

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**



**Investigação dos efeitos anti-UV e antioxidante de extratos de cianobactérias da coleção CCAPE (Coleção de Cultura de Cianobactérias e Algas de Pernambuco)**

**LUANA CLÁUDIA BARROS NASCIMENTO**

**RECIFE,**  
**2023**

LUANA CLÁUDIA BARROS NASCIMENTO

**Investigação dos efeitos anti-UV e antioxidante de extratos de cianobactérias da coleção CCAPE (Coleção de Cultura de Cianobactérias e Algas de Pernambuco)**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas/UFRPE como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Dr. Watson Arantes Gama Júnior.

RECIFE  
2023

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)

---

N244i Nascimento, Luana Cláudia Barros Nascimento  
Investigação dos efeitos anti-UV e antioxidante de extratos de cianobactérias da coleção CCAPE  
(Coleção de Cultura de Cianobactérias e Algas de Pernambuco) / Luana Cláudia Barros Nascimento  
Nascimento. - 2023.  
41 f. : il.

Orientadora: Watson Arantes Gama Junior.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Licenciatura em Ciências Biológicas, Recife, 2024.

1. cianobactérias. 2. fotoprotetores. 3. antioxidantes. I. Junior, Watson Arantes Gama, orient. II. Título

CDD 574

---

LUANA CLÁUDIA BARROS NASCIMENTO

**Investigação dos efeitos anti-UV e antioxidante de extratos de cianobactérias da coleção CCAPE (Coleção de Cultura de Cianobactérias e Algas de Pernambuco)**

Comissão Avaliadora:

---

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Watson Arantes Gama Júnior – UFRPE  
Orientador

---

Dr<sup>a</sup> Anamaria Silva Diniz – UFRPE  
Titular

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Livia negrão Leite Ribeiro–  
Titular

---

Msc.Jefferson Vitor Melo Cabral – UFRPE  
Suplente

RECIFE

2023

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe Maria Luciana e ao meu irmão Lucas pelo incentivo, dedicação e que estiveram sempre ao meu lado nas horas mais difíceis e felizes da minha vida e ao meu pai José Cláudio por todo incentivo na minha vida acadêmica, infelizmente não está presente fisicamente mas sempre estará comigo aonde eu for.

As minhas amigas Larissa, Palloma e Elidiane e aos meus amigos Marquinhos, Wavyson e Bruno pela força e incentivo na minha graduação, por me fazerem distrair das atividades acadêmicas.

Aos meus amigos da Universidade Aristides, Matheus, Ewerthon e Yuri pelo companheirismo, risadas, amizade e suporte, deixando essa graduação mais leve.

Ao meu orientador Watson, pela dedicação, paciência, aprendizado e pelas valiosas contribuições e conhecimentos dados durante todo o processo.

Ao meus amigos do CyA, Gabriel, J. Mota, Mikael e J.Vitor, e aos meus amigos do Labfic Rafael, Fátima, Caroline, Silvano, Lucas e Anamaria pela colaboração, apoio, conversas e experiências compartilhadas.

Ao Labtecbio, representado pela professora Dra. Raquel Bezerra e suas estudantes, Andreza e Yonara, pela colaboração e auxílio nas análises antioxidantes.

A UFRPE pela oportunidade de ter realizado este curso, pelas bolsas, pelas experiências vivenciadas e todo conhecimento adquirido ao longo dessa graduação.

A FACEPE pelo financiamento do projeto para realizar as pesquisas.

A Deus, sempre presente, por ter me dado essa família maravilhosa e sempre colocar no meu caminho pessoas especiais.

Dedico à minha mãe, meu pai (*in memoriam*) e meu irmão por terem sido meu suporte.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento (Albert Einstein).”

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	12
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
Cianobactéria.....	13
Radiação UV.....	14
Fotoprotetores.....	15
Antioxidantes .....	16
Aplicação das cianobactérias na indústria cosmética.....	18
METODOLOGIA.....	18
Cepas selecionadas, cultivo e biomassa das cianobactérias .....	19
Exposição à radiação UVA.....	19
Análise de Fotoprotetores, carotenoides e clorofila- <i>a</i> .....	20
Análises antioxidantes .....	21
Análises estatísticas.....	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
Descrição taxonômica.....	21
Análises dos fotopigmentos e fotoprotetores.....	23
Análises antioxidantes .....	33
CONCLUSÕES .....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das cepas utilizadas na avaliação do potencial de produção dos fotoprotetores. CCAPE: Coleção de Cultura de Cianobactérias e Algas de Pernambuco. ....	19
Tabela 2. Extrato seco das cepas .....	21
Tabela 3. Biomassa seca das cepas. ....	24
Tabela 4. Valores estatísticos (Teste-T ou Teste U) para as diferenças na absorvância de clorofila-a, carotenoides, citoneminas e MAAs (309, 310,323, 325, 326,330 E 332 nm) para as cepas analisadas quando exposta à luz branca e radiação UVA. Valores em negrito indicam diferença significativa. ....	25
Tabela 5. Análise antioxidante (ABTS) média e desvio-padrão do extrato metanólico das cepas em absorvância após 6 minutos. ....	33
Tabela 6. Análise antioxidante (ABTS) média e desvio-padrão do extrato metanólico das cepas em absorvância após 20 minutos . ....	34
Tabela 7 .Valores estatísticos (Teste-T ou Teste U) para as diferenças no extrato metanólico para as cepas analisadas quando exposta à luz branca e radiação UVA. Valores em negrito indicam diferença significativa.....	34
Tabela 6. Análise antioxidante (ABTS) média e desvio-padrão do extrato metanólico das cepas em absorvância após 20 minutos .	
Tabela 7 .Valores estatísticos (Teste-T ou Teste U) para as diferenças no extrato metanólico para as cepas analisadas quando exposta à luz branca e radiação UVA. Valores em negrito indicam diferença significativa.	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura química dos aminoácidos do tipo micosporinas encontrados em cianobactérias. Fonte: KAGEYAMA & WADITEE-SIRISATTHA (2019). .....	15
Figura 2. Estrutura molecular da citonemina (oxidada e reduzida). Fonte: SIMEONOV & MICHAELIAN (2017). .....	16
Figura 3. Esquema demonstrando os diferentes tratamentos de cultivo para as seis cepas selecionadas no estudo. T1: Tratamento com radiação UVA; T2/C: Tratamento com luz branca/Controle; 3R: três réplicas; CHLA: Clorofila a CAR: Carotenoides e FTP: Fotoprotetores. 20	
Figura 4. A- <i>Chroococciopsis thermalis</i> (CCAPE-73) B- <i>Komarekiella</i> sp. (CAAPE-72); - C- <i>Nostoc interbryum</i> (CAAPE-77) D- <i>Nostoc</i> sp.1 (CAAPE-85); E- <i>Nostoc</i> sp.2 (CAAPE-89); F- <i>Plectolynbya</i> sp. (CAAPE-76); (Escala: 0,2 µm, exceto E e F 0,51 µm). .....	23
Figura 5. Valores médios e desvio padrão da absorvância de clorofila, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 72 exposta à luz branca e radiação UVA. ....	26
Figura 6. Valores médio e desvio padrão na absorvância de clorofila, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 73 quando exposta à luz branca e radiação UVA. ....	27
Figura 7. Valores médios e desvio padrão da absorvância de clorofila-a, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 76 exposta à luz branca e radiação UVA. ....	28
Figura 8. Valores médios e desvio padrão da absorvância de clorofila, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 77 exposta à luz branca e radiação UVA. ....	29
Figura 9. Valores médios e desvio padrão da absorvância de clorofila, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 85 quando à luz branca e radiação UVA. Letras distintas representam diferenças significativas. ....	31
Figura 10. Valores médios e desvio padrão da absorvância de clorofila, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 89 exposta à luz branca e radiação UVA. ....	32
Figura 11. Valores médios e desvio padrão da atividade antioxidante do extrato metanólico para as cepas selecionadas quando exposta à luz branca e radiação UVA. Letras distintas representam diferenças significativas. ....	35

## RESUMO GERAL

As cianobactérias são organismos cosmopolitas, e dentre as propriedades que garantem a sobrevivência delas está a produção de fotoprotetores, sendo o aminoácido do tipo micosporinas (MAAs) e citoneminas os mais comuns. A citonemina é um pigmento hidrossolúvel encontrado na bainha extracelular de polissacarídeos, crostas ou colônias de cianobactérias e os MAAs são um grupo de mais de 20 moléculas hidrofílicas, podem ser encontrados no citoplasma e na bainha externa das cianobactérias. Ambos fotoprotetores têm um grande potencial em aplicações nas indústrias cosméticas, devido às capacidades fotoprotetora e antioxidantes, podendo ser um produto de cuidados da pele, como protetores solares e produtos antienvhecimento. Com isso, o objetivo do trabalho é conhecer e investigar o potencial das cianobactérias terrestres isoladas da Mata Atlântica em produzir substâncias fotoprotetores (anti-UV) e suas atividades antioxidantes. Foram identificadas, fotografadas e descritas seis espécies de cianobactérias *Komarekiella* sp., *Nostoc* sp.1, *Nostoc* sp.2, *Nostoc interbryum*, *Chroococcidiopsis thermalis* e *Plectolynbya* sp. que são pertencentes às ordens Nostocales, Chroococcidiopsidales e Synechococcales. As cepas foram expostas à radiação UVA e luz branca pelo período de 24 horas. A biomassa foi liofilizada e seguiu para extração em acetona 100% (clorofila, carotenoides e citonemina) e metanol 20% (aminoácidos do tipo micosporinas), todos os extratos foram analisados por espectrofotometria de luz. Os extratos metanólicos foram testados quanto à atividade antioxidante por ABTS. Na análise de fotoprotetores, notou-se que a espécie *Nostoc* sp.1 (CCAPE 85) teve uma produção significativa de MAAs em todos os comprimentos de onda após exposição UVA. Na análise antioxidante, o extrato metanólico das espécies (CCAPE-72), *Plectolynbya* sp. (CCAPE-76), *Nostoc* sp.1 (CCAPE-85) e *Nostoc interbryum* (CCAPE-77) tiveram uma atividade antioxidante significativa após exposição à radiação UVA. As espécies *Komarekiella* sp. (CCAPE-72), *Chroococcidiopsis thermalis* (CCAPE-73), *Plectolynbya* sp. (CCAPE-76), *Nostoc interbryum* (CCAPE-77), *Nostoc* sp.1 (CCAPE-85) e *Nostoc* sp.2 (CCAPE-89) tiveram uma maior atividade antioxidante acima de 30% em leitura após 20 minutos da reação com ABTS. A espécie *Nostoc* sp.1 (CCAPE-85) teve a maior produção significativa de MAAs em todos os comprimentos de ondas, como também de atividade antioxidante em exposição UVA e, por isso, pode ser uma alternativa promissora na indústria cosmética, visto que produz fotoprotetores de interesse (MAAs) e apresenta relevante atividade antioxidante. Os resultados contribuem para uma melhor compreensão da taxonomia dessas cianobactérias da CCAPE, com a caracterização morfológica das cepas e identificação em nível de gênero e/ou espécie. Os dados de antioxidante e fotoprotetores demonstram o potencial das cianobactérias de ambientes terrestres para produção desses compostos e a importância de expô-las à radiação UVA para ativar ou aumentar a produção dessas substâncias.

## ABSTRACT

Cyanobacteria are cosmopolitan organisms, and among the properties that ensure their survival is the production of photoprotectors, with mycosporine-like amino acids (MAAs) and scytonemin being the most common ones. Scytonemin is a water-soluble pigment found in the extracellular sheath of polysaccharides, crusts, or colonies of cyanobacteria, while MAAs are a group of more than 20 hydrophilic molecules that can be found in the cytoplasm and outer sheath of cyanobacteria. Both photoprotectors have significant potential in cosmetic industries due to their photoprotective and antioxidant capabilities, making them suitable for skincare products such as sunscreens and anti-aging treatments. Thus, the objective of this study is to explore and investigate the potential of terrestrial cyanobacteria isolated from the Atlantic Forest in producing photoprotective (anti-UV) substances and their antioxidant activities. Six species of cyanobacteria, namely *Komarekiella* sp., *Nostoc* sp.1, *Nostoc* sp.2, *Nostoc interbryum*, *Chroococciopsis thermalis*, and *Plectolynbya* sp., belonging to the orders Nostocales, Chroococciopsidales, and Synechococcales, were identified, photographed, and described. These strains were exposed to UVA radiation and white light for a 24-hour period. The biomass was lyophilized and subjected to extraction with 100% acetone (for chlorophyll, carotenoids, and scytonemin) and 20% methanol (for mycosporine-like amino acids). All the extracts were analyzed using light spectrophotometry. The methanolic extracts were tested for antioxidant activity using ABTS. In the photoprotector analysis, it was observed that the species *Nostoc* sp.1 (CCAPE 85) showed a significant production of MAAs at all wavelengths after UVA exposure. Regarding antioxidant activity, the methanolic extracts of the species (CCAPE-72), *Plectolynbya* sp. (CCAPE-76), *Nostoc* sp.1 (CCAPE-85), and *Nostoc interbryum* (CCAPE-77) exhibited significant antioxidant activity after UVA exposure. Moreover, the species *Komarekiella* sp. (CCAPE-72), *Chroococciopsis thermalis* (CCAPE-73), *Plectolynbya* sp. (CCAPE-76), *Nostoc interbryum* (CCAPE-77), *Nostoc* sp.1 (CCAPE-85), and *Nostoc* sp.2 (CCAPE-89) showed more than 30% higher antioxidant activity after 20 minutes of the reaction with ABTS. Notably, the species *Nostoc* sp.1 (CCAPE-85) displayed the highest significant production of MAAs at all wavelengths and also demonstrated substantial antioxidant activity upon UVA exposure. Therefore, it could be a promising alternative in the cosmetic industry as it produces photoprotectors of interest (MAAs) and exhibits relevant antioxidant activity. The results contribute to a better understanding of the taxonomy of these CCAPE cyanobacteria, with morphological characterization of the strains and identification at the genus and/or species level. The antioxidant and photoprotector data demonstrate the potential of terrestrial cyanobacteria to produce these compounds and the importance of exposing them to UVA radiation to activate or enhance the production of these substances.

## INTRODUÇÃO

As cianobactérias são procariontes fotossintetizantes cosmopolitas que estão distribuídas por todo o planeta, desde fontes termais às regiões polares, como a Antártica RICH *et al.* (2011); (RASTOGI & INCHAROENSAKDI, 2014; DEMAY *et al.*, 2020). Esses organismos são um dos seres vivos mais antigos na Terra e, a partir da fotossíntese oxigênica, responsáveis pela fixação de oxigênio na atmosfera, favorecendo o surgimento da vida em sua maior complexidade (SINGH & KUMAR, 2020; NAEIMPOOR & SHEIBANI MADRAHI, 2022).

As cianobactérias são produtoras de uma ampla gama de metabólitos bioativos, incluindo compostos fenólicos, proteínas, fotoprotetores e vitaminas (FAVAS *et al.*, 2022). A produção de tais compostos possibilitam as cianobactérias sobreviverem em diversos habitats, com exposição a condições ambientais complexas e hostis como radiação ultravioleta, fotooxidação, seca e dessecação, choques térmicos e anaerobiose (BROWNE *et al.*, 2014). Além de serem procariontes, as cianobactérias possuem taxas fotossintéticas e de crescimento mais altas do que as plantas, o que permite que esses microrganismos tenham requisitos nutricionais básicos e possam ser cultivados em sistemas fechados que não competem com a agricultura (FAVAS *et al.*, 2022).

Os altos níveis da radiação ultravioleta geram radicais livres e posteriormente causa danos celulares, principalmente no DNA, por isso os fotoprotetores desenvolvidos pelas cianobactérias são fundamentais para minimizar esses efeitos (RICH *et al.*, 2011; SINGH & KUMAR, 2020). Estes organismos são induzidos a biossintetizar diversos tipos de “protetores solares” para os curtos comprimentos de ondas da radiação UV, sendo alguns desses compostos, os aminoácidos do tipo micosporinas (MAAS) e as citoneminas (KAGEYAMA & WADITEE-SIRISATTHA, 2019; ROSIC, 2019; NAEIMPOOR & SHEIBANI MADRAHI, 2022). Os MAAs são um grupo de mais 20 moléculas pequenas (<400 Da), hidrossolúveis e incolores, encontrados no citoplasma de cianobactérias, fungos, macroalgas e microalgas (SINGH & KUMAR, 2020). Esses compostos atuam como fotoprotetores e antioxidantes e tem máxima absorção entre 310-362 nm (ROSIC, 2019; KUMARI *et al.*, 2021).

A citonemina é uma biomolécula lipofílica encontrada exclusivamente na bainha extracelular de cianobactérias, tendo coloração amarelada (RASTOGI & INCHAROENSAKDI, 2014). Responsável por agir como fotoprotetor nos comprimentos de onda curta da radiação UV (315–400 nm), a citonemina tem absorção máxima em 384 nm e está presente em cianobactérias que vivem ambientes extremos e com alta incidência luminosa (RASTOGI & INCHAROENSAKDI, 2014; RASTOGI *et al.*, 2015; SINGH & KUMAR, 2020).

As mudanças climáticas e os efeitos das emissões de gases como dióxido de carbono, óxido nítrico, hexafluoreto e metano na atmosfera têm gerado sérios danos à camada de ozônio e com isso, aumentando a incidência de radiação UVA e UVB na litosfera (ADEOYE & AINA, 2019). Esse aumento tem refletido na crescente taxa de melanomas e outras enfermidades na pele, além do aumento indireto de outras doenças relacionadas ao estresse oxidativo celular como diabetes,

perturbações metabólicas, aterosclerose e doenças cardiovasculares (CHEN *et al.*, 2021). Além disso, a indústria cosmética tem aumentando anualmente a demanda por novos produtos com ação rejuvenescente e antioxidante, estando os compostos anti-UVs dentre os mais requisitados. Atualmente, existem produtos comercializados com fotoprotetores derivados de cianobactérias na sua composição como Helioguard® 365 e Helionori® (RICHA *et al.*, 2011; ROSIC, 2019). Com isso, o uso de fotoprotetores é promissor tanto na indústria cosmética como na farmacêutica (LLEWELLYN & AIRS, 2010; WHITE *et al.*, 2011; JAIN *et al.*, 2017).

Dada a predisposição das cianobactérias em produzir esses metabólitos, há uma grande possibilidade de descoberta de novos fotoprotetores e antioxidantes provindos desses organismos, o que está associado ao cultivo sustentável, visando a utilização desses derivados de cianobactérias na produção de protetor solar ou antioxidante nas indústrias cosméticas e/ou farmacológicas (LLEWELLYN & AIRS, 2010; WHITE *et al.*, 2011; JAIN *et al.*, 2017). Assim, o presente estudo tem por objetivo geral Conhecer e investigar o potencial das cianobactérias terrestres isoladas da Mata Atlântica e mantidas na CCAPE em produzir substâncias fotoprotetores (anti-UV) e suas propriedades antioxidantes, e seus objetivos específicos Caracterizar morfológicamente e identificar as cepas selecionadas neste estudo; Investigar a presença dos fotoprotetores citoneminas e aminoácidos do tipo micosporinas (MAAs); Investigar o potencial antioxidante dos metabólitos bioativos das cepas.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Cianobactéria

As cianobactérias são consideradas uma das formas de vida mais antigas do planeta Terra, com uma história evolutiva datando cerca de 3,5 bilhões de anos (MEHDIZADEH ALLAF & PEERHOSSAINI, 2022). A evidência desses seres foi demonstrada pelos microfósseis (estromatólitos) existentes a partir da era Pré-Cambriana, sendo esses procariontes morfológicamente maiores em tamanho do que outras bactérias (DERIKVAND *et al.*, 2017). Fotossintetizantes, as cianobactérias são seres que podem habitar e prosperar em uma variedade de ambientes (SINGH *et al.*, 2016) incluindo água dulcícola, oceanos, água alcalina, desertos frios e quentes, regiões polares e fontes termais (GAO *et al.*, 2021). Esse amplo espectro de sobrevivência se dá pela adaptação metabólica desses seres e sua plasticidade (ABED *et al.*, 2009).

As cianobactérias também apresentam ampla diversidade morfológica, com formas unicelulares, coloniais, filamentosas e heterocitadas (GARLAPATI *et al.*, 2019), podendo facilmente sobreviver com a mínima exigência de luz, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água (BROWNE *et al.*, 2014; FITRI *et al.*, 2021; KOTHA *et al.*, 2022). Ecologicamente, são organismos fundamentais para produtividade primária e como agentes fixadores de nitrogênio atmosférico (KHALIFA *et al.*, 2021). De fato, as propriedades fixadoras de oxigênio das cianobactérias tornaram a vida na Terra possível

há bilhões de anos (KHALIFA *et al.*, 2021), sendo as cianobactérias precursoras dos cloroplastos de todos os organismos fotossintetizantes conhecidos na atualidade (SATO, 2021).

As cianobactérias possuem clorofila *a* e pigmentos acessórios como as ficobiliproteínas (ficocianina, a ficoeritrinina e a aloficocianina), que dão às células cianobacterianas cores variadas que vão desde o azul-esverdeado até o castanho e púrpuro (ANANYA & AHMAD, 2014). Além disso, as cianobactérias também tem a capacidade de produzir uma variedade de metabólitos secundários bioativos tais como polissacarídeos, lipídios, proteínas, vitaminas, esteróis, enzimas (DE MORAIS *et al.*, 2015).

### **Radiação UV**

As cianobactérias são organismos cosmopolitas e desenvolveram propriedades para habitar os mais variáveis ambientes, principalmente pela tolerância à exposição à radiação UV, que tem grande potencial para afetar o metabolismo dos organismos, atingindo diretamente componentes fundamentais das células como lipídios, proteínas e DNA, ou para induzir efeitos indiretos através da geração de radicais livres (BHANDARI & SHARMA, 2021).

A radiação é definida como a propagação de energia por meio da emissão de partículas, também conhecida como radiação corpuscular, ou por meio de ondas eletromagnéticas, conhecida como radiação eletromagnética. Dependendo da energia envolvida, a radiação pode ser classificada como ionizante ou não ionizante (REITH, 2016).

Radiação ionizante é aquela que tem energia suficiente para remover elétrons de átomos ou moléculas, resultando na formação de íons. Essa radiação pode ser composta por partículas carregadas, como elétrons, prótons e íons, ou fótons de alta energia, como raios X e raios gama (DARTNELL, 2011).

A radiação não ionizante é aquela que não possui energia adequada para ionizar o meio em que se propaga, porém, mesmo assim, pode ocasionar danos ao quebrar ligações moleculares e gerar radicais livres. Exemplos incluem as ondas eletromagnéticas dentro do espectro da luz visível e o ultravioleta (UV) (SOWA *et al.*, 2012).

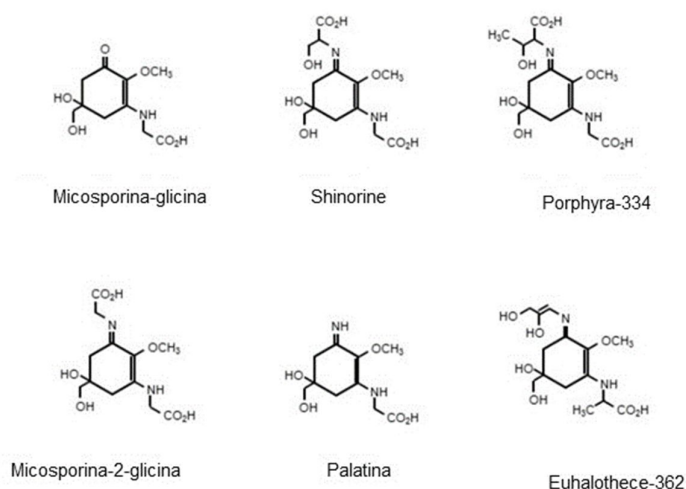
Radiação UV é uma onda eletromagnética oriunda dos raios solares, altamente energética e ionizante e é dividida em três faixas de energia, sendo elas as radiações UVA, UVB e UVC. A UVA apresenta o comprimento de onda entre 315-400 nanômetros, agindo na sensibilização das moléculas na absorção e pode levar à interação com o oxigênio, resultando na formação de espécies reativas de oxigênio (EROS) que têm a capacidade de oxidar diversos alvos celulares. A radiação UVB apresenta o comprimento de onda entre 280-315 nanômetros, cujos efeitos agem sem dependência da presença do oxigênio e resulta na absorção direta em moléculas específicas, principalmente DNA e proteínas, sendo essas consideradas os principais alvos da radiação UVB. Já a radiação UVC apresenta o menor comprimento de onda, entre 100-280 nanômetros, e é bloqueada totalmente pela camada de ozônio, não afetando a superfície da Terra (GAO & GARCIA-

PICHEL, 2011; KAGEYAMA & WADITEE-SIRISATTHA, 2019). Todavia, seu dano sobre os seres vivos é fatal, sendo essa radiação utilizada em métodos de esterilização diversos, como do ar e água.

Para eliminar os efeitos deletérios da radiação UV, as espécies extremófilas, i.e. que vivem em ambientes inóspitos e, neste caso, com alta taxa de incidência UV, têm a capacidade de desenvolver mecanismos de reparo e proteção do DNA (DERIKVAND *et al.*, 2017). No caso das cianobactérias, principalmente as terrestres, há a produção de fotoprotetores devido à intensa exposição à radiação solar e dessecação (LIU *et al.*, 2017). Com isso, esses organismos são induzidos a produzirem fotoprotetores, sendo os mais comuns os aminoácidos do tipo micosporinas (MAAs) e citoneminas.

### Fotoprotetores

Os MAAs são um grupo de mais de 20 moléculas hidrofílicas (<400 Da), como por exemplo micosporina-glicina, chinorina, palitina, porphyra-334, micosporina-2-glicina, euhalotheca-362 (Figura 1) (DERIKVAND *et al.*, 2017). Sua estrutura consiste em um sistema de anel de ciclohexanona ou ciclohexenimina conjugado a um aminoácido ou aminoálcool, sendo o anel de ciclohexanona ou ciclohexenimina a unidade responsável pela absorção de UV, com máxima absorção nos comprimentos de ondas entre 310 e 362 nm (SINHA *et al.*, 2001).

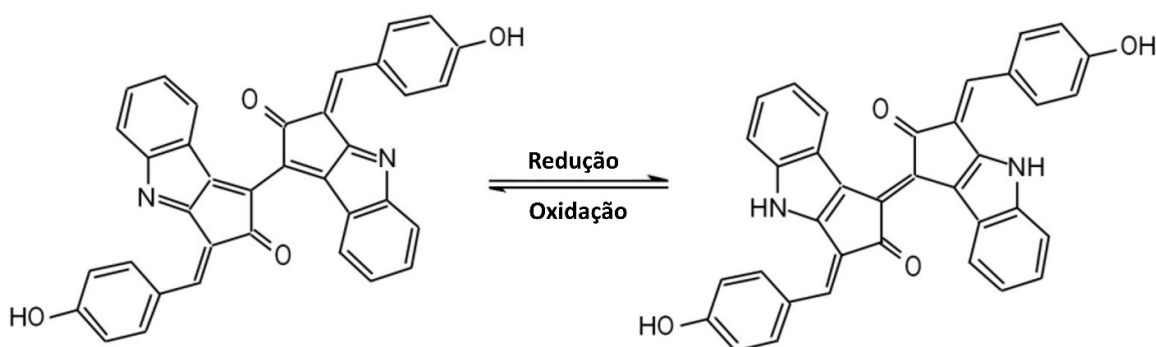


**Figura 1. Estrutura química dos aminoácidos do tipo micosporinas encontrados em cianobactérias. Fonte: KAGEYAMA & WADITEE-SIRISATTHA (2019).**

Os MAAs são encontrados no citoplasma de microalgas, macroalgas, fungos e cianobactérias (KAGEYAMA & WADITEE-SIRISATTHA, 2019; GAO *et al.*, 2021) e são capazes de atuar como substâncias fotoprotetoras. Além disso, podem apresentar atividade antioxidante, podem dissipar a radiação UV absorvida como calor sem a geração de radicais livres (GERALDES

*et al.*, 2020; BHANDARI & SHARMA, 2021) e são capazes de aumentar a tolerância celular à dessecação (DERIKVAND *et al.*, 2017).

As citoneminas são um pigmento hidrossolúvel, com a coloração marrom-amarelada, sendo uma molécula dimérica (544 Da) (Figura 2) (DERIKVAND *et al.*, 2017). As citoneminas têm uma absorção máxima em 384 nm e são encontradas na bainha extracelular de polissacarídeos, crostas ou colônias de cianobactérias (GAO *et al.*, 2021). Esse pigmento é considerado como um fotoprotetor eficiente contra a radiação UVA solar (DERIKVAND *et al.*, 2017). A biossíntese desse biocomposto depende da radiação UV do ambiente (KAGEYAMA & WADITEE-SIRISATTHA, 2019), além dos fatores abióticos como salinidade, dessecação, baixos níveis de nitrogênio e temperatura são alguns fatores que modulam a síntese do fotoprotetor em distintas espécies de cianobactérias (RASTOGI & INCHAROENSAKDI, 2014). As citoneminas atuam como uma barreira física contra a radiação UV e antioxidante contra radicais livres produzidos após exposição UVA (MILITO *et al.*, 2021). Os MAAs e as citoneminas são biossintetizados naturalmente nas cianobactérias e têm uma grande perspectiva em aplicação cosmética e biomédica (GAO *et al.*, 2021).



**Figura 2. Estrutura molecular da citonemina (oxidada e reduzida). Fonte: SIMEONOV & MICHAELIAN (2017).**

### **Antioxidantes**

Antioxidante é uma propriedade de diversas substâncias que agem bloqueando a ação de radicais livres, sendo elas principalmente formadas por vitaminas, minerais, compostos fenólicos, enzimas, pigmentos e carotenóides (FLIEGER *et al.*, 2021; KOTHA *et al.*, 2022). Essas moléculas, ou átomos oxidáveis, são encontrados em maior ou menor concentração em todos os organismos, pois é o mecanismo eficiente de controlar, neutralizar e prevenir a oxidação dessas espécies ativas de oxigênio (EROS) na célula (KOTHA *et al.*, 2022).

As EROS são definidas como moléculas biológicas que podem ser inorgânicas ou orgânicas e, até mesmo, átomos que apresentam um elétron desemparelhado com existência independente e instável, tornando-o altamente reativo e com uma meia vida de curta duração (BIANCHI & ANTUNES, 1999; FLIEGER *et al.*, 2021). Sua síntese decorre de processos metabólicos envolvidos na cadeia respiratória e fagocitose; no entanto, uma produção em altos níveis pode ocasionar

degeneração de componentes celulares como proteínas, lipídeos, DNA e carboidratos e, conseqüentemente, morte celular, resultando em várias patologias, como AIDS, envelhecimento, artrite, asma, doenças autoimunes, câncer, diabetes e doenças neurodegenerativas (BIANCHI & ANTUNES, 1999; FLIEGER *et al.*, 2021).

Os antioxidantes são importantes na prevenção e combate às EROS, pois conseguem ser eficientes em manter a homeostase dos tecidos. Também são eficientes ao eliminar ou amenizar os efeitos da exposição à radiação UV, calor, algumas patologias e condições de estresse oxidativo, reparando os danos gerados. Os antioxidantes podem ser adquiridos de formas endógenas, como catalase e peroxidase, e exógenas, por meio da alimentação e uso tópico (NOVAES *et al.*, 2013; JASKI *et al.*, 2014). Logo, substâncias antioxidantes são inseridas em produtos farmacêuticos, cosméticos e alimentares para prevenção do envelhecimento celular, manutenção da pele, além de combater o estresse oxidativo (JASKI *et al.*, 2014; MOUSSA *et al.*, 2019).

As cianobactérias podem ser incorporadas em tratamentos de saúde devido à produção de substâncias como flavonoides, pigmentos (por exemplo,  $\beta$ -caroteno e ficobiliproteínas), vitaminas, fenóis, além de metabólitos ativos, como esteroides, taninos, proteínas e uma riqueza de ácidos graxos insaturados, que podem ser usados como alimentos (para dietas especiais), nutracêuticos (como suplementos nutricionais) ou cosméticos (como emolientes e agentes protetores) (MORONE *et al.*, 2020). Esses compostos também têm aplicações cosméticas, pois contêm elevadas quantidades de antioxidantes e metabólitos benéficos, além de seu baixo nível de toxicidade (NOWRUZI *et al.*, 2020).

Os metabólitos bioativos das cianobactérias têm um potencial significativo, em razão da ampla gama de atividades biológicas, incluindo efeitos antimicrobianos, antivirais, anticancerígenos, antioxidantes e anti-inflamatórios. Em relação à atividade antioxidante, inúmeras cepas têm relatado uma quantidade representativa de metabólitos com capacidade de eliminação de radicais livres, como carotenoides, a citar os gêneros *Leptolyngbya*, *Synechocystis* e *Wollea* (FAVAS *et al.*, 2022). (RASTOGI & INCHAROENSAKDI, 2014) reportaram que o micosporina-glicina do gênero *Arthrospira* tem uma atividade antioxidante, com uma rápida proteção e atenuação nos danos oxidativos da radiação UVB. KAGEYAMA & WADITEE-SIRISATTHA (2019) demonstraram que o MAA palitina, em estudos *in vivo* com a linha de células de queratinócitos (HaCat), gerou uma diminuição dos efeitos deletérios da radiação UV, e o MAA micosporina-2-glicina, em estudo *in vitro* com células fibroblásticas de pele humana, foi biocompatível, apontando a ação desses biocompostos na proteção da pele humana contra a radiação UV e seus efeitos antioxidantes.

Em estudos com os MAAS micosporina-glicina, chinorina, palitina, porphyra-334 foi demonstrado que é possível proteger os fibroblastos humanos da morte celular induzida pela exposição aos raios UV (RICHA *et al.*, 2011). TORRES *et al.* (2006) avaliaram a capacidade de absorção no extrato metanólico do MAA porphyra-334 da cianobactéria *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault 1886 na radiação UVA comparando com duas opções de protetores

solares disponíveis comercialmente pela empresa Nivea (Loção Solar Hidratante Nivea, lote 10932751) e Boots (Boots Soltan Extra Moisturizing Sun Lotion, lote 1Z). Ao fim, esses autores constataram que o extrato da cianobactéria contendo porphyra-334 demonstrou propriedades significativas relacionadas na absorção de UVA, sendo eficiente tanto quanto os protetores comerciais, podendo ser utilizado como um potencial bioproduto para o desenvolvimento de protetores solares contra radiação UVA. Acerca da citonemina com potencial antioxidante, RASTOGI & INCHAROENSAKDI (2014) demonstraram que uma cepa do gênero *Rivularia* apresentou uma significativa redução na formação de radicais livres e dímeros de timina.

### **Aplicação das cianobactérias na indústria cosmética**

Na indústria cosmética, os aminoácidos do tipo micosporinas e citoneminas têm um grande potencial como um bioproduto natural para cuidados da pele, como protetores solares e produtos anti-envelhecimento (GARLAPATI *et al.*, 2019; GERALDES *et al.*, 2020). Os compostos bioativos MAAs têm efeitos positivos na regeneração celular que são observados nos fibroblastos da pele humana, tornando-os agentes cosméticos potenciais (NOWRUZI *et al.*, 2020). RASTOGI & INCHAROENSAKDI (2014) reportam que o MAA micosporina-glicina da cianobactéria do gênero *Arthrospira* pode ser um metabólito promissor na indústria farmacêutica como protetor solar ou outro bioproduto e outros produtos comerciais contra as doenças associadas a radicais livres.

RASTOGI *et al.* (2015) reportam que a citonemina pode ser utilizada como componente ativo em fotoprotetor, por causa da sua eficiência contra radicais livres induzidos por UV (NAEIMPOOR & SHEIBANI MADRAHI, 2022). KAGEYAMA & WADITEE-SIRISATTHA (2019) mencionam que a citonemina produzida pelas cianobactérias *Leptolyngbya mycodia* e *Phormidium* sp têm potencial antioxidante que bloqueia os danos celulares causados pelo estresse oxidativo da radiação UV. Esse metabólito secundário tem uma estrutura lipossolúvel, permitindo uma combinação com substâncias oleosas, tais como hidratantes à base de água em óleo, cremes anidros e ceras. Essas formulações tendem a apresentar um Fator de Proteção Solar (FPS) mais elevado e são resistentes à água, além de suas atividades anti-inflamatórias e antiproliferativa (NAEIMPOOR & SHEIBANI MADRAHI, 2022).

Na indústria cosmética já estão disponíveis comercialmente alguns extratos ativos de cianobactérias que contêm a finalidade de proporcionar uma proteção na pele como o extrato de Spirulin Spiralin utilizado em produtos como esfoliante, creme de reparação e sérum com efeitos regenerativos nas células danificadas da pele e colágeno, e proteção contra a radiação UV (MORONE *et al.*, 2020). Também existem dois produtos com MAAs nas suas formulações, sendo Helioguard® 365 (RICHA *et al.*, 2011) e Helionori® (ROSIC, 2019). Apesar dos estudos apresentados acima, a quantidade de cianobactérias exploradas na área cosmética ainda é muito baixa, considerando as potencialidades desse recurso e repositório natural de biocompostos.

### **METODOLOGIA**

## Cepas selecionadas, cultivo e biomassa das cianobactérias

Foram selecionadas seis cepas de cianobactérias terrestres coletadas do Domínio brasileiro Mata Atlântica no estado de Pernambuco, Brasil, listadas na Tabela 1 que já haviam sido coletadas. As cepas foram mantidas em erlemeyer de 1 L em meio ASM-1 líquido, temperatura de  $23\pm 2$  °C e irradiância de cerca de  $30 \mu\text{mol. fótons.m}^{-2} .\text{s}^{-1}$ , com lâmpadas led brancas/frias. O principal critério para seleção das cepas foi o habitat de onde elas foram isoladas, tendo sido selecionadas aquelas isoladas de substrato expostos à incidência luminosa direta e intensa como tronco de árvore, concreto e madeira. A metodologia de cultivo foi baseada nas recomendações de JACINAVICIUS *et al.* (2013).

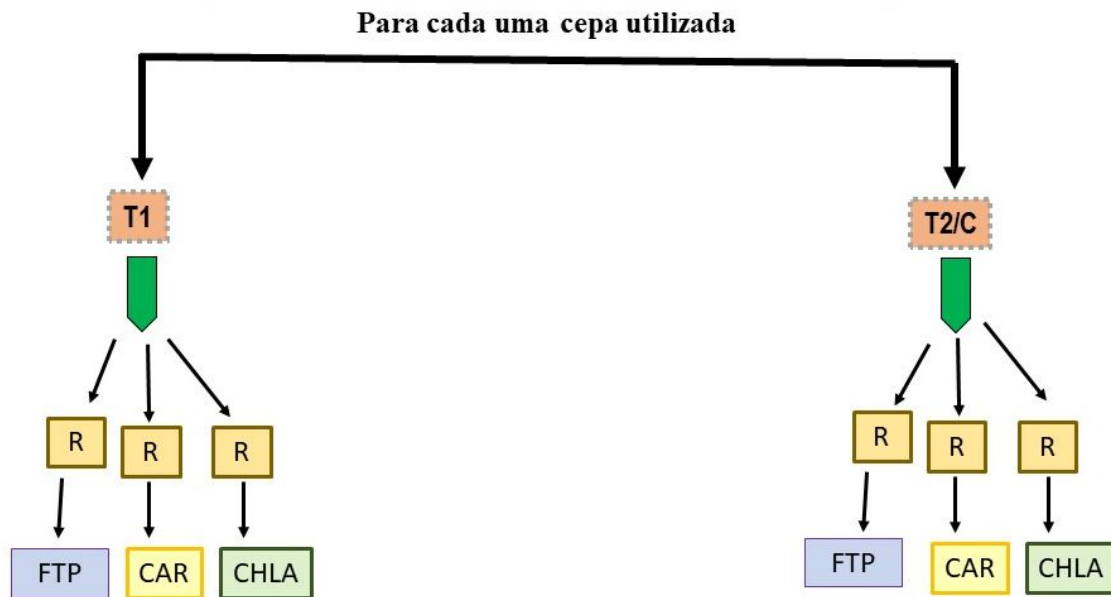
Para a análise taxonômica, as cepas foram observadas em microscopia ótica, fotografadas, medidas e descritas, por meio da confecção de lâminas a partir dos cultivos, sendo essas examinadas em microscópio óptico Leica DM 1.000 com câmera fotográfica acoplada, com aumento de 400× e 1.000×. As medições foram realizadas pelo programa AxioVision Zeiss.

**Tabela 1. Descrição das cepas utilizadas na avaliação do potencial de produção dos fotoprotetores. CCAPE: Coleção de Cultura de Cianobactérias e Algas de Pernambuco.**

Código Cepa	Local de coleta	Substrato	Identificação
CCAPE-72	Estação Ecológica de Tapacurá/PE	Tronco de árvore	<i>Komarekiella</i> sp.
CCAPE-73	Estação Ecológica de Tapacurá/PE	Concreto	<i>Chroococciopsis thermalis</i> Geitler 1933
CCAPE-76	Estação Ecológica de Tapacurá/PE	Tronco de árvore	<i>Plectolynbya</i> sp.
CCAPE-77	Estação Ecológica de Tapacurá/PE	Madeira	<i>Nostoc interbryum</i> Sant'Anna et al. 2007
CCAPE-85	Estação Ecológica de Tapacurá/PE	Tronco de coqueiro	<i>Nostoc</i> sp.1.
CCAPE-89	Estação Ecológica de Tapacurá/PE	Tronco de árvore	<i>Nostoc</i> sp.2

## Exposição à radiação UVA

Para avaliação dos efeitos da radiação UVA na produção de fotoprotetores, clorofila *a* e carotenoides, placas de Petri de plástico foram então expostas a dois tipos de tratamento de cultivo: luz UVA (T1) e luz branca LED (T2/C) por 24h, sendo essa última o controle, pois é a luz padrão do cultivo. A radiação UVA foi obtida por meio da exposição das cepas à lâmpadas actínicas (emissão de 315-400 nm). Esse teste foi realizado em réplicas, sendo assim seis placas. Após o crescimento das cepas de sete meses, a biomassa de cada uma delas foi centrifugada para eliminação do meio de cultivo (5 minutos a 5.000 rpm) e o *pellet* formado foi pesado e a massa dividida em seis partes iguais. Essa biomassa foi então acondicionada em placas de Petri estéreis com meio AMS-1 sólido, também estéril, sendo três delas expostas ao T1 e três ao T2.



**Figura 3. Esquema demonstrando os diferentes tratamentos de cultivo para as seis cepas selecionadas no estudo. T1: Tratamento com radiação UVA; T2/C: Tratamento com luz branca/Controle; 3R: três réplicas; CHLA: Clorofila a CAR: Carotenoides e FTP: Fotoprotetores.**

### **Análise de Fotoprotetores, carotenoides e clorofila-a**

Para a realização das análises de fotoprotetores, carotenoides e clorofila-a, a biomassa de cada cepa foi lavada em água destilada esterilizada para remoção de resíduos do meio de cultivo e bactérias heterotróficas, seguindo recomendações de JACINAVICIUS *et al.* (2013), e, em seguida, foi liofilizada e pesada, sendo realizada por cada biomassa de cepa. A biomassa foi macerada em pistilo e almofariz de ágata e em seguida foi adicionado 3 ml de acetona 100% para extração da citonemina, clorofila a e carotenoides (GARCIA-PICHEL & CASTENHOLZ, 1991; GARCIA-PICHEL *et al.*, 1992). Após a remoção e secagem total da acetona, adicionou-se 1 ml metanol 20% para extração dos aminoácidos do tipo micosporina (MAAs) (GARCIA-PICHEL *et al.*, 1993). Os extratos foram centrifugados (3 minutos a 5.000 rpm) e a presença dos compostos foi avaliada por método espectrofotométrico. Para a citonemina, observaram-se os pontos de absorbância nos comprimentos de ondas: 394, 490 e 663 nm, e para análise do MAAs, os pontos de absorbância 260 nm, 309nm, 310nm, 323 nm, 325 nm, 326 nm, 300nm e 332nm foram observados. Para calcular a absorbância das citoneminas utilizou a equação:  $A_{384} = 1.04 A_{384} - 0.79A_{663} - 0.27A_{490}$  (GARCIA-PICHEL & CASTENHOLZ, 1991) e para o MAAs utilizou a formula  $A_{\lambda^*} = A_{\lambda} - A_{260} (1.85 - 0.005\lambda)$  (GARCIA-PICHEL *et al.*, 1993). Para a clorofila e carotenóides, observaram-se os pontos de absorbância nos comprimentos de ondas: 394, 490 e 663 nm. Para calcular a absorbância da clorofila a utilizou a equação:  $A_{663} = 1.02 A_{663} - 0.027 A_{384} - 0.1 A_{490}$  e para os carotenoides utilizou a equação  $A_{490} = 1.02 A_{490} - 0.08A_{384} - 0.026A_{490}$  (GARCIA-PICHEL & CASTENHOLZ, 1991).

## **Análises antioxidantes**

O ensaio ABTS+• foi realizado conforme descrito por PIRES *et al.* (2017), originalmente proposto por RE *et al.* (1999). O radical ABTS+• foi preparado adicionando-se 1mL de solução de ABTS 7mM com 17,6µL de persulfato de potássio 140 mM. A solução foi mantida no escuro por 16h. Após esse período, 1mL da solução de ABTS+• foi diluída em 40 mL de metanol para obter a absorvância de 0,8 em 734nm. A reação antioxidante foi realizada adicionando-se uma alíquota de 20 µL de amostra (ou padrão ou controle negativo) para 280 µL de solução ABTS, sendo realizada quatro diluições 2mg/ml, 1 mg/ml, 0,50 mg/ml e 0,25 mg/ml. Para cada diluição foi realizado três réplicas. A absorvância foi medida a 734 nm após 6 e 20 min de reação no escuro nas microplacas de 96 poços utilizado leitor de microplacas Imark, Bio-Rad.

A pesagem do extrato seco das cepas, subdivida em um extrato para cada tratamento, está demonstrada na **Error! Reference source not found.**

**Tabela 2. Extrato seco das cepas .**

Cepa	Extrato metanólico na UVA	Extrato metanólico na LUZ BRANCA
CCAPE-72	0,0041g	0,0047g
CCAPE-73	0,0082g	0,0082g
CCAPE-76	0,0025g	0,0055g
CCAPE-77	0,0031g	0,0054g
CCAPE-85	0,0061g	0,0019g
CAAPE-89	0,0069g	0,0062g

## **Análises estatísticas**

Os dados de produção de pigmentos entre os tratamentos de cultivo foram avaliados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro Wilk e então comparados por Teste-T (paramétrico) para observar a diferença entre os dois tratamentos quanto à produção de fotoprotetores, carotenoides, clorofila *a* e ação antioxidante dos extratos metanólicos (ou correspondente não paramétrico, Teste-U, casos os dados não tenham distribuição normal). Foram consideradas significativos os valores de  $p < 0,05$ . As análises foram realizadas no software GraphPad Prisma®.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Da Coleção de Cultura de Cianobactérias e Algas de Pernambuco (CCAPE) foram selecionadas seis cepas, pertencentes às ordens Chroococciopsidales, Nostocales e Synechococcales (Tabela 1), descritas a seguir.

### **Descrição taxonômica**

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Chroococciopsidales  
Chroococciopsidaceae

***Chroococciopsis thermalis* Geitler 1933 - CCAPE-73**

Fig. 4A

Colônia com células poliédricas distribuídas na bainha mucilaginosa hialina, 11,1-29,83 µm de comprimento, 5,93-24,82-µm de largura. Células arredondas, 2,29-4,64 µm de comprimento, 1,4-2,64 µm de largura. Conteúdo celular homogêneo, verde.

Nostocales  
Nostocaceae

***Komarekiella* sp. - CCAPE-72**

Fig. 4B

Filamentos longos, com mucilagem hialina, 15,35- 20 µm de comprimento, presença de heterócitos nas extremidades 1,29-5,25 µm de comprimento, 1,23-6,17 µm de largura. Células arredondadas, 2,17- 3,28 µm; ,2,17-3,12µm de largura. Conteúdo celular granuloso, verde-oliva.

***Nostoc interbryum* Sant'Anna et al. 2007 - CCAPE-77**

Fig. 4C

Filamentos médios a longos com bainha mucilaginosa hialina, 10,84-22,94 µm de comprimento, com a presença de heterócito nas extremidades, 2,10-5,91 µm de comprimento, 3,17-6,16 µm de largura . Células arredondadas 2,52-5,05 µm de comprimento; 2,67-6,32 µm de largura;.Conteúdo granuloso, esverdeada.

***Nostoc* sp.1 – CAAPE-85**

Fig. 4D

Filamentos médios a longos com bainha mucilaginosa hialina, 12,69-41,25 µm de comprimento;. Células arredondadas 1,57-6,26 µm de comprimento, 1,62-6,38 µm de largura, presença de heterócitos, 1,54-5,23 µm de comprimento, 1,55-6,20 µm de largura. Conteúdo granuloso, esverdeada.

***Nostoc* sp.2 – CAAPE-89**

Fig. 4E

Filamentos longos com mucilagem hialina, 5,6-52,84 µm de comprimento, heterócitos nas extremidades 2,06-3,90 µm de comprimento, 2,74-3,4 µm de largura. Células retangulares a arredondas, 3,95-4,38 µm de comprimento; 2,72-4,42 µm de largura. Conteúdo granuloso, verde-

oliva.

Synechococcales

Leptolyngbyaceae

***Plectolynbya* sp. CAAPE-76**

Fig. 4F

Filamentos longos com bainha mucilagínosa hialina, 14,43-33,14  $\mu\text{m}$  de comprimento. Células retangulares a arredondadas, 0,90-1,50  $\mu\text{m}$  de comprimento; 0,70-1,80 de largura. Contéudo celular homogêneo, verde.

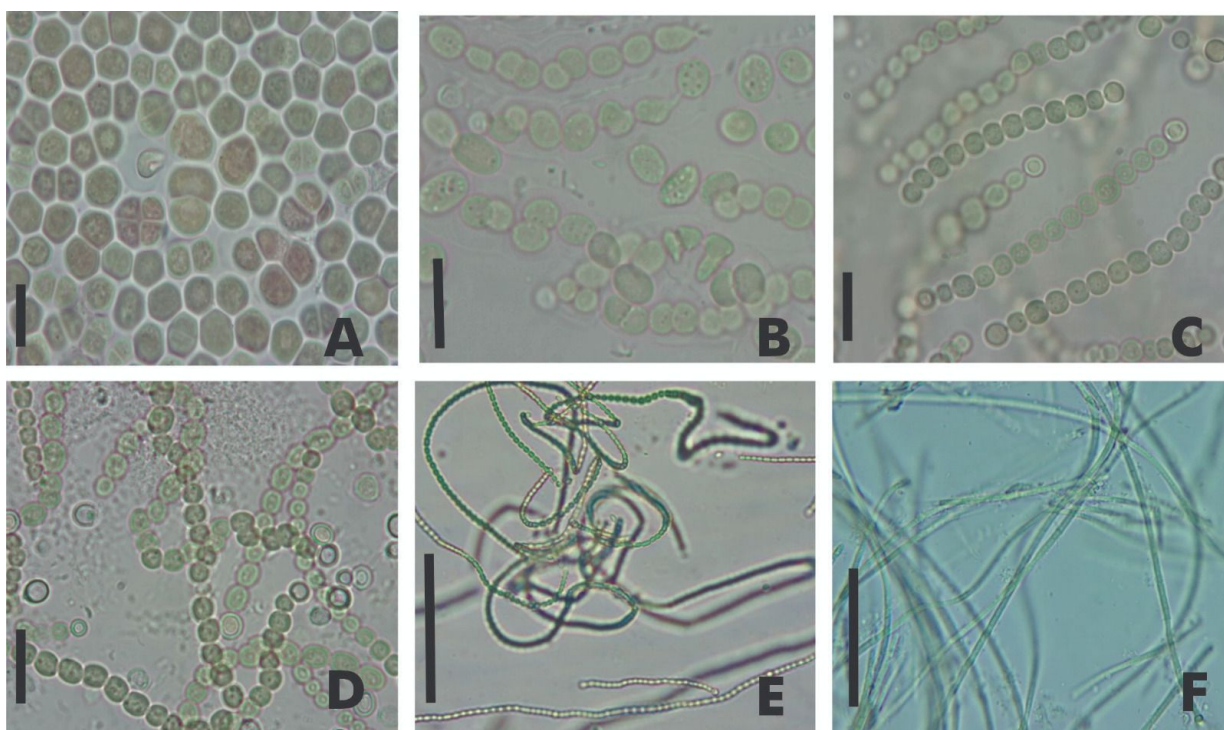


Figura 4. A- *Chroococciopsis thermalis* (CCAPE-73) B- *Komarekiella* sp. (CAAPE-72); - C-*Nostoc interbryum* (CAAPE-77) D- *Nostoc* sp.1 (CAAPE-85); E- *Nostoc* sp.2 (CAAPE-89); F- *Plectolynbya* sp. (CAAPE-76); (Escala: 0,2  $\mu\text{m}$ , exceto E e F 0,51  $\mu\text{m}$ ).

### Análises dos fotopigmentos e fotoprotetores

Nas seis cepas foi utilizado o Test-T e o Test-U, notou-se que uma cepa teve diferenças significativas nos dois tratamentos usados (Tabela 4 Figura 5 a Figura 10). Na espécie *Nostoc* sp1.(CAAPE-85), todos os fotoprotetores MAAs foram significativos entre os dois tratamentos, com maior produção desses compostos quando expostos à radiação UVA.

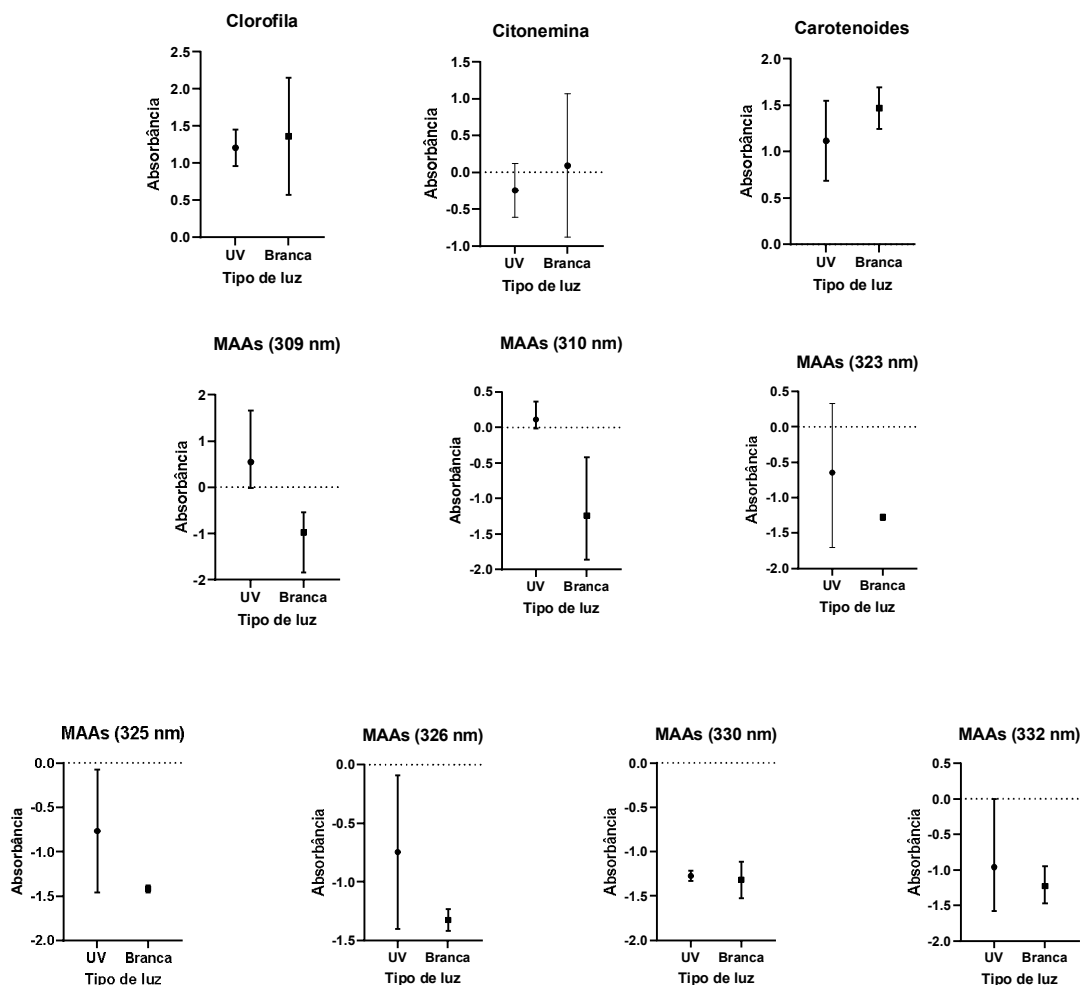
A pesagem da biomassa seca (liofilizada) das cepas, foi subdividida em três réplicas para cada tratamento, está demonstrada na Tabela 2.

**Tabela 3. Biomassa seca das cepas.**

<b>Número da réplica</b>	<b>UVA</b>	<b>LUZ BRANCA</b>
1. CCAPE-89	0,0811g	0,0767g
2. CCAPE-89	0,0708g	0,0944g
3. CCAPE-89	0,1090g	0,0985g
1. CAAPE-77	0,0094g	0,0594g
2. CAAPE-77	0,0929g	0,0564g
3. CAAPE-77	0,0141g	0,0687g
1. CAAPE-72	0,5282g	0,1256g
2. CAAPE-72	0,1125g	0,1171g
3. CAAPE-72	0,2365g	0,1232g
1. CAAPE-85	0,1076g	0,0370g
2. CAAPE-85	0,0909g	0,2318g
3. CAAPE-85	0,2233g	0,0404g
1. CAAPE-76	0,0471g	0,0141g
2. CAAPE-76	0,1073g	0,0229g
3. CAAPE-76	0,1358g	0,0232g
1. CAAPE-73	0,0645g	0,0161g
2. CAAPE-73	0,0704g	0,0584g
3. CAAPE-73	0,0232g	0,0327g

Tabela 4. Valores estatísticos (Teste-T ou Teste U) para as diferenças na absorvância de clorofila-a, carotenoides, citoneminas e MAAs (309, 310,323, 325, 326,330 E 332 nm) para as cepas analisadas quando exposta à luz branca e radiação UVA. Valores em negrito indicam diferença significativa.

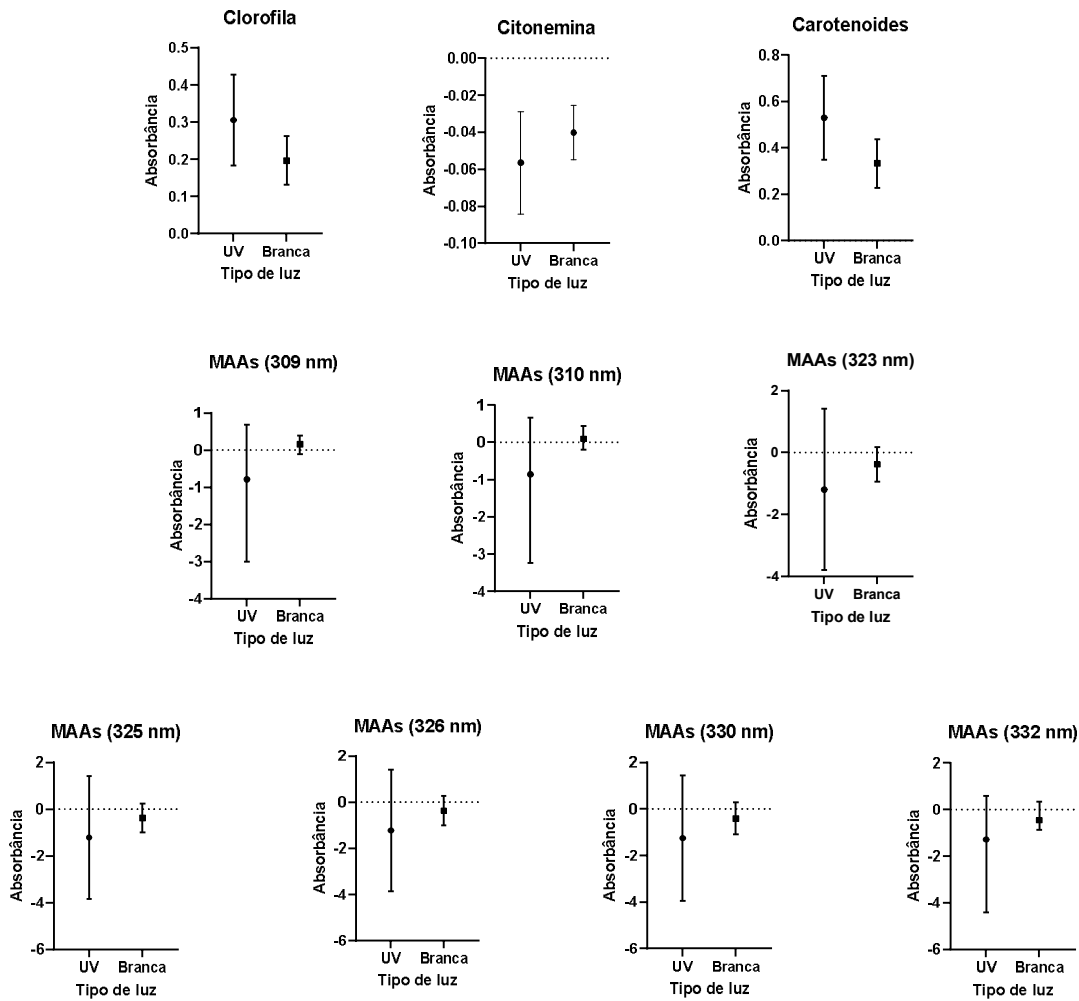
Cepa	Clorofila-a	Carotenoide	Citonemina	MAA 309nm	MAA 310nm	MAA 323nm	MAA 325nm	MAA 326nm	MAA 330nm	MAA 332nm
CCAPE-72	t=0,3254; p=0,7612	U=2; p=0,4000	t=0,5598; p=0,6055	<b>U= 0;</b> <b>p=0,1000</b>	<b>U= 0;</b> <b>p=0,1000</b>	t=1,071; p=0,3443	t=1,622; p=0,1802	U= 0; p=0,1000	t=0,3613; p=0,7361	t=0,5207; p=0,6301
CCAPE-73	t=1,367; p=0,2433	t=1,633; p=0,1778	t=0,9064; p=0,4160	t=0,8356; p=0,4504	t=0,7839; p=0,4769	t=0,5267; p=0,6262	t=0,5361; p=0,6203	t=0,5510 p=0,6109	t=0,5268; p=0,6262	t=0,5097; p=0,6371
CAAPE-76	t=0,9294; p=0,4053	t=1,268; p= 0,2737	t=0,1246; p=0,9068	t=0,2093; p=0,8445	t=0,8356; p=0,8711	t= 0,2469; p= 0,8172	t=0,2545; p=0,8116	t=0,2672; p= 0,8025	t=0,3085; p=0,7731	t=0,2997; p=0,7793
CCAPE-77	t=0,2932;p= 0,7839	t=0,9957; p=0,9957	t=2,186; p=0,0941	t=0,5453; p=0,6145	t=0,3815; p=0,7223	t=0,3160; p=0,7678	t=0,4201; p=0,6960	t=0,7254; p=0,5084	t=0,7327; p=0,5044	t=0,6964; p=0,5245
CCAPE-85	U= 0; p=0,1000	t=0,2434; p=0,8197	t=0,8891; p=0,4194	<b>t=25,44;</b> <b>p=0,0001</b>	<b>t=92,68;</b> <b>p=0,0001</b>	<b>t=14,58;</b> <b>p=0,0001</b>	<b>t=15,83;</b> <b>p=0,0001</b>	<b>t=33,30;</b> <b>p=0,0001</b>	<b>t=34,34;</b> <b>p=0,0001</b>	<b>t=30,85;</b> <b>p=0,0001</b>
CCAPE-89	t=0,7839;p= 0,7839	t=0,00578; p=0,9957	t= 2,186; p=0,0941	U= 4; p=0,9999	U= 4; p=0,9999	t= 0,9736; p=0,3854	U= 2; p=0,4000	t= 0,9673; p=0,3882	U= 2; p=0,4000	U= 2; p=0,4000



**Figura 5. Valores médios e desvio padrão da absorbância de clorofila, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 72 exposta à luz branca e radiação UVA.**

A espécie *Komarekiella* sp. (CAAPE 72).notou-se que na exposição à radiação UVA não houve produção dos fotoprotetores citoneminas e MAAs nos comprimentos de onda 323, 325, 326, 330 e 332 nm), porém uma produção significativa de MAAs nos comprimentos de 309 e 310 nm, após a exposição ao UVA. Na luz branca, obervou-se uma maior produção de carotenoides e clorofila a, mesmo que não tenha sido uma diferença significativa demonstrada na Figura 5 . Ausência de citoneminas e MAAs no UVA não era esperado para essa cepa, visto que a produção deste fotoprotetor no gênero *Komarekiella* foi reportado (GERALDES, 2019). A produção de MAAs é induzida por fatores abióticos como temperatura e radiação UV que permitem que as cianobactérias cresçam e sobrevivam em habitats com extrema exposição à radiação (SINHA & HÄDER, 2008), pois este fotoprotetor repara os danos ocasionados devido à sua função antioxidante e dissipa essa radiação absorvida como energia térmica sem a síntese de radicais

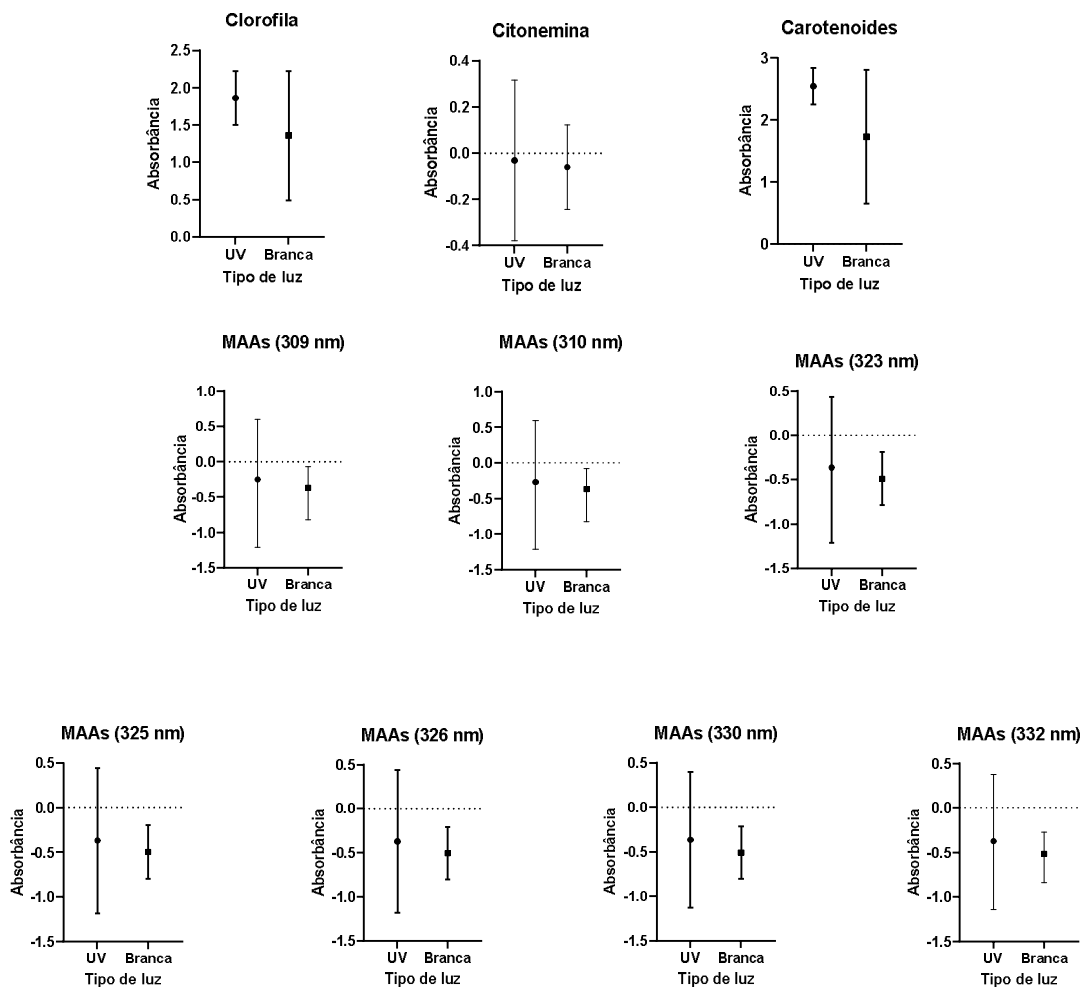
livres (RASTOGI *et al.*, 2023). A capacidade fotoprotetora de cioneminas é tão eficiente que impede a entrada de até 90% da radiação UV nas células sem a necessidade de gasto metabólico adicional, além de atuar como antioxidante, prevenindo danos celulares causados por radicais livres e radiação UV (NOWRUZI *et al.*, 2020).



**Figura 6. Valores médio e desvio padrão na absorbância de clorofila, carotenoides, cioneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 73 quando exposta à luz branca e radiação UVA.**

A espécie *Chroococcidiopsis thermalis* (CCAPE 73), notou-se houve produção de carotenoides e clorofila-*a* em ambos os tratamentos. Em contrapartida, observou-se a ausência de produção de cioneminas e MAAs (309, 310, 323, 325, 326, 330 e 332 nm) em ambos os tratamentos demonstrada na Figura 6. Esse resultado não era o esperado, pois para o gênero *Chroococcidiopsis* foi reportado a produção desses fotoprotetores (CASERO *et al.*, 2021; SEN & MALLICK, 2022). SINHA & HÄDER (2008) observaram que a síntese de cioneminas é afetada pela presença ou

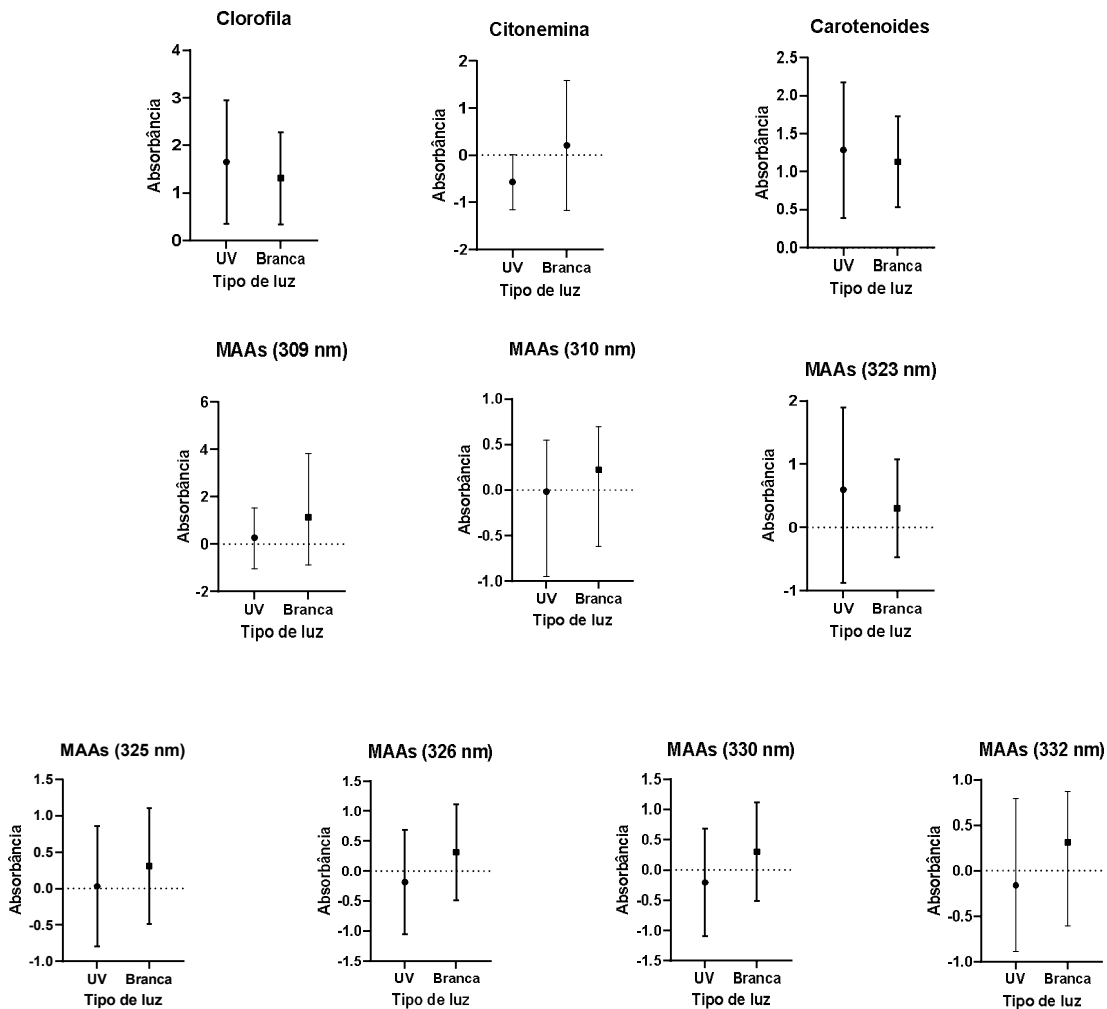
ausência de irradiação UVA na espécie *Chroococidiopsis* sp., notando que tanto o aumento de temperatura quanto o estresse oxidativo, em combinação com a exposição à radiação UV-A, têm um efeito sinérgico na produção significativamente elevada de cioneminas. Além disso, reportaram que em período de dessecação houve inibição da síntese deste fotoprotetor em *Chroococidiopsis*. NOWRUZI *et al.* (2020) reportaram que a cianobactéria *Chroococidiopsis* sp. em uma mistura de tratamento UV-A juntamente com temperatura controlada e condições foto-oxidativas aumentaram a taxa de produção de cioneminas, enquanto que o estresse osmótico a reduziu. DILLON *et al.* (2002) afirmaram que a radiação UVA é fundamental para a síntese em altos níveis de cioneminas, todavia em temperatura elevada, estresse foto oxidativo e osmótico podem influenciar na produção deste fotoprotetor em cepas de *Chroococidiopsis*.



**Figura 7. Valores médios e desvio padrão da absorbância de clorofila-a, carotenoides, cioneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 76 exposta à luz branca e radiação UVA.**

A espécie *Plectolyngbya* sp. (CCAPE 76) não apresentou diferenças significativas entre os

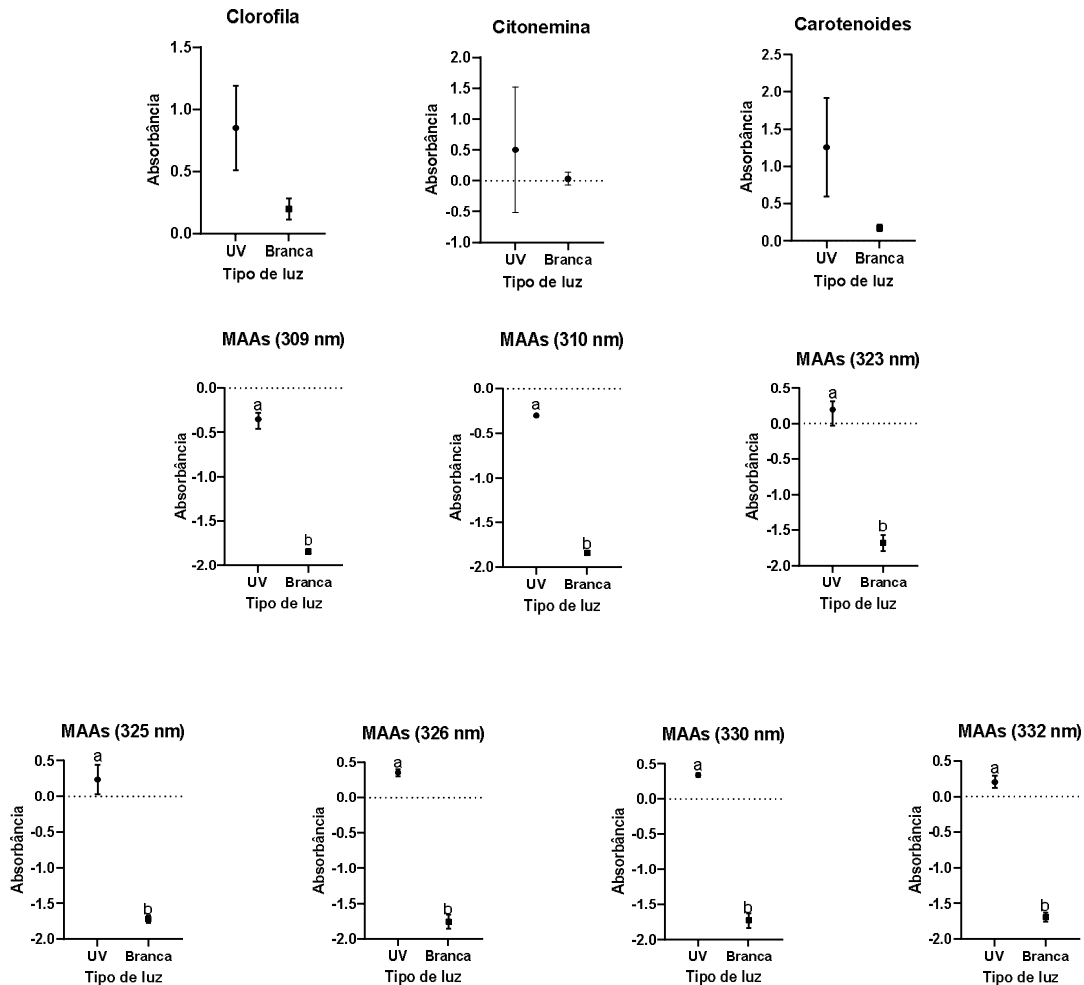
tratamentos. Todavia na exposição à radiação UVA teve maior produção de carotenoides e clorofila a. Nesta análise não foi observada a produção dos fotoprotetores citoneminas e MAAs em ambos tratamentos. A menor concentração de MAAs e citoneminas no UVA deve ser melhor estudada com novas investigações, visto que a produção deste fotoprotetor é essencial, pois minimiza os efeitos prejudiciais das radiações solares UV (RASTOGI & INCHAROENSAKDI, 2014; JAIN *et al.*, 2017; ROSIC, 2019). Essa cepa é identificada como uma espécie do gênero *Plectolyngbya* e não há registros na literatura sobre a produção de fotoprotetores para a essa espécie (provavelmente pela falta de estudos, já que é um gênero comum em ambientes terrestres).



**Figura 8.** Valores médios e desvio padrão da absorbância de clorofila, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 77 exposta à luz branca e radiação UVA.

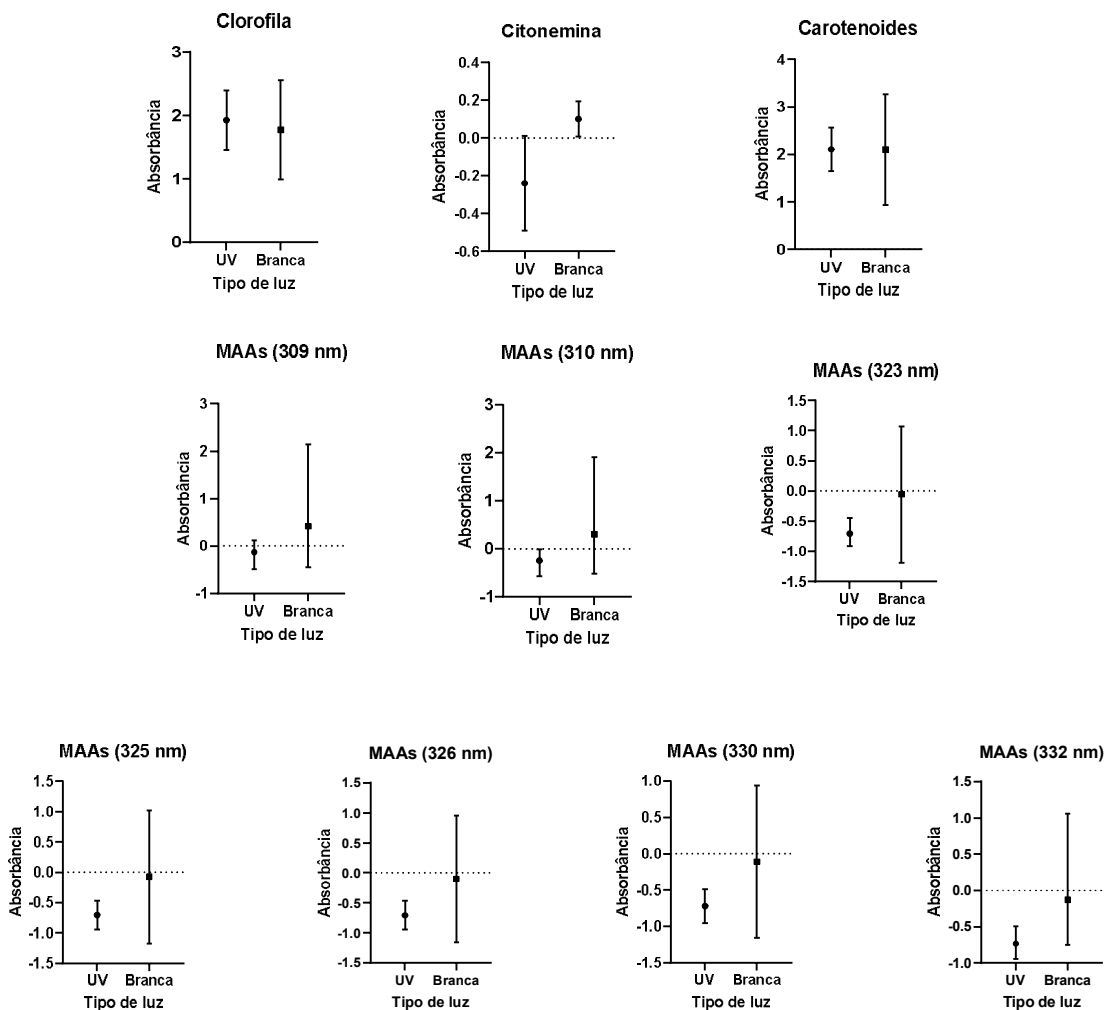
A espécie *Nostoc interbryum* (CAAPE 77) produziu o MAA no comprimento de 323nm.

Todavia, não teve diferenças significativas entre os tratamentos. Na luz branca, a cepa teve maior produção de clorofila *a* e carotenoides, tendo pouca distinção do radiação UVA. A ausência de concentrações de MAAs e cioneminas no UVA não era esperada, visto que a produção deste fotoprotetor no gênero *Nostoc* já foi reportada (SCHERER *et al.*, 1988; JAIN *et al.*, 2017; GERALDES, 2019), como também de cioneminas visto que essa cepa é de uma cianobactéria do gênero *Nostoc* e diversas espécies desse gênero já foram descritas como produtoras desse fotoprotetor (SOULE *et al.*, 2009; VENCKUS *et al.*, 2018). NOWRUZI *et al.* (2020) evidenciaram a presença de vários tipos de MAAs em várias espécies de cianobactérias extremófitas como o gênero *Nostoc*, nas quais essas substâncias aumentam a resistência celular à salinidade, dessecação e estresse térmico, por funcionarem como solutos compatíveis, além de produzirem camadas de polissacarídeos tanto interna quanto externamente, formando bainhas de proteção, o que aumenta sua capacidade de retenção de água, tornando potenciais alvo de produtos de cosméticos como hidratantes.



**Figura 9. Valores médios e desvio padrão da absorbância de clorofila, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 85 quando à luz branca e radiação UVA. Letras distintas representam diferenças significativas.**

A espécie *Nostoc* sp1.(CCAPE 85) apresentou maior produção significativa de MAAs (309, 310, 323, 325, 326, 330 e 332 nm) na exposição à radiação UVA. Houve maior produção de citoneminas, carotenoide e clorofila para o tratamento UVA. Não houve produção de MAAs nos comprimentos de onda 309 e 310 nm. A produção destes fotoprotetores é esperada visto que no gênero *Nostoc* já foi reportada anteriormente (KHANIPOUR ROSHAN *et al.*, 2015; SINHA, 2015). FLEMING & CASTENHOLZ (2007) reportam que 84% do fotoprotetor de citonemina em células dessecadas do gênero *Nostoc* mantiveram-se intactas mesmo depois de 2 meses de exposição constante à radiação UVA. Esse fotoprotetor considerado como um verdadeiro agente de proteção solar, devido aos suas propriedades passivas de absorção (SORRELS *et al.*, 2009). Os MAAs estão envolvidos na fotoproteção devido à sua capacidade de absorver a luz na faixa de UVA sem produção de radicais livres (ROSIC, 2019). A maioria destes fotoprotetores absorvem dentro de faixa do UVA (315-400nm) como a micosporina-2-glicina (332nm), porphyra (332-334 nm), asterina (330nm) e palatina (332nm) e podemos ver que esta cepa produziu estes MAAs (RICHA *et al.*, 2011; ROSIC, 2019). Nota-se que esta cepa pode ser utilizada como alternativa promissora na indústria cosmética para produção de fotoprotetores do tipo MAAs.



**Figura 10. Valores médios e desvio padrão da absorbância de clorofila, carotenoides, citoneminas e MAAs (309,310,323, 325, 326, 330 e 332 nm) para a cepa CCAPE 89 exposta à luz branca e radiação UVA.**

A espécie *Nostoc* sp2. CAAPE 89 não apresentou produção significativa dos fotoprotetores citoneminas e MAAs e a produção de carotenoides e clorofila foi similar em ambos tratamentos. A ausência desses fotoprotetores na radiação UVA não era esperada, visto que o gênero *Nostoc* já foi reportado como produtor desses compostos por outros autores (SOULE *et al.*, 2009; JAIN *et al.*, 2017; VENCKUS *et al.*, 2018). LIANG *et al.* (2012) demonstraram que o gênero *Nostoc* produz o fotoprotetor citonemina nas suas matrizes extracelulares, o que está associado a capacidade de adaptação aos ambientes terrestres com níveis elevados de radiação solar de várias de suas espécies. FERRONI *et al.* (2010) reportaram que uma cepa do gênero *Nostoc*, quando exposto à radiação UV em condições controladas, apresentaram uma absorção eficiente nas faixas de UV-A e UV-B, sendo essa um resultado da absorção combinada dos fotoprotetores (MAAs e citoneminas).

## Análises antioxidantes

Na análise de antioxidante (Tabela 5 e Tabela 6), nota-se para o extrato metanólico nas medidas de absorbância em seis minutos como em 20 minutos, uma melhor ação antioxidante no tratamento em exposição à radiação UVA, visto que o fotoprotetor e o estresse oxidativo são induzidos por essa exposição (BHATIA *et al.*, 2011).

As cepas CCAPE-76 e CCAPE-77 tiveram uma maior atividade antioxidante 82,04% e 53,94 % em 2mg/ml na absorbância de seis minutos respectivamente. Esses valores estiveram em concordância com os de KOKABI *et al.* (2022), que reportaram que a cianobactéria *Leptolyngbya* sp. teve uma atividade antioxidante acima 50% em absorbância de seis minutos em diluição de 2mg/ml, e com RAJESHWAR & SINHA (2015), que reportaram que a cianobactéria *Nostoc* sp. teve uma atividade antioxidante de MAA (porphyra-334) acima 60% em diluição de 1 mg/ml. Além disso, no presente estudo, foi observado que na leitura após 20 minutos, todas as cepas apresentaram uma ação antioxidante acima de 30% em 2mg/ml.

Para as seis cepas selecionadas, utilizando o Test-T ou o Test-U, notaram-se diferenças significativas nos dois tratamentos usados (Tabela 7Tabela 4 e Figura 11). As cepas CCAPE-72, CCAPE-76, CCAPE-77 e CCAPE-85 demonstraram diferenças significativas nos dois tratamentos, com maior atividade antioxidante quando expostas à radiação UVA. Todavia, a CCAPE-73 teve uma maior atividade antioxidante quando exposta à luz branca o que não é esperado.

Em comparação à ação antioxidante dos extratos metanólicos nos diferentes tempos de leitura das absorbâncias, observa-se que em 20 minutos houve uma atividade maior que seis minutos (Tabela 6). TORRES *et al.* (2018) também utilizaram concentração de extrato (2mg/ml) e obtiveram ação antioxidante acima de 25% de MAAs (palitina e palitinol) em 20 minutos da macroalga vermelha *Gracilaria domingensis*, o que pode indicar que a ação antioxidante observadas nas cepas analisadas vem da ação de MAAs..

A ausência de atividade antioxidante no extrato metanólico na luz branca, demonstra a não produção do fotoprotetor e evidencia a importância de exposição das cepas à radiação UVA para aumentar o quantitativo de fotoprotetor MAAs para que tenha sua ação antioxidante. Vale ressaltar que houve atividade antioxidante em luz branca, o que não é esperado visto que não há síntese deste fotoprotetor em exposição.

**Tabela 5. Análise antioxidante (ABTS) média e desvio-padrão do extrato metanólico das cepas em absorbância após 6 minutos.**

Cepas	Extrato/Tratamento/Concentrações(ml)							
	Metanólico na UVA				Metanólico na LUZ BRANCA			
	2	1	0,5	0,25	2	1	0,5	0,25
CCAPE-72	28,21 ±1,23	20,63 ±4,13	19,96 ±4,90	21,42 ±6,13	30,31 ±18,06	10,75 ±0,25	8,71 ±1,29	15,06 ±3,31
CCAPE-73	22,67 ±2,72	20,67 ±10,25	9,88 ±3,55	12,17 ±1,33	43,04 ±2,89	30,29 ±2,72	22,42 ±7,23	29,25 ±16,23

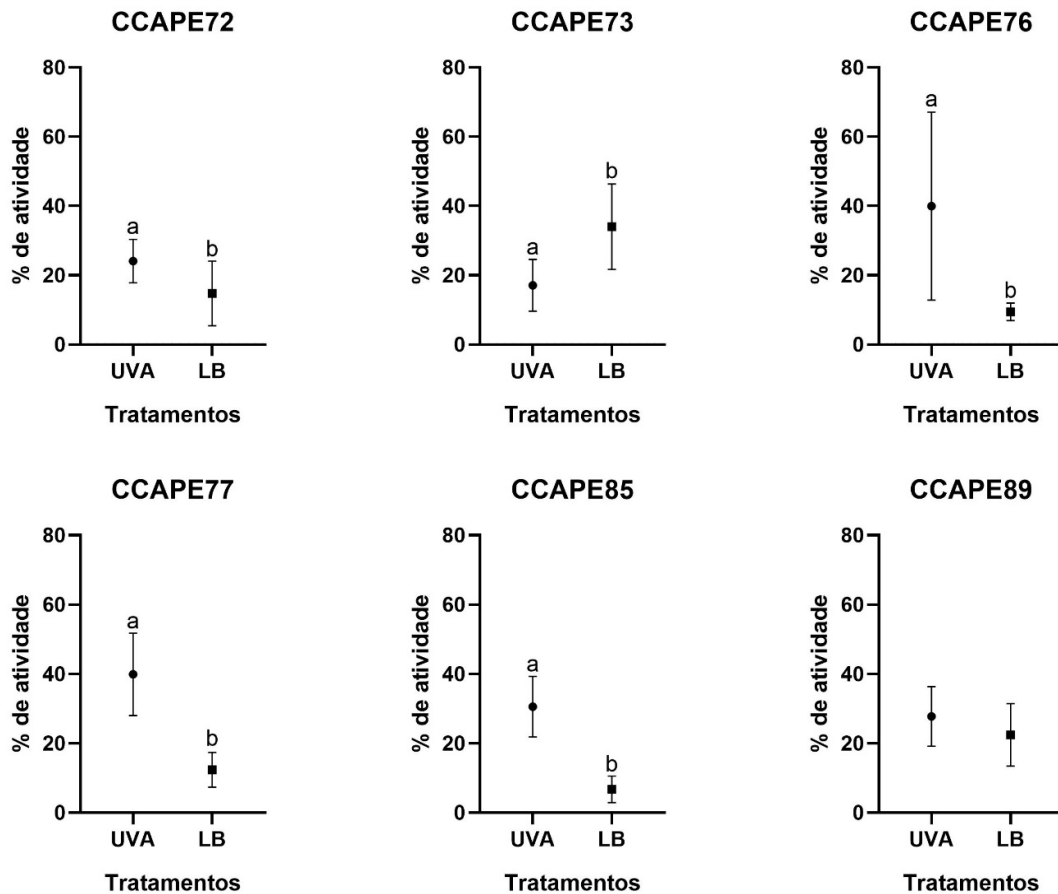
CCAPE-76	82,04 ±2,41	28,58 ±5,36	18,54 ±2,86	22,83 ±4,10	11,00 ±1,63	8,88 ±1,95	6,58 ±1,16	9,42 ±0,26
CCAPE-77	53,94 ±3,94	39,69 ±1,56	35,25 ±9,37	30,25 ±4,71	10,63 ±0,13	14,63 ±3,50	6,75 ±4,00	8,94 ±0,69
CCAPE-85	39,38 ±0,25	27,06 ±1,81	27,58 ±5,32	28,58 ±5,51	-	-	3,94 ±0,19	5,56 ±1,44
CAAPE-89	36,38 ±2,25	27,06 ±3,69	24,92 ±752	19,17 ±1,09	22,06 ±3,44	13,31 ±6,44	-	-

**Tabela 6. Análise antioxidante (ABTS) média e desvio-padrão do extrato metanólico das cepas em absorvância após 20 minutos .**

Cepas	Extrato/Tratamento/Concentrações(ml)							
	Metanólico na UVA				Metanólico na LUZ BRANCA			
	2	1	0,5	0,25	2	1	0,5	0,25
CAAPE-72	33,54 ±1,00	23,63 ±3,80	21,83 ±4,45	23,46 ±6,34	15,50 ±0,00	13,13 ±0,50	11,63 ±1,30	18,00 ±3,75
CCAPE-73	27,33 ±3,59	18,58 ±2,92	12,00 ±3,63	13,42 ±1,29	53,04 ±3,32	39,75 ±3,19	29,04 ±7,16	12,58 ±1,16
CCAPE-76	87,71 ±1,59	33,04 ±5,53	21,71 ±2,80	25,13 ±4,18	11,56 ±1,94	10,21 ±2,15	6,83 ±1,23	12,25 ±0,31
CCAPE-77	51,25 ±15,79	41,46 ±5,31	35,08 ±10,58	35,33 ±6,13	14,13 ±1,06	13,79 ±1,00	13,33 ±9,78	12,58 ±1,16
CCAPE-85	33,21 ±28,79	28,79 ±3,09	30,88 ±5,62	30,83 ±5,27	-	2,75 ±0,00	7,31 ±0,06	12,13 ±3,25
CCAPE-89	38,83 ±6,78	29,42 ±5,73	28,25 ±8,00	20,79 ±0,85	32,69 ±4,19	21,63 ±5,00	-	-

**Tabela 7 .Valores estatísticos (Teste-T ou Teste U) para as diferenças no extrato metanólico para as cepas analisadas quando exposta à luz branca e radiação UVA. Valores em negrito indicam diferença significativa.**

Cepa	Extrato metanólico
CCAPE-72	<b>U= 45; p=0,0001</b>
CCAPE-73	<b>T=5,751; p=0,0001</b>
CAAPE-76	<b>U= 0; p=0,0001</b>
CCAPE-77	<b>T =10,41; p=0,0001</b>
CCAPE-85	<b>T =7,799; p=0,0001</b>
CCAPE-89	<b>T =1,487; p=0,1483</b>



**Figura 11.** Valores médios e desvio padrão da atividade antioxidante do extrato metanólico para as cepas selecionadas quando exposta à luz branca e radiação UVA. Letras distintas representam diferenças significativas.

## CONCLUSÕES

No presente estudo, seis espécies de cianobactérias terrestres foram caracterizadas morfológicamente, identificadas (em nível de gênero ou espécie), descritas e fotografadas, sendo elas pertencentes às ordens Chroococcioidiales (1), Nostocales (4) e Synechococcales (1). Na análise de fotoprotetores, nota-se que a cepa CCAPE 85 pode ser utilizada como alternativa promissora na indústria cosmética, visto que todas produzem fotoprotetores de interesse (MAAs). Na análise antioxidante, o extrato metanólico das cepas CCAPE-72, CCAPE-76, CCAPE-85 e CCAPE-77 tiveram uma atividade antioxidante significativa em exposição à radiação UVA. As cepas CCAPE-77, CCAPE-85 e CCAPE-89 tiveram uma maior atividade antioxidante, acima de 30% em leitura de absorvância após seis minutos. Em contrapartida, em 20 minutos todas as cepas apresentaram atividade antioxidante acima de 30%. A cepa CCAPE-85 teve a produção significativa de MAAs em todos os comprimentos de ondas, como também de atividade antioxidante em

exposição UVA. Evidencia-se a importância da exposição das cepas à radiação UVA para aumentar o quantitativo de fotoprotetores, como também para obter sua atividade antioxidante mesmo que seja por um período de exposição de 24h. Quanto à ausência de detecção dos fotoprotetores citoneminas e MAAs em algumas cepas, são necessárias novas investigações para compreender melhor a não produção desses compostos, mesmo quando expostas à radiação UVA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABED, R. M.; DOBRETSOV, S.; SUDESH, K. Applications of cyanobacteria in biotechnology. **J Journal of applied microbiology**, 106, n. 1, p. 1-12, 2009.
- ADEOYE, O.; AINA, S. An appraisal of ozone layer depletion and its implication on the human environment. **JL Pol'y & Globalization**, 83, p. 6, 2019.
- ANANYA, A. K.; AHMAD, I. Z. Cyanobacteria" the blue green algae" and its novel applications: A brief review. **J International Journal of Innovation applied studies**, 7, n. 1, p. 251, 2014.
- BHANDARI, R.; SHARMA, P. K. Effect of UV-B radiation on physiological and biochemical changes in a freshwater cyanobacterium, *Scytonema hofmannii*. **Environmental and Experimental Biology**, 19, n. 2, p. 89–96, 2021.
- BHATIA, S.; GARG, A.; SHARMA, K.; KUMAR, S. *et al.* Mycosporine and mycosporine-like amino acids: A paramount tool against ultra violet irradiation. **Pharmacognosy Reviews**, 5, n. 10, p. 138, 2011.
- BIANCHI, M. d. L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de nutrição**, 12, p. 123-130, 1999.
- BROWNE, N.; DONOVAN, F.; MURRAY, P.; SAHA, S. Cyanobacteria as bio-factories for production of UV-screening compounds. **OA Biotechnol**, 3, n. 6, 2014.
- CASERO, M. C.; ASCASO, C.; QUESADA, A.; MAZUR-MARZEC, H. *et al.* Response of endolithic *Chroococcidiopsis* strains from the polyextreme Atacama Desert to light radiation. **Frontiers in Microbiology**, 11, p. 614875, 2021.
- CHEN, Y.; QIN, Z.; WANG, Y.; LI, X. *et al.* Role of inflammation in vascular disease-related perivascular adipose tissue dysfunction. **Frontiers in Endocrinology**, 12, p. 710842, 2021.
- DARTNELL, L. R. Ionizing radiation and life. **Astrobiology**, 11, n. 6, p. 551-582, 2011.
- DE MORAIS, M. G.; VAZ, B. d. S.; DE MORAIS, E. G.; COSTA, J. A. V. Biologically active metabolites synthesized by microalgae. **J BioMed research international**, 2015, 2015.
- DEMAY, J.; HALARY, S.; KNITTEL-OBRECHT, A.; VILLA, P. *et al.* Anti-inflammatory, antioxidant, and wound-healing properties of cyanobacteria from thermal mud of Balaruc-Les-Bains, France: A multi-approach study. **Biomolecules**, 11, n. 1, p. 28, 2020.
- DERIKVAND, P.; LLEWELLYN, C. A.; PURTON, S. Cyanobacterial metabolites as a source of sunscreens and moisturizers: A comparison with current synthetic compounds. **J European Journal of Phycology**, 52, n. 1, p. 43-56, 2017.
- DILLON, J. G.; TATSUMI, C. M.; TANDINGAN, P. G.; CASTENHOLZ, R. W. Effect of environmental factors on the synthesis of scytonemin, a UV-screening pigment, in a cyanobacterium (*Chroococcidiopsis* sp.). **Archives of microbiology**, 177, p. 322-331, 2002.
- FAVAS, R.; MORONE, J.; MARTINS, R.; VASCONCELOS, V. *et al.* Cyanobacteria Secondary Metabolites as Biotechnological Ingredients in Natural Anti-Aging Cosmetics: Potential to Overcome Hyperpigmentation, Loss of Skin Density and UV Radiation-Deleterious Effects. **J Marine drugs**, 20, n. 3, p. 183, 2022.

FERRONI, L.; KLISCH, M.; PANCALDI, S.; HÄDER, D.-P. Complementary UV-absorption of mycosporine-like amino acids and scytonemin is responsible for the UV-insensitivity of photosynthesis in *Nostoc flagelliforme*. **Marine Drugs**, 8, n. 1, p. 106-121, 2010.

FITRI, S. G. S.; SUTARNO, S.; SASONGKO, H.; ROSYADI, H. *et al.* Morphological diversity of culturable cyanobacteria from habitats in Segara Anakan, Central Java, Indonesia. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, 22, n. 12, 2021.

FLEMING, E. D.; CASTENHOLZ, R. W. Effects of periodic desiccation on the synthesis of the UV-screening compound, scytonemin, in cyanobacteria. **Environmental Microbiology**, 9, n. 6, p. 1448-1455, 2007.

FLIEGER, J.; FLIEGER, W.; BAJ, J.; MACIEJEWSKI, R. Antioxidants: Classification, natural sources, activity/capacity measurements, and usefulness for the synthesis of nanoparticles. **Materials**, 14, n. 15, p. 4135, 2021.

GAO, Q.; GARCIA-PICHEL, F. Microbial ultraviolet sunscreens. **Nature Reviews Microbiology**, 9, n. 11, p. 791, 2011.

GAO, X.; JING, X.; LIU, X.; LINDBLAD, P. Biotechnological production of the sunscreen pigment scytonemin in cyanobacteria: progress and strategy. **J Marine Drugs**, 19, n. 3, p. 129, 2021.

GARCIA-PICHEL, F.; CASTENHOLZ, R. W. Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. **Journal of Phycology**, 27, n. 3, p. 395-409, 1991.

GARCIA-PICHEL, F.; SHERRY, N. D.; CASTENHOLZ, R. W. Evidence for an ultraviolet sunscreen role of the extracellular pigment scytonemin in the terrestrial cyanobacterium *Chlorogloeopsis* sp. **Photochemistry photobiology**, 56, n. 1, p. 17-23, 1992.

GARCIA-PICHEL, F.; WINGARD, C. E.; CASTENHOLZ, R. W. Evidence regarding the UV sunscreen role of a mycosporine-like compound in the cyanobacterium *Gloeocapsa* sp. **Appl Environ Microbiol.**, 59, n. 1, p. 170-176, 1993.

GARLAPATI, D.; CHANDRASEKARAN, M.; DEVANESAN, A.; MATHIMANI, T. *et al.* Role of cyanobacteria in agricultural and industrial sectors: an outlook on economically important byproducts. **J Applied microbiology biotechnology**, 103, n. 12, p. 4709-4721, 2019.

GERALDES, V. **Estratégias para identificação e quantificação de aminoácidos tipo micosporinas (MAAs) em cianobactérias e outros organismos para aplicação em cosmética e farmacêutica**. 2019. -, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GERALDES, V.; JACINAVICIUS, F. R.; GENUÁRIO, D. B.; PINTO, E. Identification and distribution of mycosporine-like amino acids in Brazilian cyanobacteria using ultrahigh-performance liquid chromatography with diode array detection coupled to quadrupole time-of-flight mass spectrometry. **J Rapid Communications in Mass Spectrometry**, 34, p. e8634, 2020.

JACINAVICIUS, F. R.; GAMA-JR., W.; AZEVEDO, M. d. P.; SANT'ANNA, C. Manual para cultivo de cianobactérias. **Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo**: , 2013.

JAIN, S.; PRAJAPAT, G.; ABRAR, M.; LEDWANI, L. *et al.* Cyanobacteria as efficient producers of mycosporine-like amino acids. **J Journal of Basic Microbiology**, 57, n. 9, p. 715-727, 2017.

JASKI, M.; LOTÉRIO, N.; SILVA, D. A ação de alguns antioxidantes no processo de envelhecimento cutâneo. **Curso de Cosmetologia e Estética da Universidade do Vale do Itajaí-UNIVALI**.

**Balneário Camboriú: UNIVALE, 2014.**

KAGEYAMA, H.; WADITEE-SIRISATTHA, R. Antioxidative, anti-inflammatory, and anti-aging properties of mycosporine-like amino acids: Molecular and cellular mechanisms in the protection of skin-aging. **Marine Drugs**, 17, n. 4, p. 222, 2019.

KHALIFA, S. A.; SHEDID, E. S.; SAIED, E. M.; JASSBI, A. R. *et al.* Cyanobacteria—From the oceans to the potential biotechnological and biomedical applications. **J Marine Drugs**, 19, n. 5, p. 241, 2021.

KHANIPOUR ROSHAN, S.; FARHANGI, M.; EMTYAZJOO, M.; RABBANI, M. Effects of solar radiation on pigmentation and induction of a mycosporine-like amino acid in two cyanobacteria, *Anabaena* sp. and *Nostoc* sp. ISC26. **J European Journal of Phycology**, 50, n. 2, p. 173-181, 2015.

KOKABI, M.; YOUSEFZADI, M.; NEJAD EBRAHIMI, S.; SOLTANI, M. *et al.* Evaluating the photoprotective potential of *Leptolyngbya* sp. **Acta Physiologiae Plantarum**, 44, n. 9, p. 94, 2022.

KOTHA, R. R.; TAREQ, F. S.; YILDIZ, E.; LUTHRIA, D. L. Oxidative Stress and Antioxidants—A Critical Review on In Vitro Antioxidant Assays. **Antioxidants**, 11, n. 12, p. 2388, 2022.

KUMARI, N.; PATHAK, J.; DWIVEDY, A. K.; SINHA, R. P. Bioprospection of UV-screening compounds from lichens inhabiting the Indian state of Sikkim. **Plant Arch**, 21, p. 1168-1177, 2021.

LIANG, W.; ZHOU, Y.; WANG, L.; YOU, X. *et al.* Ultrastructural, physiological and proteomic analysis of *Nostoc* flagelliforme in response to dehydration and rehydration. **Journal of proteomics**, 75, n. 18, p. 5604-5627, 2012.

LIU, W.; XU, H.; GAO, X. Mild Acid Hydrolysis-related Release of Water-soluble Sunscreen Pigments from the Exopolysaccharide Matrix of Edible Terrestrial Cyanobacteria. **J Journal of Applied Biology Biotechnology**, 5, n. 5, p. 11-15, 2017.

LLEWELLYN, C. A.; AIRS, R. L. Distribution and abundance of MAAs in 33 species of microalgae across 13 classes. **J Marine drugs**, 8, n. 4, p. 1273-1291, 2010.

MEHDIZADEH ALLAF, M.; PEERHOSSAINI, H. Cyanobacteria: Model microorganisms and beyond. **Microorganisms**, 10, n. 4, p. 696, 2022.

MILITO, A.; CASTELLANO, I.; DAMIANI, E. From Sea to Skin: Is There a Future for Natural Photoprotectants? **J Marine Drugs**, 19, n. 7, p. 379, 2021.

MORONE, J.; LOPES, G.; PRETO, M.; VASCONCELOS, V. *et al.* Exploitation of filamentous and picoplanktonic cyanobacteria for cosmetic applications: Potential to improve skin structure and preserve dermal matrix components. **J Marine Drugs**, 18, n. 9, p. 486, 2020.

MOUSSA, Z.; JUDEH, Z.; AHMED, S. A. Nonenzymatic exogenous and endogenous antioxidants. **Free Radical Medicine and Biology**, 1, p. 11-22, 2019.

NAEIMPOOR, F.; SHEIBANI MADRAHI, G. UV Induced Biosynthesis of Cyano-sunscreen “Scytonemin” by *Leptolyngbya mycodia* and its Effectual Antioxidant Activity. **Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences**, 18, n. 1, p. 19-33, 2022.

NOVAES, G. M.; SILVA, M. J. D.; ACHKAR, M. T.; VILEGAS, W. Compostos antioxidantes e sua importância nos organismos. **CEU Arkos La Universidad Vallartense**, p. 535-539, 2013.

NOWRUZI, B.; SARVARI, G.; BLANCO, S. The cosmetic application of cyanobacterial secondary

metabolites. **Algal Research**, 49, p. 101959, 2020.

PIRES, J.; TORRES, P. B.; SANTOS, D.; CHOW, F. Ensaio em microplaca do potencial antioxidante através do método de sequestro do radical livre DPPH para extratos de algas. **Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo**, 12, p. 1-6, 2017.

RAJESHWAR, A.; SINHA, P. Stability, Antioxidative and Pharmaceutical Potentials of Porphyra-334 Isolated From a Hot-Spring Cyanobacterium *Nostoc* sp. Strain HKAR-2. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Research**, 3, n. 1, p. 94-111, 2015.

RASTOGI, R. P.; INCHAROENSAKDI, A. Analysis of UV-absorbing photoprotectant mycosporine-like amino acid (MAA) in the cyanobacterium *Arthrospira* sp. CU2556. **Photochemical & Photobiological Sciences**, 13, p. 1016-1024, 2014.

RASTOGI, R. P.; SHREE, A.; PATEL, H. M.; CHAUDHRY, S. *et al.* Characterization, UV-induction, antioxidant function and role in photo-protection of mycosporine-like amino acids (MAAs) in a unicellular cyanobacterium, *Eubalotheca* sp. WR7. **Algal Research**, 70, p. 103030, 2023.

RASTOGI, R. P.; SONANI, R. R.; MADAMWAR, D. Cyanobacterial sunscreen scytonemin: role in photoprotection and biomedical research. **Applied biochemistry and biotechnology**, 176, p. 1551-1563, 2015.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGENTE, A.; PANNALA, A. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.

REITH, W. Radiation biology and radiation protection. **Diagnostic and Interventional Radiology**, p. 11-18, 2016.

RICHA, R. R.; KUMARI, S.; SINGH, K.; KANNAUJIYA, V. *et al.* Biotechnological potential of mycosporine-like amino acids and phycobiliproteins of cyanobacterial origin. **Biotechnol. Bioinf. Bioeng**, 1, p. 159-171, 2011.

ROSIC, N. N. Mycosporine-like amino acids: making the foundation for organic personalised sunscreens. **Marine Drugs**, 17, n. 11, p. 638, 2019.

SATO, N. Are cyanobacteria an ancestor of chloroplasts or just one of the gene donors for plants and algae? **Genes**, 12, n. 6, p. 823, 2021.

SCHERER, S.; CHEN, T.; BOGER, P. A new UV-A/B protecting pigment in the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. **J Plant Physiology**, 88, n. 4, p. 1055-1057, 1988.

SEN, S.; MALLICK, N. Scytonemin: Unravelling major progress and prospects. **Algal Research**, 64, p. 102678, 2022.

SIMEONOV, A.; MICHAELIAN, K. Properties of cyanobacterial UV-absorbing pigments suggest their evolution was driven by optimizing photon dissipation rather than photoprotection. **arXiv:1702.03588 [physics.bio-ph]**, 2017.

SINGH, G.; KUMAR, J. Understanding Role of Photosynthetic and Sunscreen Pigments in Cyanobacteria Under UV-B Radiation Stress. **Metabolites**, 3, n. 2, p. 463–483, 2020.

SINGH, J. S.; KUMAR, A.; RAI, A. N.; SINGH, D. P. Cyanobacteria: a precious bio-resource in agriculture, ecosystem, and environmental sustainability. **J Frontiers in microbiology**, 7, p. 529, 2016.

SINHA, R. P. Biochemical characterization of sunscreens mycosporine-like amino acids from two *Nostoc* species inhabiting diverse habitats. **J Protoplasma**, 252, n. 1, p. 199-208, 2015.

SINHA, R. P.; HÄDER, D.-P. UV-protectants in cyanobacteria. **Plant Science**, 174, n. 3, p. 278-289, 2008.

SINHA, R. P.; KLISCH, M.; HELBLING, E. W.; HÄDER, D.-P. Induction of mycosporine-like amino acids (MAAs) in cyanobacteria by solar ultraviolet-B radiation. **J Journal of Photochemistry Photobiology B: Biology**, 60, n. 2-3, p. 129-135, 2001.

SORRELS, C. M.; PROTEAU, P. J.; GERWICK, W. H. Organization, evolution, and expression analysis of the biosynthetic gene cluster for scytonemin, a cyanobacterial UV-absorbing pigment. **Applied and Environmental Microbiology**, 75, n. 14, p. 4861-4869, 2009.

SOULE, T.; GARCIA-PICHEL, F.; STOUT, V. Gene expression patterns associated with the biosynthesis of the sunscreen scytonemin in *Nostoc punctiforme* ATCC 29133 in response to UVA radiation. **J Journal of bacteriology**, 191, n. 14, p. 4639-4646, 2009.

SOWA, P.; RUTKOWSKA-TALIPSKA, J.; SULKOWSKA, U.; RUTKOWSKI, K. *et al.* Ionizing and non-ionizing electromagnetic radiation in modern medicine. **Polish Annals of Medicine**, 19, n. 2, p. 134-138, 2012.

TORRES, A.; ENK, C. D.; HOCHBERG, M.; SREBNIK, M. Porphyrin-334, a potential natural source for UVA protective sunscreens. **Photochemical & Photobiological Sciences**, 5, n. 4, p. 432-435, 2006.

TORRES, P.; SANTOS, J. P.; CHOW, F.; FERREIRA, M. J. P. *et al.* Comparative analysis of in vitro antioxidant capacities of mycosporine-like amino acids (MAAs). **Algal Research**, 34, p. 57-67, 2018.

VENCKUS, P.; PALIULIS, S.; KOSTKEVIČIENE, J.; DEMENTJEV, A. CARS microscopy of scytonemin in cyanobacteria *Nostoc commune*. **J Journal of Raman Spectroscopy**, 49, n. 8, p. 1333-1338, 2018.

WHITE, D. A.; POLIMENE, L.; LLEWELLYN, C. A. Effects of ultraviolet-a radiation and nutrient availability on the cellular composition of photoprotective compounds in *Glenodinium foliaceum* (Dinophyceae). **J Journal of phycology**, 47, n. 5, p. 1078-1088, 2011.