

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE

CIANOBACTÉRIAS DE MANGUEZAIS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

PAULO HENRIQUE SANTOS VIEIRA

Orientador:

Watson Arantes Gama Júnior

Coorientadora:

Ariadne do Nascimento Moura

Recife - PE

2022

PAULO HENRIQUE SANTOS VIEIRA

CIANOBACTÉRIAS DE MANGUEZAIS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Watson Arantes Gama Júnior
Programa de Pós-graduação em Biodiversidade,
UFRPE

Coorientadora: Ariadne do Nascimento Moura
Programa de Pós-graduação em Biodiversidade,
UFRPE

Recife - PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V658c Vieira, Paulo Henrique Santos
 CIANOBACTÉRIAS DE MANGUEZAIS NO ESTADO DE PERNAMBUCO / Paulo Henrique Santos Vieira. -
 2022.
 73 f. : il.

 Orientador: Watson Arantes Gama Junior.
 Coorientadora: Ariadne do Nascimento Moura.
 Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade,
 Recife, 2023.

 1. Cyanobacteria. 2. Estuário. 3. Manguezal. 4. Biofilme. I. Junior, Watson Arantes Gama, orient. II. Moura,
 Ariadne do Nascimento, coorient. III. Título

CDD 333.95

CIANOBACTÉRIAS DE MANGUEZAIS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Data da Defesa: 28/11/2022

Orientador:

Watson Arantes Gama Jr.

Examinadores:

Dra. Taiara Aguiar Caires
Membro titular

Dra. Camila F. S. Malone
Membro titular

Dr. Guilherme S. Hentschke
Membro suplente

Dra. Carmen S. Zickel
Membro suplente

Recife - PE
2022

*Dedico à minha mãe Luciene por ser minha força
e à minha amiga Kim Pomy por ser minha saudade*

“Life is suffering. It is hard. The world is cursed, but still, you find reasons to keep living.”

- Hayao Miyazaki em Princesa Mononoke

AGRADECIMENTOS

A escrita desse texto foi estranhamente emocional pra mim, olhar para trás e lembrar de todos que fizeram parte desse processo e de alguma forma contribuíram para esse momento.

Como não poderia ser diferente, agradeço primeiro à minha mãe Luciene que sempre moveu forças pela minha educação, por todo apoio incondicional, preocupação, carinho e cuidado.

À minha família, em especial Tia Vanessa, Tia Elizangela e Tia Vânia que desde a infância me deram oportunidades únicas que me trouxeram até esse momento.

Às minhas queridas amigas Edite Siqueira, Sarah Calisto, Amanda Pacheco e Mariana Andion por todo apoio, aos amigos Jonatas Mota, Fatima Silva e Rafael Falcão, presentes da rural que alegraram meus dias. Agradeço especialmente à Jhullyrson Brito e Izabelly Maciel por ficarem sempre de olho em mim e estarem nos momentos bons e ruins, sem vocês eu não estaria aqui.

Agradeço a minha querida amiga Kim Pomy (“Pompom”), que sempre me alertou dos problemas da academia, mas me ensinou a resistir e mudá-los, eu sei o quanto estaria orgulhosa de nos ver realizando mais um passo do que sonhamos juntos.

Agradeço também ao meu orientador Dr. Watson Gama Jr. pela oportunidade, confiança e por proporcionar tantos conhecimentos, não só acadêmicos, mas que me fizeram crescer como cientista, mesmo diante de tantos obstáculos nesses anos caóticos que se passaram, e à minha coorientadora Dra. Ariadne Moura por sempre fornecer um suporte indispensável durante toda a nossa pesquisa.

À toda a família do Cya – Laboratório de Cianobactérias e Algas e LABFIC, Raylane e Jhullyrson, que mesmo não trabalhando comigo presencialmente, emprestaram todo seu conhecimento, Mota, meu parceiro de café e fofocas, Fátima, Rafael, Luana, Anamaria, Silvano, Lucas e Matheus por todo trabalho e risadas compartilhadas.

Ao programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, professores, servidores e à Cynara Leleu, que sempre me ajudou com as burocracias da vida acadêmica.

Agradeço pelo apoio financeiro de bolsa da CAPES, sem o qual não seria possível me dedicar ao mestrado, pelo projeto FACEPE aprovado (APQ-0668-2.03/19) e ao Programa Pesquisa em Movimento (PPM) da UFRPE.

E por fim agradeço a mim mesmo por tentar e resistir.

ÍNDICE DE TABELAS

Table 1. Habit, new occurrences (new occur.) for the mangrove ecosystem and distribution of species by locality, sampling point and tide in the sampled areas. Subtitle: F-Phytoplankton, P-Periphyton; BR–Brazil, NE-Northeast, PE-Pernambuco; Tide: L-Low tide, H-High tide; X-presence; Roots: squeezed from *Salvinia* sp.40

Tabela 2. Variáveis físicas e químicas da água nos estuários amostrados de Pernambuco. Legenda: BM – baixa mar; PM – preamar; ** $\mu\text{S}/\text{cm}$; * mg/L ; - dados inexistentes;71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. **a-l.** Aspecto geral dos manguezais. **a-c** Manguezal do rio Una. **d-f** Complexo estuarino de Barra das Jangadas (rio Jaboatão). **g-i** Complexo estuarino de Santa Cruz. **j-l** Manguezal do rio Formoso.....27

Figure 1. Location of the estuaries sampled in the state of Pernambuco39

Figure 2. **a** *Phormidium articulatum*. **b** *Phormidium chalybeum*. **c** *Phormidium retzii*. **d** *Phormidium interruptum*. **e** *Phormidium terebriforme*. **f** *Phormidium ambiguum*. **g-h** *Phormidium litorale*. **g** Capitulate apical cell. **h** Filament. **i** *Phormidium tergestinum*. **j** *Phormidium lucidum*. **k** *Phormidium* cf. *pachydermaticum*. **l** *Phormidium* cf. *willei*. **m** *Phormidium* aff. *calcareum*. **n** *Phormidium* sp.1. **o** *Phormidium* sp.2. **p** *Phormidium* sp.3. **q** *Phormidium* sp.4. Scale bars: 10 μm65

Figure 3. **a** *Potamolinea aerugineocaerulea*. **b** *Oscillatoria tenuis*. **c-d** *Oscillatoria corallinae*. **c** Apical portion of the trichome. **d** Trichome waves. **e** *Oscillatoria ornata*. **f** *Oscillatoria bonnemaisonii*. **g** *Oscillatoria limosa*. **h** *Lyngbya* sp.2. **i** *Oscillatoria* sp.2. **j** *Lyngbya martensiana*. **k-l** *Lyngbya aestuarii*. **k** Trichome. **l** Filament with separated trichomes inside the sheath. **m** *Lyngbya* cf. *aestuarii*. **n-o** *Lyngbya* sp. **p-q** *Hydrocoleum lyngbyaceum*. Scale bars: 10 μm66

Figure 4. **a** *Kamptonema formosum*. **b** *Kamptonema okenii*. **c** *Planktothrix isothrix*. **d** *Trichodesmium erythraeum*. **e-g** *Coleofasciculus chthonoplastes*. **e** Vários tricomas dentro da bainha. **f** Filamento. **g** Tricoma. **h** *Microcoleus autumnalis*. **i-l** *Sirocoleum guyanense*. **i** Filament branching. **j** Closed sheath apex. **k** Several trichomes in the sheath. **l** Trichome apex. **m-n** *Sirocoleum* sp. **m** Striated formations of the sheath. **n** Filament trichomes. **o-p** *Porphyrosiphon versicolor*. **q-r** *Porphyrosiphon luteus*. **q** Sheath. **r** Trichome. Scale bars: 10 μm67

Figure 5. **a** *Komvophoron breve*. **b** *Anagnostidinium amphibium*. **c** *Spirulina meneghiniana*. **d** *Spirulina major*. **e** *Spirulina subsalsa*. **f** *Pseudanabaena catenata*. **g** *Pseudanabaena galeata*. **h** *Phormidesmis mollis*. **i** *Heteroleibleinia kuetzingii*. **j** *Leptolyngbya fragilis*. **k-l** *Leptolyngbya* sp. **k** Trichome apex. **l** Space inside the sheath. **m-o** *Trichocoleus tenerrimus*. **m** Trichomes on the sheath. **n** Filament. **o** Trichome. Scale bars: 10 μm 68

Figure 6. **a-b** *Merismopedia tranquilla*. **a** Colony. **b** Cells. **c** *Microcystis wesenbergii*. **d-e** *Microcystis aeruginosa*. **d** Colony. **e** Cells. **f-g** *Sphaerocavum brasiliense*. **f** Hollow colony. **g** Cells. **h** *Aphanothece bachmannii*. **i** *Johannesbaptistia pellucida*. Scale bars: 10 μm 69

Figure 7. **a-b** *Chroococcus dispersus*, **a** Colony. **b** Cells. **c** *Chroococcus minimus*. **d** *Chroococcus pulcherrimus*. **e** *Chroococcus sonorensis* **f** *Myxohyella papuana*. **g** *Xenococcus* aff. *minimus*. **h** *Xenococcus schousboei* **i** *Anabaenopsis elenkii*. **j-l** *Hydrocoryne* sp. **j** Filament, separation of trichomes in the sheath. **k** Marks dividing cells into portions. **l** Heterocyte. Scale bars: 10 μ m.70

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Ambientes estuarinos e o manguezal	15
2.2. Biologia e taxonomia das cianobactérias	17
2.3. Ecologia das Cianobactérias.....	20
2.4. Pesquisas com cianobactérias nos estuários e mangues do Brasil.....	21
3. ÁREA DE ESTUDO.....	22
3.1.1. Complexo Estuarino de Barra das Jangadas (rio Jaboatão)	23
3.1.2. Estuário do Rio Una.....	24
3.1.3. Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz	25
3.1.4. Estuário do Rio Formoso	26
4. OBJETIVOS	28
4.1. Geral.....	28
4.2. Específicos	28
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
6. ARTIGO: Cianobactérias Fitoplantônicas e Perifíticas em Manguezais	35
Introduction	37
Material and Methods.....	38
Results	39
Considerations.....	61
Acknowledgements	62
References	62
Figures.....	65
7. MATERIAL SUPLEMENTAR.....	71
7.1. DADOS ABIÓTICOS.....	71
7.2. RELAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS.....	73

Os estuários possuem grande importância ecológica, sendo um dos ecossistemas mais produtivos do mundo. Associados a estes ambientes na zona tropical, geralmente estão os mangues que são caracterizados por uma vegetação halotolerante essencial para a manutenção do ecossistema costeiro. Por essas razões, são ambientes onde há demasiada atividade socioeconômica e, por isso, hoje não existem mais manguezais que não tenham sido impactados por fatores antrópicos. As cianobactérias compõem a microbiota desses ambientes nos mais diversos espaços, estando elas livres na coluna d'água (fitoplâncton), sésseis sobre substratos submersos (perifíton) ou em *habitats* terrestres, não submersos. Em todos esses ambientes, as cianobactérias contribuem na produção primária e são essenciais na fixação de carbono e nitrogênio, sendo esse último elemento naturalmente escasso na forma orgânica em muitos dos ambientes colonizados por cianobactérias. Apesar de grande contribuição na manutenção ecossistêmica de manguezais e estuários, as cianobactérias são comumente excluídas de trabalhos taxonômicos envolvendo esses habitats e pouco se conhece sobre esses procariotos nesses ambientes no Brasil. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi identificar e descrever as cianobactérias planctônicas e perifíticas de manguezais no estado de Pernambuco. Para isso foram coletadas amostras em três pontos (Foz, Meio e Montante) de quatro estuários (estuário de Barra das Jangadas, Estuário do rio Una, Estuário do rio Formoso e Estuário de Santa Cruz) para amostragem: 1) do fitoplâncton (subsuperfície da água na baixa-mar e preamar); e 2) do perifíton cujas amostras foram coletadas livremente em pneumatóforos ao longo das áreas de mangue em cada região equivalente aos pontos de coleta do fitoplâncton. O total de 66 amostras foi coletado (48 de fitoplâncton e 18 de perifíton). Todas as amostras coletadas foram analisadas em microscopia óptica, observando-se o mínimo de 30 indivíduos por espécie, cuja identificação morfológica foi feita com base em literatura específica e atualizada. Foram encontrados 69 táxons de cianobactérias (51 spp., 13 sp., 3 cf., 2 aff.) distribuídos em 32 gêneros e 19 famílias, tendo como família mais representativa Oscillatoriaceae com 27 táxons infragenéricos identificados. Dentre as espécies identificadas e considerando apenas os registros para áreas de manguezal, 15 são novas ocorrências para mangues e estuários do Brasil, 22 são novas ocorrências para a região Nordeste e 11 para o estado de Pernambuco. A quantidade de espécies de cianobactérias identificadas neste trabalho, assim como as novas ocorrências, demonstram a grande lacuna de trabalhos taxonômicos com cianobactérias em estuários e áreas de mangue de regiões tropicais. Além disso, diversas populações não puderam ser identificadas em nível específico, o que tanto demonstra a falta de literatura específica para identificação desses táxons, como também a possibilidade de espécies novas, destacando e reforçando a importância da produção de novos trabalhos taxonômicos com cianobactérias em áreas de manguezal.

Palavras-chave: Cyanobacteria, Estuário, Manguezal, Biofilme.

ABSTRACT

Estuaries have great ecological importance, being one of the most productive ecosystems in the world. Associated with these tropical environments, the mangroves are generally characterized by a halotallerant vegetation, essential for the maintenance of the coastal ecosystem. For these reasons, they are environments where there is extensive socioeconomic activity and, therefore, today there are no more mangroves that have not been impacted by anthropogenic factors. Cyanobacteria make up the microbiota of these environments in the most diverse spaces, being free on water column (phytoplankton) and sessile over submerged substrates (periphyton). In all these environments, cyanobacteria contribute to primary production and are essential in carbon and nitrogen fixation, the latter element being naturally scarce in organic form in many environments colonized by cyanobacteria. Despite their great contribution to ecosystem maintenance in mangroves and estuaries, cyanobacteria are commonly left out of taxonomic research involving these habitats and little is known about these prokaryotes in these environments in Brazil. Therefore, the objective of this research was to identify and describe planktonic and periphytic cyanobacteria in mangrove habitats in the state of Pernambuco. The samples were collected at three points (river mouth, middle and amount) in four estuaries (Barra das Jangadas, Rio Una, Rio Formoso and Santa Cruz): 1) for phytoplankton samples (subsurface water at low tide and high tide) and 2) for periphyton (pneumatophore) samples, where freely collected along the mangrove areas in each region equivalent to the phytoplankton collection points. A total of 66 samples were collected (48 phytoplankton and 18 periphyton). All samples collected were analyzed under optical microscopy, observing a minimum of 30 individuals per species, whose morphological identification were made based on specific and updated literature. 69 cyanobacterial taxa were identified (51 spp., 13 sp., 3 cf., 2 aff.) distributed in 32 genera and 19 families, with the most representative family Oscillatoriaceae with 27 infrageneric taxa identified. Among the identified species and considering only records for mangrove areas, 15 are new occurrences for mangroves and estuaries in Brazil, 22 for the Northeast region and 11 for the state of Pernambuco. The number of cyanobacterial species identified in this work, as the new occurrences, demonstrate the large gap in taxonomic studies about cyanobacteria in mangrove areas in tropical regions. In addition, several populations could not be identified at a specific level, which both demonstrates the lack of specific literature for the identification of these taxa, as the possibility of new species, highlighting the importance of producing new taxonomic studies about cyanobacteria in mangrove areas.

Keywords: Cyanobacteria, Estuaries, Mangrove, Biocrust.

1. INTRODUÇÃO

Os estuários estão entre os ecossistemas mais importantes do mundo, sendo caracterizados como um espaço de transição entre ambientes de água doce continentais e o oceano (LACERDA et al., 2004; MUNIZ et al., 2014). Associados aos estuários de áreas tropicais, os manguezais são ecossistemas compostos por espécies de plantas halotolerantes, adaptadas às mudanças de maré, e que mantêm condições muito particulares, como grande aporte de matéria orgânica. Apesar disso, o solo de manguezais possui baixa quantidade de nutrientes, como carbono e nitrogênio, que em áreas não impactados são supridos por microrganismos capazes de fixá-los (ALVARENGA et al., 2015; BASHAN; HOLGUIN, 2002).

Apesar de existirem em todo o mundo, diversos fatores influenciam a heterogeneidade dos estuários, como o relevo, as entradas de água do mar e do continente, a composição química e biológica do ambiente, além dos impactos antrópicos (FEITOSA; CUNHA; BRANCO, 2004). Já os manguezais, além de compartilharem características importantes dos estuários como variação dos níveis de salinidade e movimentação da maré, possuem em cada ambiente uma caracterização de plantas e comunidade microbiana únicas (BASHAN; HOLGUIN, 2002). Isso faz com que cada um desses ambientes seja singular, cuja natureza salobra permite a presença tanto de organismos marinhos como dulcícolas halotolerantes. Há também espécies estritamente estuarinas e outras que dependem do ambiente estuarino e manguezal em algum momento do ciclo de vida, *e.g.* durante a época reprodutiva (SILVA, 2009). Todavia, hoje não existem mais desses ambientes que não tenham sido impactados por ações antrópicas no mundo, mesmo que minimamente (CIRA; PAERLA; WETZA, 2016).

Devido à grande produtividade dos estuários e em parte dos manguezais, esses são altamente explorados por atividades humanas, o que impacta e interfere na dinâmica ecossistêmica desses ambientes (DELGADO NORIEGA et al., 2005; ESKINAZI-LEÇA; PASSAVANTE; FRANÇA, 1980; LACERDA et al., 2004). Dentre as principais ações antrópicas nessas áreas estão a exploração dos recursos naturais como fonte ou produção de alimentos, principalmente por meio da aquicultura e pesca predatória, e o aterramento para construção civil e extração madeireira dos manguezais (ALVARENGA et al., 2015).

Nesses ambientes, a comunidade ficológica garante a maior porção da produtividade primária no meio aquático e é base da cadeia alimentar desse sistema. Entre os grupos de microrganismos se destacam as cianobactérias, que podem fixar o nitrogênio atmosférico devido à presença de células especializadas (heterócitos), além do carbono resultado do processo fotossintético. Adicionalmente, também estão presentes sobre as plantas de mangue, estimulando a exsudação das raízes e contribuindo com a oxigenação de biofilmes sobre o solo

e rochas (BASHAN; HOLGUIN, 2002; BRANCO et al., 2003; TOLEDO; BASHAN; SOELDNER, 1995).

As cianobactérias são organismos procariontes de células gram-negativas que podem fazer fotossíntese oxigênica. Possuem clorofila *a* (todas; alguns grupos apresentam também clorofila *b*, *d* ou *f*) e fotossistemas I e II, além de ficocianina, ficoeretrina e aloficocianina que são pigmentos acessórios que otimizam a captação de luz por esses organismos (BÜDEL; KAUFF, 2012; LEE, 2008). Esses microrganismos ainda são pobremente estudados no ambiente aquático marinho e um pouco mais estudado nos ambientes continentais, principalmente aqueles capazes de formar florações e produzir toxinas (SANT'ANNA et al., 2010). Contudo, trabalhos taxonômicos realizados em estuários e manguezais comumente não abrangem o grupo das cianobactérias ou adicionam apenas grupos encontrados no fitoplâncton (ALVARENGA et al., 2015; REJMÁNKOVÁ; KOMÁREK; KOMÁRKOVÁ, 2004).

Estimativas baseadas em descrições atuais sugerem que mais de 50% das espécies existentes de cianobactérias são desconhecidas (ALVARENGA et al., 2015; NABOUT et al., 2013) e que boa parte dessa diversidade está presente em ambientes ainda pouco explorados. No Brasil, os trabalhos taxonômicos realizados com cianobactérias em estuários são em grande parte levantamentos generalistas, enquanto o número de trabalhos que investigam exclusivamente a diversidade desses organismos em estuários é limitada (CAIRES; SANT'ANNA; NUNES, 2019; CRISPINO; SANT'ANNA, 2006). Em áreas de manguezal, os trabalhos se resumem a pesquisas realizadas nos estados de São Paulo (ALVARENGA et al., 2016, 2017; BRANCO et al., 1996, 1997; BRANCO; SILVA; SATANNA, 1994; GENUÁRIO et al., 2015; SANT'ANNA; XAVIER; SORMUS, 1988; SILVA et al., 2014), Rio de Janeiro (BAETA-NEVES; TRIBUZI, 1992), Maranhão (NOGUEIRA; FERREIRA-CORREIA, 2001) e Pernambuco (BRANCO et al., 2003). Mesmo com o baixo número de estudos, frente ao extenso número de estuários e mangues no Brasil, novos gêneros e espécies foram descritos para esses ambientes, principalmente no perifíton (*Stichosiphon mangle* L.H.Z.Branco, S.M.F.Silva, & C.L.Sant'Anna 1995) (BRANCO; SILVA; SANT'ANNA, 1995; BRANCO; SILVA; SATANNA, 1994) e habitats subaéreos (*Phyllonema aviceniicola* e *Foliisarcina bertiogensis* Alvarenga, Rigonato, Branco, Melo & M.F.Fiore 2016) (ALVARENGA et al., 2016), todas para áreas no sudeste do Brasil.

Em Pernambuco, Branco et al. (2003) estudaram o estuário do rio Paripe na Ilha de Itamaracá e encontraram 16 espécies de cianobactérias. Em toda a costa pernambucana, que conta com 15 áreas estuarinas (MENDES, 2015), esse trabalho, junto a Caires (2019) e Nogueira e Ferreira-Correia (2001), são os únicos estudos taxonômicos que abordam exclusivamente as cianobactérias para a região Nordeste do país. Apesar de análises moleculares serem uma

grande ferramenta para o entendimento da filogenia e taxonomia das cianobactérias na atualidade, a taxonomia baseada em características ecomorfológicas ainda é uma grande ferramenta para o levantamento da biodiversidade de cianobactérias, principalmente em áreas nunca estudadas.

Frente ao alto impacto sob o qual os estuários e mangues têm sido expostos, conhecer a biodiversidade de cianobactérias nesses ambientes é prioritário, pois espécies podem ser extintas sem ao menos terem sido conhecidas. Além disso, considerando o baixo número de pesquisas realizadas em áreas estuarinas e de manguezais com cianobactérias, a possibilidade de se encontrar novas espécies e novos registros de espécies nessas áreas é alta (ENGINE et al., 2011; HOFFMANN, 2005). Assim, com a utilização de técnicas clássicas e recentes para o estudo de cianobactérias, associadas às localidades ainda desconhecidas, será possível ampliar o conhecimento sobre a diversidade das cianobactérias, além de abrir possibilidades para futuras abordagens de bioprospecção desses organismos e potenciais usos na sociedade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Ambientes estuarinos e o manguezal

Os estuários são ambientes complexos que podem ser caracterizados como zonas intermediárias semifechadas entre os ambientes marinhos e os aquáticos continentais. Esse ecossistema possui características únicas, influenciado pelas flutuações nos fatores abióticos como salinidade e estado trófico, que mudam de acordo com o hidrodinamismo das marés e as chuvas (AQUINO; BORGES; CUNHA, 2015; DUARTE; VIEIRA, 1997).

Eles são de grande importância ecológica e econômica, pois constituem áreas eutróficas, com expressiva atividade fotossintética e, portanto, elevada produção primária. Devido à disponibilidade nutricional deste primeiro elo trófico, também funcionam como criadouros naturais de organismos fluviais, estuarinos e marinhos, fazendo com que os estudos de cunho científico nessas áreas sejam relevantes (DUARTE; VIEIRA, 1997; PARIZZI et al., 2016). Comumente associados aos estuários estão as áreas de mangue, que são formações de vegetação (comumente compostas por *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana* e *Laguncularia racemosa*) e toda uma biodiversidade associada com características adaptadas aos ambientes intermediários (salobros de inundação) das zonas costeiras, como raízes aéreas, viviparidade, dispersão de propágulos e capacidade de filtração e eliminação de sal marinho. Juntos, o estuário e área de mangue formam o ecossistema manguezal (ALVARENGA, 2011; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990).

Os manguezais atuam como ecossistemas de transição entre terra e mar em zonas tropicais e subtropicais, como consequência, apresentam flutuações constantes em várias condições ambientais, tais como temperatura, luminosidade, salinidade, umidade, entre outras, que podem alcançar níveis extremos (KATHIRESAN; BINGHAM, 2001). Apesar da baixa diversidade vegetal neste ambiente, há uma elevada diversidade microbiana e animal. As interações entre plantas, solo e microrganismos são essenciais para a ciclagem dos nutrientes e consequentemente para a manutenção da vida no ecossistema manguífero (KATHIRESAN; BINGHAM, 2001). A unidade mangue-estuarina é conhecida como ecossistemas altamente produtivos com uma alta eficiência na ciclagem e retenção de nutrientes, característica que é consequência da grande diversidade microbiológica composta por bactérias e fungos associados (HOLGUIN; VAZQUEZ; BASHAN, 2001; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000). O déficit de carbono inorgânico e nitrogênio nesses ambientes são nivelados pela comunidade microbiológica, principalmente cianobactérias capazes de fixar ambos (BASHAN; HOLGUIN, 2002).

As associações dos estuários com manguezais formam ambientes que são conhecidos por serem local de reprodução e proteção de diversos organismos como peixes, crustáceos, moluscos e aves, além de abarcarem uma enorme biodiversidade microbiológica no plâncton, perifíton e superfícies terrestres (ALONGI, 2002). Estão entre os ambientes com maior produtividade primária do planeta devido aos sedimentos provenientes tanto do mar quanto do continente e apesar de sua baixa concentração de carbono e nitrogênio em condições naturais, esses ambientes são a principal fonte de matéria orgânica dos ambientes costeiros (ALONGI, 2009). Em razão dessas características, as unidades mangue-estuarinas são essenciais para o desenvolvimento socioeconômico, hospedando cerca de 70 atividades humanas, como a pesca e aquicultura de peixes, mariscos, caranguejos e camarões, caça, mineração e fornecimento de produtos florestais como exploração madeireira (madeira, lenha e carvão) e atividades de apicultura (ALONGI, 2002; DUARTE; VIEIRA, 1997).

Além de apresentarem uma biodiversidade única, os mangues ocupam uma vasta faixa da zona costeira tropical, cobrindo de 60 a 75% dessas áreas (BRANCO et al., 1996; HOLGUIN; GUZMAN; BASHAN, 1992), sendo o Brasil o país com maior cobertura de mangue do mundo, com cerca de 25.000 km² (I.U.C.N. 1983, Branco et al. 1996). Contudo, hoje não existem mais desses ambientes que não tenham sido afetados em algum nível pela eutrofização antrópica e degradação ambiental e apesar de sua grande importância ecológica, florestas de mangue estão entre os ecossistemas tropicais mais ameaçados no planeta. Nas últimas décadas, pelo menos 35% da área mundial de mangues foi perdida, percentual que supera o impacto ambiental sobre recifes de corais e florestas tropicais (VALIELA; BOWEN; YORK, 2001).

A degradação anual de manguezais está estimada em mais de 1 milhão de hectares, sendo mais observada em países em desenvolvimento, onde estão cerca de 90% dos manguezais do mundo (ALONGI, 2002; CURY, 2002). A intervenção humana é a fonte direta de impactos nos mangues e estuários onde, junto à entrada de águas continentais, são comumente despejados descartes industriais e domésticos, o que aumenta a disponibilidade de nutrientes e outros compostos/poluentes na água (ALONGI, 2002; CURY, 2002). Essas alterações afetam principalmente a biodiversidade desse ecossistema, principalmente as comunidades fitoplanctônicas e perifíticas que pertencem ao primeiro nível da teia trófica alimentar costeira e pelágica, onde qualquer mudança na composição e estrutura pode causar impactos em todos os níveis tróficos (ESKINAZI-LEÇA; PASSAVANTE; FRANÇA, 1980).

2.2. Biologia e taxonomia das cianobactérias

Classificado dentro do Domínio Bacteria, se destaca o filo Cyanobacteria, cujos representantes homônimos surgiram há cerca de 3,5 bilhões de anos. As cianobactérias são organismos procariotos, caracterizados como bactérias gram-negativas, capazes de fazer fotossíntese oxigênica graças à presença de diferentes pigmentos (clorofila *a*, ficocianina e ficoeritrina) e do complexo fotossistema II (GUPTA; MISHRA; BASAK, 2009; WHITTON, 2012). Assim, essa fotossíntese utiliza dióxido de carbono, água e luz para obter oxigênio e glicose como produto final e, por isso, é conhecida como oxifototrófica. O surgimento desse tipo de fotossíntese é tido como o grande responsável pela expansão da vida na Terra primitiva, não apenas por tornar disponível a grande quantidade de oxigênio atmosférico, mas, de acordo com a Teoria da Endossimbiose, tornou possível o aparecimento dos eucariontes fotoautotróficos que conhecemos hoje como as algas e plantas (DVOŘÁK et al., 2021). Anteriormente conhecidas como “algas azuis”, as cianobactérias estão entre os organismos mais antigos da Terra, tendo sido expostas a diversas pressões evolutivas. Isso pode explicar a diversidade de pigmentos que esses seres possuem, que, além da clorofila *a*, podem apresentar clorofila *b* (antigas proclorófitas – grupo artificial, notoriamente polifilético), *d* e existem cianobactérias com clorofila *f*, que seriam capazes de absorver luz no vermelho profundo (700-750 nm) permitindo uma maior captação às fontes de luz disponíveis (CHEN; BLANKENSHIP, 2011; LEE, 2008; RIGONATO; ALVARENGA; FIORE, 2017).

As cianobactérias possuem grande variabilidade morfológica comparada a outras bactérias e são divididas em cocoides, organismos unicelulares ou coloniais, e filamentosas, que são separadas em homocitadas, as cianobactérias sem diferenciação de células especializadas, e heterocitadas, tricomas com células especializadas como heterócitos e acinetos. Por sua vez, as

heterocitadas ainda podem ser subdivididas pelo seu padrão de ramificação, sem ramificação, com ramificação falsa e ramificação verdadeira (LEE, 2008; WHITTON; POTTS, 2002).

As cianobactérias filamentosas homocitadas possuem todas as células do tricoma vegetativas, ou seja, iguais funcionalmente, enquanto as heterocitadas tem células especializadas, originadas das células vegetativas (heterócitos e acinetos). Os heterócitos são capazes de realizar a fixação de nitrogênio atmosférico através do isolamento físico do sistema fixador da célula contra o oxigênio, que é danoso ao processo de fixação pois inativa a enzima nitrogenase. Já os acinetos são células cuja função se assemelha a esporos de resistência, sendo formados em situações inóspitas e que darão origem a novos organismos após ‘germinarem’. São caracterizados pelo maior tamanho e paredes mais espessas que as células vegetativas e pela presença de grânulos no seu interior, resultado da estocagem de substâncias nutritivas de reserva (LEE, 2008; WHITTON; POTTS, 2002).

Apesar de ser mais eficiente nas cianobactérias heterocitadas, a fixação de nitrogênio atmosférico também pode acontecer em homocitadas e cocoides. Uma das manobras para tanto é a separação temporal entre a fotossíntese (realizada durante o dia, na presença de luz) e a fixação de nitrogênio (realizada à noite). Outro método é a separação espacial, em que células, chamadas diazófitos deixam de realizar a fotossíntese completa, não produzindo o oxigênio e assim conseguindo realizar a fixação de nitrogênio mesmo durante o dia. Esta é a forma mais comum de fixação de nitrogênio no gênero *Trichodesmium*, uma cianobactéria homocitada amplamente distribuída nos oceanos e ambientes estuarinos (CAIRES; SANT’ANNA; NUNES, 2013; LEE, 2008).

A classificação das cianobactérias é complexa devido às diversas mudanças na forma como esses seres são estudados e à evolução dos métodos/tecnologias disponíveis para analisá-los. Originalmente, as cianobactérias eram classificadas com base apenas em características morfológicas e, a partir do surgimento de estudos com métodos moleculares, foi observado que tais características não eram suficientes para representar a história evolutiva do grupo (KOMÁREK; ANAGNOSTIDIS, 1998).

A grande diversidade das cianobactérias não se apresentava apenas na morfologia, mas também nas respostas adaptativas aos ambientes, podendo dois táxons (gêneros ou espécies) indistinguíveis morfológicamente habitarem dois tipos de ambientes completamente diferentes (táxons crípticos). Com essa constatação, se tornou indispensável que as características ecológicas das cianobactérias também fossem levadas em conta em sua identificação e, portanto, um dos fatores a ser observado para garantir uma identificação mais precisa.

A partir disso, utilizando também as técnicas de ultraestrutura, com a microscopia eletrônica, e técnicas moleculares, com o sequenciamento do gene de RNAr 16S, Hoffmann et

al. (2005) criaram um sistema de classificação para as cianobactérias amplamente embasado na abordagem polifásica, na qual se faz o uso de informações obtidas e corroboradas com múltiplas ferramentas e características (principalmente morfologia, ecologia, ultraestrutura e molecular).

A abordagem polifásica se consolidou e se tornou indispensável na sistemática de cianobactérias moderna. Contudo, os sistemas de classificação com esse enfoque ainda esbarram na falta de informações básicas sobre as cianobactérias que ocorrem em várias localidades e tipos de ambientes. Essa biodiversidade possui uma parcela tanto desconhecida, *i.e.* ainda não catalogada, tanto como não caracterizada e não detalhada de acordo com a abordagem polifásica. Em diversos casos, há ainda pouca caracterização até mesmo morfológica, devido à raridade dos estudos associada à particularidade/especificidade de muitas cianobactérias em determinados tipos de ambientes (KOMÁREK, 2003, 2020; KOMÁREK et al., 2014).

Com o avanço das técnicas de análise genômica, a classificação predominante para as cianobactérias atualmente leva em consideração principalmente critérios filogenômicos. Nesse sentido, Komárek et al. (2014) propuseram a base do sistema de classificação que é hoje adotado para as cianobactérias, no qual as subdividem em oito ordens e múltiplas famílias, atualizadas posteriormente por diversos trabalhos (e.g. Komárek 2016, 2018; Mai et al. 2018; Fernandes et al. 2021). Nesse sistema, é evidenciada a polifilia das cianobactérias cocoides e homocitadas, essas agrupadas conjuntamente dentro das ordens Synechococcales, Chroococcales e Oscillatoriales, tal qual a polifilia das cocoides que realizam fissão múltipla (ordens Chroococcidiopsidales e Pleurocapsales). Além disso, confirmou-se que as cianobactérias heterocitadas são monofiléticas e que o padrão de ramificação dos filamentos (ramificação falsa ou verdadeira) não define clados monofiléticos. Hoje sabe-se que as cianobactérias são organismos muito diversos filogeneticamente, e que inclusive a linhagem mais próxima delas é de procariotos que não realizam fotossíntese, reconhecidos como Melainabacteria (Grettenberger et al. 2021). Toda essa diversidade está atribuída tanto ao fato do longo tempo evolutivo desses seres, como à capacidade de troca horizontal de genes, uma ferramenta que promove uma alta variabilidade genética no grupo. Estudos recentes mostram que as linhagens com maiores taxas de transferência horizontal são aquelas expostas a intempéries ambientais que variam em grande amplitude num curto período (*i.e.* altas e baixas temperaturas, seca e umidade, salino e dulcícola), tais quais são aquelas encontradas nos ambientes terrestres e estuarinos (Chen et al. 2020).

2.3. Ecologia das Cianobactérias

As cianobactérias possuem uma longa história evolutiva que é marcada pela colonização e adaptação aos mais diversos habitats, ocorrendo em ambientes aquáticos marinhos, salobros e de água doce, lênticos ou lóticos, podendo fazer parte das comunidades fitoplanctônica, bentônica, metafítica e perifítica (WHITTON; POTTS, 2002; MATALONI; KOMÁREK, 2004; RIGONATO; ALVARENGA; FIORE, 2017). Vivem também em ambientes terrestres/subaéreos como rochas e troncos de árvore, além de estarem presente em vários tipos de solo, sendo importantes no processo de sucessão ecológica como colonizadores primários, principalmente em locais com vegetação escassa (DVOŘÁK et al., 2021).

Os ecossistemas marinhos tropicais são caracterizados por uma diversidade específica de cianobactérias composta por táxons exclusivos que crescem em diferentes nichos ambientais e apresentam uma grande plasticidade morfológica em função das condições do meio (BAETA-NEVES; TRIBUZI, 1992; BRANCO et al., 1996; CAIRES; SANT'ANNA; NUNES, 2019). Esse é um dos principais fatores que levam a identificações errôneas desses organismos, pois exige diferenciar características exclusivas e estáveis, resultadas dos hábitos e habitats da espécie, daquelas ligadas à plasticidade morfológica influenciada por variações ambientais.

O fitoplâncton é composto pelos organismos fotossintetizantes que ocupam a coluna d'água e que podem ou não ter capacidade de controle da própria locomoção no ambiente. Além da intrínseca importância para a produção primária dos ambientes aquáticos, o fitoplâncton é de extrema relevância na ciclagem de nutrientes, tendo como um dos expoentes a atividade de cianobactérias fitoplanctônicas marinhas, que são responsáveis por ca. de 50% da fixação de nitrogênio global (LEE, 2008; WHITTON, 2012).

Dentre as adaptações das cianobactérias para garantir a sobrevivência, melhor obtenção de nutrientes e sucesso ecológico no fitoplâncton, está a presença de vacúolos com gás chamados em conjunto de aerótopos. Essas estruturas não membranosas estão presentes em algumas espécies e atuam auxiliando a flutuação desses organismos, permitindo uma alteração da posição na coluna d'água favorecendo a obtenção de luz (LEE, 2008; PARIZZI et al., 2016; WHITTON, 2012).

Contrário ao hábito planctônico, os organismos que vivem no perifíton crescem fixos em substratos sólidos submersos, os quais podem ser os mais diversos possíveis, tanto naturais como artificiais. Formando um biofilme, essa comunidade complexa apresenta uma grande biodiversidade com adaptações à fixação ao substrato que inclui cianobactérias, algas, fungos, protozoários heterotróficos, bactérias e vírus (LEE, 2008; WHITTON; POTTS, 2002).

2.4. Pesquisas com cianobactérias nos estuários e mangues do Brasil

A presença das cianobactérias em ambientes estuarinos e de manguezais possuem características muito particulares devido à variabilidade de salinidade. Todavia, pouco se sabe sobre a biodiversidade das cianobactérias nesses ambientes, principalmente as perifíticas e subaéreas (GENUÁRIO et al., 2018; RIGONATO; ALVARENGA; FIORE, 2017).

Nos trabalhos florísticos que têm sido feitos ao longo das décadas em ambientes de estuário e mangue, comumente a diversidade das cianobactérias é excluída, ou quando presente, são restritos ao fitoplâncton e associados a estudos ecológicos (BRANCO et al., 1996). Hoje, a pesquisa de cianobactérias no ambiente de mangue ainda é escassa (SILVA et al., 2014), mesmo que alguns trabalhos tragam uma vasta biodiversidade de cianobactérias nesse ambiente (CRISPINO; SANT'ANNA, 2006).

Os principais trabalhos em ambientes costeiros de transição têm sido feitos amostrando as cianobactérias do fitoplâncton e perifíton, normalmente analisando a biodiversidade desse ambiente junto ao marinho. Além desses, foram produzidos poucos trabalhos com análise morfológica de cianobactérias amostradas no mangue, e recentemente abordagens moleculares e de cultivo foram utilizadas na análise de amostras de solo e filosfera (microbiota de folhas) de mangue (ALVARENGA et al., 2016, 2017).

Estima-se que cerca de 50% das espécies existentes de cianobactérias ainda são desconhecidas (ALVARENGA et al., 2015; NABOUT et al., 2013) e que boa parte dessa diversidade está presente em ambientes ainda pouco explorados. Atualmente ainda são escassos os trabalhos que investigam exclusivamente as cianobactérias no ambiente estuarino, sendo a biodiversidade das cianobactérias desse ambiente explorada em trabalhos de cunho generalista (CAIRES; SANT'ANNA; NUNES, 2019; CRISPINO; SANT'ANNA, 2006).

Os trabalhos taxonômicos produzidos para investigar as cianobactérias em manguezais podem ser encontrados em maior quantidade para o estado de São Paulo (ALVARENGA et al., 2016, 2017; BRANCO et al., 1996, 1997; BRANCO; SILVA; SANT'ANNA, 1994; CRISPINO; SANT'ANNA, 2006; GENUÁRIO et al., 2015; SANT'ANNA, 1997; SANT'ANNA; AZEVEDO, 1995; SANT'ANNA; XAVIER; SORMUS, 1988; SILVA et al., 2014), onde encontramos trabalhos mais clássicos como os de Sant'Anna (1988, 1995, 1997) que trabalhou com amostras perifíticas e bentônicas marinhas, e Branco (1994, 1996, 1997) que trabalhou com amostras subaéreas e perifíticas de mangue. Além desses, mais recentemente foram produzidos os trabalhos de Alvarenga (2016, 2017) que descreveram novos gêneros e espécies a partir de amostras da filosfera de manguezal.

No Rio de Janeiro, Baeta-Neves e Tribuzi (1992) trabalharam com as cianobactérias marinhas bentônicas de Cabo Frio, enquanto para estuários foram produzidos trabalhos para o

Maranhão (NOGUEIRA; FERREIRA-CORREIA, 2001) e Pernambuco (BRANCO et al., 2003). Mesmo com o baixo número de estudos frente ao extenso número de estuários e mangues no Brasil, novos gêneros e espécies foram descritos para esses ambientes, principalmente no perifíton (*Stichosiphon mangle*) (BRANCO; SILVA; SANT'ANNA, 1995; BRANCO; SILVA; SATANNA, 1994), e habitats subaéreos (*Phyllonema aviceniicola* e *Foliisarcina bertogensis*) (ALVARENGA et al., 2016), todas para áreas no sudeste do Brasil.

Em Pernambuco, que conta com 15 áreas estuarinas em toda costa, apenas BRANCO et al., (2003) fizeram um trabalho exclusivamente de cianobactérias, no qual estudaram a área de manguezal do rio Paripe, com amostras perifíticas de raízes e pneumatóforos, além de amostras de substratos terrestres e encontraram 16 espécies de cianobactérias. Nogueira e Ferreira-Correia (2001) fizeram o levantamento das cianobactérias de pneumatóforos e substratos terrestres do manguezal de Coqueiros e Mosquitos no Maranhão, identificando 15 táxons. Esses são os únicos trabalhos taxonômicos que abordam exclusivamente as cianobactérias para a região Nordeste do país.

Esses trabalhos demonstram a relevante riqueza de espécies das cianobactérias nesses ambientes, tanto por meio dos novos táxons descritos encontrados como pelo registro de espécies encontradas exclusivamente nesses ambientes, o que provavelmente é explicado pela resposta dessas cianobactérias às características ambientais singulares dos estuários e mangues. Os trabalhos com cianobactérias na costa do Brasil ainda são muito escassos e muitas localidades necessitam ser estudadas, como os estuários pernambucanos (Caires e Affe 2021).

Cada vez tem sido mais destacada a importância das cianobactérias nas comunidades microbiológicas e para os manguezais isso não é diferente. Além de ocuparem uma posição de destaque na produção primária, as cianobactérias também atuam nos ciclos do carbono e nitrogênio, repondo produtos essenciais e que são naturalmente escassos nesses ambientes (ALVARENGA et al., 2015; BASHAN; HOLGUIN, 2002). Por isso, devido à atual degradação dos mangues que aumenta proporcionalmente ao aumento demográfico, o conhecimento acerca da diversidade das cianobactérias se torna inevitável junto à discussão sobre a recuperação desses ambientes.

3. ÁREA DE ESTUDO

No estado de Pernambuco existem 15 estuários distribuídos ao longo da costa e, dentre esses, foram selecionados quatro, com distintos usos e ocupação do entorno para a presente pesquisa. A seleção baseou-se em informações obtidas a partir de dados secundários como presença de vegetação natural preservada e atividades econômicas desenvolvidas em cada

região de estudo, além da localização ao longo da costa pernambucana, separada em regiões norte e sul (Figure 1).

3.1.1. Complexo Estuarino de Barra das Jangadas (rio Jaboatão)

O estuário da Barra das Jangadas está localizado no município de Jaboatão dos Guararapes-PE (20 km ao sul da cidade do Recife – Brasil - 8°12'30" - 8°15'00" S e 34°55'00" - 34°57'30" W), sendo formado pela união dos rios Pirapama e Jaboatão. Juntos, esses rios drenam uma área de 1.002,3 km² até a desembocadura no Oceano Atlântico (SILVA; COELHO, 1960), numa bacia hidrográfica que tem forte influência da pressão demográfica, com áreas não saneadas de grande densidade populacional (Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes, Ponte dos Carvalhos, dentre outras), o que compromete a qualidade de suas águas (LACERDA, 2004; SILVA; COELHO, 1960). Recebem ainda expressiva quantidade de resíduos industriais, sobretudo provenientes de atividades sucro-alcooleira, produtos alimentares, têxteis, entre outras (UCOM/CPRH, 2002), recebendo também poluição de origem doméstica, como esgotos e depósitos de lixo próximo às margens dos rios (COELHO, 2013).

Segundo a tipologia de Hansen & Rattray (1966), o estuário da Barra das Jangadas é um estuário de planície costeira, pouco profundo, com margens de lama e areia que se apresentam como um sistema bem misturado tipo 1 (DELGADO NORIEGA et al., 2005). As marés são do tipo semidiurno, com variações médias de altura de 1 m nos períodos de quadratura e 2 m nos períodos de sizígia (COELHO, 2013). O estuário Barra das Jangadas, assim como todo litoral pernambucano, possui clima tropical quente e úmido do tipo As', com chuvas de outono-inverno segundo a terminologia de Köppen e caracteriza-se por apresentar temperatura média anual elevada de aproximadamente 25,5°C e precipitação média anual superior a 2.000 mm em duas estações distintas: a seca determinada pela evaporação superior à precipitação e a chuvosa, na qual a evaporação é inferior à precipitação (DELGADO NORIEGA et al., 2005; SILVA; COELHO, 1960).

Quanto à morfologia, apresenta-se na forma de um "S" alongado, é pouco profundo e de pequeno porte, com largura variando entre 200 m a 250 m e comprimento em linha reta de 3.000 m, aproximadamente. Na margem esquerda do sistema estuarino encontram-se residências, hotéis, bares, marinas e ainda são observados deslocamentos importantes na linha de costa, especialmente na foz e à montante do canal Olho d'água, onde existem áreas de aterro de manguezais e elevada extração de areia do leito para a construção civil, provocando um considerável avanço irregular de construções. Na margem direita existe um coqueiral de propriedade particular, formando um istmo que separa o estuário da praia do Paiva (BRANCO; FEITOSA; FLORES MONTE, 2002; LACERDA, 2004) e na zona litorânea, se encontra uma

porção de manguezal caracterizada pelas espécies *Rhizophora mangle* Linnaeus. (mangue vermelho), *Conocarpus erectus* L. (mangue-de-botão), *Laguncularia racemosa* Goert (mangue branco) e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke (mangue siriúba) (BRANCO; FEITOSA; FLORES MONTE, 2002).

3.1.2. Estuário do Rio Una

A área estuarina do rio Una ($8^{\circ}51'37.7''S$ - $35^{\circ}07'53.9''W$) encontra-se inserida no município de São José da Coroa Grande-PE, distante 130 km do Recife, fazendo parte da Área de Proteção Ambiental (APA-Costa dos Corais). A área banha um vilarejo com cerca de dois mil habitantes, os quais em sua maioria sobrevivem das atividades pesqueiras coletando peixes, moluscos e crustáceos (BASTOS, 2006).

O rio Una apresenta cerca de 200 km de extensão desde a nascente (Serra da Boa Vista, no município de Capoeiras) até a sua foz, na porção sul do Estado. A sua bacia hidrográfica ocupa uma área de 5.906 km² correspondente a 6,01% da área do Estado de Pernambuco (CONDEPE, 1980), estendendo-se do agreste ao litoral pernambucano (CARDOSO et al., 2013), tendo como seus principais tributários os rios Pirangi (principal), rio Jacuípe, rio da Chata, riacho Olho D'água das Pombas, riacho Quatis, riacho Salobro, riacho Riachão, rio Maracujá (BASTOS, 2006; CONDEPE, 1980). Apresenta em seu quadro geológico uma predominância da província cristalina, restringindo-se a área sedimentar apenas à foz do rio, ao sul do Estado (CONDEPE, 1980). Ao longo de sua extensão, o rio Una banha as cidades de São Bento do Una, Cachoeirinha, Palmares, Água Preta, Barreiros e áreas dos municípios de Altinho, Agrestina, São Joaquim do Monte, Belém de Maria, Bonito e Catende (BASTOS, 2006).

Segundo a classificação de Koppen, o clima na bacia do rio Una varia de BShs' (próxima a nascente) a AS' (no litoral) cujas quotas pluviométricas anuais variam entre 600 a mais de 1.000 mm e a temperatura média varia entre 26°C e 24°C (BASTOS; FEITOSA; MUNIZ, 2004). Na área costeira, localizada na Zona da Mata, apresenta-se quente e úmido, com totais anuais de precipitação elevados (superiores a 1.000 mm). Os maiores índices pluviométricos têm duração de seis meses, iniciando-se no mês de março e prolongando-se até julho/agosto e no período chuvoso pode ocasionar cheias (MUNIZ et al., 2014).

As características ambientais do estuário demonstram um sistema eutrófico com qualidade de um ambiente preservado. Entre os nutrientes, silicato é o mais concentrado no período seco, representando grande presença de diatomáceas no fitoplâncton. A salinidade varia entre limnético e eualino e os fatores ligados à eutrofização apresentam valores maiores durante o período de chuva, quando aumenta o influxo continental no estuário (BASTOS, 2006; BASTOS; FEITOSA; MUNIZ, 2004).

Possui em suas margens uma vegetação de mangue representada pelas espécies *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue branco), *Avicennia schaweriana* (mangue siriúba) e *Conocarpus erectus* (mangue-de-botão), havendo ainda a presença de canavial e coqueiral (BASTOS, 2006; BASTOS; FEITOSA; MUNIZ, 2004).

3.1.3. Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz

O Canal de Santa Cruz está localizado no município de Itamaracá (PE) entre as coordenadas: 7°41'36''S / 7°48'54''S e 34°49'20''W / 34°53'18''W, no litoral Norte do Estado de Pernambuco, cerca de 55 km da capital Recife (SILVA; MOREIRA, 2011). Este canal faz a separação entre a Ilha de Itamaracá e o continente e é considerado um complexo estuarino de aproximadamente 22 km de extensão, em formato de “U” alongado (SILVA; MOREIRA, 2011). Ocupa uma área de aproximadamente 37 km² com 1,5 km de largura média e profundidade variando entre quatro a cinco metros e a penetração da água oceânica se dá na porção Norte do canal através da Barra de Catuama, situada no município de Goiana (CONDEPE, 1980). O Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz é um dos ecossistemas mais importantes do litoral, em virtude de sua grande biodiversidade e produtividade primária e secundária, representando uma unidade ecológica de grande significado ambiental e socioeconômico (CAVALCANTI, 2019). A área possui significativos remanescentes da Mata Atlântica e ecossistemas associados que além de abrigar espécies raras e ameaçadas de extinção, exercem o papel na proteção do solo e do relevo, na manutenção dos recursos hídricos superficiais e na recarga dos mananciais subterrâneos, considerado como de "extrema importância" e "importância muito alta" para a conservação da biodiversidade, abrangendo seis Refúgios de Vida Silvestre e três áreas estuarinas estabelecidas respectivamente pelas Leis nº 13.539, de 12 de setembro de 2008, e Lei nº 9.931, de 11 de dezembro 1986, pertencendo à Área de Proteção Ambiental de Santa Cruz criada pelo Decreto nº 32.488 de 17 de outubro de 2008 (CAVALCANTI, 2019). Este estuário recebe águas de uma representativa rede hídrica composta pelos estuários dos rios Igarassu, Botafogo, Arataca, Carrapicho e Catuama (CPRH, 2003). De acordo com Macêdo et al. (2000), o Canal de Santa Cruz e estuários adjacentes recebem resíduos industriais e urbanos. Essa condição em função dos resíduos orgânicos favorece o desenvolvimento da vegetação de mangue devido suas características fisiológicas em áreas onde as águas das marés incidam, sustentando 36 km² de florestas de mangues dominadas por *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Avicennia* spp. (MEDEIROS; KJERFVE, 1993). O Canal de Santa Cruz é utilizado por barcos pesqueiros e de turismo para navegação, sendo a atividade explorada por marinas localizadas na cidade de Itamaracá e no Forte Orange,

existindo barcos de porte médio para passeios pelo Canal e no mar, e pequenos barcos que transportam turistas entre o Forte e a ilha Coroa do Avião (CAVALCANTI, 2019).

3.1.4. Estuário do Rio Formoso

O estuário do Rio Formoso está localizado no litoral Sul da costa pernambucana, a 92 km² da capital Recife, na região fisiográfica da Mata meridional de Pernambuco entre as coordenadas 8°39'- 8°42'S e 35°10'- 35°05'W, pertencente à APA Guadalupe, APA de Guadalupe e a APA Costa dos Corais (MAIDA; FERREIRA, 1997; SILVA, 2003). Ao longo do curso do rio Formoso, este recebe efluentes domésticos, resíduos provenientes da agroindústria açucareira e atividade de carcinicultura (LIMA, 2016; LIRA et al., 2010). e é impactado pela poluição da exploração turística (LIRA et al., 2010). As margens do estuário do Rio Formoso são colonizadas por cerca de 80% por mangues, onde predominam sedimentos lamosos de coloração escura ricos em matéria orgânica, os quais parecem constituir a fonte mais importante de material em suspensão no estuário (LIMA, 2016). Nele a vegetação é caracterizada pelas espécies *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia shaueriana* e *Conocarpus erectus*. Na zona inferior do estuário o manguezal é substituído por grandes coqueirais (LIMA, 2016; SILVA, 2003). Apresenta o clima do tipo As' (tropical quente e úmido), com chuvas de outono/inverno, segundo a classificação na escala de Köppen, e precipitação média anual de 2.050 mm, distribuída em cerca de 200 dias no ano. O período mais chuvoso se encontra entre os meses de maio a julho e o período de estiagem, entre outubro e dezembro. A temperatura anual média é de 24°C, variando entre 18°C e 32°C (LIMA, 2016; SILVA, 2003). Morfologicamente, o estuário do rio Formoso apresenta três zonas distintas: Zona estuarina superior, que corresponde à zona situada à montante da maior ilha existente no estuário até o limite máximo de penetração da maré salina, próximo ao município de Rio Formoso; Zona estuarina média, que apresenta um canal com profundidade média de 7,05 m, situada em frente à desembocadura do rio Arinquidá, que forma a maior ilha existente no estuário; e a Zona estuarina inferior, localizada entre a desembocadura do rio Arinquidá e a Ponta de Guadalupe, apresentando dois canais divididos por um pequeno banco arenoso (LIMA, 2016; LIRA et al., 2010; SILVA, 2003).

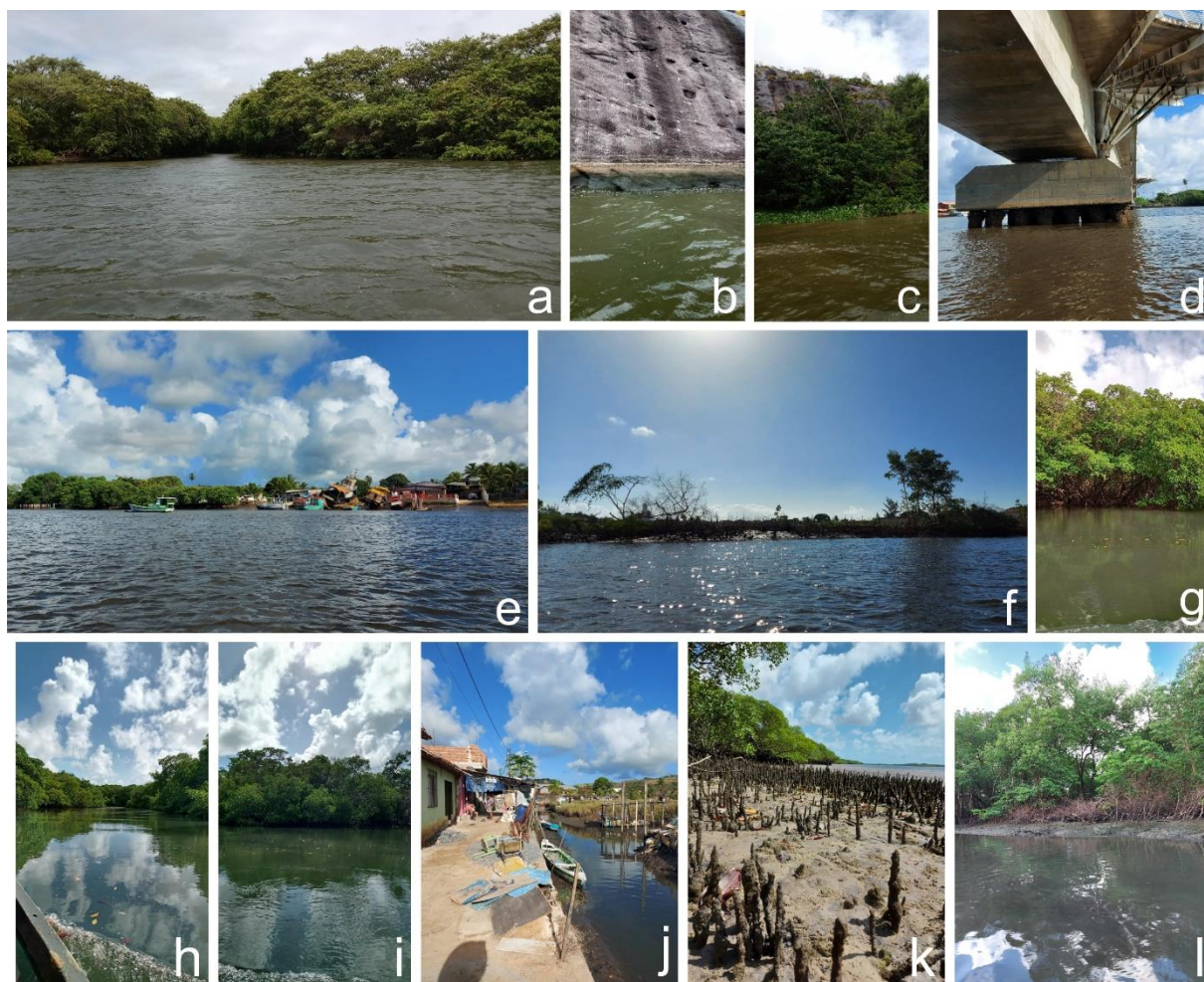


Figura 1. a-l. Aspecto geral dos manguezais. **a-c** Manguezal do rio Una. **d-f** Complexo estuarino de Barra das Jangadas (rio Jaboatão). **g-i** Complexo estuarino de Santa Cruz. **j-l** Manguezal do rio Formoso.

4. OBJETIVOS

4.1. Geral

Identificar e descrever as cianobactérias planctônicas e perifíticas de manguezais do estado de Pernambuco.

4.2. Específicos

- Ampliar o conhecimento sobre a biodiversidade de cianobactérias de ambientes estuarinos e de manguezais do Nordeste brasileiro;
- Aumentar a riqueza de espécies registradas e descritas para o estado;
- Aumentar a amostragem disponível para comparação de trabalhos futuros no estado de Pernambuco;
- Aumentar a coleção do herbário PEUFR (Herbário Professor Vasconcelos Sobrinho) com incorporação de amostras de cianobactérias estuarinas e de mangue do estado de Pernambuco.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangrove forests. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 3, p. 331–349, 2002.
- ALONGI, D. M. Paradigm shifts in mangrove biology. **Coastal Wetlands an Integrated Ecosystem Approach**. Elsevier. Amsterdam, Países Baixos, p. 615–640, 2009.
- ALVARENGA, D. O. et al. Cyanobacteria in mangrove ecosystems. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 4, p. 799–817, 2015.
- ALVARENGA, D. O. et al. *Phyllonema aviceniicola* gen. Nov., sp. nov. and *Foliisarcina bertioagensis* gen. nov., sp. nov., epiphyllic cyanobacteria associated with *Avicennia schaueriana* leaves. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 66, n. 2, p. 689–700, 2016.
- ALVARENGA, D. O. et al. *Kryptousia macronema* gen. nov., sp. nov. and *Kryptousia microlepis* sp. nov., nostocalean cyanobacteria isolated from phyllospheres. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 67, n. 9, p. 3301–3309, 2017.
- ALVARENGA, D. O. DE. Análise polifásica de cianobactérias da filosfera de *Avicennia schaueriana*. p. 105, 2011.
- AQUINO, E. P.; BORGES, G. C. P.; CUNHA, M. G. G. S. Check List. **Journal of the Chinese Medical Association**, v. 78, n. 6, p. e8–e9, 2015.
- BAETA-NEVES, M. H. C.; TRIBUZI, D. Les Cyanophycées de la Mangrove de la “Ponta do Pai Vitório” de la Região de Cabo Frio (RJ, Brésil). **Acta Biologica Leopoldensia**, v. 14, n. 2, p. 29–52, 1992.
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. Plant growth-promoting bacteria: A potential tool for arid mangrove reforestation. **Trees - Structure and Function**, v. 16, n. 2–3, p. 159–166, 2002.
- BASTOS, R. B. **Estrutura da comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais no estuário do rio Una**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2006.
- BASTOS, R. B.; FEITOSA, F. A. D. N.; MUNIZ, K. Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do rio Una (Pernambuco – Brasil). **Tropical Oceanography**, v. 33, n. 1, p. 1–18, 2004.
- BRANCO, E. D. S.; FEITOSA, F. A. D. N.; FLORES MONTE, M. DE J. Variação Sazonal e Espacial da Biomassa Fitoplanctônica Relacionada com Parâmetros Hidrológicos no Estuário de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes - Pernambuco - Brasil). **Tropical Oceanography**, v. 30, n. 2, 2002.
- BRANCO, L. H. Z. et al. Cyanophyte flora from Cardoso Island mangroves, São Paulo State, Brazil. 2. Oscillatoriales. **Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes**, v. 80, p. 99–111, 1996.
- BRANCO, L. H. Z. et al. Cyanophyte flora from Cardoso Island mangroves, São Paulo State, Brazil. 1. Chroococcales. **Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes**, v. 84, n. April, p. 39–52, 1997.

BRANCO, L. H. Z. et al. Biodiversidade e considerações biogeográficas das cyanobacteria de uma área de manguezal do estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 4, p. 585–596, 2003.

BRANCO, L. H. Z.; SILVA, S. M. F.; SANT'ANNA, C. L. Validation of the name *Stichosiphon mangle* (Chroococcales, Cyanophyta). **Taxon**, v. 44, n. 3, p. 393–393, 1995.

BRANCO, L. H. Z.; SILVA, S. M. F.; SATANNA, C. L. *Stichosiphon mangle* sp-Nova, a new Cyanophyte from mangrove enviroments. **Archiv fur Hydrobiologie**, p. 1–7, 1994.

BÜDEL, B.; KAUFF, F. Blue-green algae. Em: **Syllabus of plant families, Engler's syllabus der Pflanzenfamilien, part VI. Borntraeger, Stuttgart**. [s.l.: s.n.]. p. 5–39.

CAIRES, T. A.; SANT'ANNA, C. L.; DE CASTRO NUNES, J. M. A new species of marine benthic cyanobacteria from the infralittoral of Brazil: *Symploca infralitoralis* sp. nov. **Revista Brasileira de Botanica**, v. 36, n. 2, p. 159–163, 2013.

CAIRES, T. A.; SANT'ANNA, C. L.; NUNES, J. M. DE C. Biodiversity of benthic filamentous cyanobacteria in tropical marine environments of Bahia State, Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Botanica**, v. 42, n. 1, p. 149–170, 2019.

CARDOSO, A. S. et al. Fitoplâncton como bioindicador de eventos extremos na bacia do rio Una, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, p. 356–372, 2013.

CAVALCANTI, F. B. **Áreas Estuarinas**. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/perfis_ambientais/areas_estuarinas/39751%3B33012%3B1802%3B0%3B0.asp>.

CHEN, M.; BLANKENSHIP, R. E. Expanding the solar spectrum used by photosynthesis. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 8, p. 427–431, 2011.

CIRA, E. K.; PAERLA, H. W.; WETZA, M. S. Effects of nitrogen availability and form on phytoplankton growth in a eutrophied estuary (Neuse River Estuary, NC, USA). **PLoS ONE**, v. 11, n. 8, p. 1–15, 2016.

COELHO, M. P. **Estuário de Barra das Jangadas/PE: Análise espaço temporal e caracterização estrutural da vegetação de mangue**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

CONDEPE, I. D. D. D. P. Perfil fisiográfico das bacias hidrográficas de Pernambuco. **Secretaria de planejamento, ciência, tecnologia e meio ambiente**, v. 1, p. 275, 1980.

CPRH. Diagnóstico socioambiental do litoral norte de Pernambuco. Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. Governo de Pernambuco. **CPRH/GERCO**, p. 87, 2003.

CRISPINO, L. M. B.; SANT'ANNA, C. L. Cianobactérias marinhas bentônicas de ilhas costeiras do Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botanica**, v. 29, n. 4, p. 639–656, 2006.

CURY, J. D. C. **Microbial activity and metabolic and genetic diversities in oil contaminated mangrove soil**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2002.

DELGADO NORIEGA, C. et al. Fluxos de nutrientes inorgânicos dissolvidos em um estuário tropical – Barra das Jangadas – PE, Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 33, n. 2, p. 133–145, 2005.

DUARTE, A. A. L. S.; VIEIRA, J. M. P. **Caracterizacão de ambientes estuarinos: mistura em estuários. Engenharia Civil UM**, 1997.

DVOŘÁK, P. et al. Review Underestimated cyanobacterial diversity: trends and perspectives of research in tropical environments. **Fottea**, v. 21, n. 2, p. 110–127, 2021.

ENGINE, N. et al. Underestimated biodiversity as a major explanation for the perceived rich secondary metabolite capacity of the cyanobacterial genus *Lyngbya*. **Environmental Microbiology**, v. 13, n. 6, p. 1601–1610, 2011.

ESKINAZI-LEÇA, E.; PASSAVANTE, J. Z. DE O.; FRANÇA, L. M. B. Composição do microfitoplâncton do estuário do Rio Igarassu (Pernambuco). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 29, n. 2, p. 163–167, dez. 1980.

FEITOSA, F. A. DO N.; CUNHA, M. DA G. G. DA S.; BRANCO, E. DE S. Composição do microfitoplâncton no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes - Pernambuco - Brasil). **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 37, p. 63–76, 2004.

GENUÁRIO, D. B. et al. *Halotia* gen. Nov., a phylogenetically and physiologically coherent cyanobacterial genus isolated from marine coastal environments. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 65, n. 2, p. 633–675, 2015.

GENUÁRIO, D. B. et al. Cyanobacteria From Brazilian Extreme Environments: Toward Functional Exploitation. Toward Functional Exploitation. **Microbial Diversity in the Genomic Era**, p. 265–284, 2018.

GUPTA, N.; MISHRA, S.; BASAK, U. C. Microbial population in phyllosphere of mangroves grow in different salinity zones of Bhitarkanika (India). **Acta Botanica Malacitana**, v. 34, p. 33–37, 2009.

HANSEN, D. V.; RATTRAY, M. New dimensions in estuary classification. **Limnology and Oceanography**, v. 11, n. 3, p. 319–326, 1966.

HOFFMANN, C. M. Changes in N composition of sugar beet varieties in response to increasing N supply. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 191, n. 2, p. 138–145, 2005.

HOFFMANN, L. Algae of terrestrial habitats. **The botanical review**, v. 55, n. 2, p. 77–105, 1989.

HOFFMANN, L.; KOMÁREK, J.; KAŠTOVSKÝ, J. System of cyanoprokaryotes (cyanobacteria) state in 2004. **Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes**, v. 117, n. October, p. 95–115, 2005.

HOLGUIN, G.; GUZMAN, M. A.; BASHAN, Y. Two new nitrogen-fixing bacteria from the rhizosphere of mangrove trees: Their isolation, identification and in vitro interaction with rhizosphere *Staphylococcus* sp. **FEMS Microbiology Letters**, v. 101, n. 3, p. 207–216, 1992.

HOLGUIN, G.; VAZQUEZ, P.; BASHAN, Y. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview. **Biology and Fertility of Soils**, v. 33, n. 4, p. 265–278, 2001.

KATHIRESAN, K.; BINGHAM, B. L. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. **Advances in Marine Biology**, v. 40, n. December, p. 81–251, 2001.

KOMÁREK, J. Problem of the taxonomic category “species” in cyanobacteria. **Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes**, v. 109, p. 281–297, 1 ago. 2003.

KOMÁREK, J. et al. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. **Preslia**, n. 86, p. 295–335, 2014.

KOMÁREK, J. Quo vadis, taxonomy of cyanobacteria (2019). **Fottea**, v. 20, n. 1, p. 104–110, 2020.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. C. Cyanoprokaryota: teil 1: Chroococcales. Em: **Süßwasserflora von Mitteleuropa**. [s.l: s.n.]. p. 1–556.

LACERDA, S. **Série Temporal Do Fitoplâncton No Estuário De Barra Das Jangadas (Jaboatão Dos Guararapes – Pernambuco – Brasil)**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

LACERDA, S. R. et al. Phytoplankton nyctemeral variation at a tropical river estuary (Itamaracá-Pernambuco-Brazil). **Brazilian journal of biology = Revista brasileira de biologia**, v. 64, n. 1, p. 81–94, 2004.

LEE, R. E. **Phycology**. 4° ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2008.

LIMA, A. N. D. **Condições ambientais do estuário do Rio Formoso (Tamandaré/Pernambuco/Brasil): Biomassa fitoplanctônica e hidrologia**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

LIRA, L. et al. **Diagnóstico socioeconômico da pesca artesanal do litoral de Pernambuco**. Recife Instituto Oceanário de Pernambuco: Departamento de Pesca e Aquicultura da UFRPE, , 2010.

MACÊDO, S. J.; FLORES MONTES, M. J.; LINS, I. C. **Características abióticas da área**. In: **Barros, H. M.; Leça-Esquinazi, E.; Macedo, S. J.; Lima, T. Gerenciamento Participativo de Estuários e Manguezais Recife** Ed. Universitária da UFPE, , 2000.

MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. **Coral reefs of Brazil: an overview**. **Smithsonian Tropical Research Institute Panamá** Proceedings of the 8th international coral reef symposium, , 1997.

MATALONI, G.; KOMÁREK, J. *Gloeocapsopsis aurea*, a new subaerophytic cyanobacterium from maritime Antarctica. **Polar Biology**, v. 27, n. 10, p. 623–628, 2004.

MEDEIROS, C.; KJERFVE, B. Hydrology of a tropical estuarine system: Itamaracá, Brasil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 36, p. 495–515, 1993.

MENDES, N. M. T. DO N. S. **Background geoquímico para sedimentos de regiões estuarinas de Pernambuco**. [s.l: s.n.].

MOURA, A. D. N. et al. Diatomáceas perifíticas fixadas em substratos natural e artificial nos estuários dos rios Paripe e Igarassu - Ilha de Itamaracá-Pernambuco. **Tropical Oceanography**, v. 22, n. 1, 30 jun. 1991.

MOURA, A. D. N. et al. Diversidade de algas perifíticas em áreas costeiras e estuarinas de Pernambuco. Em: **Mangrove 2000- Sustentabilidade de estuários e manguezais**. [s.l: s.n.].

MUNIZ, S. et al. Tendências de Mudanças Climáticas na Bacia do Rio Una, Pernambuco – Brasil Silvana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 02, p. 243–257, 2014.

- NABOUT, J. C. et al. How many species of Cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. **Biodiversity and Conservation**, v. 22, n. 12, p. 2907–2918, 2013.
- NOGUEIRA, N. M. C.; FERREIRA-CORREIA, M. M. Cyanophyceae/Cyanobacteria in red mangrove forest at Mosquitos and Coqueiros estuaries, São Luís, State of Maranhão, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 61, n. 3, p. 347–356, 2001.
- PARIZZI, R. A. et al. Primary productivity and phytoplankton dynamics in a subtropical estuary: a multiple timescale approach. **Scientia Marina**, v. 80, n. 3, p. 291–303, 2016.
- REJMÁNKOVÁ, E.; KOMÁREK, J.; KOMÁRKOVÁ, J. Cyanobacteria - A neglected component of biodiversity: Patterns of species diversity in inland marshes of northern Belize (Central America). **Diversity and Distributions**, v. 10, n. 3, p. 189–199, 2004.
- RIGONATO, J.; ALVARENGA, D. O.; FIORE, M. F. Tropical Cyanobacteria and their Biotechnological Applications. Em: **Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 139–167.
- SANT'ANNA, C. L. Cyanophyceae marinhas bentônicas da região de Ubatuba, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 24, n. 2, p. 57–74, 1997.
- SANT'ANNA, C. L. et al. Two form-genera of aerophytic heterocytous cyanobacteria from Brazilian rainy forest “Mata Atlântica”. **Fottea**, v. 10, n. 2, p. 217–228, 2010.
- SANTANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. DE P. Oscillatoriaceae (Cyanophyceae) from Sao Paulo State, Brazil. **Nova Hedwigia**, v. 60, n. 1–2, p. 19–58, 1995.
- SANT'ANNA, C. L.; XAVIER, M. B.; SORMUS, L. Estudo qualitativo do fitoplâncton da represa de Serraria, Estado de São Paulo, Brasil. **Rev. bras. biol.**, p. 83–102, 1988.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries**, v. 13, n. 2, p. 204–218, 1990.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, n. 4, p. 561–570, 2000.
- SILVA, A. M.; MOREIRA, E. B. M. **Avaliação espaço temporal do índice de vegetação (NDVI) no manguezal de Maracaípe-PE, através de imagens de satélite Landsat 5 TM.XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba-PR:1570**. [s.l.: s.n.].
- SILVA, C. S. P. et al. Phylogeny of culturable cyanobacteria from Brazilian mangroves. **Systematic and Applied Microbiology**, v. 37, n. 2, p. 100–112, 2014.
- SILVA, M. H. DA. **Fitoplâncton do estuário do rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil): Biomassa, taxonomia e ecologia**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- SILVA, M. H. DA. **Estrutura e produtividade da comunidade fitoplanctônica de um estuário tropical (Sirinhaém, Pernambuco, Brasil)**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2009.
- SILVA, O. C. DA; COÊLHO, P. A. Estudo Ecológico da Barra das Jangadas. **Tropical Oceanography**, v. 2, n. 1, p. 237–248, 30 jun. 1960.

TOLEDO, G.; BASHAN, Y.; SOELDNER, A. Cyanobacteria and black mangroves in Northwestern Mexico: Colonization, and diurnal and seasonal nitrogen fixation on aerial roots. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 41, n. 11, p. 999–1011, 1995.

UCOM/CPRH. **CPRH – Companhia Pernambucana de Controle da Poluição e Recursos Hídricos**. Disponível em: <www.cprh.pe.gov.br>.

VALIELA, I.; BOWEN, J. L.; YORK, J. K. Mangrove forests: One of the world's threatened major tropical environments. **BioScience**, v. 51, n. 10, p. 807–815, 2001.

WHITTON, B. A. **Ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time**. [s.l.] Springer, 2012.

WHITTON, B. A.; POTTS, M. **The ecology of Cyanobacteria**. [s.l.: s.n.].

6. ARTIGO: Cianobactérias Fitoplanctônicas e Perifíticas em Manguezais

Autores: Paulo Henrique Santos Vieira, Ariadne do Nascimento Moura, Watson Arantes Gama-Jr

Submetido à revista *Brazilian Journal of Botany* (Qualis B1)

Link de acesso para as normas da revista:

<https://www.springer.com/journal/40415/submission-guidelines>

Title:
Phytoplanktonic and Periphytic Cyanobacteria in Mangroves

Paulo Henrique Santos Vieira¹, Ariadne do Nascimento Moura¹, Watson Arantes Gama-Jr¹

¹Programa de Pós-graduação em Biodiversidade, Universidade Federal Rural de Pernambuco

Abstract

Estuaries and their associated forests constitute the mangrove ecosystem, a highly productive environment with a unique euryhaline biodiversity. Cyanobacteria are photosynthetic organisms essential in mangroves due their primary productivity and other ecosystem roles. However, they are still little known there, what results in a knowledge gap about their distribution, morphology, and ecology, mainly for the Northeast region of Brazil, especially the state of Pernambuco, where many mangrove areas are located. Here we aimed to identify and describe phytoplanktonic and periphytic cyanobacteria from four mangrove areas along the coast of the state of Pernambuco. Phytoplankton samples were taken using a plankton net at three sites along each estuary and in the two tidal periods and periphyton samples were gathered from pneumatophores nearby each phytoplankton sampling sites during the low tide. We recorded 66 cyanobacterial taxa (51 spp., 10 sp., 3 cf., 2 aff.) distributed in 30 genera and 19 families. The most representative family was Oscillatoriaceae, with 27 infrageneric taxa identified. Considering the identified species and their distribution over the mangrove's areas, 15 are new occurrences for Brazil, 22 are new occurrences for the Northeast region and 11 for the state of Pernambuco. The number of cyanobacterial species identified here, as well as the new occurrences, indicate the high biodiversity in these environments and pointed out the gap in taxonomic studies on cyanobacteria in tropical estuaries and mangroves. Also, the non-identified species highlights the possibility of new taxa to science and the importance of these ecosystems as source of unique cyanobacteria.

Key words: Mangrove forest, Estuary, Phytoplankton, Periphyton, Cyanobacteria.

Resumo

Os estuários e sua vegetação constituem o ecossistema manguezal, um ambiente altamente produtivo com uma biodiversidade eurihalina única. As cianobactérias são organismos fotossintéticos essenciais em manguezais devido a sua produtividade primária e outras funções ecossistêmicas. Contudo, ainda são pouco conhecidas, resultando em uma lacuna de conhecimento sobre a sua distribuição, morfologia e ecologia, principalmente para a região Nordeste do Brasil, especialmente Pernambuco, onde estão localizados muitos manguezais. Esse trabalho teve como objetivo, identificar e descrever cianobactérias fitoplancônicas e perifíticas de quatro áreas de mangue ao longo da costa de Pernambuco. As amostras de fitoplâncton foram coletadas com rede de plâncton em três locais de cada estuário e nos dois períodos de maré e as amostras de perifíton foram coletadas de pneumatóforos próximos a cada local de amostragem de fitoplâncton na maré baixa. Registramos 66 táxons de cianobactérias (51 spp., 10 sp., 3 cf., 2 aff.) distribuídos em 30 gêneros e 19 famílias. A família mais representativa foi Oscillatoriaceae, com 27 táxons infragenéricos identificados. Considerando as espécies identificadas e sua distribuição nas áreas dos manguezais, 15 são novas ocorrências para o Brasil, 22 são novas ocorrências para a região Nordeste e 11 para o

estado de Pernambuco. O número de espécies de cianobactérias identificadas, bem como as novas ocorrências, indica a alta biodiversidade nesses ambientes e aponta a lacuna em estudos taxonômicos sobre cianobactérias em estuários e manguezais tropicais. Além disso, as espécies não identificadas destacam a possibilidade de novos táxons para a ciência e a importância desses ecossistemas como fonte de cianobactérias únicas.

Palavras -chave: mangue, estuário, fitoplâncton, perifíton, cianobactérias.

Introduction

Mangroves are unique transitional environments between the sea and inland environments. Distributed in coastal ecosystems of tropical and subtropical regions, they are formed by a vegetation adapted to variations in salinity and temperature (Armstrong et al. 2019), and estuaries, which are brackish aquatic environments resulting from the encounter between marine and freshwater environments (Affe et al. 2018).

Responsible for protecting the coast against natural events, mangroves are environments of refuge and reproduction for various organisms such as fish, shellfish, and crustaceans (many economically important for human consumption). In addition, they are naturally eutrophic environments due to the cycling of nutrients, retaining what comes from inland waters and thereby supplying nutrients to the marine environment with the movement of the tides, thus having a high primary productivity (Holguin et al. 2001; Kathiresan and Bingham 2001; Alongi 2002).

These coastal environments have a particular diversity of cyanobacteria adapted to specific niches, occupying different habitats and with distinct ecological adaptations, such as euryhalinity (Caires et al. 2019). In the estuary, cyanobacteria can be found in complex submerged biofilms, such as periphyton, or free in the water column, forming part of phytoplankton. In addition to being the base of the food chain and responsible for a large part of the primary productivity in these environments, these prokaryotes also contribute to the fixation of nitrogen and carbon, which, in mangroves, are especially necessary because of the natural insufficiency of ecosystem services to make them bioavailable (Kyaruzi et al. 2003; Komárek 2016; Armstrong et al. 2019).

Despite this importance, few studies have addressed cyanobacterial biodiversity in mangroves and other similar coastal ecosystems (Branco et al. 2003). Besides underestimating species richness, this gap in knowledge masks the discovery of new species and the possibility of biotechnological application of these organisms, especially considering that cyanobacteria adapted to variations in salinity and temperature have been shown to produce substances with pharmacological application (Hoffman 1999, Silva et al. 2020). Studies on this biodiversity also increases the possibility of isolating new strains, which function as an ex-situ genetic repository and allow for several a posteriori studies, including molecular, phylogenetic, ecophysiological, toxicological and bioprospecting ones (Alvarenga et al. 2015, 2017b; Ribeiro et al. 2022).

In Brazil, most of the studies produced with cyanobacteria from mangroves and estuaries were carried out in the Southeast region and, even so, are scarce. In Rio de Janeiro, pioneering studies were performed on the morphological and ecological characterization of mangrove and marine cyanobacteria in Brazil, bringing important biogeographic data on this biodiversity (Baeta-Neves 1991a, b, Baeta-Neves and Tribuzi 1992). Similar studies were conducted in the state of São Paulo (Branco et al. 1995, 1996, 1997, Silva et al. 2014), in addition to works describing new taxa to science as the four new genera *Phyllonema*, *Foliisarcina* Alvarenga, Rigonato, Branco, Melo & M.F.Fiore 2016 and *Kryptousia* Alvarenga, Andreote, Branco & Fiore 2017 (Alvarenga et al. 2016, 2017a) and *Halotia*, described by Genuário et al. (2015), besides a total of 7 new species, demonstrating that there is a particular biodiversity of cyanobacteria in these environments that is still unknown.

For the Northeast region, in the state of Maranhão, Nogueira and Ferreira-Correia (2001) produced the only study for the state, in which they analyzed cyanobacteria from the Coqueiros and Mosquitos estuaries, identifying 14 species and one taxon at the genus level. Still for the Brazilian Northeast, in the state of Pernambuco, a single taxonomic study was performed with mangrove cyanobacteria (Branco et al. 2003). The Santa Cruz Estuarine Complex was studied, and 16 taxa were identified, 14 species and two identifications at a genus level. In addition to these, it is also important to highlight the study in the state of Bahia, where, although there is no research directed to mangrove areas (Caires et al. 2019) surveyed marine benthic cyanobacteria, which are environments with characteristics similar to mangroves and bring a similar diversity of species, once the mangrove is a transitional environment associated with the marine one. In this study, 32 taxa were recorded with 19 species identified, with 22 new occurrences for the state of Bahia, 9 for the Northeast region and 3 for Brazil. Also noteworthy is the description of the new genera *Neolynghya* (Caires et al. 2018a) and *Capilliphycus* (Caires et al. 2018b), and the new species *Symploca infralitoralis* (Caires et al. 2013), all for coastal marine environments in Brazil. Again, this high number of new species and genera demonstrates the relevant biodiversity of cyanobacteria in Brazilian coastal ecosystems and how little is known about it. Thus, given the high diversity of cyanobacterial species estimated for mangrove ecosystems in Brazil and the great scarcity of knowledge about these organisms in estuaries and mangroves in the Northeast region, the present study aimed to carry out a taxonomic survey with morphological and habitat data of cyanobacterial species present in phytoplankton and periphyton from four estuaries distributed along the coast of the state of Pernambuco, Brazil.

Material and Methods

Samples were taken in the mangrove and estuary areas of the Barra de Jangadas Estuarine Complex (08°13'32.5"S, 34°55'47.6"W), Santa Cruz Estuarine Complex (07°48 '42.1"S, 34°51'15.8"W), Formoso River Estuary (8°40'26.3"S, 35°06'46.1"W), and in the Una River Estuary (8°51'36.2"S, 35°07'52.9"W) (Figure 1). For phytoplankton, sampling sites were located at the limit between the river and sea (mouth), in the intermediate zone (middle) and at the limit of the transition zone between fresh and salt water (upstream) of each estuary and during the two tidal periods: high tide and low tide. Phytoplankton was sampled under the water surface using a plankton net (20 µm mesh size) and each estuary was sampled at two different periods (rainy and dry seasons) in 2020 and 2021, totaling 12 phytoplankton samples per estuary (48 samples in total). Periphyton was collected from pneumatophores by scraping them with brushes and distilled water, freely collected in mangrove areas near the sites previously determined for phytoplankton sampling; 17 pneumatophores samples were analyzed, and two samples squeezed from roots of *Salvinia* were also added to this study (19 periphyton samples in total). All samples were preserved with 4% formaldehyde in the field.

Phytoplankton and periphyton samples were analyzed under an optical microscope (Zeiss Axioplan), with 10 slides analyzed per sample and all individuals found were photographed, analyzed, and measured for identification, with a minimum of 30 measurements of morphological structures per species.

For taxonomy, we used specialized literature (monographs) (Komárek and Anagnostidis 1998, 2005; Komárek 2013) and complemented with update and specific articles for the studied taxa (Baeta-Neves 1991b; Baeta-Neves and Tribuzi 1992; Sant'Anna 1995; Branco et al. 1997, 2003; Nogueira and Ferreira-Correia 2001; Crispino and Sant'Anna 2006; Caires et al. 2019). The classification system of Komárek et al. (2014) was adopted. An aliquot of each sample analyzed was preserved in 4% formaldehyde and deposited at the Herbarium Vasconcelos Sobrinho (PEUFR), the Federal Rural University of Pernambuco (Supplementary Material).

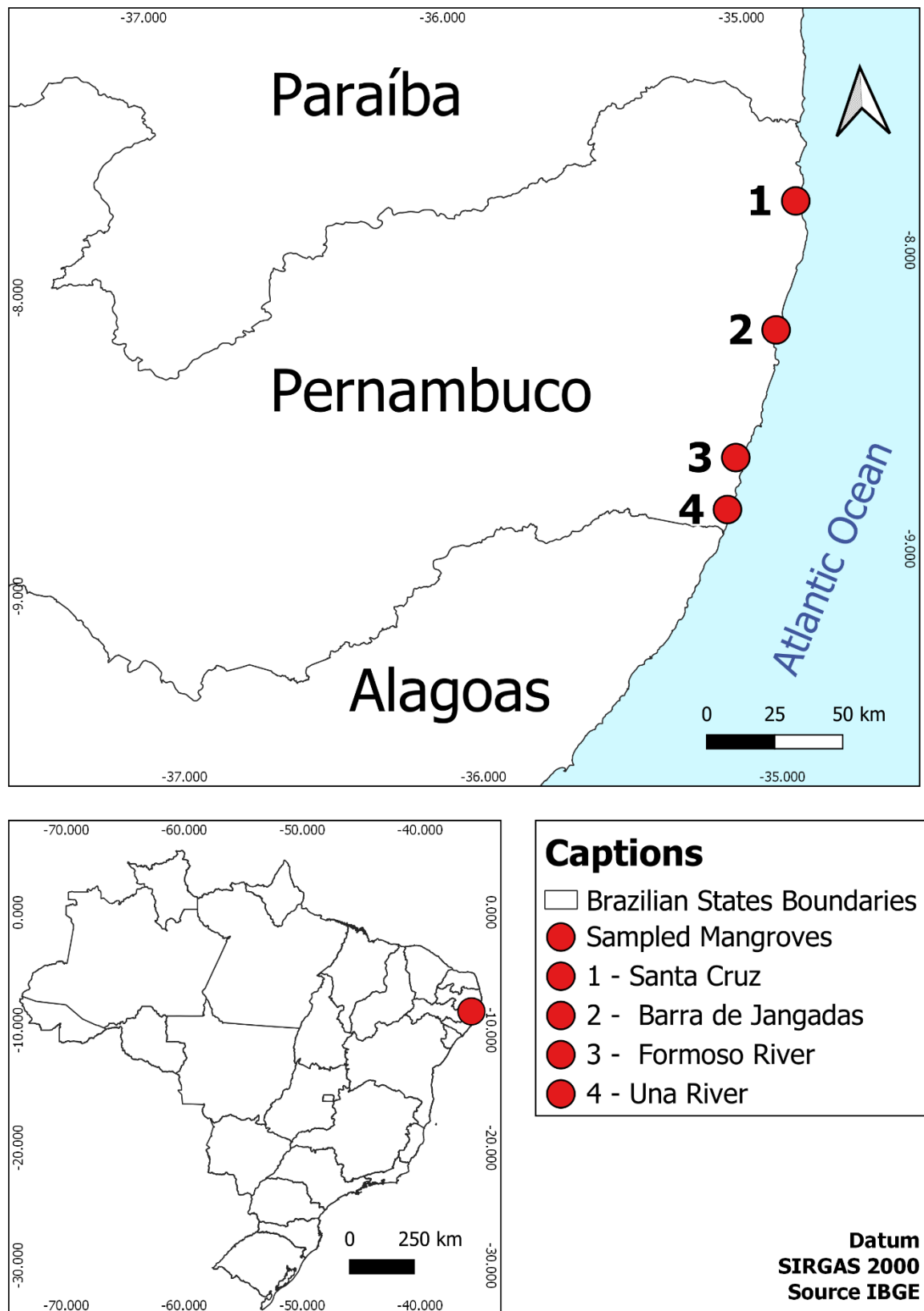


Figure 1. Location of the estuaries sampled in the state of Pernambuco

Results

A total of 66 taxa were recorded, with 51 species identified, 3 *conferatum*, 2 species *affinis* and 10 maintained at the genus level. Among the identified species there are new records for mangrove ecosystems, as 15 species for Brazil, 22 species are new occurrences for the Northeast region and 11 for the state of Pernambuco. Among the new occurrences for Brazilian mangrove environments are *Anabaenopsis elenkii*, *Aphanothece bachmannii*, *Chroococcus minimus*, *Chroococcus pulcherrimus*, *Chroococcus sonorensis*, *Komvophoron breve*, *Phormidium articulatum*, *Phormidium chalybeum*, *Phormidium interruptum*, *Phormidium litorale*, *Phormidium lucidum*, *Phormidium terebriforme*, *Porphyrosiphon versicolor*, *Pseudanabaena galeata* and *Spirulina meneghiniana*. The greatest richness was found in the Santa Cruz Estuary, with 32 taxa in total and 10 exclusive, followed by the Una River Estuary (30), with 10 exclusive, and Barra de Jangadas Estuary (28), with 12 exclusive. The lowest number of taxa was recorded in the Formoso River Estuary (25), which had only 07 exclusive species. In general, the habit with the highest richness was phytoplankton with 54 taxa, while the periphyton presented 21. The highest richness found in phytoplankton was observed at the mouth (35) followed by the middle (34), and upstream (28). With respect to the tidal periods, 38 phytoplankton taxa were recorded for low tide, with 15 exclusive, and 37 for high tide, 11 exclusive, highlighting that all periphyton samples were collected only during low tide.

Table 1. Habit, new occurrences (new occur.) for the mangrove ecosystem and distribution of species by locality, sampling point and tide in the sampled areas. Subtitle: F-Phytoplankton, P-Periphyton; BR–Brazil, NE-Northeast, PE-Pernambuco; Tide: L-Low tide, H-High tide; X-presence; Roots: squeezed from *Salvinia* sp.

Taxa	Habitat	New occurrences	Barra de Jangadas						Santa Cruz						Formoso						Una					
			Mouth		Middle		Upstream	Mouth		Middle		Upstream	Mouth		Middle		Upstream	Mouth		Middle		Upstream	Roots			
			L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H
Aphanizomenaceae																										
<i>Anabaenopsis elenkii</i>		F	BR			X	X			X																
Aphanothecaceae																										
<i>Aphanothece bachmannii</i>		F	BR	X	X					X																
Chroococcaceae																										
<i>Chroococcus dispersus</i>		F	NE			X				X																
<i>Chroococcus minimus</i>		F	BR							X																
<i>Chroococcus pulcherrimus</i>		P	BR							X			X													
<i>Chroococcus sonorensis</i>		F	BR	X	X			X	X	X																
Coleofasciculaceae																										
<i>Anagnostidinema amphibium</i>		F	NE																	X		X	X			
Cyanothrichaceae																										
<i>Johannesbaptistia pellucida</i>		F	NE												X											
Gomontiellaceae																										

Table 1. Habit, new occurrences (new occur.) for the mangrove ecosystem and distribution of species by locality, sampling point and tide in the sampled areas. Subtitle: F-Phytoplankton, P-Periphyton; BR–Brazil, NE-Northeast, PE-Pernambuco; Tide: L-Low tide, H-High tide; X-presence; Roots: squeezed from *Salvinia* sp.

Taxa	Habitat	New occurrences	Barra de Jangadas						Santa Cruz						Formoso						Una						Roots
			Mouth		Middle		Upstream		Mouth		Middle		Upstream		Mouth		Middle		Upstream		Mouth		Middle		Upstream		
L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	
<i>Komvophoron breve</i>	F	BR			X	X				X	X												X				
Hydrococcaceae																											
<i>Myxohyella papuana</i>	P	NE												X		X											
Leptolyngbyaceae																											
<i>Leptolyngbya fragilis</i>	P	PE						X							X							X					
<i>Leptolyngbya</i> sp.	F			X											X										X		
	P							X									X										
<i>Phormidesmis mollis</i>	F							X		X		X															
Merismopediaceae																											
<i>Merismopedia tranquilla</i>	F	NE						X											X		X	X					
Microcoleaceae																											
<i>Coleofasciculus chthonoplastes</i>	P									X				X		X		X				X					
<i>Hydrocoleum lyngbyaceum</i>	P	PE			X			X		X				X													
<i>Kamptonema formosum</i>	F	NE		X	X		X	X		X		X					X				X	X					
<i>Kamptonema okenii</i>	F	NE																X									
<i>Microcoleus autumnale</i>	F	NE																	X								
<i>Planktothrix isothrix</i>	F	NE	X	X	X	X	X	X				X			X	X	X	X	X								
<i>Porphyrosiphon luteus</i>	P	PE			X																						
<i>Porphyrosiphon versicolor</i>	P	BR																				X					
<i>Sirocoleum guyanense</i>	F	PE											X														
<i>Sirocoleum</i> sp.	F																				X						
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	F	PE		X		X				X	X																
Microcystaceae																											
<i>Microcystis aeruginosa</i>	F	NE	X	X	X	X	X																				
<i>Microcystis wasenbergii</i>	F	PE			X																						
<i>Sphaerocavum brasiliense</i>	F	NE	X					X																			
Nostocaceae																											
<i>Hydrocoryne</i> sp.	F							X																			
	P																X										
Oscillatoriaceae																											

Table 1. Habit, new occurrences (new occur.) for the mangrove ecosystem and distribution of species by locality, sampling point and tide in the sampled areas. Subtitle: F-Phytoplankton, P-Periphyton; BR–Brazil, NE-Northeast, PE-Pernambuco; Tide: L-Low tide, H-High tide; X-presence; Roots: squeezed from *Salvinia* sp.

Taxa	Habitat	New occurrences	Barra de Jangadas			Santa Cruz			Formoso			Una			Roots
			Mouth		Middle	Upstream		Mouth	Middle	Upstream	Mouth	Middle	Upstream	Roots	
			L	H	L	L	H	L	H	L	L	H	L	L	
			L	H	L	L	H	L	H	L	L	H	L	L	
<i>Lyngbya aestuarii</i>	F	PE			X										X
	P	PE													X
<i>Lyngbya</i> cf. <i>aestuarii</i>	F									X			X	X	
<i>Lyngbya martensiana</i>	F	NE						X	X						
<i>Lyngbya</i> sp.	F											X			
<i>Oscillatoria bonnemaisonii</i>	F	NE						X	X	X					
<i>Oscillatoria corallinae</i>	F	PE						X	X	X		X	X	X	
<i>Oscillatoria limosa</i>	F	NE							X	X	X	X			
<i>Oscillatoria ornata</i>	F	NE									X				
<i>Oscillatoria</i> sp.1	P											X			X
<i>Oscillatoria</i> sp.2	F								X						
	P											X			
<i>Oscillatoria tenuis</i>	F	NE						X							
<i>Phormidium</i> aff. <i>calcareum</i>	F									X					
<i>Phormidium ambiguum</i>	F	NE						X	X	X	X				
<i>Phormidium articulatum</i>	F	BR							X	X					
<i>Phormidium</i> cf. <i>pachydermaticum</i>	F								X		X				
<i>Phormidium</i> cf. <i>willei</i>	F							X							
<i>Phormidium chalybeum</i>	F	BR		X	X	X	X					X	X		
<i>Phormidium interruptum</i>	F	BR								X					
<i>Phormidium litorale</i>	F	BR										X			
<i>Phormidium lucidum</i>	F	BR				X									
	P	BR				X								X	
<i>Phormidium retzii</i>	F	NE	X	X	X			X				X			
<i>Phormidium</i> sp.1	F											X			
<i>Phormidium</i> sp.2	F		X												
<i>Phormidium</i> sp.3	F													X	
<i>Phormidium</i> sp.4	F														X
<i>Phormidium terebriforme</i>	F	BR	X						X			X			
<i>Phormidium tergestinum</i>	F	NE										X	X		
	P	NE			X	X									
Phormidiaceae															
<i>Potamolinea aerogineocaerulea</i>	P	NE			X			X		X	X				

Table 1. Habit, new occurrences (new occur.) for the mangrove ecosystem and distribution of species by locality, sampling point and tide in the sampled areas. Subtitle: F-Phytoplankton, P-Periphyton; BR–Brazil, NE-Northeast, PE-Pernambuco; Tide: L-Low tide, H-High tide; X-presence; Roots: squeezed from *Salvinia* sp.

Taxa	Habitat	New occurrences	Barra de Jangadas						Santa Cruz						Formoso						Una						Roots	
			Mouth		Middle		Upstream		Mouth		Middle		Upstream		Mouth		Middle		Upstream		Mouth		Middle		Upstream			
L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L		
Pseudanabaenaceae																												
<i>Pseudanabaena</i>	F	NE								X											X	X		X				
<i>catenata</i>	P	NE		X										X	X													
<i>Pseudanabaena</i>	F	BR				X														X	X	X						
<i>galeata</i>	P	BR												X														
Spirulinaceae																												
<i>Spirulina major</i>	F	x	X	X																								
<i>Spirulina</i>	F	BR				X																X	X		X			
<i>meneghiniana</i>																												
<i>Spirulina subsalsa</i>	F	PE																				X						
Synechococcales																												
<i>Heteroleibleinia</i>	F	NE		X						X																		
<i>kuetzingii</i>																												
Trichocoleusaceae																												
<i>Trichocoleus</i>	P	PE						X						X							X							
<i>tenerrimus</i>																												
Xenococcaceae																												
<i>Xenococcus</i> aff.	P																					X						
<i>minimus</i>																												
<i>Xenococcus</i>	P													X	X	X					X							
<i>schousboei</i>																												

The morphological descriptions of the identified taxa are presented below.

Oscillatoriales

Oscillatoriaceae

Phormidium Kützing ex Gomont 1892

Phormidium articulatum (Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988

Basionym: *Oscillatoria articulata* N.L.Gardner 1927

Figure: 2 a

Description: Sheath absent, trichomes solitary, long and straight, blue-green, 3.4-5.1 µm diam., slightly constricted, unattenuated at apex, isodiametric cells to shorter than wide, cell content slightly granular, 1,6-2.6 µm long, apical cell rounded, without thickening.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Phormidium chalybeum (Mertens ex Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988

Basionym: *Oscillatoria chalybea* Mertens ex Gomont 1892

Figure: 2 b

Description: Sheath absent, trichomes solitary, straight, grey green to olive green, 6.4-7.8 µm diam., slightly constricted at non-granular cross-walls, slightly attenuated at apex, cells isodiametric to flattened, shorter than wide, 2, 1-5 µm long, finely granular cell content, apical cell rounded and curved, without calyptra or thickening. Observed the formation of necridia.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium retzii* Kützinger ex Gomont 1892**

Figure: 2 c

Description: Sheath absent, trichomes solitary, bright bluish-green, 7-8.1 µm diam., slightly constricted at cross-walls not granular, unattenuated at apex, cells isodiametric to shorter than wide, 3.1-5.5 µm long, homogeneous cell content, apical truncated or obtuse-rounded cell, without calyptra, and may have thin thickening on the apical wall.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium interruptum* Kützinger ex Forti 1907**

Figure: 2 d

Description: Absent sheath, trichomes solitary, bright blue-green, 6.6-7 µm diam., not constricted into finely granular cross-walls, unattenuated at apex, cells flattened, shorter than wide, finely granular cell contents with larger granules scattered throughout trichome, 1.9-3.6 µm long, apical cell flat-rounded.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium terebriforme* (Agardh ex Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988**

Basionym: *Oscillatoria terebriformis* C. Agardh ex Gomont 1882

Figure: 2 e

Description: Sheath absent, trichomes solitary, straight or curved, bright blue-green, 3.4-4.8 µm diam., slightly constricted at cross-walls finely granular, gradually attenuated at apex, cells isodiametric to shorter than wide, 2.1- 6 µm long, hemispherical rounded apical cell, without calyptra or without thickening.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium ambiguum* Gomont 1892**

Figure: 2 f

Description: Sheath thin, firm, colorless, sometimes denser, diffuent, trichome solitary, bright blue-green, 4.3-6.2 µm diam., slightly constricted, unattenuated, straight, non-capitate, cells flattened, wider than long, 1.8-2.8 µm long, granular cell content, apical cell, rounded, sometimes thickened, without calyptra.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium litorale* Golubic 1960**

Figure: 2 g-h

Description: Filaments aggregated, sometimes forming bundles, sheath thin, firm, hyaline, sometimes slightly diffuent, trichomes solitary, blue-green, 3.2-4 µm diam., not or slightly constricted, straight or curved, cells isodiametric to flattened, 4.9-6 µm long, longer than wide, cell contents slightly granular, apical cell slightly attenuated, conical-obtuse, with calyptra.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium tergestinum* (Rabenhorst ex Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988**

Basionym: *Oscillatoria tenuis* var. *tergestina* Rabenhorst ex Gomont 1892

Figure: 2 i

Description: Sheath absent, trichomes solitary, olive to bright green, 5.2-7.5 µm in diam., straight or flexible, not or slightly constricted at granular cross-walls, sometimes translucent, unattenuated, cells isodiametric to flattened, 2.3-4.4 µm long, shorter than wide, homogeneous cell content, occasional granules, apical cell rounded or flat-rounded, no thickening.

Habit: Registered in phytoplankton samples and mangrove periphyton.

***Phormidium lucidum* Kützinger ex Gomont 1892**

Figure: 1 j

Description: Sheath absent, trichome solitary, pale green, 6-7.4 µm diam., not or slightly constricted, attenuated at apex, cells flattened, 1.2-2.7 µm long, homogeneous cell content, sometimes granular in the cross-walls, apical elongated and capitate cell.

Habit: Registered in phytoplankton samples and mangrove periphyton.

***Phormidium* cf. *pachydermaticum* Frémy 1930**

Figure: 2 k

Description: Absent sheath, trichomes solitary, blue-green, curved and flexible, not constricted at cross-walls sometimes translucent, fine granulation near cross-walls, 4.9-6.1 µm diam., isodiametric cells, 4.1-5.9 µm long, cell content finely granular, apical cell conical-obtuse.

Differs from the original description in terms of the absence of sheath and the habit of the species. In the work of Komárek and Anagnostidis (2005), it is described as a subaerophytic species, in tree trunks or wet rocks in freshwater, being common in Brazil and the population of the present study was found in estuarine phytoplankton.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium* cf. *willei* (N.L.Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988**

Basionym: *Oscillatoria willei* N.L.Gardner 1927

Figure: 2 l

Description: Trichomes solitary, long and straight, bluish-green, 2.1-3 µm diam., unconstrained to slightly constricted, unattenuated at apex, cells isodiametric to shorter than wide, 1.2-3.2 µm long, homogeneous cell content, apical cell rounded, may be curved, without thickening.

The species could not be confirmed due to the amplitude of the diameter values, in which the recorded one presents values ranging from smaller to larger than the one described in Komárek and Anagnostidis (2005), in addition to the curved apical cell that, being acuminate, may not be compared to description.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium* aff. *calcareum* Kützinger ex Gomont 1892**

Figure: 2 m

Description: Sheath absent, trichome solitary, pale blue-green, straight to slightly curved, 2.7-3.8 µm diam., not constricted to slightly constricted, slightly granular near cross-walls, gradually attenuated towards apex, isodiametric cells to shorter than wide, 1.4-3.5 µm long, finely granular cell content, conical apical cell with spherical calyptra at the end of the trichome.

In the description by Komárek and Anagnostidis (2005) the species is highlighted as epilithic subaerophytic, in humid or submerged limestone, while the population of the present study was found in estuarine phytoplankton, so the identification could not be confirmed.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium* sp. 1**

Figure: 2 n

Description: Sheath absent, trichome solitary, bluish-green to light green, straight, 6-8.1 µm diam., not constricted to slightly constricted, not or slightly granular near septum, not attenuated, cells isodiametric to flattened, shorter than wide, 3.1-5.5 µm long, granular cell content, apical cell rounded or flattened.

Due to the flattened or slightly rounded apical cell together with the other characteristics, mainly cell diameter and length, it was not possible to identify the population at the species level.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium* sp. 2**

Figure: 2 o

Description: Sheath absent, trichome solitary, light blue green, straight, 5.9-6.4 µm diam., attenuated to apex not constricted, not granular at cross-walls, cells flattened, shorter than wide, 2.1-4 µm long., granular cellular content, apical conical-tapered cell with hook-shaped sinuosity.

The trichome is differentiated by the short cells and the apical cell with hook-shaped sinuosity, a characteristic that does not resemble the species described in the literature.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium* sp. 3**

Figure: 2 p

Description: Sheath absent, trichome solitary, bluish-green, straight to slightly curved, 5.5-6.3 µm diam., unattenuated, constricted at cross-walls, slightly granular at cross-walls, cells flattened, shorter than wide, 2,3- 3.6 µm long, granular cell content, apical flat-rounded cell.

It was not possible to identify the species due to the unique constraints along with other characteristics such as chromatoplasm separation and diameter and length measurements that could not be found in the species described in the literature.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Phormidium* sp. 4**

Figure: 2 q

Description: Sheath thin, colorless, trichome solitary, dark green, 9.4-9.7 µm dia., unattenuated, not constricted, isodiametric cells shorter than wide, 7.5-10.3 µm long, cross-walls translucent, granular cell content, apical cell rounded, no thickening.

It was not possible to identify the species due to the set of characteristics not described in the literature, such as the translucent cross-walls next to the flattened-rounded apex and the measurements of cell diameter and length.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Potamolinea* M.D.Martins & L.H.Z.Branco 2016**

***Potamolinea aerugineocaerulea* (Gomont) M.D.Martins & L.H.Z.Branco 2016**

Basionym: *Lyngbya aerugineocaerulea* Gomont 1892

Figure: 3 a

Description: Filaments curved, sheath thin, firm, hyaline, trichome solitary or matted, olive green, bright light green, 3.1-4.2 µm diam., unattenuated, not constricted, cross-walls not granular, sometimes translucent, cells 2.5-4 µm long, isodiametric to shorter than wide, homogeneous cell content, apical cell rounded, without thickening.

Habit: Registered in phytoplankton samples and mangrove periphyton.

***Oscillatoria* Vaucher ex Gomont 1892**

***Oscillatoria tenuis* Agardh ex Gomont 1892**

Figure: 3 b

Description: Trichomes solitary, dark green, straight or slightly curved, unattenuated at apex, not constricted in non-granular cross-walls, 11.7-12.7 µm diam., cylindrical, cells shorter than wide, 2.9-4.9 µm long, granular cell content, apical cell rounded, with slight wall thickening.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Oscillatoria corallinae* Gomont ex Gomont 1890**

Figure: 3 c-d

Description: Trichomes solitary, blue green to brown, 6.7-7.7 µm diam., slightly constricted at non-granular cross-walls, slightly attenuated and wavy, cells wider than long, 1-3 µm long, cell content granular, cell apical conical-rounded, may have slight thickening.

In the original description of Gomont (1892) the trichomes are described as tortuous to flexible, highlighting the wavy characteristic, but in Komárek & Anagnostidis (2005) the trichome is described as straight.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Oscillatoria ornata* Kützinger ex Gomont 1892**

Figure: 2 e

Description: Trichomes solitary, dark olive green, straight to flexible, unattenuated at apex, constricted at cross-walls not granular, 9.1-14.4 µm diam., cells flattened, shorter than wide, 2.5-4.9 µm long, finely granular cell contents, with distinct granules near the cross-walls, apical cell rounded, without calyptra or thickening.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Oscillatoria bonnemaisonii* P.Crouan & H.Crouan ex Gomont 1892**

Figure: 3 f

Description: Trichomes solitary, olive to dark green, 20.9-27.3 µm diam., straight or slightly curved, not constricted at cross-walls not granular, slightly attenuated at apex, cells flattened, much shorter than wide, 4, 2-8.4 µm long, finely granular cell contents, truncated apical cell.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Oscillatoria limosa* C.Agardh ex Gomont 1892**

Figure: 3 g

Description: Trichome solitary, dark green to light glossy, straight or flexible, slightly attenuated at apex, sometimes one slightly curved at apex, 16.2-21.7 µm diam., not constricted, cross-walls not or slightly granular, cells flattened, shorter rather than wide, 3.3-6.2 µm long, granular cell content, apical cell rounded, may have slight thickening, no calyptra.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Oscillatoria* sp.**

Figure: 3 i

Description: Trichome solitary, dark green to blackish, straight to slightly flexible, 11.7-12.8 µm diam., not constricted, cross-walls not or finely granular, cells flattened, 2.9-4.8 µm long, cell content granular, apical rounded cell.

The trichomes present numerous granules throughout the cellular content that, together with the cellular measurements, were not compatible with the species described in the literature.

Habit: Registered in phytoplankton samples and mangrove periphyton.

***Lyngbya* C. Agardh ex Gomont 1892**

***Lyngbya martensiana* Meneghini ex Gomont 1892**

Figure: 3 j

Description: Filaments long, curved or flexible, occasionally straight, 5.5-5.8 µm diam., sheath hyaline, thick, 0.9-1.3 µm diam., simple to irregularly lamellated, cylindrical trichomes, pale blue-green, 4.2-4.5 µm diam., not constricted in finely granular cross-walls, no attenuation at apex, cells flattened, shorter than wide, 1.1-1.5 µm long, homogeneous cell content, apical cell rounded, without calyptra or thickening.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Lyngbya aestuarii* Liebman ex Gomont 1892**

Figure: 3 k-l

Description: Filaments straight, flexible or curved, sheath thin, firm, colorless, trichome straight, light green, 8-15.5 µm diam., not constricted, cross-walls barely visible, cells flattened, shorter than wide, 2-7, 3 µm long, granular cell content, apical rounded cell, no thickening, no calyptra.

Habit: Registered in phytoplankton samples and mangrove periphyton.

***Lyngbya* cf. *aestuarii* Liebman ex Gomont 1892**

Figure: 3 m

Description: Filaments straight, flexible or curved, sheath thin, firm, colorless, trichome straight, light green, 6.5-8.4 µm diam., not constricted, cross-walls barely visible, sometimes translucent, cells flattened, shorter than wide, 1.8-2.9 µm long, granular cell content, apical cell rounded, no thickening, no calyptra.

The descriptive characteristics are similar to the species *Lyngbya aestuarii*, however the measurements of the population analyzed here are smaller.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Lyngbya* sp. 1**

Figure: 3 n-o

Description: Filaments straight or curved, 17.9-19.6 µm diam., sheath thick, colorless, hyaline, light green trichome, 8.1-8.6 µm dia., without constriction, cells flattened, shorter than wide, 1.1-1.5 µm long, cell contents with many granules, apical cell rounded, may have thickening, no calyptra.

The set of measurements, calyptra formation in the apical cell and especially the thick sheath do not resemble any of the species described in the literature, and cannot be identified at a specific level.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Lyngbya sp. 2

Figure: 3 h

Description: Straight filament, sheath colorless, firm, trichome solitary, dark green, olive green, 24.9-40 µm diam., not constricted, cross-walls sometimes finely granular, cells flattened, 2.9-4.2 µm long., finely granular cell content, apical cell rounded, no thickening, no calyptra.

Habit: Registered in the mangrove periphyton.

Microcoleaceae

Hydrocoleum Kützinger ex Gomont, 1892

***Hydrocoleum lyngbyaceum* Kützinger ex Gomont 1892**

Figure: 3 p-q

Description: Bundles with several filaments aggregated, filaments straight, sheath colorless, diffluent, may be absent, trichome yellowish green to light green, 9.7-15.8 µm diam., non-constricted, more or less attenuated, cross-walls sometimes granular, cells flattened, 1.7-4.1 µm long, cell contents finely granular, apical cell truncated, rounded, thickened or calyptra, button-shaped.

Habit: Registered in the mangrove periphyton.

***Kamptonema* Strunecký et al. 2014**

***Kamptonema formosum* (Bory ex Gomont) Strunecký, Komárek & Smarda 2014**

Basionym: *Oscillatoria formosa* Bory ex Gomont 1892

Figure: 4 a

Description: Trichomes solitary, straight, blue-green, 4.7-6.5 µm diam., slightly constricted at cross-walls finely granular, slightly attenuated at apex which may be curved, cells commonly isodiametric or shorter than wide, 2.9-5.3 µm long, cell contents finely granular, with occasional large granules, apical cell rounded-conical, without calyptra or thickening.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Kamptonema okenii* (C.Agardh ex Gomont) Strunecký, Komárek & J.Smarda 2014**

Basionym: *Oscillatoria okenii* C.Agardh ex Gomont 1892

Figure: 4 b

Description: Trichomes solitary, straight or flexible, bright olive green, 4.1-5.7 µm diam., slightly constricted, cross-walls translucent, gradually attenuated, cells 3.8-5 µm long, cells flattened to isodiametric, cell content with small granules and presenting differentiation in chromato-centroplasma, apical rounded or rounded conical cell, wider than the other cells of the trichome, without thickening.

Habit: Registered in phytoplankton samples and mangrove periphyton.

Planktothrix Anagnostidis et Komárek 1988

***Planktothrix isothrix* (Skuja) Komárek & Komárková 2004**

Basionym: *Oscillatoria agardhii* var. *isothrix* Skuja 1948

Figure: 4 c

Description: Trichomes solitary, straight, dark blue-green, 5.7-6.3 µm diam., slightly constricted at cross-walls, unattenuated at apex, cells slightly shorter than wide near isodiametric, 2.8-3.7 µm long, cellular content with several aerotopes that guarantee a brown color in the center of the trichomes, apical cells cylindrical rounded.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Trichodesmium Ehrenberg ex Gomont 1892

***Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont 1892**

Figure: 4 d

Description: Trichomes solitary, straight, bluish-green to bright purple, 8.7-10.5 µm diam., slightly constricted at the cross-walls, cells shorter than wide to isodiametric, 3.4-6.5 µm long, finely granular content, with aerotopes, apical flat-rounded cells, with calyptra.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Microcoleus Desmazières ex Gomont 1892

***Microcoleus autumnalis* (Gomont) Strunecky, Komárek & J.R.Johansen 2013**

Basionym: *Phormidium autumnale* Gomont 1892

Figure: 4 h

Description: Trichomes solitary, straight, olive green, 4.5-5.8 µm diam., slightly constricted at cross-walls slightly granular and translucent, attenuated to apex curved, cells shorter than wide to isodiametric, 2.5-5.7 µm long, finely granular cell content, elongated apical cell, with rounded calyptra.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Coleofasciculus chthonoplastes* (Gomont) M.Siegesmund, J.R.Johansen & T.Friedl 2008**

Basionym: *Microcoleus chthonoplastes* Thuret ex Gomont 1892

Figure: 4 e-g

Description: Filaments elongate, irregularly curved, 14.7-18.7 µm diam., with 3 to multiple trichomes, light green sheath, attenuated to apex of filament, most often open, light green or dark green trichomes, 3- 4.1

µm dia., slightly constricted at cross-walls sometimes translucent, cells 2.6-4.3 µm long, isodiametric to longer than wide, apical cell conical or conical-rounded.

Habit: Registered in the mangrove periphyton.

***Sirocoleum* Kützinger ex Gomont 1892**

***Sirocoleum guyanense* Kützinger ex Gomont 1892**

Figure: 4 i-l

Description: Filament pseudo-dichotomously branched, with one to several trichomes, sheath colorless, hyaline, firm, with clear lamellated striations increasing towards the base, trichomes 6.4-6.9 µm diam., slightly constricted, bright light green cells, 4.8-7.6 µm long, isodiametric to longer than wide, homogeneous cell content, apical cell conical-rounded.

Habit: Registered in substrate collected floating on estuarine phytoplankton.

***Sirocoleum* sp.**

Figure: 4 m-n

Description: Filament with multiple trichomes, sheath, colorless, hyaline, firm, laminated in some parts, light green trichomes, 5.4-6.5 µm diam., cells flattened 2.7-3.5 µm long, shorter than wide, granular cell content, rounded apical cell.

According to Komárek and Anagnostidis (2005), *Sirocoleum* has only two species, both described for tropical environments, *Sirocoleum guyanense* and *Sirocoleum kurzii* Gomont ex Gomont 1892. However, the presently discussed population has cellular measurements that are not within the range of either of the two, and may be a new species.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Porphyrosiphon* Kützinger ex Gomont 1892**

***Porphyrosiphon versicolor* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988**

Basionym: *Lyngbya versicolor* Gomont 1892

Figure: 4 o-p

Description: Filaments curved, intertwined with each other, 3.7-4 µm diam., sheath thin, firm, hyaline, colorless, trichome 2.4-2.9 µm diam., olive green, non-constricted, non-attenuated, 2 cells .4-3.3 µm long, isodiametric to longer than wide, cell content with granules in the center, apical cell rounded.

Habit: Registered in the mangrove periphyton.

***Porphyrosiphon luteus* (Gomont ex Gomont) Anagnostidis et Komárek 1988**

Basionym: *Lyngbya lutea* Gomont 1892

Figure: 4 q-r

Description: Filaments straight, cylindrical, solitary, sheath yellowish-brown, dense, lamellate, close to trichome, trichomes yellowish-green, slightly constricted, cross-walls finely grained, 5-5.4 µm diam., cells 3.4-4.9 µm long, wider than long to isodiametric, apical cell rounded or conical-rounded.

Habit: Registered in the mangrove periphyton.

Gomontiellaceae

***Komvophoron* Anagnostidis et Komárek 1988**

***Komvophoron breve* (N.Carter) Anagnostidis 2001**

Basionym: *Pseudanabaena brevis* N.Carter 1933

Figure: 5 a

Description: Trichomes solitary, pale blue-green, straight to slightly curved, unattenuated at apex, strongly constricted at cross-walls, 3.8-4.5 µm diam., barrel-shaped cells, isodiametric, 3.2-4.3 µm long, homogeneous cell content, apical rounded cell.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Coleofasciculaceae

***Geitlerinema* Anagnostidis 1989**

***Anagnostidinema amphibium* (C.Agardh ex Gomont) Strunecký, Bohunická, J.R. Johansen & J. Komárek 2017**

Basionym: *Oscillatoria amphibia* C.Agardh ex Gomont 1892

Figure: 5 b

Description: Trichomes solitary, straight, pale to glossy blue-green, 1.8-2.3 µm diam., not constricted at translucent cross-walls, unattenuated at apex, cells longer than wide, 3.6-4.3 µm long., with a distinct granule on each side of the cross-walls, apical cell rounded.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Spirulinales

Spirulinaceae

***Spirulina* Turpin ex Gomont 1892**

***Spirulina meneghiniana* Zanardini ex Gomont 1892**

Figure: 5 c

Description: Trichomes coiled, solitary, shiny blue green, straight or curved, 1.3-2.1 µm diam., coils slightly loose, clockwise rotation, distance between coils 3-4 µm, height of whorls 2.9-3.3 µm, blue green cell content, homogeneous, apical rounded cell.

Spirulina meneghiniana is differentiated from *Spirulina major* by the long trichome and non-visible cross-walls and in *S. major* the trichome is limited to 300-800 µm with visible marked cross-wall.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Spirulina major* Kützing ex Gomont 1892**

Figure: 5 d

Description: Trichomes coiled, solitary, larger than 300 µm, shiny blue-green, solitary, flexible to curved, 1.3-1.5 µm diam., coils slightly loose, counterclockwise rotation, distance between coils 3.3-4 µm, height of coils 3.1-4.2 µm, homogeneous cell content, apical cell rounded.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Spirulina subsalsa* Oersted ex Gomont 1892**

Figure: 5 e

Description: Trichome coiled, solitary, blue-green, 0.7-1.1 µm diam., coils very close together, juxtaposed, distance between coils 1.2-1.6 µm, height of coils 2-2.6 µm, cell content homogeneous, apical rounded cell.

The trichome diameter (0.7-1.1 µm) is slightly below the value described in Komárek and Anagnostidis (2005) (0.8-2 µm). However, the same value has already been described for the species in Caires et al. (2019).

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Synechococales

Pseudanabaenaceae

***Pseudanabaena* Lauterborn 1915**

***Pseudanabaena catenata* Lauterborn, 1915**

Figure: 5 f

Description: Trichomes solitary, straight and flexible, unattenuated at apex, constricted at hyaline cross-walls and without granules, cells cylindrical, longer than wide, 1.9-2.3 µm diam., 2.4-3.7 µm long, homogeneous content, olive green, apical cell rounded without thickening, with aerotopes only at the apex.

The observed cells have a smaller length range (2.4-3.7 µm) compared to the description of Komárek and Anagnostidis (2005) (2-6 µm). However, they present other characteristics similar to those described by these authors.

Habit: Registered in phytoplankton samples and mangrove periphyton.

***Pseudanabaena galeata* Böcher 1949**

Figure: 5 g

Description: Trichomes solitary, straight or flexible, unattenuated at apex, slightly or not constricted at translucent cross-walls, cells rectangular, longer than wide, 1-2.1 µm diam., 1.6-4 µm long, homogeneous content or with single granules, shiny light green, without aerotopes, apical cell rounded without thickening.

P. galeata e *P. catenata* have overlapping measurements and features, such as translucent cross-walls. However, they are differentiated by the possible presence of small aerotopes and a flattened-rounded apical cell in *P. galeata*, while *P. catenata* has a rounded apical cell and never with aerotopes.

Habit: Registered in phytoplankton samples and mangrove periphyton.

Heteroleibleiniaceae

***Heteroleibleinia* (Geitler) Hoffmann 1985**

***Heteroleibleinia kuetzingii* (Schmidle) Compère 1985**

Basionym: *Lyngbya kuetzingii* Schmidle 1897

Figure: 5 i

Description: Filaments adhered to substrate, sheaths thin, hyaline, trichomes straight or curved, no constriction, no attenuation, 0.6-1.8 µm diam., cells 0.7-1.5 µm long, homogeneous cell content, greenish-green glossy clear, rounded apical cell.

Habit: Registered epiphytes on floating macroalgae, collected from estuarine phytoplankton.

Leptolyngbyaceae

***Phormidesmis* Turicchia et al. 2009**

***Phormidesmis mollis* (Gomont) Turicchia, Ventura, Komárková & Komárek 2009**

Basionym: *Phormidium molle* Gomont 1892

Figure: 5 h

Description: Trichome solitary, bluish-green, straight, unattenuated to apex, slightly but distinctly constricted at cross-walls, 3.5-5 µm diam., barrel-shaped cells, 1.5-3.4 µm long, homogeneous content, apical cell with rounded apex without thickening.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Leptolyngbya Anagnostidis et Komárek 1988

***Leptolyngbya fragilis* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988**

Basionym: *Phormidium fragile* Gomont 1893

Figure: 5 j

Description: Filament light green, slightly curved, unattenuated, constricted in translucent cross-walls, sheath thin, firm, hyaline, isodiametric cells, 1.5-3 µm diam., 1.7-2.3 µm long, homogeneous content, cell apical elongated, longer than other cells, rounded without thickening.

Habit: Registered epiphytes on macroalgae in the mangrove periphyton.

***Leptolyngbya* sp.**

Figure: 5 k-l

Description: Trichomes solitary, straight or curved, sometimes attenuated at apex, thin sheath, hyaline with spaces at apex and during trichome, light green, not constricted, 2.1-3.7 µm diam., translucent cross-walls

barely visible or not visible, cell contents with several granules, apical cell rounded or elongated and attenuated, without thickening.

Due to the diverse granules in the cellular content and barely visible cross-walls, this population could not be associated with any species described in the literature, but the characteristics of the filaments, such as thickness, presence of sheath and attenuation at the apex are characteristic of the genus *Leptolyngbya*.

Habit: Registered in phytoplankton samples and mangrove periphyton.

Trichocoleus Anagnostidis 2001

***Trichocoleus tenerrimus* (Gomont) Anagnostidis 2001**

Basionym: *Microcoleus tenerrimus* Gomont 1892

Figure: 5 m-o

Description: Filaments solitary, 1-5 trichomes per sheath, sheath closed, attenuated at apex or open, hyaline and firm, trichomes constricted, olive to dark green, 1.5-2 µm diam., cross-walls translucent, cells 1.9 -3.3 µm long, isodiametric to longer than wide, homogeneous cell content, tapered conical apical cell.

Habit: Registered in the mangrove periphyton.

Merismopediaceae

Merismopedia Meyen 1839

***Merismopedia tranquilla* (Ehrenberg) Trevisan 1845**

Basionym: *Gonium tranquillum* Ehrenberg 1834

Figure: 6 a-b

Description: Colonies flat, rectangular, 15.0-26.1 µm diam., 16.4-33.3 µm long, with 22-44 cells, homogeneous mucilage, firm, colorless, spherical or hemispherical cells, 2.6-3.4 µm diam., homogeneous content, blue-green.

The morphological characteristics presented by the observed populations are in accordance with those reported for the species *Merismopedia punctata* in Komárek and Anagnostidis (1998), however this is an invalid name and corresponding to *Merismopedia tranquilla* (Ehrenberg) Trevisan 1845.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Chroococcales

Microcystaceae

Microcystis Kützinger ex Lemmermann 1907

***Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek ex Komárek 2006**

Basionym: *Diplocystis wesenbergii* Komárek 1958

Figure: 6 c

Description: Colonies mucilaginous, spherical, with hyaline mucilage, firm and delimited (conspicuous), with cells irregularly arranged throughout the mucilage spherical cells, light green cell content, with distinct and numerous aerotopes, 4.5-5.7 µm in diam.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing 1846**

Basionym: *Micraloa aeruginosa* Kützing 1833

Figure: 6 d-e

Description: Mucilaginous colonies, spherical or irregular, younger colonies fully filled, larger colonies may show clathration (empty spaces) and subcolonies, inconspicuous mucilage, diffluent, spherical cells, shiny dark green, cell contents with distinct aerotopes, 3,2-4, 9 µm diam.

Colonies with different sizes and shapes were found, which is common in the species that presents great morphological variability (Komárek and Anagnostidis 1998), mainly in very eutrophic environments such as the Jaboatão River estuary, sampled in this work and where *Microcystis aeruginosa* was recorded exclusively.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Sphaerocavum* Azevedo et Sant'Anna 2003**

***Sphaerocavum brasiliense* Azevedo & Sant'Anna 2003**

Figure: 6 f-g

Description: Colonies hollow, mucilaginous, irregular, with cells densely arranged in the peripheral layer, mucilage colorless, diffluent, spherical cells, shiny dark green, cell content with distinct aerotopes, 2.1-3.6 µm diam.

Tropical and subtropical species described for eutrophic environments differs morphologically from the genus *Microcystis* by the hollow colony, the result of cell division in two planes, which in *Microcystis* occurs in three (Komárek and Anagnostidis 1998). According to molecular data, *Sphaerocavum brasiliense* cannot be distinguished from *Microcystis*, and the combination of this species in *Microcystis brasiliensis* has been proposed (Azevedo & Sant'Anna) Rigonato et al., nom. inval. 2017 (Azevedo and Sant'Anna 2003). However, the combination is not valid according to the nomenclatural rules of the naming code for Algae, Fungi and Plants (Turland et al. 2018) and therefore *Microcystis brasiliensis* cannot be used.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Aphanothecaceae

***Aphanothece* Nägeli 1849**

***Aphanothece bachmannii* Komárková-Legnerová & G.Cronberg 1994**

Figure: 6 h

Description: Mucilaginous colonies, spherical or irregular, with densely arranged cells in peripheral layer and throughout mucilage, colorless mucilage, diffuent, spherical or elongated cells, shiny dark green, homogeneous cell content, 0.8-1.3 µm diam., 1.1-1.8 µm long.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Cyanothrichaceae

***Johannesbaptistia* DeToni 1934**

***Johannesbaptistia pellucida* (Dickie) W.R.Taylor & Drouet 1938**

Basionym: *Hormospora pellucida* Dickie 1874

Figure: 6 i

Description: Uniseriate pseudofilaments, 138 µm long, with spaced cells, colorless mucilage, hyaline, cells flattened to rounded, 5.1-6.1 µm diam., 3.1-4.7 µm long, shorter than wide, content homogeneous cell, bright light green.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Chroococcaceae

***Chroococcus* Nägeli 1849**

***Chroococcus dispersus* (Keissler) Lemmermann 1904**

Basionym: *Chroococcus minor* var. *dispersus* Keissler 1902

Figure: 7 a-b

Description: Colonies spherical or irregular, mucilage colorless, diffuent, without defined margin, 27-39 cells, hemispherical cells, more or less spaced and distributed in the mucilage, 3.1-4.2 µm diam., bright light green cell content, homogeneous.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Chroococcus minimus* (Keissler) Lemmermann 1904**

Basionym: *Chroococcus minutus* var. *minimus* Keissler 1901

Figure: 7 c

Description: Colonies spherical or irregular, mucilage colorless, diffuent, without defined border, 28 cells, spherical cells, clustered at several points within the mucilage, 2.7-3.8 µm diam., dark green cell content, homogeneous.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

***Chroococcus pulcherrimus* Welsh 1965**

Figure: 7 d

Description: Colonies composed of two half-cells, sheath mucilaginous, hyaline, colorless, firm, well-delimited and juxtaposed, 2.7-3.1 µm thick, spherical or hemispherical cells, 10-16.7 µm diam., green cell content dark or olive green, homogeneous.

Habit: Registered in the mangrove periphyton.

***Chroococcus sonorensis* Drouet & Daily 1942**

Figure: 7 e

Description: Colonies spherical or irregular, mucilage colorless, diffuent, margin undefined, 18-29 cells, spherical cells, aggregated in center of mucilage, 3.3-5.2 µm diam., cell content dark green, homogeneous.

Chroococcus sonorensis differs from *Chroococcus limneticus* Lemmermann 1898 only by habitat, with *C. sonorensis* described for brackish water pools close to the beach while *C. limneticus* is described in fresh water.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Pleurocapsales

Hydrococcaceae

***Myxohyella* Geitler 1925**

***Myxohyella papuana* Hoffmann 1992**

Figure: 7 f

Description: Thallus with regions differentiated by distinct and irregular types of cell growth, cells 2.2-4.3 µm diam., more or less isodiametric at the base, 2.5-4 µm long, pseudofilament formed near the apex, 3.8 - 5.7 µm long, light or dark green cell content, shiny, homogeneous, with or without one or two granules.

According to Branco et al. (2003) is epiphytic in macroalgae, as in the description of Hoffman (1992).

Habit: Registered epiphytes on macroalgae in the mangrove periphyton.

Xenococcaceae

***Xenococcus* Thuret 1880**

***Xenococcus schousboei* Thuret 1880**

Figure: 7 h

Description: Baeocytes not observed, spherical or oval cells, 3-4.5 µm diam., densely aggregated, attached to substrate, populations found epiphytes in red macroalgae 10.5-11.1 µm diam., surrounded by gelatinous mucilage, cellular content homogeneous, dark green.

Habit: Registered epiphytes on macroalgae in the mangrove periphyton.

***Xenococcus* aff. *minimus* Geitler 1922**

Figure: 7 g

Description: Spherical and oval cells, attenuated at the base, attached to the substrate forming a flat layer of cells densely aggregated with each other, 1.3-1.9 µm diam., homogeneous cell content, dark green, baeocytes not observed.

Despite the similar morphology and measurements, the species cannot be determined, because *X. minimus* is described in Komárek and Anagnostidis (1998) for fresh water. The estuarine periphyton, where the specimens of this work were recorded, is very susceptible to salinity and distinct from a freshwater environment.

Habit: Registered epiphytes on macroalgae in the mangrove periphyton.

Nostocales

Aphanizomenonaceae

***Anabaenopsis* (Woloszyńska) Miller 1923**

***Anabaenopsis elenkinii* Miller 1923**

Figure: 7 i

Description: Trichomes solitary, matted, 5.2-6.4 µm diam., constricted, unattenuated, barrel-shaped cells, 3.7-4.7 µm long, more or less isodiametric, bluish-green, cell contents with various aerotopes, terminal heterocytes 4.2-5.1 µm diam., 5.7 µm long.

Habit: Registered in estuarine phytoplankton.

Nostocaceae

***Hydrocoryne* Schwabe ex Bornet et Flahault 1886**

***Hydrocoryne* sp.**

Figure: 7 j-l

Description: Filaments straight to curved, sheath colorless, firm, trichomes cylindrical, constricted, unattenuated, cells spherical to barrel-shaped, 4.3-5.4 µm diam., cell content bluish-green, pale green, homogeneous, may have some granules. Heterocytes and akinetes not observed.

Hydrocoryne spongiosa it is the only species that meets the metric limits and the other characteristics observed, however, akinetes were not observed so that the identification of the species could be confirmed.

Habit: Registered in mangrove periphyton.

Discussion

The cyanobacterial community found in phytoplankton and periphyton have specific characteristics that directly influence species composition, as observed in the present study (Table 1). Commonly, these environments are not distinguished in survey studies, which may underestimate the richness of cyanobacteria in the analyzed environment. According to Branco et al. (2003), studies with similar approaches present punctual differences in the composition of the richness found due to different sampling and analysis methodologies, as previously reported (Baeta-Neves 1991a; Sant'Anna 1995, 1997; Nogueira and Ferreira-Correia 2001; Branco et al. 2003; Crispino and Sant'Anna 2006; Caires et al. 2019). As many do not provide specific information or little information about the specificity of the habitat of each species sampled, phytoplanktonic, periphytic and subaerophytic taxa are generally classified as just mangrove or marine taxa. Here, with the identification of cyanobacteria with two habits, it was possible to detect differences in the species composition in each habit, with phytoplankton containing 81%

taxa and periphyton, 31% (Table 1). Among the morphological differences, planktonic species were mostly simple, solitary filaments or trichomes, homocytous and coccoid, often presenting aerotopes for buoyancy, while in the periphyton, homocytous forms with sheaths containing from 1 to several trichomes, and coccoid epiphytes fixed on other algae were observed.

In general, *Oscillatoriales* was the most representative group, as in other studies (Sant'Anna and Simonetti 1991; Branco et al. 1997, 2003; Crispino and Sant'Anna 2006), with 41 identified taxa. This greater representativeness was also reported by Branco et al. (2003), who comment that this is probably because of a greater adaptability of these organisms to the environmental conditions of the mangrove. Baeta-Neves (1991b) reports the low occurrence of heterocytous forms in eutrophic environments, which present an increase mainly in nitrogen, dispensing with the fixation of this element from the atmosphere, which would eliminate the competitive advantage of heterocytous cyanobacteria and explain the low representativeness of these organisms in mangrove.

According to Sant'Anna (1995), the species richness decreases with increasing pollution, however, the opposite was observed in the Jaboatão River mangrove, where more sources of pollution are found compared to the other sampling sites, due to the proximity to the capital and greater use of the surroundings (Noriega et al. 2005b, a; Cavalcanti et al. 2008). It is also highlighted that large, heterocytous cyanobacteria are the most affected by pollution, but other groups may have a high number of individuals, as they are species adapted to high concentrations of nutrients of human origin, which in this study can be represented by *Microcystis aeruginosa*, *M. wessenbergii* and *Sphaerocavum brasiliense*, all found exclusively in the Jaboatão River estuary.

In the current study, *Phormidium* was the most representative genus, as seen in Branco et al. (1997), with 16 taxa identified here and of these. Furthermore, there was a similarity of five species identified in this study with that of Branco et al. (2003), the only similar study produced for the state of Pernambuco.

Among the species in common, the record of the genus *Myxohyella* is considered rare, and *Coleofasciculus chthonoplastes* is described as a cosmopolitan species, common in brackish and marine environments (Branco et al. 2003; Caires et al. 2019), and is the most common species cited in the literature for mangroves (Sant'Anna 1995, 1997; Branco et al. 1997, 2003; Crispino and Sant'Anna 2006), recorded in three of the four mangroves sampled in this study.

In addition to *C. chthonoplastes*, *Hydrocoleum lyngbyaceum*, *Komvophoron breve*, *Leptolyngbya fragilis*, *Oscillatoria corallinae*, *O. limosa*, *Phormidium chalybeum*, *P. retzii*, *P. terebriforme*, *P. tergestinum*, *Potamolinea aerogineocaerulea*, *Pseudanabaena galeata* and *Trichocoleus tenerrimus* were recorded in three of the four mangroves. Only *Kamptenema formosum* and *Pseudanabaena catenata* were recorded in all four sampled mangroves.

This study shows a high species richness compared to other surveys. This is probably due to sampling in two distinct habits (phytoplankton and periphyton), which in other studies has commonly been more restricted to a single habit or were produced with lower sampling.

Considerations

Sixty-six cyanobacterial taxa were identified, described, and illustrated, of which 51 were species and the others could not be confirmed at a species level. *Phormidium* was the most representative genus with 9 species, followed by *Oscillatoria* with 7 species. Among the identified species, 15 are new records for estuarine and marine ecosystems in Brazil, 22 species are new occurrences for the Northeast region and 11 for the state of Pernambuco. Regarding habitats, 35 species were recorded only in phytoplankton, 10 only in periphyton and 6 in both habits. The number of cyanobacterial species identified herein, as well as the new occurrences, evidence the large gap in

taxonomic studies on cyanobacteria in tropical estuaries and mangroves, as well as the richness of species that have possibly not yet been identified and described, highlighting the importance of developing new taxonomic studies on cyanobacteria in mangroves and estuaries.

Acknowledgements

The project was carried out at CyA - Laboratory of Cyanobacteria and Algae (CyA/PPGBio/UFRPE) and received financial support from CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) for the first author and an approved FACEPE (Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) project (APQ-0668-2.03/19). Samplings were carried out with the help of the Programa de Pesquisa em Movimento (PPM) at UFRPE. Sample analysis and processing were carried out with the infrastructure present at CyA and CCAPE (Culture Collection of Cyanobacteria and Algae of Pernambuco).

References

- Affe HM de J, Rigonato J, Nunes JM de C, Menezes M (2018) Metagenomic analysis of cyanobacteria in an oligotrophic tropical estuary, South Atlantic. *Front Microbiol* 9:1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01393>
- Alongi DM (2002) Present state and future of the world's mangrove forests. *Environ Conserv* 29:331–349
- Alvarenga DO, Andreote APD, Branco LHZ, Fiore MF (2017a) *Kryptousia macronema* gen. nov., sp. nov. and *kryptousia microlepis* sp. nov., nostocalean cyanobacteria isolated from phyllospheres. *Int J Syst Evol Microbiol* 67:3301–3309. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.002109>
- Alvarenga DO, Fiore MF, Varani AM (2017b) A metagenomic approach to cyanobacterial genomics. *Front Microbiol* 8: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00809>
- Alvarenga DO, Rigonato J, Branco LHZ, et al (2016) *Phyllonema aviceniicola* gen. nov., sp. nov. and *Foliisarcina bertiogensis* gen. nov., sp. nov., epiphyllic cyanobacteria associated with *Avicennia schaueriana* leaves. *Int J Syst Evol Microbiol* 66:689–700. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000774>
- Alvarenga DO, Rigonato J, Branco LHZ, Fiore MF (2015) Cyanobacteria in mangrove ecosystems. *Biodivers Conserv* 24:799–817
- Armstrong L, Vaz MGMV, Genuário DB, et al (2019) Volatile Compounds Produced by Cyanobacteria Isolated from Mangrove Environment. *Curr Microbiol*. <https://doi.org/10.1007/s00284-019-01658-z>
- Azevedo MTP, Sant' Anna CL (2003) *Sphaerocavum*, a new genus of planktic Cyanobacteria from continental water bodies in Brazil. *Arch Hydrobiol Suppl Algal Stud* 109:79–92. <https://doi.org/10.1127/1864-1318/2003/0109-0079>
- Baeta-Neves MH, Tribuzi D (1992) The cyanobacteria from “Ponta do Pai Vítório” mangrove, Cabo Frio, Rio de Janeiro State, Brazil (Lês Cyanophycées de la mangrove de la “Ponta do Pai Vítório” de la région de Cabo Frio, RJ, Brésil). *Acta Biol Leopold* 14:29–52
- Baeta-Neves MHC (1991a) Estudo das cianofíceas marinhas da região de Cabo Frio (Rio de Janeiro-Brasil): I-Chroococcales. *Hoehnea* 18:191–204
- Baeta-Neves MHC (1991b) Estudo das cianofíceas marinhas da região de Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brasil). II-Hormogonae. *Rev Bras Biol* 46:591–601
- Branco LHZ, Moura A do N, Silva AC, Bittencourt-Oliveira M do C (2003) Biodiversidade e considerações Biogeográficas das Cyanobacteria de uma área de manguezal do estado de Pernambuco, Brasil. *Acta bot bras* 17:585–596

Branco LHZ, Sant'Anna CL, Azevedo MTP (1996) Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil View project Biodiversity of algae and cyanobacteria from bromeliad phytotelmata in Bahia State, Brazil. Arch Hydrobiol Suppl Algal Stud 99–111

Branco LHZ, Sant'Anna CL, Azevedo MTP, Sormus L (1997) Cyanophyte flora from Cardoso Island mangroves, São Paulo State, Brazil. 2. Oscillatoriales. Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes 84:39–52. https://doi.org/10.1127/algol_stud/84/1997/39

Branco LHZ, Silva SMF, Sant'Anna CL (1995) *Stichosiphon mangle* sp. nova, a new cyanophyte from mangrove environments. Arch Hydrobiol Suppl Algal Stud 1–7

Caires TA, Lyra G de M, Hentschke GS, et al (2018b) Polyphasic delimitation of a filamentous marine genus, *Capillus* gen. Nov. (cyanobacteria, oscillatoriaceae) with the description of two Brazilian species. Algae 33:291–304. <https://doi.org/10.4490/algae.2018.33.11.25>

Caires TA, Lyra GM, Hentschke GS, et al (2018a) *Neolyngbya* gen. nov. (Cyanobacteria, Oscillatoriaceae): A new filamentous benthic marine taxon widely distributed along the Brazilian coast. Mol Phylogenet Evol 120:196–211. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2017.12.009>

Caires TA, Sant'anna CL, de Castro Nunes JM (2013) A new species of marine benthic cyanobacteria from the infralittoral of Brazil: *Symploca infralittoralis* sp. nov. Revista Brasileira de Botanica 36:159–163. <https://doi.org/10.1007/s40415-013-0017-2>

Caires TA, Sant'Anna CL, Nunes JM de C (2019) Biodiversity of benthic filamentous cyanobacteria in tropical marine environments of Bahia State, Northeastern Brazil. Revista Brasileira de Botanica 42:149–170. <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00517-2>

Cavalcanti EAH, Neumann-Leitão S, Vieira DA do N (2008) Mesozooplâncton do sistema estuarino de Barra das Jangadas, Pernambuco, Brasil. Revista brasileira de zoologia 25:436–444

Crispino LMB, Sant'Anna CL (2006) Cianobactérias marinhas bentônicas de ilhas costeiras do Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Botânica 29:639–656

Genuário DB, Vieira Vaz MGM, Hentschke GS, et al (2015) *Halotia* gen. Nov., a phylogenetically and physiologically coherent cyanobacterial genus isolated from marine coastal environments. Int J Syst Evol Microbiol 65:633–675. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.070078-0>

Hoffman L (1999) Marine cyanobacteria in tropical regions: Diversity and ecology. Eur J Phycol 34:371–379. <https://doi.org/10.1080/09670269910001736432>

Hoffmann L (1992) Marine Cyanophyceae of Papua New Guinea IV. New Chroococcales. Belgian Journal of Botany 125:29–32

Holguin G, Vazquez P, Bashan Y (2001) The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview. Biol Fertil Soils 33:265–278

Kathiresan K, Bingham BL (2001) Biology of mangroves and mangrove ecosystems. Adv Mar Biol 40:81–251

Komárek J (2013) Süßwasserflora von mitteleuropa, Bd. 19/3: cyanoprokaryota. 3. Teil/3rd part: heterocytous genera. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

Komárek J (2016) A polyphasic approach for the taxonomy of cyanobacteria: principles and applications. Eur J Phycol 51:346–353. <https://doi.org/10.1080/09670262.2016.1163738>

Komárek J, Anagnostidis K (1998) Süßwasserflora von Mitteleuropa Bd. 19/1: Cyanoprokaryota: Teil/Part 1: Chroococcales. Spektrum Akademischer Verlag

- Komárek J, Anagnostidis K (2005) Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/2: Cyanoprokaryota: Bd. 2/Part 2: Oscillatoriales. Elsevier GmbH
- Kyaruzi JJ, Kyewalyanga MS, Muruke MHS (2003) Cyanobacteria Composition and Impact of Seasonality on their In Situ Nitrogen Fixation Rate in a Mangrove Ecosystem Adjacent to Zanzibar Town. *Western Indian Ocean J Mar Sci* 2:35–44
- Nogueira NMC, Ferreira-Correia MM (2001) Cyanophyceae/Cyanobacteria in red mangrove forest at Mosquitos and Coqueiros estuaries, São Luís, state of Maranhão, Brazil. *Braz J Biol* 61:347–356
- Noriega CD, Costa KMP, Feitosa FAN, et al (2005a) Distribuição espacial da biomassa fitoplanctônica e sua relação com os sais nutrientes, no sistema estuarino de Barra das Jangadas, Pernambuco, Brazil. *Arquivos de Ciências do Mar* 38:5–18
- Noriega CD, Muniz K, Araújo MC, et al (2005b) Fluxos de nutrientes inorgânicos dissolvidos em um estuário tropical-Barra das Jangadas-PE, Brasil. *Tropical Oceanography* 33:133–145
- Ribeiro F de V, Caires TA, Simões MA de A, et al (2022) Benthic Cyanobacterial Diversity and Antagonistic Interactions in Abrolhos Bank: Allelopathy, Susceptibility to Herbivory, and Toxicity. *Front Mar Sci* 8: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.790277>
- Sant’Anna CL (1995) Cyanophyceae marinhas bentônicas do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. *Hoehnea* 22:197–216
- Sant’Anna CL (1997) Cyanophyceae marinhas bentônicas da região de Ubatuba, SP, Brasil. *Hoehnea* 24:57–74
- Sant’Anna CL, Simonetti C (1991) Cianofíceas marinhas bentônicas das praias de Peruíbe e Dos Sonhos, município de Itanhaém, SP, II: Espécies epilíticas e epizóicas. *Rev Bras Biol* 52:515–523
- Silva CSP, Genuário DB, Vaz MGMV, Fiore MF (2014) Phylogeny of culturable cyanobacteria from Brazilian mangroves. *Syst Appl Microbiol* 37:100–112. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2013.12.003>
- Silva EM, Vaz MGMV, Genuário DB, et al (2020) Novel marine cyanobacteria from the Atlantic coast of Brazil. *Applied Phycology* 1:58–72. <https://doi.org/10.1080/26388081.2020.1753571>
- Turland NJ, Wiersema JH, Barrie FR, et al (2018) International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017. Koeltz Botanical Books

Figures

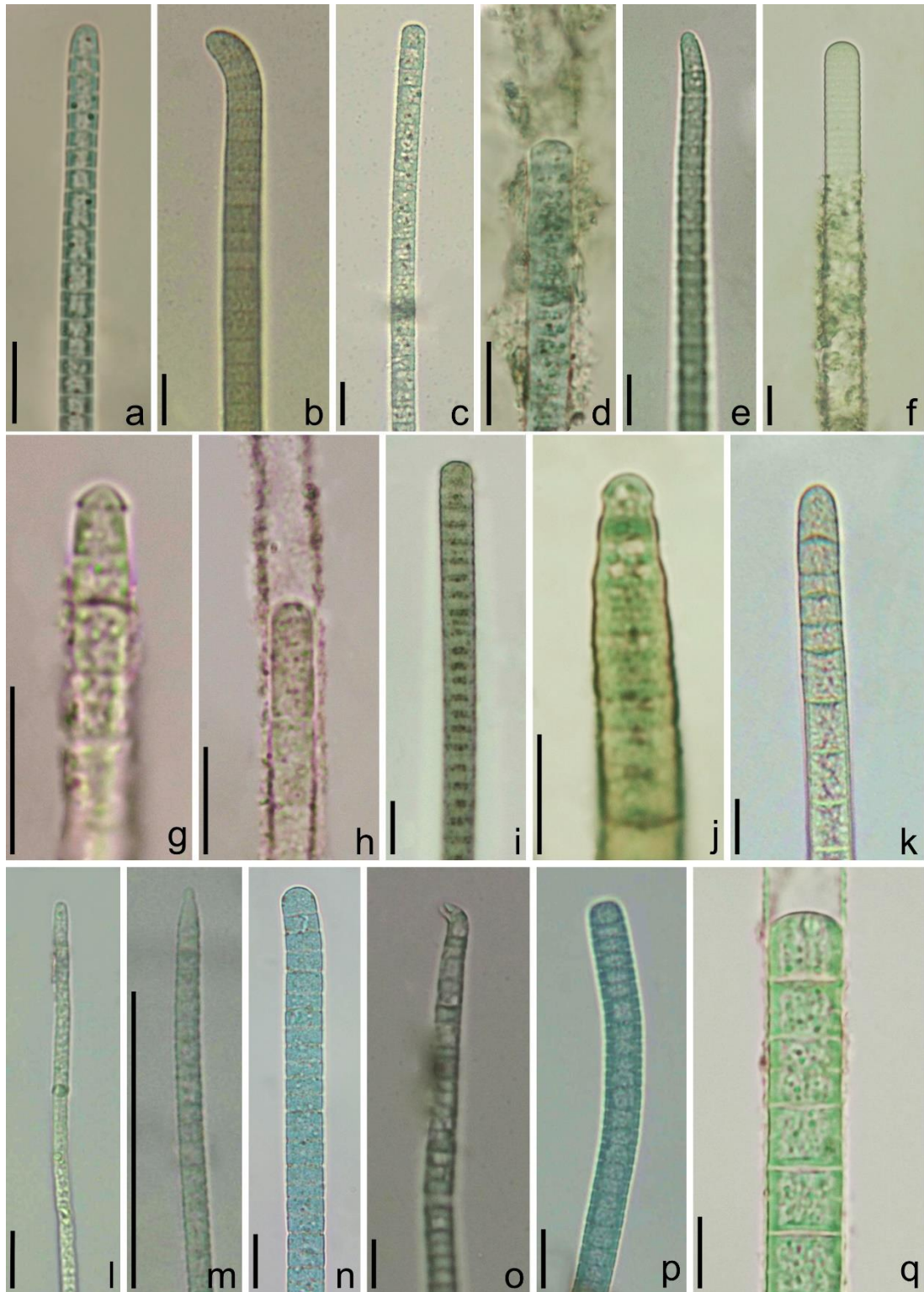


Figure 2. **a** *Phormidium articulatum*. **b** *Phormidium chalybeum*. **c** *Phormidium retzii*. **d** *Phormidium interruptum*. **e** *Phormidium terebriforme*. **f** *Phormidium ambiguum*. **g-h** *Phormidium litorale*. **g** Capitulate apical cell. **h** Filament. **i** *Phormidium tergestinum*. **j** *Phormidium lucidum*. **k** *Phormidium* cf. *pachydermaticum*. **l** *Phormidium* cf. *willei*. **m** *Phormidium* aff. *calcareum*. **n** *Phormidium* sp.1. **o** *Phormidium* sp.2. **p** *Phormidium* sp.3. **q** *Phormidium* sp.4. Scale bars: 10 µm.

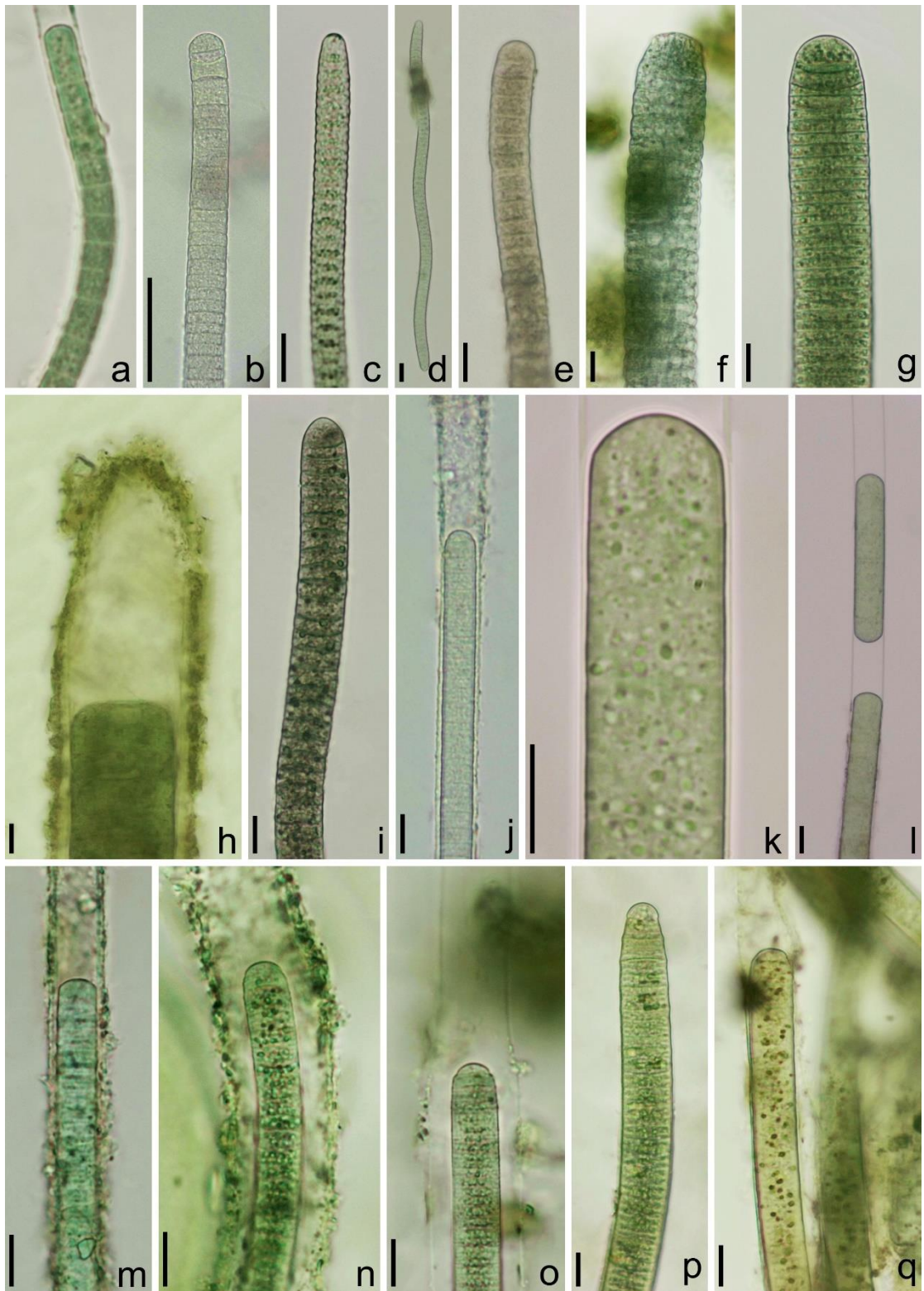


Figure 3. **a** *Potamolinea aerugineocaerulea*. **b** *Oscillatoria tenuis*. **c-d** *Oscillatoria corallinae*. **c** Apical portion of the trichome. **d** Trichome waves. **e** *Oscillatoria ornata*. **f** *Oscillatoria bonnemaisonii*. **g** *Oscillatoria limosa*. **h** *Lyngbya* sp.2. **i** *Oscillatoria* sp.2. **j** *Lyngbya martensiana*. **k-l** *Lyngbya aestuarii*. **k** Trichome. **l** Filament with separated trichomes inside the sheath. **m** *Lyngbya* cf. *aestuarii*. **n-o** *Lyngbya* sp. **p-q** *Hydrocoleum lyngbyaceum*. Scale bars: 10 μ m.

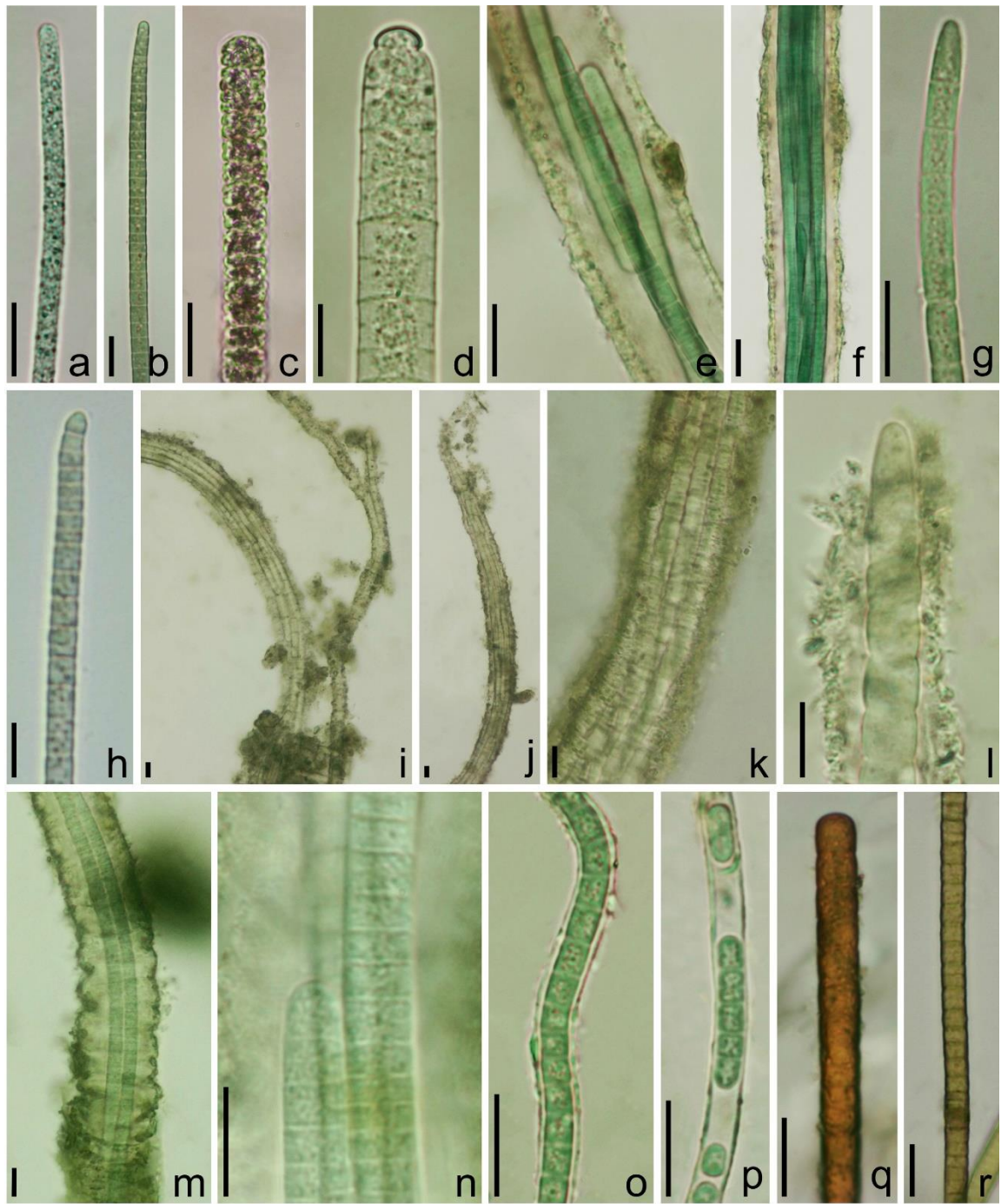


Figure 4. **a** *Kamptonema formosum*. **b** *Kamptonema okenii*. **c** *Planktothrix isothrix*. **d** *Trichodesmium erythraeum*. **e-g** *Coleofasciculus chthonoplastes*. **e** Vários tricomas dentro da bainha. **f** Filamento. **g** Tricoma. **h** *Microcoleus autumnalis*. **i-l** *Sirocoleum guyanense*. **i** Filament branching. **j** Closed sheath apex. **k** Several trichomes in the sheath. **l** Trichome apex. **m-n** *Sirocoleum* sp. **m** Striated formations of the sheath. **n** Filament trichomes. **o-p** *Porphyrosiphon versicolor*. **q-r** *Porphyrosiphon luteus*. **q** Sheath. **r** Trichome. Scale bars: 10 µm.

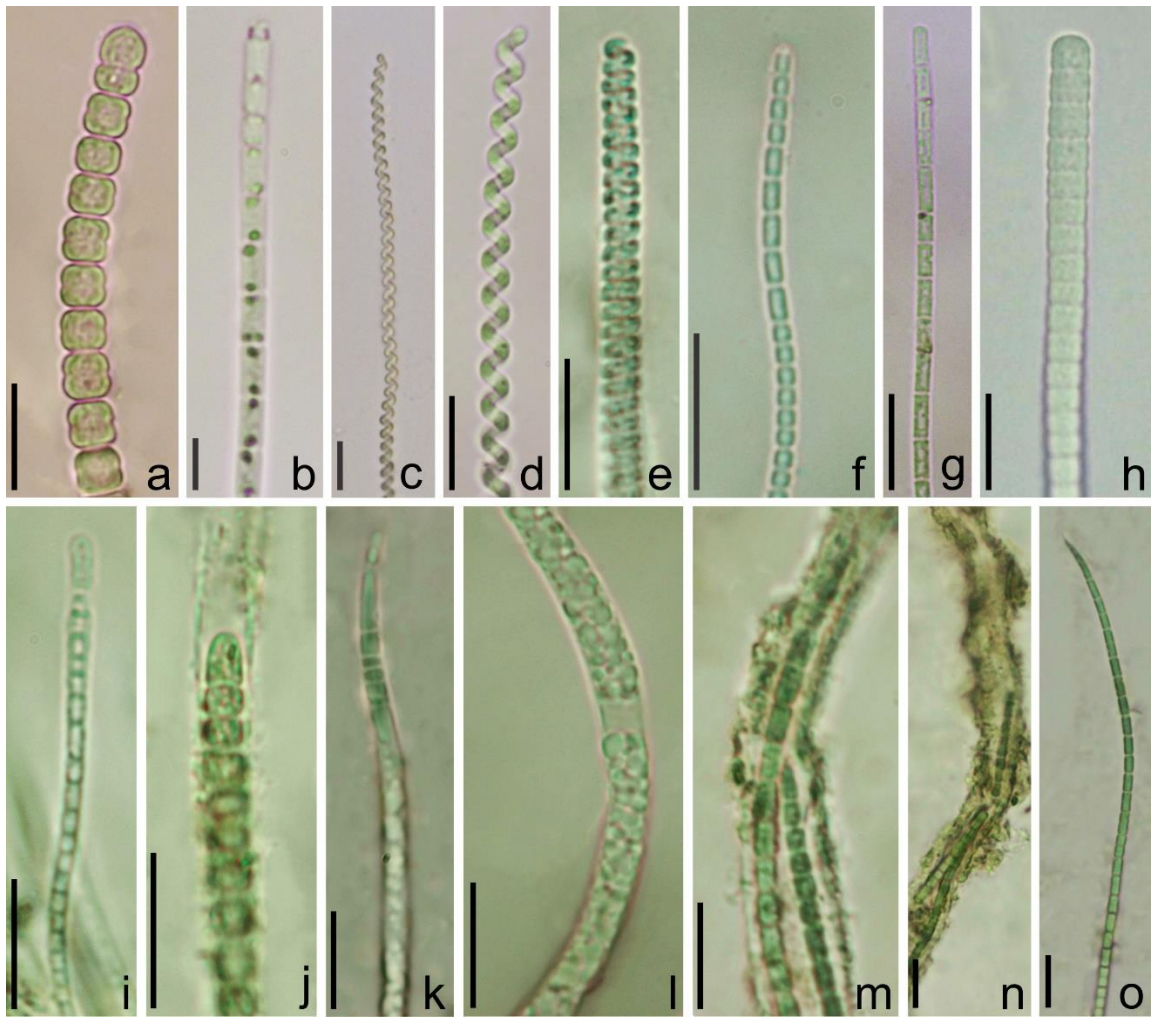


Figure 5. **a** *Komvophoron breve*. **b** *Anagnostidinium amphibium*. **c** *Spirulina meneghiniana*. **d** *Spirulina major*. **e** *Spirulina subsalsa*. **f** *Pseudanabaena catenata*. **g** *Pseudanabaena galeata*. **h** *Phormidesmis mollis*. **i** *Heteroleibleinia kuetzingii*. **j** *Leptolyngbya fragilis*. **k-l** *Leptolyngbya* sp. **k** Trichome apex. **l** Space inside the sheath. **m-o** *Trichocoleus tenerrimus*. **m** Trichomes on the sheath. **n** Filament. **o** Trichome. Scale bars: 10 μ m

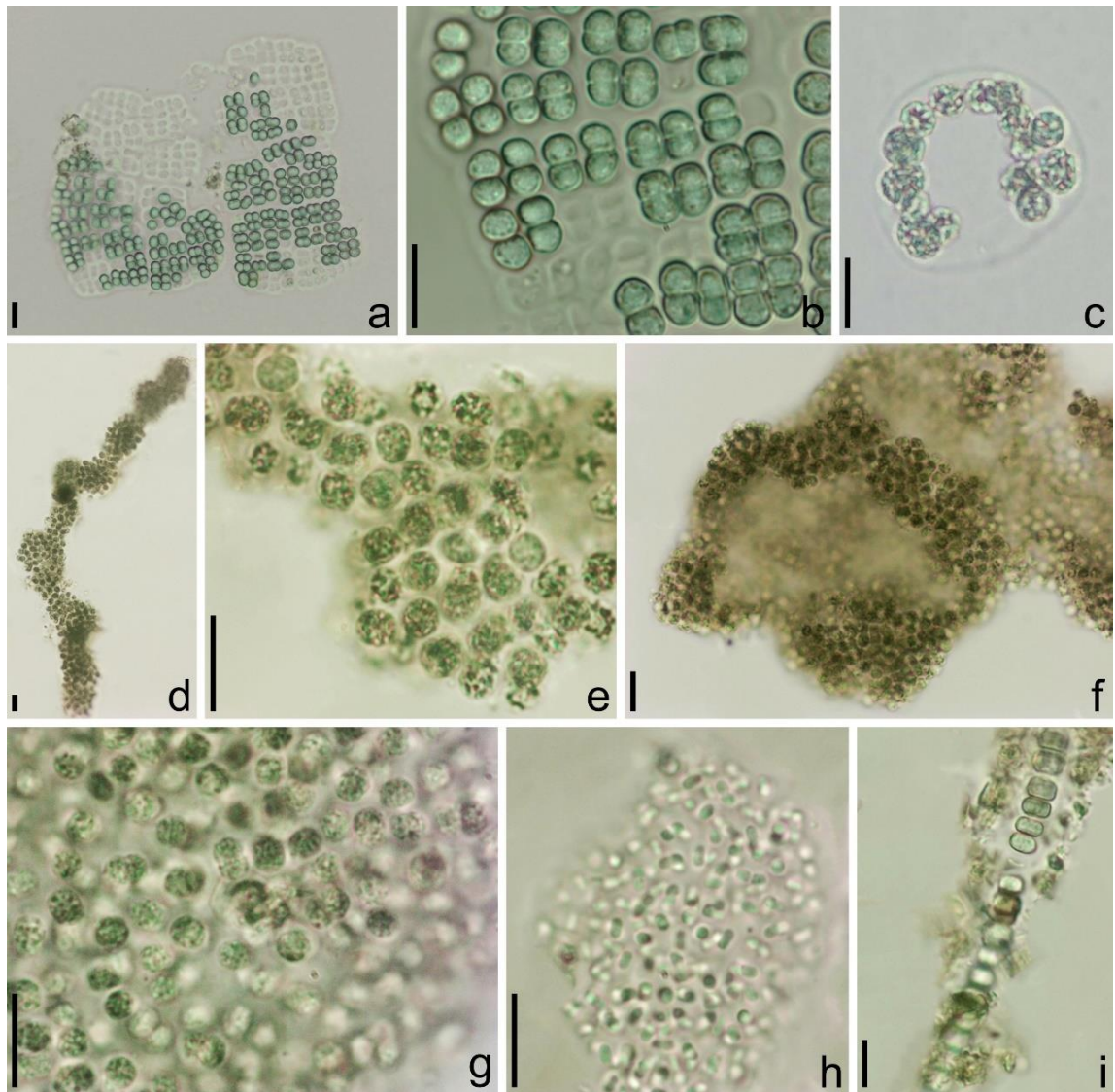


Figure 6. **a-b** *Merismopedia tranquilla*. **a** Colony. **b** Cells. **c** *Microcystis wesenbergii*. **d-e** *Microcystis aeruginosa*. **d** Colony. **e** Cells. **f-g** *Sphaerocavum brasiliense*. **f** Hollow colony. **g** Cells. **h** *Aphanothece bachmannii*. **i** *Johannesbaptistia pellucida*. Scale bars: 10 µm

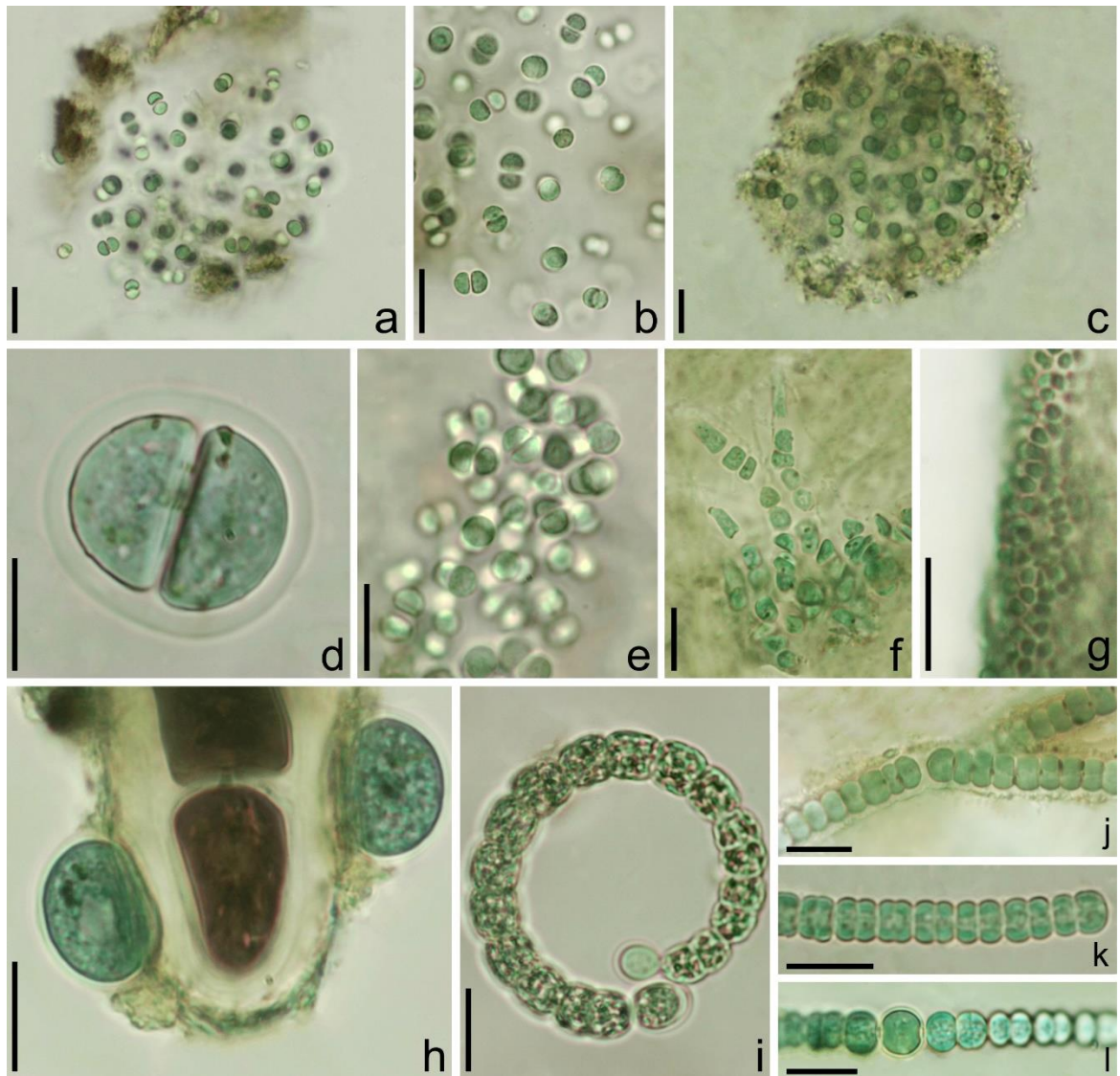


Figure 7. **a-b** *Chroococcus dispersus*, **a** Colony. **b** Cells. **c** *Chroococcus minimus*. **d** *Chroococcus pulcherrimus*. **e** *Chroococcus sonorensis* **f** *Myxohyella papuana*. **g** *Xenococcus* aff. *minimus*. **h** *Xenococcus schousboei* **i** *Anabaenopsis elenkii*. **j-l** *Hydrocoryne* sp. **j** Filament, separation of trichomes in the sheath. **k** Marks dividing cells into portions. **l** Heterocyte. Scale bars: 10 μ m.

7. MATERIAL SUPLEMENTAR

7.1. DADOS ABIÓTICOS

Para amostragem dos fatores abióticos da água foi utilizada sonda multiparamétrica (*in loco*) para obtenção de: temperatura, salinidade, sólidos totais, condutividade, pH e oxigênio dissolvido. Foram obtidos também a profundidade (ecobatímetro, *in loco*) e transparência da água (disco de Secchi). A intensidade luminosa (μmol fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi estimada com o auxílio de um fotômetro, modelo LI-250 A.

As variáveis físicas e químicas da água nos estuários amostrados estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Variáveis físicas e químicas da água nos estuários amostrados de Pernambuco. Legenda: BM – baixa mar; PM – preamar; ** $\mu\text{S}/\text{cm}$; * mg/L ; - dados inexistentes.

Estuário/Ponto/ Sazonalidade/Maré	Variável da água									
	Condutividade (mS/cm)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	pH	Salinidade (PSU)	TDS (mg/L)	Profundidade	Secchi (cm)	Luminosidade (L/uz)	Tubidez (FNU)
Barra de Jangadas										
Foz										
Chuva										
BM	9913**	27,08	3,65	7,03	5,55	4,956	4,3	80	-	20,9
PM	38000**	29,44	5,66	7,94	24	19	5,6	55	-	47,8
Seca										
BM	34,52	27,07	-	7,82	21,64	17,31	5,00	60,00	343,80	-
PM	47,18	26,24	-	7,64	30,58	23,57	8,10	90,00	1533,8	-
Meio										
Chuva										
BM	3934**	27,07	3,14	6,9	2,07	1,967	4,2	70	-	38,7
PM	14570**	28,59	4,24	7,26	8,41	7,288	3,2	80	-	29,1
Seca										
BM	25,34	26,81	-	7,37	15,00	12,41	4,80	70,00	467,00	-
PM	44,81	26,12	-	7,59	28,93	22,45	3,10	80,00	486,10	-
Montante										
Chuva										
BM	5422**	27,01	3,06	6,96	2,91	2,711	1,8	70	-	30,2
PM	10160**	28,48	3,89	7,16	5,7	50,81	2,3	50	-	33,2
Seca										
BM	33,17	27,34	-	8,10	20,83	32,93	1,20	60,00	822,10	-
PM	44,10	26,34	2	7,54	28,50	22,12	2,80	80,00	310,10	-

Estuário/Ponto/ Sazonalidade/Maré	Variável da água									
	Condutividade (mS/cm)	Temperatura (°C)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	pH	Salinidade (PSU)	TDS (mg/L)	Profundidade	Secchi (cm)	Luminosidade (Luz)	Turbidez (FNU)
Canal do Santa Cruz										
Foz										
Chuva/20										
BM	51,23	34,86	-	8,44	34,57	25,47	1,00	100,00	126,57	-
PM	52,81	32,61	-	8,44	34,57	26,41	3,10	100,00	5858,0	-
Chuva/21										
BM	65,64	28,65	4,47	7,71	44,40	32,82	1,40	140,00	-	36,2
PM	68,49	27,62	4,28	7,85	46,66	34,25	1,10	110,00	-	15,2
Meio										
Chuva/20										
BM	51,88	31,9	-	8,22	34,59	25,94	6,50	120,00	4419,0	-
PM	52,89	32,09	-	8,42	34,59	26,43	0,90	130,00	2840,0	-
Chuva/21										
BM	62,25	30,52	4,43	7,45	41,71	31,13	0,30	30,00	-	20,8
PM	66,29	27,12	3,8	7,75	44,97	33,15	1,80	100,00	-	16,9
Montante										
Chuva/20										
BM	53,23	32,09	-	7,60	34,90	26,64	0,35	35,00	121,32	-
PM	52,73	33	-	8,42	34,48	26,37	4,40	130,00	379,30	-
Chuva/21										
BM	59,68	32,19	3,86	7,36	39,69	29,84	0,25	25,00	-	28,2
PM	67,17	27,1	3,76	7,74	45,65	33,59	1,30	130,00	-	13
Rio Formoso										
Foz										
Chuva										
BM	42,38	28,18	5,24	7,84	27,13	21,19	3,7	200,5	-	4,8
PM	45,21	28,25	5,74	8,03	29,61	22,61	5,7	170	-	13,2
Seca										
BM	74,98	28,7	-	7,45	45,25	37,53	2,50	190,00	-	-
PM	76,59	29,1	-	8,05	51,58	38,00	2,00	70,00	-	-
Meio										
Chuva										
BM	35,12	27,84	4,45	7,31	22,03	17,56	1,6	140	-	9,9
PM	41,37	28,22	5,1	7,75	26,42	20,69	5	190	-	16,7
Seca										
BM	76,46	29,52	-	7,72	52,87	38,24	2,10	80,00	-	-
PM	76,39	29,02	-	7,73	52,86	38,21	4,10	170,00	-	-
Montante										
Chuva										
BM	23,72	26,87	4,19	7	14,33	11,86	0,8	60	-	60,5

Estuário/Ponto/ Sazonalidade/Maré	Variável da água									
	Condutividade (mS/cm)	Temperatura (°C)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	pH	Salinidade (PSU)	TDS (mg/L)	Profundidade	Secchi (cm)	Luminosidade (Luz)	Turbidez (FNU)
PM	33,7	28,15	4,59	7,36	21,04	16,85	2,1	100	-	13,4
Seca										
BM	64,19	27,84	-	7,52	43,38	32,16	1,05	105,00	-	-
PM	76,51	29,33	-	7,92	53,18	38,44	4,80	140,00	-	-
Rio Una										
Foz										
Chuva										
BM	31,47	29,35	2,04	7,75	19,48	15,74	1,50	140,00	-	11,1
PM	73,21	29,02	1,76	8,15	50,31	36,61	1,80	110,00	-	35,1
Seca										
BM	10,17	28,61	-	7,90	5,78	5098*	1,20	120,00	6375,0	-
PM	50,72	27,77	-	8,20	33,26	27,77	2,10	160,00	2054,0	-
Meio										
Chuva										
BM	14,33	29,13	1,82	7,23	8,25	11,64	1,00	100,00	-	12,7
PM	34,23	29,53	2,04	7,83	21,38	17,12	1,70	150,00	-	12,4
Seca										
BM	11,58	27,38	-	6,70	6,84	6073*	1,50	150,00	4676,0	-
PM	33,50	29,05	-	7,90	20,50	29,05	4,70	160,00	1089,3	-
Montante										
Chuva										
BM	42,51	29,37	1,48	7,17	2,24	21,26	3,90	210,00	-	5,5
PM	54,25	29,43	1,96	7,31	2,90	27,13	4,40	180,00	-	23,5
Seca										
BM	1939**	27,07	-	7,90	0,95	939*	4,10	148,00	7398,0	-
PM	2731**	28,18	-	8,34	1,51	28,18	4,60	150,00	541,00	-

7.2. RELAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS

Planilha em formato .xlsx (Excel) disponibilizada em formato digital.

Link: [Tabela de dados - Cyanobacteria de Manguezais](#)