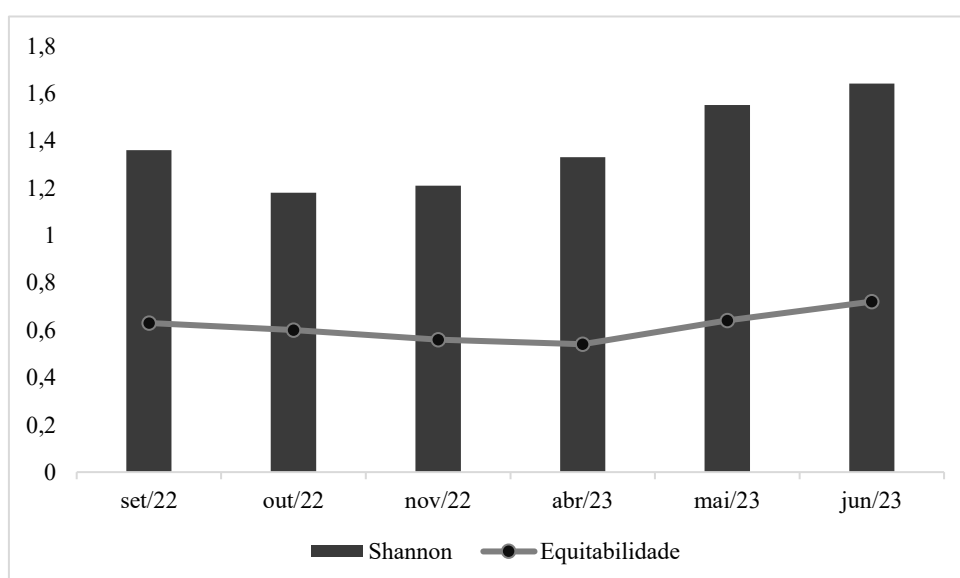


Figura 5 . Valores médios de Diversidade de (bits.org⁻¹) e equitabilidade dos períodos seco (set, out, nov/22) e chuvoso (abr, mai, jun/23) no reservatório Paulo Sarasate.

A comparação do índice de diversidade de Shannon entre os períodos chuvoso e seco revelou diferenças estatisticamente significativas. Os resultados do teste t revelaram que a diversidade foi significativamente ($t = 3,8363$, $df = 54,74$, $p = 0,0003$) maior no período chuvoso (média = $1,50 \pm 0,28$) em comparação ao período seco (média = $1,25 \pm 0,22$).

A densidade do fitoplâncton variou entre $3,02 \text{ cel.mL}^{-1}$, valor mínimo registrado no ponto 2 em abril/23 (período chuvoso) a $527,60 \text{ cel.mL}^{-1}$, valor máximo verificado em setembro/22 (período seco), mantendo valores maiores nos meses referentes ao período seco. A maior densidade de espécies esteve atribuída as cianobactérias (Fig 6). Os resultados da PERMANOVA confirmam variação significativa na densidade da comunidade de fitoplâncton entre os períodos seco e chuvoso ($gl = 1$, $F = 11,874$; $R^2 = 16,99$; $P < 0,001$).

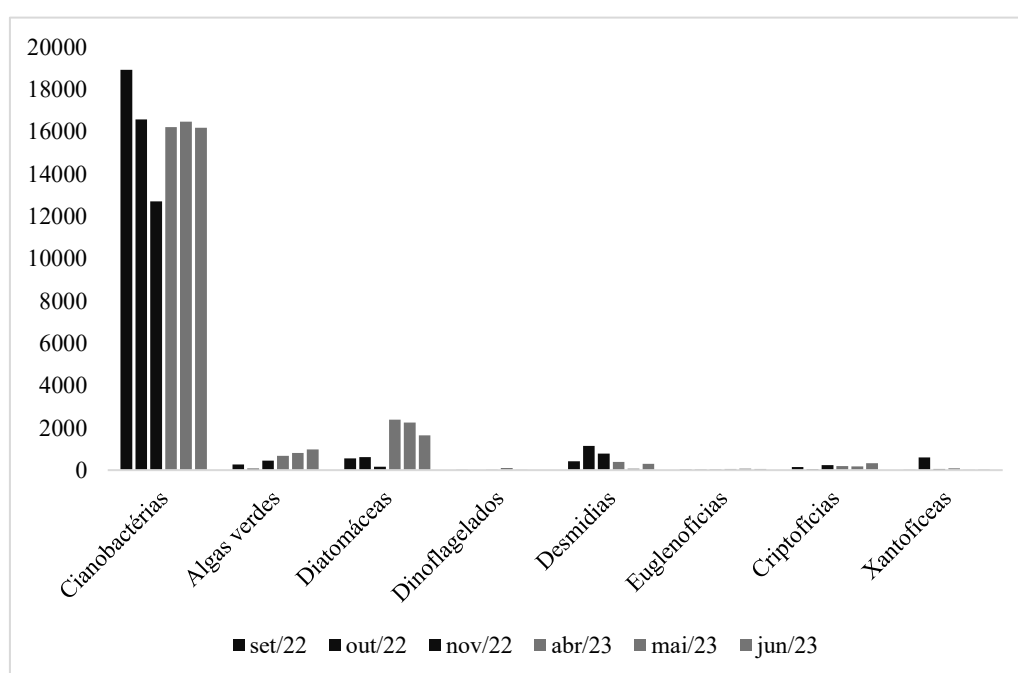


Figura 6 - Variação da densidade fitoplantônica do reservatório Paulo Sarasate.

A análise de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (nMDS), baseada na matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis, apresentou um valor de estresse de 0,2530, indicando um ajuste

moderado da ordenação aos dados. A nMDS (estresse = 0,2530) mostrou separação moderada entre períodos, confirmando diferenças sazonais (Figura 7).

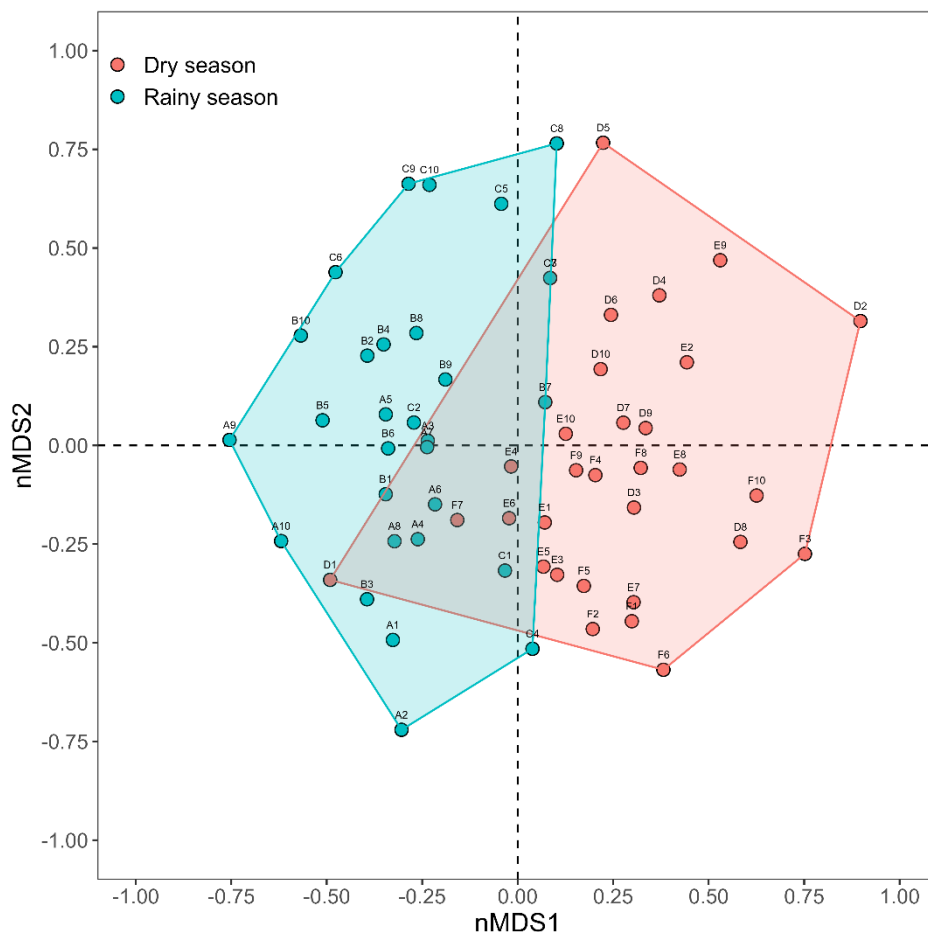


Figura 7 - Análise de escalonamento multidimensional não-métrica (nMDS) com base nos dados bióticos do reservatório Paulo Sarasate.

Análise SIMPER apontou *Dolichospermum solitarium* (12,61%), *Microcystis aeruginosa* (10,25%) e *Raphidiopsis raciborskii* (6,43%) como principais responsáveis pela dissimilaridade entre períodos (58% da variação total).

A análise IndVal identificou oito táxons indicadores, sete no período seco (*Epithemia cf. argus*, *Aulacoseira granulata*, *Dolichospermum solitarium*, *Monoraphidium griffithii*, *Willea*

rectangularis, *Planktothrix isothrix*, *Glochidinium penardiforme*) e um no chuvoso (Cianobactéria não identificada).

4 Discussão

A composição fitoplanctônica do reservatório Paulo Sarasate foi dominada por cianobactérias, algas verdes e desmídias, resultado que corrobora estudos conduzidos em outros reservatórios do Semiárido, como relatado por Severiano et al. (2021) e Vieira et al. (2021).

Segundo Vieira et al. (2020), as cianobactérias representam o grupo de maior relevância sanitária, devido ao potencial de produção de cianotoxinas capazes de afetar a saúde pública, a biodiversidade e o equilíbrio ecológico dos corpos d'água, especialmente em eventos de floração (Pulido, 2016; Amorim et al., 2017; Chorus et al., 2021; Cordeiro et al., 2022). Entre suas vantagens adaptativas destacam-se a tolerância a altas temperaturas e intensa radiação solar, a habilidade de captar eficientemente fósforo dissolvido, a fixação de nitrogênio atmosférico por heterócitos e a resistência à predação zooplanctônica (Naselli-Flores, 2003; Oliveira, 2008; Pádisak et al., 2009).

As algas verdes, por sua vez, possuem ampla distribuição geográfica, elevada diversidade morfológica e ecofisiológica e capacidade de colonizar diferentes habitats, sendo influenciadas pela disponibilidade de luz, fósforo solúvel reativo e pela mistura da coluna d'água (Komárek & Fott, 1983; Wehr et al., 2015; Fučíková et al., 2019). Sua ocorrência em águas continentais brasileiras é frequente, sobretudo em ambientes tropicais eutróficos (Tucci et al., 2006; Rodrigues et al., 2010).

As desmídias também apresentaram representatividade, sendo organismos adaptados a condições ambientais variáveis, sem células flageladas e com reprodução sexual por conjugação (Gontcharov et al., 2003; Reviers, 2006).

Duas espécies se destacaram pela alta frequência no reservatório: *Dolichospermum solitarium*, associada a temperaturas elevadas, alta disponibilidade de nutrientes e estabilidade

da coluna d'água (Silva et al., 2015), e *Raphidiopsis raciborskii*, espécie exótica e invasora no semiárido, com elevada tolerância a diferentes condições ambientais e forte competitividade (Padisák, 1997; Wiedner et al., 2007; Sukenik et al., 2012; Beamud et al., 2016; Nery, 2024). Outro gênero frequente foi *Aulacoseira*, diatomácea adaptada a ambientes de água doce com maior turbulência (Cox & Cox, 1996; Kociolek, 2018).

A maior densidade fitoplanctônica foi registrada para cianobactérias, especialmente no período seco, coincidindo com estudos que associam temperaturas elevadas e baixa pluviosidade a florações (Tundisi et al., 2008; Andrade et al., 2009; Costa et al., 2009; Chalar, 2009; Cunha & Calijuri, 2011; Oliveira et al., 2011; Moura et al., 2011).

A análise SIMPER confirmou *Dolichospermum solitarium*, *Microcystis aeruginosa* e *Raphidiopsis raciborskii* como as principais responsáveis pela dissimilaridade entre períodos. *Microcystis aeruginosa* destaca-se como indicadora de eutrofização persistente, com vantagens como formação de colônias mucilaginosas que dificultam a predação (Ohkubo et al., 1993; Moss et al., 2011; Zhang et al., 2020).

A IndVal mostrou predominância de espécies indicadoras no período seco, associadas a condições mais estáveis e concentradas em nutrientes.

As variáveis ambientais mais determinantes na estruturação da comunidade no período seco foram DBO, nitrito e STD, reforçando a relação entre qualidade da água e composição fitoplanctônica. A PCA confirmou diferenças marcantes entre períodos, com STD e OD mais elevados no seco, enquanto o chuvoso apresentou maiores concentrações de nutrientes dissolvidos.

Os padrões identificados são consistentes com outros estudos em reservatórios do Nordeste (Vieira et al., 2021; Rodrigues et al., 2020) e reforçam que a dominância de cianobactérias potencialmente tóxicas constitui uma “assinatura ecológica” de ecossistemas aquáticos do semiárido.

Do ponto de vista da saúde pública, a abundância de *Microcystis*, *Raphidiopsis* e *Dolichospermum* indica risco crônico devido à possível produção de cianotoxinas como microcistinas e saxitoxinas (Wehr et al., 2015), exigindo monitoramento contínuo, não apenas da densidade celular, mas também da presença e concentração de toxinas.

5 Conclusão

O presente estudo demonstrou que a comunidade fitoplanctônica do reservatório Paulo Sarasate apresenta variações estruturais e composicionais marcantes entre os períodos seco e chuvoso, evidenciando a forte influência da sazonalidade sobre ecossistemas aquáticos do semiárido cearense. Ao todo, foram identificados 46 táxons, com predominância de cianobactérias, algas verdes e desmídias, além de um número maior de espécies e maior diversidade média no período chuvoso.

Referências

- AMORIM, C. A. et al. Toxic cyanobacteria and microcystins in reservoirs of the semi-arid region of Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 3, p. 1-13, 2017.
- AMBWANI, K. et al. Phytoplankton diversity in freshwater lakes of India. *Journal of Environmental Biology*, v. 24, n. 3, p. 219-227, 2003.
- ANDRADE, L. S. et al. Dynamics of phytoplankton associations in a tropical reservoir in Brazil. *Hydrobiologia*, v. 628, p. 91-101, 2009.
- ATAYDE, J. L.; BOZELLI, R. L. Environmental heterogeneity patterns and predictive models of phytoplankton biomass in tropical lakes. *Brazilian Journal of Biology*, v. 58, n. 4, p. 547-556, 1998.
- AUSTONI, M. et al. Ecophysiological interactions and dominance of *Raphidiopsis raciborskii* in tropical and subtropical freshwaters. *Freshwater Biology*, v. 68, p. 1-16, 2023.
- BARBOSA, F. A. R. Estudo da comunidade fitoplanctônica como ferramenta de monitoramento da qualidade da água. In: TUCCI, C. E. M. (org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: ABRH, 2005. p. 657-676.
- BEAMUD, S. G. et al. Adaptive strategies and expansion of *Raphidiopsis raciborskii* in subtropical reservoirs. *Harmful Algae*, v. 55, p. 42-52, 2016.
- BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. 3. ed. São Carlos: RiMa, 2017.
- BOUVY, M. et al. Occurrence of *Cylindrospermopsis (Raphidiopsis) raciborskii* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, v. 23, p. 13-27, 2000.
- CÂMARA, F. R. A. et al. Influence of environmental factors on phytoplankton diversity in Brazilian reservoirs. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 27, p. 1-12, 2015.
- CHALAR, G. Effects of climatic fluctuations and land use changes on the structure of the planktonic communities in a subtropical reservoir. *Freshwater Biology*, v. 54, p. 1-19, 2009.
- CHORUS, I. et al. *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring, and management*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2021.

CICERELLI, R. E. et al. Monitoring strategies for harmful cyanobacteria in Brazilian waters. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, p. 520, 2017.

CORDEIRO, L. S.; GONÇALVES, C. A.; FONSECA, R. S. Cianotoxinas em ambientes aquáticos e seus riscos à saúde pública. *Revista Ambiente & Água*, v. 17, n. 3, e2802, 2022.

COSTA, I. A. S. et al. Dynamics of phytoplankton functional groups in a tropical semi-arid reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 21, n. 3, p. 293-303, 2009.

COX, E. J.; COX, P. The genus *Aulacoseira*. In: Round, F. E.; Crawford, R. M.; Mann, D. G. *The diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 669-676.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C. Effects of nutrients and light on phytoplankton in a tropical reservoir. *Hydrobiologia*, v. 664, p. 145-156, 2011.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. *Dados meteorológicos*. Fortaleza: FUNCEME, 2022.

FUČÍKOVÁ, K. et al. Chlorophyta: taxonomy and ecology. In: WEHR, J. D.; SHEATH, R. G.; KOCIOLEK, J. P. (org.). *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. 2. ed. Cambridge: Academic Press, 2019. p. 111-149.

GONTCHAROV, A. A. et al. Conjugation in desmids: a review. *Algological Studies*, v. 109, p. 1-25, 2003.

GUNKEL, G. et al. Water quality assessment of reservoirs in semi-arid Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, v. 20, p. 1-14, 2015.

HOLZINGER, A.; PICHRRTOVÁ, M. Effects of desiccation on photosynthesis and ultrastructure of green algae. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 1-16, 2016.

HUSZAR, V. L. M. et al. Phytoplankton species composition is more sensitive than functional groups to environmental variability. *Hydrobiologia*, v. 568, p. 195-205, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades e estados: Varjota*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IPCE. Instituto de Pesquisa e Controle de Energia. *Relatórios técnicos*. Fortaleza: IPCE, 2023.

KALFF, J. *Limnology: inland water ecosystems*. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

KOMÁREK, J.; FOTT, B. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung Chlorococcales. In: Huber-Pestalozzi, G. (ed.). *Das Phytoplankton des Süßwassers*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche, 1983.

KOCIOLEK, J. P. *Diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University Press, 2018.

LOPES, M. R. M. et al. Influence of rainfall on chlorophyll-a and phytoplankton in a tropical reservoir. *Brazilian Journal of Biology*, v. 75, n. 3, p. 612-620, 2015.

MARANTE, C. O. et al. Influence of land use on suspended matter and chlorophyll-a in reservoirs. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 30, p. 1-12, 2018.

MATTEUCCI, S. D.; COLMA, A. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Washington: Secretaria General de la OEA, 1982.

MOREIRA, L. C. et al. Rainfall variability in the Brazilian semi-arid region. *Atmosphere*, v. 12, p. 1-14, 2021.

MOSS, B. et al. Allied attack: climate change and nutrient pollution. *Freshwater Biology*, v. 56, p. 1-20, 2011.

NAEEM, S.; HAHN, D. R.; SCHUURMAN, G. Biodiversity and ecosystem functioning: maintaining natural life support processes. *Issues in Ecology*, v. 4, p. 1-11, 2000.

NASCIMENTO, M. F. Variação temporal de parâmetros limnológicos em reservatório eutrófico. *Revista Nordestina de Biologia*, v. 19, p. 1-12, 2010.

NASELLI-FLORES, L. Man-made lakes: ecological studies. *Hydrobiologia*, v. 505, p. 1-3, 2003.

NERY, D. Expansão de *Raphidiopsis raciborskii* no semiárido brasileiro: ecologia e riscos. *Revista Brasileira de Limnologia*, v. 32, p. 1-15, 2024.

NIU, X. et al. Effects of phytoplankton on nutrient cycling. *Ecological Modelling*, v. 222, p. 1-9, 2011.

OHKUBO, T.; YAGI, O.; OKADA, M. Grazing resistance of *Microcystis* colonies. *Hydrobiologia*, v. 250, p. 1-9, 1993.

OLIVEIRA, M. A. Ecologia de cianobactérias em ecossistemas aquáticos tropicais. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 6, p. 1-8, 2008.

OLIVEIRA, P. T. et al. Phytoplankton structure and dynamics in a semi-arid reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 23, n. 2, p. 113-127, 2011.

PADISÁK, J. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium. *New Phytologist*, v. 136, p. 403-425, 1997.

PADISÁK, J.; CROSSETTI, L. O.; NASELLI-FLORES, L. Use, and misuse in the application of phytoplankton functional classification. *Hydrobiologia*, v. 621, p. 1-19, 2009.

PAPPAS, J. L.; STOERMER, E. F. Standard methods for phytoplankton counting. *Journal of Phycology*, v. 32, p. 1-15, 1996.

PERMANN, A.; BECKER, B.; HOLZINGER, A. Desmid adaptation to semi-terrestrial habitats. *Journal of Phycology*, v. 58, p. 1-12, 2022.

PESSOA, E. K. R. et al. Phytoplankton diversity and trophic conditions. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 29, e9, 2017.

PULIDO, C. The threat of toxic cyanobacteria. *Water Research*, v. 93, p. 1-2, 2016.

REGO, N. A. C. et al. Climate variability in Brazilian semi-arid region. *Climatic Change*, v. 160, p. 1-18, 2020.

REVIERS, B. *Biology and phylogeny of algae*. Paris: CRC Press, 2006.

ROCHA JÚNIOR, C. A. et al. Dissolved oxygen patterns in tropical reservoirs. *Brazilian Journal of Biology*, v. 78, n. 2, p. 208-219, 2018.

RODRIGUES, T. et al. Cyanobacterial dominance in Ceará reservoirs. *Revista Nordestina de Biologia*, v. 28, p. 1-15, 2020.

RODRIGUES, L. R.; SANT'ANNA, C. L.; TUCCI, A. Phytoplankton in tropical Brazilian reservoirs. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 33, p. 1-12, 2010.

SALINAS, M. J. B. et al. Importance of reservoirs in water security in the Brazilian semi-arid. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 25, p. 1-12, 2019.

SEVERIANO, J. S. et al. Cyanobacterial blooms in semi-arid reservoirs. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 1-12, 2021.

SILVA, C. A. et al. Factors influencing *Dolichospermum* blooms in tropical waters. *Harmful Algae*, v. 43, p. 1-9, 2015.

SUTHERS, I. M.; RISSIK, D. *Plankton: a guide to their ecology and monitoring water quality*. Collingwood: CSIRO Publishing, 2009.

SUKENIK, A. et al. Growth and toxicity of *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 78, p. 1-9, 2012.

TUNDISI, J. G. et al. Theoretical basis for reservoir limnology. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, p. 1-21, 2008.

TUCCI, A.; SANT'ANNA, C. L.; RODRIGUES, L. R. Chlorophyceae in Brazilian reservoirs. *Hoehnea*, v. 33, p. 1-8, 2006.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, v. 9, p. 1-38, 1958.

VIEIRA, A. A. H. et al. Cyanobacterial composition in tropical reservoirs. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 33, e8, 2021.

VIEIRA, J. M. et al. Ecological risk of cyanobacteria in drinking water reservoirs. *Water Research*, v. 174, p. 1-14, 2020.

WEHR, J. D. et al. *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. 2. ed. Cambridge: Academic Press, 2015.

WIEDNER, C. et al. Environmental factors affecting the dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Aquatic Sciences*, v. 69, p. 1-14, 2007.

YAN, Q. et al. Phytoplankton functional traits and ecosystem processes. *Ecological Indicators*, v. 110, p. 1-10, 2020.

ZANCO, B. F. et al. Response of phytoplankton to environmental gradients. *Brazilian Journal of Botany*, v. 40, p. 1-10, 2017.

ZNACHOR, P. et al. Reservoir trophic state changes and impacts on phytoplankton. *Hydrobiologia*, v. 847, p. 1-17, 2020.

ZHANG, Y. et al. Effects of colony size on grazing resistance in *Microcystis*. *Freshwater Biology*, v. 65, p. 1-10, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo evidenciam que os regimes hidrológicos, representados pelos períodos de seca e chuva, são um fator determinante na estruturação e composição da comunidade fitoplanctônica no reservatório do semiárido. A análise dos dados de diversidade, riqueza e densidade, juntamente com as variáveis limnológicas, demonstrou que a dinâmica sazonal impulsionada pela disponibilidade hídrica tem um impacto significativo sobre a ecologia do ecossistema aquático.

A distinção clara observada nas análises de ordenação, como a Análise de Redundância (RDA) e a Análise de Componentes Principais (PCA), corrobora a hipótese de que as condições ambientais distintas de cada período hidrológico atuam como filtros seletivos, favorecendo diferentes grupos taxonômicos. A variação nas espécies de algas verdes (*Chlorophyceae*, *Zygnematophyceae* e *Trebouxiophyceae*) e a composição percentual da riqueza de táxons entre os períodos de seca e chuva reforçam esta conclusão.

Em síntese, este trabalho demonstra que a comunidade fitoplanctônica do reservatório Paulo Sarasate é resiliente e se adapta às flutuações sazonais, mas sua composição e estrutura são intrinsecamente ligadas ao pulso de inundação e à recessão da água. A compreensão dessa dinâmica é fundamental para a gestão e o manejo de recursos hídricos em ambientes de semiárido, fornecendo subsídios para a manutenção da qualidade da água e a saúde do ecossistema. Futuros estudos poderiam investigar a longo prazo a resposta da comunidade fitoplanctônica a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e chuvas torrenciais, para aprimorar ainda mais os modelos de gestão adaptativa.

