



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José do Rio Preto

Pedro Matos Farinha

**Caracterização taxonômica de populações de cianobactérias de
crostas biológicas da caatinga**

São José do Rio Preto
2023

Pedro Matos Farinha

**Caracterização taxonômica de populações de cianobactérias de
crostas biológicas da caatinga**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, junto ao Conselho de Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof. Dr. Luis Henrique Zanini Branco

São José do Rio Preto
2023

F226c Farinha, Pedro Matos
Caracterização taxonômica de populações de cianobactérias de crostas biológicas da caatinga / Pedro Matos Farinha. -- São José do Rio Preto, 2023
22 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto
Orientador: Luis Henrique Zanini Branco

1. Ciências da vida. 2. Cianobactéria. 3. Caatinga. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Pedro Matos Farinha

**Caracterização taxonômica de populações de cianobactérias de
crostas biológicas da caatinga**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Ciências
Biológicas, junto ao Conselho de Curso de
Bacharelado em Ciências Biológicas, do Instituto
de Biociências, Letras e Ciências Exatas da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio
Preto.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Luis Henrique Zanini Branco
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto
Orientador

Prof^a. Dr^a. Maria Stela Maioli Castilho Noll
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto

Prof^a. Dr^a. Nadia Martins Lemes da Silva
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto

São José do Rio Preto
12 de dezembro de 2023

RESUMO

Crostras biológicas de solo (biocrostras) são o resultado da íntima interação entre partículas de solo e organismos como cianobactérias, algas, bactérias, fungos, etc, que residem nos ou diretamente sobre os milímetros mais superficiais do solo. Essas crostras são importantes no funcionamento do ecossistemas que estão presentes por estabilizarem a superfície do solo, fixarem carbono e nitrogênio, influenciarem nos ciclos regionais da água e por terem diversos efeitos na germinação e crescimento de plantas. As cianobactérias são importantes membros das biocrostras pois estabilizam e fertilizam o solo. Esses microrganismos são procariotos, fotossintetizantes e unicelulares ou multicelulares que ocorrem em ambientes aquáticos e terrestres. As biocrostras tem um desenvolvimento mais evidente em ecoregiões áridas e semiáridas por conta das habilidades limitadas de desenvolvimento sob a superfície do solo dos organismos que as compõem. Um exemplo de região semiárida no Brasil é a caatinga na qual são poucas as informações sobre ocorrência, composição e ecologia das biocrostras, mas em anos recentes mais estudos vêm sendo conduzidos. Por isso, a caatinga foi escolhida para a realização deste estudo. As amostras de solo contendo crostras biológicas foram coletadas em Pernambuco no município de Belém do São Francisco, delas foram analisadas morfológicamente 18 populações de cianobactérias que resultaram em duas ordens, 10 gêneros e cerca de 15 espécies.

Palavras-chave: Cianobactéria. Caatinga. Caracterização Morfológica.

ABSTRACT

Biological soil crusts are the result of an intimate relationship between soil particles and organisms like cyanobacterias, algae, bacteria, fungi and others, that reside in or above the most superficial millimeters of the soil. These crusts are important in the functioning of ecosystems that they are present by the stabilization of the soil surface, nitrogen and carbon fixation, their influence in the regional water cycle and their many effects in the germination and growth of plants. Cyanobacterias are important members of biocrusts because they stabilize and fertilize the soil. These microorganisms are prokaryotes, photosynthetic and unicellular or multicellular that occur in aquatic or terrestrial environments. Biocrusts have a more evident development in arid or semiarid ecoregions on behalf of the limited abilities of development under the soil surface from the organisms that are part of it. An example of a semiarid region in Brazil is the caatinga in which there is little information of occurrence, composition and ecology of biocrusts, but in recent years more studies have been carried out. That is the reason the caatinga was chosen for this study. The samples of soil containing biological soil crusts were collected in Pernambuco at the city of Belém do São Francisco, of them were morphologically analyzed 18 populations of cyanobacterias that resulted in two orders, 10 genera and about 15 species.

Keywords: Cyanobacterias. Caatinga. Morphological analysis..

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Local da coleta das amostras. -----	10
Figuras 2-4. <i>Scytonema</i> sp.1, seta: heterócito. -----	17
Figura 5 <i>Leptolyngbya</i> sp.1. -----	17
Figuras 6-7 <i>Lyngbya</i> sp.1, seta: hormogônio. -----	17
Figuras 8-9 <i>Lyngbyopsis</i> sp.1. -----	17
Figura 10 <i>Phormidium</i> sp.1. -----	18
Figuras 11-12 <i>Phormidium</i> sp.2. -----	18
Figura 13 <i>Phormidium</i> sp.3. -----	18
Figura 14 <i>P. tomasinianum</i> . -----	18
Figuras 15-16 <i>Polychlamydom</i> sp.1, seta preta: caliptra, seta vermelha: necridio. -----	18
Figura 17 <i>Porphyrosiphon</i> sp.1. -----	18
Figuras 18-19 <i>P. notarisii</i> . -----	19
Figuras 20 <i>Pseudanabaena</i> sp.1 -----	19
Figuras 21 <i>Pseudanabaena</i> sp.2 -----	19
Figuras 22 <i>Pseudanabaena</i> sp.3. -----	19
Figura 23 <i>T. erectiuscukus</i> .-----	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas geográficas das amostras coletadas. -----	10
Tabela 2 – Classificação taxonômica das cianobactérias analisadas. -----	12

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	MATERIAIS E MÉTODOS	10
2.1	Amostras	10
2.2	Análise Morfológica	11
2.3	Cultivo	11
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1	Descrição Morfológica	13
3.1.1	Nostocales	13
3.1.2	Oscillatoriales	13
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
	REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

Crostras biológicas de solo ou biocrostras são o resultado de íntimas interações entre partículas de solo e organismos fotoautotróficos (cianobactérias, algas, líquens e briófitas) e heterotróficos (bactérias, fungos e arqueas), que residem nos ou diretamente sobre os milímetros mais superficiais do solo (Weber et al., 2022); as partículas de solo são agregadas pela presença e atividade dessa biota (Belnap et al., 2003).

Esse tipo de crosta tem grande relevância no funcionamento dos ecossistemas em que ocorrem, uma vez que, estabiliza a superfície do solo, de modo a reduzir significativamente as erosões causadas por vento e água; fixa carbono e nitrogênio, fertilizando solos pobres em nutrientes; influencia nos ciclos locais e regionais da água e também tem múltiplos efeitos na germinação e crescimento de plantas (Weber et al., 2022).

As cianobactérias são importantes integrantes das biocrostras por manter a estabilidade e aumentar a fertilidade do solo, uma vez que secretam uma bainha de exopolissacarídeos que mantém as partículas de solo juntas (Garcia-Pichel & Wojciechowski, 2006). Outro benefício que esses microrganismos trazem é a fixação de nitrogênio atmosférico (N_2) no solo, o N_2 é reduzido em amônia (NH_3) de modo a ser disponibilizado a outros organismos que habitam o solo (Belnap et al., 2003).

As cianobactérias são microrganismos procariotos fotossintetizantes que podem apresentar formas unicelulares cocoides ou multicelulares filamentosas organizadas em tricomas. Apresentam tilacoides livres no citoplasma, uma parede de peptidoglicanos e uma membrana externa composta de exopolissacarídeos (Sciuto & Moro, 2015).

Ecologicamente, as cianobactérias podem ser encontradas em ambientes aquáticos e terrestres extremos e também podem associar-se simbioticamente com seres vegetais e/ou animais (Sciuto & Moro, 2015).

Alguns grupos de cianobactérias podem desenvolver estruturas especializadas para lidar com os variados ambientes que habitam. Entre essas estruturas destacam-se os hormogônios, os heterócitos, os acinetos e as bainhas (Sciuto & Moro, 2015).

Os hormogônios estão relacionados com a reprodução das formas filamentosas e caracterizam-se por serem fragmentos que se desprendem do

tricoma (cadeia de células) e são capazes de originar outro indivíduo (Sciuto & Moro, 2015).

Os heterócitos e acinetos são células com funções de: fixação de nitrogênio e garantir resistência ao organismo para sobreviver a condições desfavoráveis do ambiente, respectivamente. Ambas as células apresentam parede celular reforçada (Sciuto & Moro, 2015).

Por fim, as bainhas são estruturas que envolvem os tricomas e que apresentam diversas configurações, podendo, inclusive, conter pigmentos que reduzem o efeito da luz solar sobre as células (Sciuto & Moro, 2015).

Em relação à ocorrência das biocrostas os organismos que as compõem têm habilidades limitadas para se desenvolverem sobre a superfície do solo, eles são incapazes de competir com plantas de grandes copas por luz, com isso o desenvolvimento de uma biocrosta é limitado por condições climáticas que permitem o desenvolvimento de plantas com copas extensas ou de uma camada grossa de detritos sobre o solo (Belnap et al., 2003).

Por conta dessas condições, as biocrostas têm desenvolvimento mais evidentes em ecoregiões áridas e semiáridas, embora também possam ocorrer em meio à vegetação de regiões úmidas, mas em estágios iniciais de sucessão ecológica (Belnap et al., 2001).

No Brasil, um exemplo de região semiárida é a caatinga, e como é o caso de outros biomas sul americanos, poucas são as informações sobre a ocorrência, composição e ecologia das biocrostas nesses biomas (Belnap et al., 2003).

Em anos recentes, podemos citar dois estudos que trazem mais informações sobre biocrostas nos biomas brasileiros, o primeiro aborda os papéis ecológicos e os serviços ecossistêmicos das crostas biológicas na caatinga modificada pelos humanos (Szyja et al., 2019) e o outro trata a composição, diversidade e fatores ambientais das cianobactérias de crosta biológica na caatinga e no pampa (machado de Lima et al., 2021)

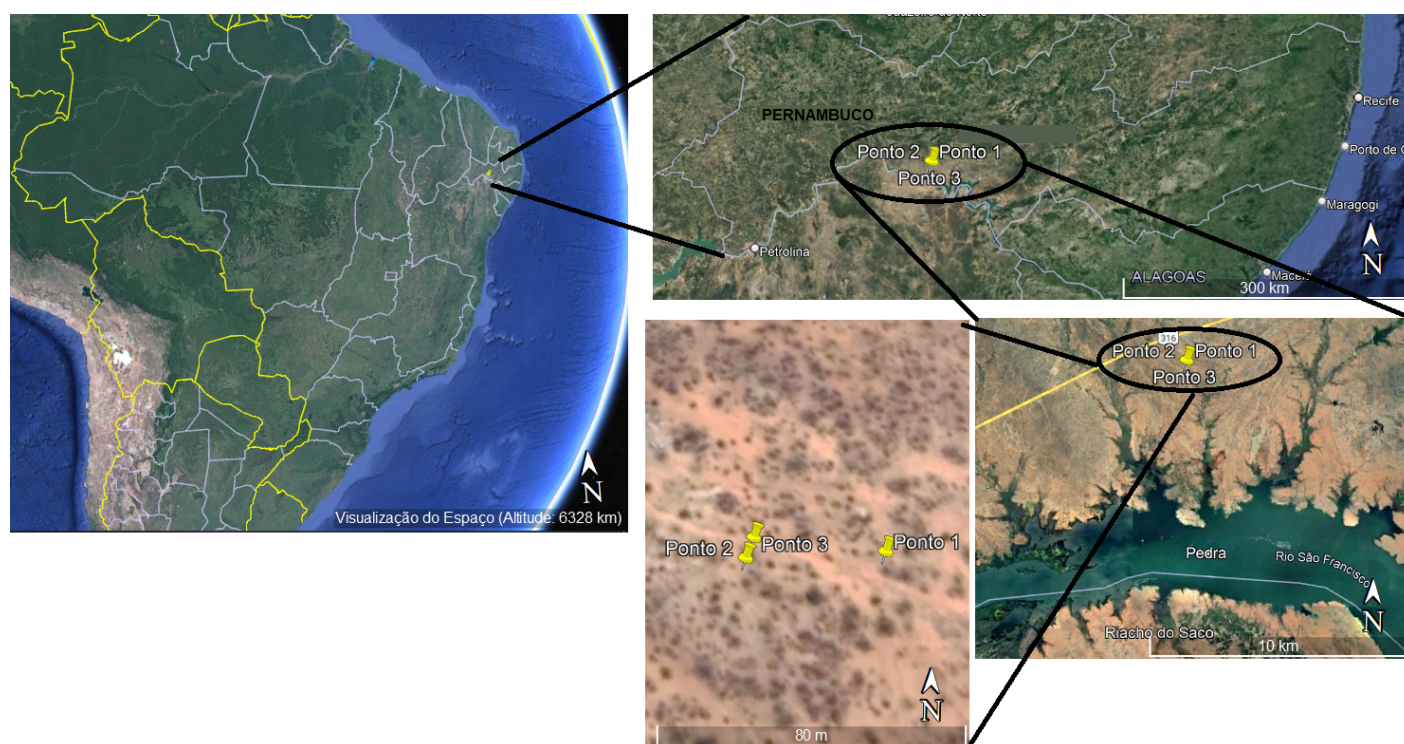
Diante do exposto, este estudo tem como objetivo o reconhecimento das cianobactérias que ocorrem em áreas da caatinga, o reconhecimento das características utilizadas para a identificação de gêneros e espécies, a identificação genérica e específica dos organismos coletados e a descrição dos táxons encontrados nas amostras de solo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostras

No estudo foram analisadas crostas biológicas originárias de amostras coletadas em Pernambuco no município de Belém do São Francisco (Figura 1, Tabela 1).

Figura 1. Local da coleta das amostras



Fonte: Google Earth; <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/>, 2018

Tabela 1. Coordenadas geográficas das amostras coletadas.

Amostras	Latitude	Longitude
1	08°42'50,8"S	38°51'31,5"W
2	08°42'50,9"S	38°51'32,8"W
3	08°42'50,7"S	38°51'32,7"W

Fonte: Autor.

No laboratório as amostras foram armazenadas em uma geladeira para posteriormente serem analisadas, mas antes das análises elas foram tratadas de

duas formas, na primeira um pequeno pedaço de crosta é retirado e colocado em uma placa de petri na qual a crosta poderá ser hidratada com água destilada, no outro tratamento também ocorre o isolamento de uma pequena parte de crosta mas nesse caso o pedaço é colocado em tubo de vidro com meio de cultura para que algumas populações de cianobactérias aumentem de tamanho, as crostas dos dois tratamentos foram alocadas na estufa (REVCO).

2.2 Análise Morfológica

Após os tratamentos, pequenas massas de cada uma das amostras foram observadas sob microscópio estereoscópico (Zeiss 47 50 52 - 9901) e dois microscópios fotônicos (Olympus BX50 e Olympus BH-2) para a identificação dos morfotipos. Para as identificações específicas foram usados os livros Komárek & Anagnostidis 2005 e Komárek 2013 como livros guias.

2.3 Cultivo

Após a análise morfológica pequenas massas ou filamentos de cianobactérias foram isolados em tubos de ensaio de vidro contendo meio de cultura a fim de cultivar populações das diferentes espécies de cianobactérias observadas.

O isolamento foi feito com auxílio de um microscópio estereoscópico (Zeiss 47 50 52 - 9901) e um microscópio fotônico invertido (Leica DM IL LED), primeiramente com o microscópio estereoscópico pequenas massas ou filamentos eram retirados da crosta e posteriormente com o auxílio do microscópio fotônico invertido foi verificado se somente uma espécie de cianobactéria foi removida da crosta, se mais de um tipo fosse retirado nesse mesmo microscópio elas eram separadas para serem colocadas em diferentes tubos de ensaio com meio de cultura BG11 (Rippa, 1979).

A inoculação da cianobactéria foi feita em um fluxo laminar com o auxílio de uma pipeta de pasteur de vidro que tinha seu bico afinado por uma chama, para facilitar a captura da cianobactéria de interesse, e um algodão na abertura maior da pipeta, primeiramente o dedo da mão é colocado sob a abertura de maior diâmetro e a outra ponta é colocada próxima ao filamento ou massa de interesse, depois o dedo é retirado e por conta da pressão a cianobactéria é levada para dentro da pipeta. Então é aberto um dos tubos com meio próximo a uma chama, para evitar

contaminações, e a pipeta é introduzida no tubo até a ponta mais fina encostar no meio, com isso, foi soprado na ponta com algodão para impulsionar a cianobactéria no meio.

Os tubos de meio já com as cianobactérias foram alocados na estufa a 25°C com fotoperíodo de 12/12 horas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram estudadas 18 populações, divididas em 15 morfotipos, dos quais 3 foram identificadas em nível específico e 12 a nível genérico por não se assemelharem a nenhuma espécie já descritas (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação taxonômica das cianobactérias analisadas.

Ordem	Gênero	Espécie
Nostocales	Scytonema	Scytonema sp.1
Oscillatoriales	Leptolyngbya	Leptolyngbya sp.1
Oscillatoriales	Lyngbya	Lyngbya sp.1
Oscillatoriales	Lyngbyopsis	Lyngbyopsis sp.1
Oscillatoriales	Phormidium	Phormidium sp.1
Oscillatoriales	Phormidium	Phormidium sp.2
Oscillatoriales	Phormidium	Phormidium sp.3
Oscillatoriales	Plactonema	<i>P. tomasinianum</i>
Oscillatoriales	Polychlamydom	Polychlamydom sp.1
Oscillatoriales	Porphyrosiphon	Porphyrosiphon sp.1
Oscillatoriales	Porphyrosiphon	<i>P. notarisii</i>
Oscillatoriales	Pseudanabaena	Pseudanabaena sp.1
Oscillatoriales	Pseudanabaena	Pseudanabaena sp.2
Oscillatoriales	Pseudanabaena	Pseudanabaena sp.3
Oscillatoriales	Trichocoleus	<i>T. erectiuscukus</i>

Fonte: Autor.

3.1 Descrição Morfológica

3.1.1 Nostocales

Scytonema sp.1 (Figura 2-4)

Filamento sinuoso, emaranhados, 13-22 μm diâmetro. Bainha fina, firme, homogênea, incolor. Tricomas, 12-21 μm de diâmetro, não constritos. Células cilíndricas, 7-10 μm comprimentos, 0,4 a 0,8 vez mais longas que largas. Célula apical cônico-arredondada. Heterócito 10 μm comprimento, 20 μm diâmetro, 0,5 vez mais longo que largo.

Amostra: 1

3.1.2 Oscillatoriales

Leptolyngbya sp.1 (Figura 5)

Tricomas sinuosos, emaranhados, 2-4 μm diâmetro, não constritos. Bainha fina, firme, homogênea, incolor. Células isodiamétricas, 2-4 μm comprimento. Célula apical cilíndrico-arredonda.

Amostra: 2

Lyngbya sp.1 (Figura 6-7)

Filamentos retos, solitários, 23-26 μm diâmetro. Bainha espessa, homogênea, incolor. Tricomas 16-18 μm diâmetro, constritos. Células cilíndricas, 10-13 μm comprimento, 0,6 a 0,7 vez mais longas que largas. Célula apical arredondada. Reprodução pela desintegração de um tricoma em hormogônio com ajuda de necridios.

Amostra: 3

Lyngbyopsis sp.1 (Figura 8-9)

Filamentos retos, agregados, com um ou dois tricomas, 20-26 μm diâmetro. Bainha espessa, homogênea, incolor. Tricomas 10-13 μm diâmetro, constritos. Células cilíndricas, 7-12 μm comprimento, 0,7 a 1,2 vez mais longas que largas.

Célula apical cônico-arredondada. Reprodução pela desintegração de um tricoma em hormogônio com ajuda de necridios.

Amostra: 2

Phormidium sp.1 (Figura 10)

Tricomas retos, solitários, 10-11 μm diâmetro, não constritos. Bainha fina, firme, homogênea, incolor. Células cilíndricas, 10-11 μm de comprimento, 1,25 a 1,6 vez mais longas que largas. Célula apical arredondada.

Amostra: 1

Phormidium sp.2 (Figura 11-12)

Filamentos sinuosos, emaranhados, 7-9 μm diâmetro. Bainha fina, firme, incolor. Tricomas 6-8 μm de diâmetro, constritos. Células cilíndricas, 7-11 μm comprimento, 1,2 a 1,4 vez mais longas que largas. Célula apical cilíndrico-arredondada.

Amostra: 3

Phormidium sp.3 (Figura 13)

Filamentos retos, solitários, 9-10 μm diâmetro. Bainha espessa, homogênea, incolor. Tricomas 8-9 μm diâmetro, não constritos. Células cilíndricas, 5-8 μm comprimento, 0,7 a 0,9 vez mais longas que largas. Célula apical cônico-arredondada. Reprodução pela desintegração de um tricoma em hormogônio com ajuda de necridios.

Amostra: 3

P. tomasinianum (Figura 14)

Tricomas retos, solitários, 21-25 μm diâmetro, constritos. Bainha fina, irregular, incolor. Células cilíndricas, 6-11 μm comprimento, 0,3 a 0,5 vez mais longas que largas. Célula apical arredondada.

Amostra: 2

Polychlamydom sp.1 (Figura 15-16)

Filamentos retos, solitários, 29-38 μm diâmetro. Bainha espessa, lamelada, incolor. Tricomas 21-27 μm diâmetro, não constritos. Células cilíndricas, 10-12 μm

comprimento, 0,4 a 0,5 vez mais longas que largas. Célula apical arredondada, com caliptra. Reprodução pela desintegração de um tricoma em hormogônio com ajuda de necridios.

Amostras: 2 e 3

Porphyrosiphon sp.1 (Figura 17)

Filamentos sinuosos, emaranhados, 13-19 µm diâmetro. Bainha espessa, lamelada, incolor. Tricomas 6-9 µm diâmetro, não constritos. Células isodiamétricas, 6-9 comprimento. Célula apical cônico-arredondada.

Amostra: 3

P. notarisii (Figura 18-19)

Filamentos retos, agregados, 36-40 µm diâmetro. Bainha espessa, lamelada, avermelhada. Tricomas 18-20 µm diâmetro, constritos. Células cilíndricas, 10-11 µm comprimento, 0,6 vez mais longas que largas. Célula apical hemisférica.

Amostra: 2

Pseudanabaena sp.1 (Figura 20)

Tricomas sinuosos, emaranhados, 3 µm diâmetro, constritos. Células cilíndricas, 5-3 µm comprimento, 1,5 a 1,6 vez mais longas que largas. Célula apical cônico-arredondada.

Amostra: 1

Pseudanabaena sp.2 (Figura 21)

Tricomas sinuosos, emaranhados, 2 µm diâmetro, constritos. Células cilíndricas, 4-6 µm comprimento, 2 a 3 vezes mais longas que largas. Célula apical cilíndrico-arredondada.

Amostra: 1

Pseudanabaena sp.3 (Figura 22)

Tricomas retos, solitários, 2-3 µm diâmetro, constritos. Células cilíndricas, 2-5 µm comprimento, 1,5 a 2,5 vezes mais longas que largas. Célula apical cônico-arredondada.

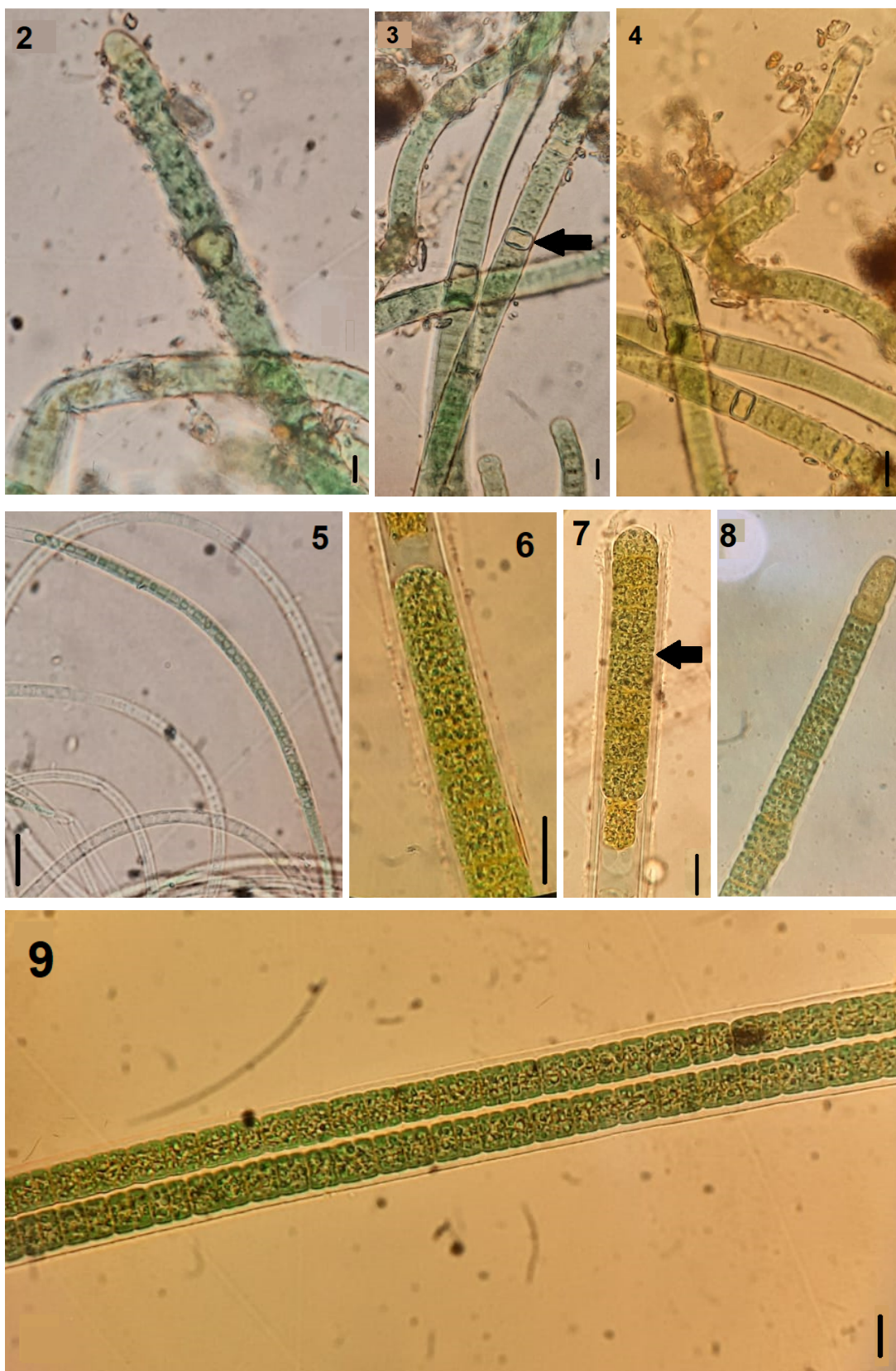
Amostra: 2

T. erectiuscukus (Figura 23)

Filamentos retos, emaranhados, multi-tricomas. Bainha fina, incolor. Tricomas 5 µm diâmetro, constritos. Células cilíndricas, 7-10 µm comprimento, 1,4 a 2,4 vezes mais longas que largas. Célula apical atenuada.

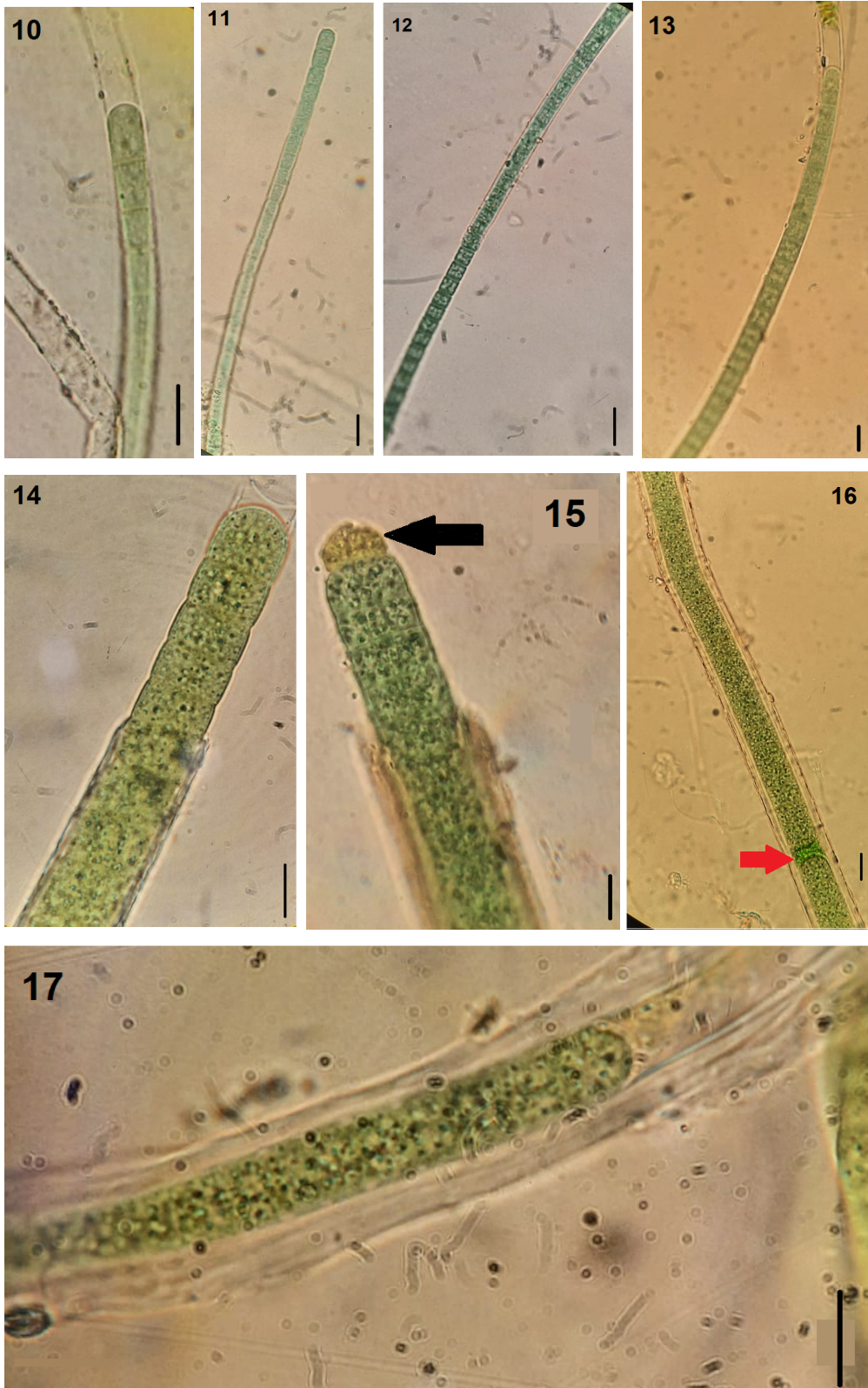
Amostras: 1 e 3

Figuras 2-9. 2-4 *Scytonema* sp.1, seta: heterócito; 5 *Leptolyngbya* sp.1; 6-7 *Lyngbya* sp.1, seta: hormogônio; 8-9 *Lyngbyopsis* sp.1. Escala 10 μ m.



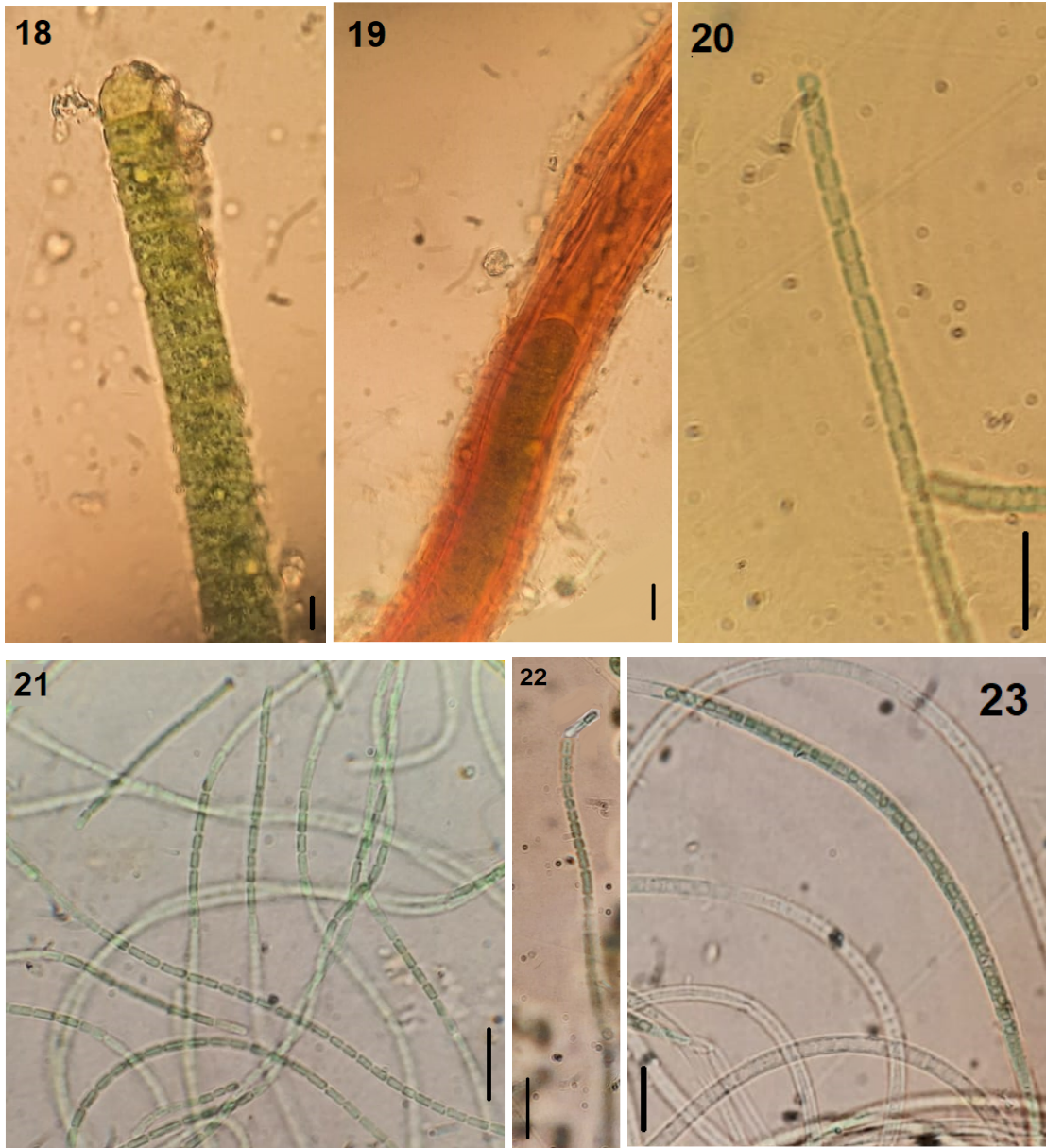
Fonte: Autor.

Fonte: Autor. Figuras 10-17. 10 *Phormidium* sp.1; 11-12 *Phormidium* sp.2; 13 *Phormidium* sp.3; 14 *P. tomasinianum*; 15-16 *Polychlamydom* sp.1, seta preta: caliptra, seta vermelha: necridio; 17 *Porphyrosiphon* sp.1. Escala 10 μ m.



Fonte: Autor.

Figuras 18-23. 18-19 *P. notarisii*; 20 *Pseudanabaena* sp.1; 21 *Pseudanabaena* sp.2; 22 *Pseudanabaena* sp.3; 23 *T. erectuscukus*. Escala 10 µm.



Fonte: Autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises morfológicas foram obtidos dados que permitiram reconhecer 15 espécies de cianobactérias distribuídas em 10 gêneros e duas ordens, esses táxons já tinham sido registrados em outras localidades além da caatinga. As análises morfológicas também elucidaram as características usadas para identificação das cianobactérias.

REFERÊNCIAS

BELNAP, Jayne et al. Biological soil crusts: ecology and management. US Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Science and Technology Center. Denver, Colorado, v. 110, 2001.

BELNAP, J. & LANGE, O. L. (eds). Biological Soil Crusts: structure, function, and management, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.

DE LIMA, Náthali Maria Machado et al. Biocrust cyanobacterial composition, diversity, and environmental drivers in two contrasting climatic regions in Brazil. *Geoderma*, v. 386, p. 114914, 2021.

GARCIA-PICHEL, Ferran; WOJCIECHOWSKI, Martin F. The evolution of a capacity to build supra-cellular ropes enabled filamentous cyanobacteria to colonize highly erodible substrates. *PloS one*, v. 4, n. 11, p. e7801, 2009.

KOMÁREK, Jiří. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/3: Cyanoprokaryota 3. Teil/3rd part: Heterocytous Genera. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2013.

KOMÁREK, Jiri; ANAGNOSTIDIS, Konstantinos. Süßwasserflora von Mitteleuropa, bd. 19/2: Cyanoprokaryota: Oscillatoriales. Spektrum Akademischer Verlag., v. 19, p. 1-759, 2005.

SCIUTO, Katia; MORO, Isabella. Cyanobacteria: the bright and dark sides of a charming group. *Biodiversity and Conservation*, v. 24, p. 711-738, 2015.

SZYJA, Michelle et al. Neglected but potent dry forest players: ecological role and ecosystem service provision of biological soil crusts in the human-modified Caatinga. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 7, p. 482, 2019.

WEBER, Bettina et al. What is a biocrust? A refined, contemporary definition for a broadening research community. *Biological Reviews*, v. 97, n. 5, p. 1768-1785, 2022.