

Silva, F.S. **Variação sazonal, diversidade e potencial tóxico de cianobactérias aderidas a diferentes substratos em reservatórios de uso público no Estado de Pernambuco, Brasil.** 2025. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

RESUMO

A presente tese analisou a composição e estrutura, a presença de espécies tóxicas e a produção de microcistinas por cianobactérias aderidas em diferentes substratos em reservatórios tropicais localizados em Pernambuco, Brasil. A tese foi estruturada em quatro capítulos (um de revisão bibliográfica e três manuscritos). Foi realizado um monitoramento, com coletas trimestrais durante o ano de 2022 em dois períodos climáticos: um chuvoso e outro seco em três reservatórios, um na região Metropolitana (Apipucos) e dois na Zona da Mata (Cursai e Tapacurá) para coletas das comunidades (cianobactérias) aderidas em macrófitas flutuantes *P. crassipes* e variáveis limnológicas e climáticas para redação do primeiro artigo, que teve como objetivo investigar os efeitos da eutrofização na diversidade funcional e beta de cianobactérias epífitas em reservatórios tropicais. Para isso, foram calculadas as biomassas das espécies, posteriormente, foram classificadas utilizando traços funcionais e características dos ambientes de acordo com as estratégias adaptativas de Biggs (CSR e CS. A diversidade beta (turnover e aninhamento) foi calculada através dos índices (Sorensen e Simpson) e a diversidade funcional (riqueza funcional - FRic, uniformidade funcional - FEve, dispersão funcional - FDis, dissimilaridade funcional - RaoQ e redundância funcional - FRed). A PCA mostrou que o reservatório oligomesotrófico foi o único com heterogeneidade ambiental. O grupo C foi dominante no reservatório hipereutrofizado e grupo S predominou no corpo d'água oligomesotrófico. A diversidade beta foi impulsionada pelo turnover, com maior variabilidade no reservatório oligomesotróficos. A eutrofização levou a redução na riqueza, divergência, diversidade, dispersão e dissimilaridade funcional. Ou seja, quanto mais impactado for o ambiente, mais homogênea estará a comunidade. No segundo artigo, foi investigada a riqueza, diversidade, mensurada a biomassa e a produção de microcistinas das cianobactérias aderidas a macrófitas, rochas e substrato artificial (plástico) em quatro reservatórios em Pernambuco, Brasil: Apipucos, Cajueiro, Cursai e Tapacurá. Para isso foram utilizadas uma ANOVA, teste de Turkey, uma NMDS e uma análises de espécies indicadoras (IndVal). Foram identificados 33 táxons de cianobactérias perifíticas, sendo 12 reconhecidos na literatura como potenciais produtores de microcistinas. Seis espécies foram comuns aos quatro reservatórios e substratos, mostrando serem adaptadas as variadas condições ambientais, podendo ser consideradas cosmopolitas, são elas, *Anagnostidinema amphibium*, *Geitlerinema splendidum*, *Leptolyngbya lagerheimii*, *Oscillatoria limosa*, *Oscillatoria tenuis* e *Pseudanabaena catenata*. *Raphidiopsis raciborskii* foi exclusiva de Cajueiro, enquanto *Pseudanabaena mucicola* e *Spirulina* sp. foram exclusivas em Apipucos no substrato plástico. As mais elevadas biomassas e diversidade ocorreram no substrato artificial no reservatório eutrófico, enquanto os maiores níveis de microcistinas foram detectados no reservatório hipereutrófico, especialmente no substrato artificial e rochas, com concentrações superiores a $1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. A análise de ordenação (NMDS) indicou correlação entre a produção de microcistinas, a composição de espécies e variáveis ambientais transparência, oxigênio dissolvido, turbidez, temperatura e salinidade. Apesar da presença de táxons potencialmente tóxicos, as concentrações de microcistinas foram significativamente distintas entre os reservatórios e substratos, com ausência de detecção de microcistinas no reservatório urbano. *Calothrix fusca* foi a única espécie indicadora de baixa, média e alta produção de microcistinas em Cajueiro, Cursai e Tapacura. O estudo destaca a influência da condição trófica e substrato sobre a estrutura da comunidade de cianobactérias perifíticas e a produção de microcistinas, além da importância de identificar espécies

potencialmente tóxicas em reservatórios tropicais, sugerindo riscos potenciais à qualidade da água e à saúde pública. Estes resultados reforçam a necessidade de monitoramento das cianobactérias perifíticas, especialmente em ambientes eutróficos e com presença de substratos artificiais, que podem favorecer o aumento da biomassa dessas comunidades. Os resultados desta tese demonstram que a eutrofização influencia negativamente a diversidade beta e funcional das comunidades de cianobactérias aderidas, promovendo a dominância de espécies competitivas e reduzindo a variabilidade ecológica das cianobactérias. Portanto, tanto a qualidade ambiental quanto o tipo de substrato são determinantes na estrutura das comunidades de cianobactérias aderidas, reforçando a necessidade de monitoramento, principalmente em reservatórios tropicais sujeitos à degradação e aos múltiplos usos das águas. Além disso, a presença de espécies potencialmente produtoras de microcistinas não é garantia de que essas estejam produzindo toxinas, se faz necessário estudos contínuos e análises robustas que além de quantificar essas toxinas seja possível identificar possíveis genes e variantes ativos capazes de produzir toxinas até então identificadas e novas variantes tóxicas.

Palavras-chave: Diversidade, heterogeneidade ambiental, microcistinas, perifíton, reservatórios tropicais.

Silva, F. S. **Seasonal variation, diversity, and toxic potential of cyanobacteria attached to different substrates in public-use reservoirs in the state of Pernambuco, Brazil.** 2025. PhD Thesis — Graduate Program in Biodiversity, Federal Rural University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil.

ABSTRACT

This thesis analyzed the composition and structure, the presence of toxic species, and the production of microcystins by attached cyanobacteria on different substrates in tropical reservoirs located in Pernambuco, Brazil. The thesis was structured into four chapters (one literature review and three manuscripts). Monitoring was carried out with quarterly collections during the year 2022 in two climatic periods: one rainy and one dry, in three reservoirs—one in the Metropolitan region (Apipucos) and two in the Zona da Mata region (Cursai and Tapacurá). This involved collecting communities (cyanobacteria) attached to floating macrophytes *P. crassipes* and gathering limnological and climatic variables for the first article, which aimed to investigate the effects of eutrophication on the functional and beta diversity of epiphytic cyanobacteria in tropical reservoirs. For this, species biomass was calculated and subsequently classified using functional traits and environmental characteristics according to Biggs' adaptive strategies (CSR and CS). Beta diversity (turnover and nestedness) was calculated using the Sorensen and Simpson indices, and functional diversity (functional richness - FRic, functional evenness - FEve, functional dispersion - FDis, functional dissimilarity - RaoQ, and functional redundancy - FRed) was also assessed. The PCA showed that the oligo-mesotrophic reservoir was the only one with environmental heterogeneity. The C-strategist group was dominant in the hypereutrophic reservoir, and the S-strategist group predominated in the oligo-mesotrophic water body. Beta diversity was driven by turnover, with greater variability in the oligo-mesotrophic reservoir. Eutrophication led to a reduction in functional richness, divergence, diversity, dispersion, and dissimilarity. In other words, the more impacted the environment, the more homogeneous the community will be. The second article investigated the richness, diversity, biomass, and microcystin production of cyanobacteria attached to macrophytes, rocks, and artificial substrate (plastic) in four reservoirs in Pernambuco, Brazil: Apipucos, Cajueiro, Cursai, and Tapacurá. For this, ANOVA, Tukey's test, NMDS, and an indicator species analysis (IndVal) were used. Thirty-three taxa of periphytic cyanobacteria were identified, with 12 being recognized in the literature as potential microcystin producers. Six species were common to all four reservoirs and substrates, showing adaptation to varied environmental conditions and can be considered cosmopolitan: *Anagnostidinema amphibium*, *Geitlerinema splendidum*, *Leptolyngbya lagerheimii*, *Oscillatoria limosa*, *Oscillatoria tenuis*, and *Pseudanabaena catenata*. *Raphidiopsis raciborskii* was exclusive to Cajueiro, while *Pseudanabaena mucicola* and *Spirulina* sp. were exclusive to Apipucos on the plastic substrate. The highest biomass and diversity occurred on the artificial substrate in the eutrophic reservoir, while the highest levels of microcystins were detected in the hypereutrophic reservoir, especially on the artificial substrate and rocks, with concentrations exceeding 1 µg/cm². The ordination analysis (NMDS) indicated a correlation between microcystin production, species composition, and the environmental variables of transparency, dissolved oxygen, turbidity, temperature, and salinity. Despite the presence of potentially toxic taxa, microcystin concentrations were significantly different between reservoirs and substrates, with no detection of microcystins in the urban reservoir. *Calothrix fusca* was the only indicator species for low, medium, and high microcystin production in Cajueiro, Cursai, and Tapacurá. The study highlights the influence of trophic condition and substrate on the community structure of periphytic cyanobacteria and microcystin production,

as well as the importance of identifying potentially toxic species in tropical reservoirs, suggesting potential risks to water quality and public health. These results reinforce the need for monitoring periphytic cyanobacteria, especially in eutrophic environments and where artificial substrates are present, which can favor an increase in the biomass of these communities. The results of this thesis demonstrate that eutrophication negatively influences the beta and functional diversity of attached cyanobacteria communities, promoting the dominance of competitive species and reducing the ecological variability of cyanobacteria. Therefore, both environmental quality and the type of substrate are determinant factors in the structure of attached cyanobacteria communities, reinforcing the need for monitoring, especially in tropical reservoirs subject to degradation and multiple water uses. Furthermore, the presence of potentially microcystin-producing species is not a guarantee that they are producing toxins; continuous studies and robust analyses are necessary to not only quantify these toxins but also to identify possible active genes and variants capable of producing currently identified toxins and new toxic variants.

Keywords: Diversity, environmental heterogeneity, microcystins, periphyton, tropical reservoirs.