



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**VERÔNICA COUTO PAIS RODRIGUES**

**DIVERSIDADE FUNCIONAL E REDUNDÂNCIA ECOLÓGICA DA COMUNIDADE  
FITOPLANCTÔNICA EM RESERVATÓRIOS ÁRIDOS: CABO VERDE, ILHA DE  
SANTIAGO**

**AREIA**

**2024**

**VERONICA COUTO PAIS RODRIGUES**

**DIVERSIDADE FUNCIONAL E REDUNDÂNCIA ECOLÓGICA DA COMUNIDADE  
FITOPLANCTÔNICA EM RESERVATÓRIOS ÁRIDOS: CABO VERDE, ILHA DE  
SANTIAGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia

**Orientadora:** Profa. Dra. Luciana Gomes Barbosa

**Coorientadora:** Dra. Edjane Oliveira de Lucena

**AREIA  
2024**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

R696d Rodrigues, Veronica Couto Pais.

Diversidade funcional e redundância ecológica da comunidade fitoplanctônica em reservatórios áridos: Cabo Verde, Ilha de Santiago / Veronica Couto Pais Rodrigues. - Areia, 2024.

34 f. : il.

Orientação: Luciana Barbosa.

Coorientação: Edjane Lucena.

TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Ecossistemas Aquáticos. 3. Zonas Áridas. 4. Fitoplâncton. I. Barbosa, Luciana. II. Lucena, Edjane. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635 (02)

**VERÔNICA COUTO PAIS RODRIGUES**

**DIVERSIDADE FUNCIONAL E REDUNDÂNCIA ECOLÓGICA DA COMUNIDADE  
FITOPLANCTÔNICA EM RESERVATÓRIOS ÁRIDOS: CABO VERDE, ILHA DE  
SANTIAGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação em Agronomia, da  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB),  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Agronomia

Aprovado(a) em: 29 / Outubro / 2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dra. Luciana Gomes Barbosa (Orientadora)  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

---

Prof. Dra. Edjane Oliveira de Lucena (Coorientadora)  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

---

Prof. Dr. João Paulo de Oliveira Santos (Examinador)  
Instituto Federal do Tocantins (IFTO)

---

Prof. Me. Karine Francisca dos Santos (Examinadora)  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Eu dedico este trabalho a todas as pessoas que me ajudaram a tornar esse sonho possível. Aos meus pais Maria Auxiliadora Couto Pires e Francisco de Assis Pais Rodrigues por acreditarem em mim, a minha irmã Valéria Pires Rodrigues por me incentivar a continuar estudando sempre, ao meu avô José Alves Pires e minha avó Adelice Couto Pires (*in memoriam*). Ao meu esposo Matheus Ramos de Oliveira e ao meu filho Cauã Ramos Rodrigues pelo imenso apoio, determinação e amor. A minha orientadora Luciana Barbosa que dedicou boa parte do seu tempo e atenção nas minhas dúvidas e no decorrer do trabalho. Obrigada sempre por todos vocês.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me permitir trilhar essa jornada dos estudos.

Aos meus pais, Francisco de Assis Pais Rodrigues e Maria Auxiliadora Couto Pires, por sempre me inspirarem a nunca desistir dos meus sonhos. Ao meu avô José Alves Pires, por me mostrar o valor da vida, a minha irmã Valéria Pires Rodrigues, por me direcionar pelos caminhos do estudo.

Ao meu cônjuge Matheus Ramos de Oliveira, por estar presente nos diversos momentos da minha graduação e ao meu filho Cauã, que ilumina meus dias e é o motivo para lutar todos os dias. A minha avó Adelice Couto Pires (*in memoriam*), embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força. E a minha querida amiga de infância, Hera Campeche Cruz.

À professora Luciana Gomes Barbosa, minha imensa gratidão por toda sua orientação em pesquisas, estágios e trabalhos, pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação e direcionamento em grande parte da minha trajetória acadêmica.

A prof. Edjane Lucena por todas as sugestões, aprimoramentos e coorientação.

Aos professores do Curso da UFPB, em especial, Luciana Gomes Barbosa, Marcia Targino, Márcia Verônica, Maria Lorena de Assis Cândido e Lázaro Souto de Araújo, que contribuíram ao longo desses semestres, por meio das disciplinas e orientações, para o meu desenvolvimento no meio acadêmico.

Aos funcionários da UFPB, Raquel e Dona Gilma. Aos bibliotecários: Edilson, Júccia e Lucianna pela presteza e atendimento quando nos foi necessário. Aos colegas de Laboratório pelos momentos de amizade e apoio, cafés e em especial Karine, Fátima, Danniele, Islânia, Rafael, João Paulo, Vitória, Fernanda, Jennifer, Letícia, Laís e Marcus. As minhas colegas de universidade que me deram suporte ao longo dessa imensa jornada: Karine Francisca, Beatriz Macedo, Jéssica Sales, Michelly Fernandes, Jade Irgma Litran e Joyce Silva.

Agradeço.

“Nunca desista de seus  
sonhos”.

Augusto Cury

## RESUMO

As terras áridas são ecossistemas afetados pela escassez de água e pela extrema variabilidade das chuvas, resultando em secas severas. O objetivo do presente estudo foi avaliar a redundância ecológica de grupos de fitoplâncton em ecossistemas vulneráveis em região árida, em Cabo Verde, África. A pesquisa foi realizada na ilha de Santiago, em Cabo Verde, África. A região tem um clima árido, precipitação média anual de 180 mm entre os meses de agosto a outubro, seguida por uma longa estação seca de novembro a julho. Entre 2016 e 2018, cinco reservatórios (Poilão, Saquinho, Faveta, Flamengos e Figuera Gorda) foram amostrados em cinco momentos diferentes, principalmente durante a estação seca. Foram avaliadas variáveis abióticas, como temperatura, pH, oxigênio dissolvido, nutrientes e turbidez. Os grupos funcionais foram classificados com base em características morfológicas e ecológicas e estratégias adaptativas. Para avaliar a diversidade funcional foi mensurado a equitabilidade funcional (FEve), a riqueza funcional (Fric) e a dispersão funcional (FDis) dos grupos de fitoplânctons. Para a análise dos dados da diversidade funcional foi aplicado uma análise de regressão múltipla pelo método descendente Stepwise. Foi estimado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para as variáveis independentes e o grau de significância foi testado por análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Os dados foram transformados em  $\log(x+1)$  antes da análise. Todas as análises foram realizadas com o software Paleontological Statistics (PAST v.4.03). A maior biomassa de fitoplâncton foi observada nos reservatórios de Saquinho e Flamingo. Espécies como *Anabaena sp.* e *Microcystis sp.* foram as mais abundantes. A diversidade funcional (FDiv) foi geralmente alta, exceto em dezembro no reservatório de Poilão. Em contrapartida, a riqueza funcional (Fric) foi menor no Poilão, relacionada à dominância de cianobactérias. A redundância funcional apresentou valores próximos a 1, indicando uma alta biomassa de grupos de cianobactérias. As análises revelaram correlações significativas entre a diversidade funcional, teores de sódio e o fósforo total, bem como a influência da chuva na dispersão funcional. Este estudo sugere que a redundância ecológica respondeu à seca prolongada, permitindo a compensação funcional entre as espécies. Os resultados indicam que tanto a diversidade funcional quanto a redundância trabalham juntas para manter as funções ecológicas, mesmo diante de mudanças ambientais. Embora a redundância ajude a manter as funções em face da perda de espécies, a diversidade funcional é fundamental para garantir a resiliência do ecossistema.

**Palavras-Chave:** ecossistemas aquáticos; zonas áridas; grupos de fitoplâncton.



## ABSTRACT

Drylands are ecosystems affected by water scarcity and extreme rainfall variability, resulting in severe droughts.

The aim of this study was to evaluate the ecological redundancy of phytoplankton groups in vulnerable ecosystems in an arid region of Cape Verde, Africa. The research was carried out on Santiago Island, Cape Verde, Africa. The region has an arid climate, with an average annual rainfall of 180 mm between August and October, followed by a long dry season from November to July. Between 2016 and 2018, five reservoirs (Poilão, Saquinho, Faveta, Flamengos and Figuera Gorda) were sampled at five different times, mainly during the dry season. Abiotic variables such as temperature, pH, dissolved oxygen, nutrients and turbidity were evaluated.

Functional groups were classified based on morphological and ecological characteristics and adaptive strategies. To evaluate functional diversity, functional evenness (FEve), functional richness (Fric) and functional dispersion (FDis) of phytoplankton groups were measured. Multiple regression analysis using the stepwise descending method was applied to analyze functional diversity data. The coefficient of determination ( $R^2$ ) was estimated for the independent variables and the degree of significance was tested by analysis of variance using the F test ( $p < 0.05$ ). Data were transformed into  $\log(x+1)$  before analysis. All analyses were performed using the Paleontological Statistics software (PAST v.4.03). The highest phytoplankton biomass was observed in the Saquinho and Flamingo reservoirs. Species such as *Anabaena* sp. and *Microcystis* sp. were the most abundant. Functional diversity (FDiv) was generally high, except in December in the Poilão reservoir. In contrast, functional richness (Fric) was lower in Poilão, related to the dominance of cyanobacteria. Functional redundancy showed values close to 1, indicating a high biomass of cyanobacterial groups.

The analyses revealed significant correlations between functional diversity, sodium and total phosphorus contents, as well as the influence of rainfall on functional dispersion. This study suggests that ecological redundancy responded to prolonged drought, allowing functional compensation among species.

The results indicate that both functional diversity and redundancy work together to maintain ecological functions, even in the face of environmental changes. Although redundancy helps maintain functions in the face of species loss, functional diversity is essential to ensure ecosystem resilience.

**Keywords:** aquatic ecosystems; arid zones; phytoplankton groups.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 -</b>	Localização dos reservatórios das áreas de estudo, Ilha de Santiago, Cabo Verde, África .....	14
<b>Figura 2 -</b>	Biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) dos grupos funcionais do fitoplâncton de Reynolds em Saquinho, Flamings, Figueira Gorda, Faveta e Poilão durante o período de estudo.....	20
<b>Figura 3 -</b>	Biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) dos grupos funcionais do fitoplâncton (GFBM) em Saquinho, Flamings, Figueira Gorda, Faveta e Poilão durante o período de estudo.....	21
<b>Figura 4 -</b>	Diversidade funcional do fitoplâncton presente nos reservatórios na Ilha de Santiago, em Cabo Verde, África. FRic: Riqueza funcional; FDiv: Diversidade funcional; FDis: dispersão, mede a dispersão das espécies no espaço funcional (0-1); FEve: uniformidade (0-1).....	22
<b>Figura 5 -</b>	Redundância funcional nos reservatórios de Cabo Verde.....	23

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Características dos reservatórios estudados, incluindo a profundidade em cada um dos períodos de amostragem (m), na ilha de Santiago, Cabo Verde..... 15
- Tabela 2** - Resultados resumidos da análise de regressão múltipla aplicada a índices funcionais e descritores de determinantes grupos. Valores de P significativos (\*p < 0,05; \*\*p < 0,01; \*\*\*p < 0,001) são apresentados. DF: Graus de Liberdade..... 21
- Tabela 3** - Resultados das análises físico-químicas das amostras dos cinco reservatórios estudados na Ilha de Santiago, em Cabo Verde, África..... 25

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

FRic Riqueza funcional

FEve Uniformidade

FDis Dispersão

FDiv Diversidade Funcional

GFBM Grupos Funcionais Baseados na Morfologia

RGF Relação de Crescimento Funcional

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO .....	14
2.2 PERÍODO DA AMOSTRAGEM.....	15
2.3 VARIÁVEIS ABIÓTICAS ANALISADAS.....	16
2.4 DIVERSIDADE FUNCIONAL DOS FITOPLÂNTON ESTUDADOS NOS RESERVATÓRIOS EM CABO VERDE, ÁFRICA .....	16
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS AMOSTRAGENS.....	18
<b>3 RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
3.1 DISTRIBUIÇÃO E BIOVOLUME DE FITOPLÂNTONS EM DIFERENTES RESERVATÓRIOS EM CABO VERDE, ÁFRICA .....	19
3.2 GRUPOS FUNCIONAIS DE FITOPLÂNTONS EM DIFERENTES RESERVATÓRIOS ESTUDADOS EM CABO VERDE, ÁFRICA.....	20
3.3 DIVERSIDADE FUNCIONAL E REDUNDÂNCIA .....	21
3.4 VARIÁVEIS ABIÓTICAS .....	23
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>

## INTRODUÇÃO

As zonas áridas são ecossistemas frágeis caracterizados por um déficit de água superficial e uma elevada variabilidade interanual da precipitação (D'Odorico; Bhattachan 2012), com um equilíbrio negativo entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (Tooth; McCarthy 2007). As evidências atuais apontam para a influência das alterações climáticas na intensificação de eventos extremos (Maestre *et al.*, 2012), incluindo secas supra-sazonais (Marvel *et al.*, 2019).

Mudanças drásticas na superfície da Terra causadas por ações humanas em escala global são reconhecidas como o Antropoceno, uma nova época geológica caracterizada por paisagens antropogênicas (Pichler *et al.* 2017). As constantes alterações provocadas pela ação antrópica em paisagens áridas e semiáridas levaram à expansão da desertificação e à degradação da terra (Fu *et al.* 2008; Reynolds, 2011), reduzindo a heterogeneidade ambiental e aumentando a fragilidade dos ecossistemas. A mudança de massas de água em terras áridas tem sido associada à sobreexploração através da captação de água (Snyder *et al.* 2024) e de outras atividades econômicas, como a agricultura e a pecuária (Zhang *et al.* 2020).

A perda de biodiversidade devido às pressões humanas e aos efeitos das alterações climáticas têm recebido atenção considerável nos últimos anos. Nos ecossistemas aquáticos, as secas prolongadas ou intrasazonais são um dos principais fatores que contribuem para o estado de degradação desses ambientes, comprometendo os principais processos ecossistêmicos, intensificando a perda de espécies e favorecendo o aumento das concentrações de fósforo (Yang *et al.* 2022).

Neste cenário, a proliferação de cianobactérias nocivas poderá ser mais frequente e intensa (Paerl; Barnard. 2020), alterando a composição das comunidades e reduzindo a diversidade das espécies (Cantonati *et al.* 2020). A redução de espécies associadas à degradação dos ecossistemas aquáticos pode induzir alterações graves e provocar efeito cascata nos ecossistemas aquáticos e no seu funcionamento (Jaiswal *et al.* 2021). Uma das respostas potenciais é o aumento das características de persistência e, conseqüentemente, da redundância ecológica (Boersma *et al.*, 2014).

Em ecologia, a redundância funcional explica a composição das espécies e como exercem o mesmo papel de produtividade sobre o ecossistema (Otero, 2020). Acredita-se que quanto maior a diversidade de espécies no ambiente, melhor o desempenho, e os serviços ecossistêmicos que a comunidade pode proporcionar ao ambiente (estabilidade temporal da

função do ecossistema associado) (Biggs, 2020). As comunidades com mais espécies desempenhando funções semelhantes seriam protegidas das perdas de qualquer espécie. A redundância funcional indicou que algumas espécies poderiam substituir outras através de papéis funcionais, garantindo assim certas funções e resiliência do ecossistema (Londe, 2021).

A divergência e a convergência de traços que emergem de processos de filtragem ambiental e similaridade limitante, afetam a medida do quão semelhante são os papéis funcionais existentes em uma comunidade, termo definido como redundância funcional (Atkinson, 2020).

A observação de que os fatores bióticos e abióticos atuam mais fortemente nos traços funcionais do que nas espécies em si, possibilitou o desenvolvimento de novas abordagens para a ecologia do fitoplâncton. Traços funcionais são as características mensuráveis de caráter morfológico, fisiológico ou comportamental dos organismos que afetam a sua capacidade de sobreviver e reproduzir no ambiente (Kearney, 2021). Esses traços são utilizados para classificar as espécies de acordo com suas tolerâncias e sensibilidades a variações ambientais e define os grupos funcionais no fitoplâncton. É importante saber quais tipos de espécies apareceram de acordo com cada circunstância, devido ao seu papel fundamental de transferência de energia e matéria para níveis tróficos superiores, nos ciclos de nutrientes e na saúde humana através de florações de algas nocivas, entre outros processos importantes (Sedyaw, 2024).

O fitoplâncton é um importante indicador de mudanças nos ecossistemas aquáticos, respondendo em escalas temporais e espaciais a mudanças nos recursos, como disponibilidade de luz e concentração de nutrientes (Reynolds, 2006; Padisák *et al.* 2009). Nos últimos anos, as características funcionais tornaram-se uma questão importante na ecologia do fitoplâncton (Laplace-Tretyure *et al.* 2021; Vanderley *et al.* 2022). A resposta de características funcionais e morfológicas para indicar mudanças nos sistemas aquáticos tem provado ser eficaz no monitoramento.

Os grupos funcionais baseados na morfologia (GFBM), um dos sistemas utilizados para realizar a classificação e estudos do fitoplâncton foram descritos por Kruk *et al.* (2016). Na abordagem funcional traços e entidades não taxonômicas são as unidades fundamentais selecionadas por meio dos filtros ambientais. A melhor relação entre os grupos funcionais e o ambiente pode ser explicada pela resposta similar que as espécies adentrem um mesmo filtro ambiental (Zanon, 2021).

Os reservatórios representam segurança para as populações das zonas secas como abastecimento de água e segurança alimentar, sendo assim vitais para a sobrevivência de

comunidades (Sedyaaw, 2024). O que torna de extrema importância o seu estudo e caracterização para um melhor entendimento sobre a importância ecológica e incentivo a preservação.

Portanto, a hipótese principal do presente estudo é que a redundância ecológica responde aos nutrientes como uma compensação funcional dos reservatórios e a partir disso têm-se como. Previsões: i) As características funcionais dominantes restantes, em escala temporal e espacial, estão associadas a altas concentrações de nutrientes; ii) Maior redundância ecológica foi encontrada em altas concentrações de nutrientes. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar a redundância ecológica de grupos de fitoplâncton em ecossistemas vulneráveis em região árida, na Ilha de Santiago, em Cabo Verde, África.

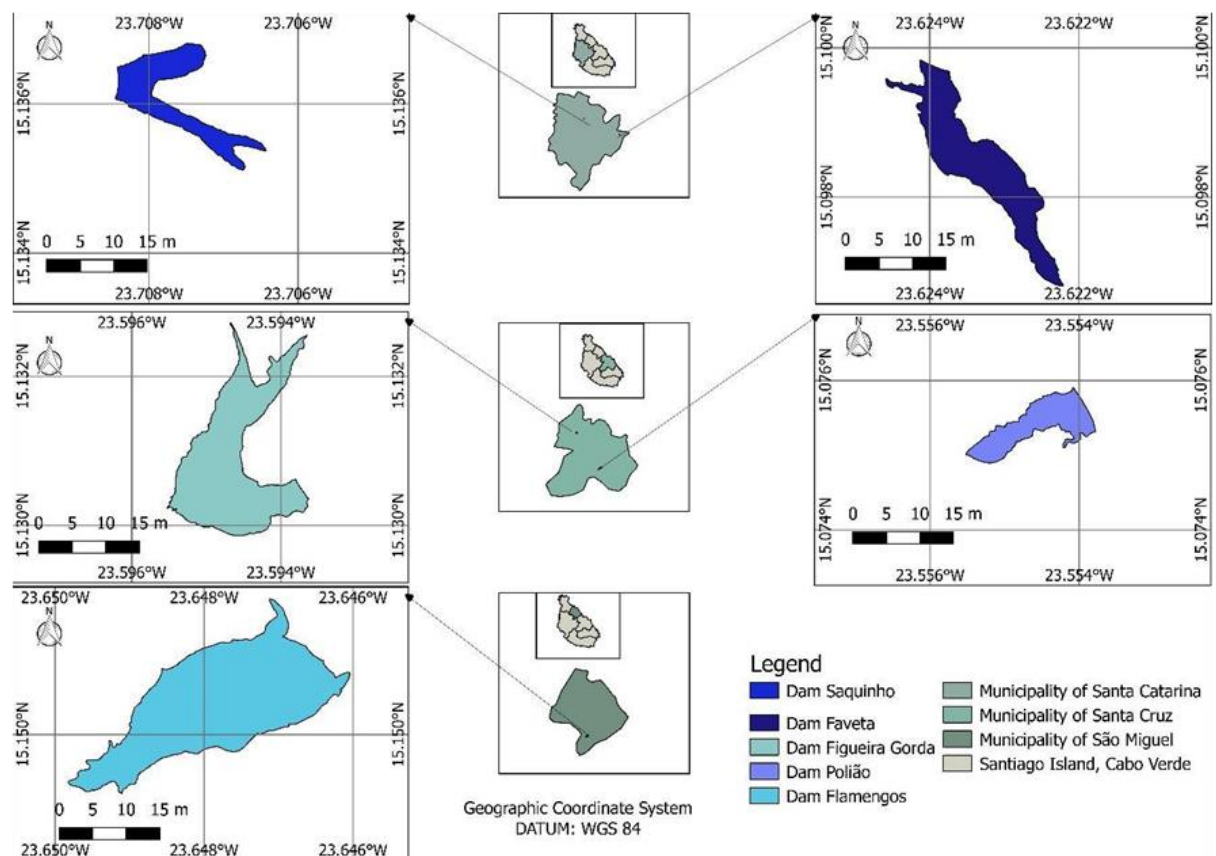


## 2 METODOLOGIA

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em cinco reservatórios, localizados no arquipélago de Cabo Verde durante o período de junho de 2016 a dezembro de 2018. Foram coletadas amostras de água de três municípios, em cinco barragens. No município de Santa Catarina foram coletados nos reservatórios de saquinho e faveta. No município de Santa Cruz foram coletados nos reservatórios de Figueira Gorda e Poilão e no município de São Miguel foi coletado no reservatório de Flamengos (figura 1).

**Figura 1** -Localização dos reservatórios das áreas de estudo, Ilha de Santiago, Cabo Verde, África



O clima da ilha de Santiago é desértico ou árido (tipo BWh) (Beck *et al.*, 2018), com precipitação média anual máxima de 180 mm . A estação seca é mais longa (novembro-junho), seguida por uma curta estação chuvosa (julho-outubro) (Varela-Lopes e Molion 2014). No arquipélago de Cabo Verde, o clima é predominantemente árido e semiárido, e as

barragens apresentam uma elevada vulnerabilidade à eutrofização com predominância de cianobactérias (Morais *et al.*, 2020).

A Ilha de Santiago é a maior das dez ilhas habitadas de Cabo Verde, com uma área de 991 km<sup>2</sup>, ou cerca de 25% da área total do arquipélago. A escassez histórica de água levou à construção de barragens governamentais para aumentar a disponibilidade de água para atividades econômicas (Tabela 1).

**Tabela 1** -Características dos reservatórios estudados, incluindo a profundidade em cada um dos períodos de amostragem (m), na ilha de Santiago, Cabo Verde

Características dos reservatórios estudados	Poilão	Saquinho	Faveta	Figueira Gorda
Ano de Construção	2006	2013	2013	2014
Altura máxima (m)	26.0	33.9	36.5	34.7
Capacidade máxima (1000 m <sup>3</sup> )	1 700	700	700	1 800
Vazão máxima de inundação (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	320.0	312.0	186.6	363.0
Profundidade(m) do reservatório (junho 2016)	8	*	10	8
Profundidade (m)do reservatório (maio 2017)	7	*	9	8
Profundidade(m) do reservatório (dezembro 2017)	4	6	9	8
Profundidade (m)do reservatório (outubro 2018)	4	5	*	9

## 2.2 PERÍODO DA AMOSTRAGEM

Os reservatórios de Poilão, Faveta, Figueira Gorda, Saquinho e Flamingo foram amostrados de 2016 a 2018 em cinco campanhas: junho de 2016, maio e dezembro de 2017, outubro e dezembro de 2018. Essas campanhas ocorreram principalmente na estação seca, exceto outubro de 2018, que teoricamente corresponde à estação chuvosa.

Portanto, 2016 a 2018 correspondem a anos de seca com precipitações anuais bem abaixo da média do país, com médias de 250 mm e 200 mm, para os respectivos anos. Desta forma a amostragem no reservatório em Flamengos só foi iniciada em dezembro de 2017, no início do enchimento, após a conclusão da construção da barragem, e em outubro de 2018 foram amostrados apenas os reservatórios de Flamengos, Figueira Gorda e Poilão, já que Saquinho e Faveta estavam secos.

### 2.3 VARIÁVEIS ABIÓTICAS ANALISADAS

As amostras de água dos reservatórios estudados para análises químicas e fitoplanctônicas foram coletadas na zona eufótica utilizando uma garrafa Van Dorn (capacidade 3 L). As amostras de fitoplâncton foram preservadas com solução alcalina de Lugol (0,5%). A temperatura da água (T, °C), pH, oxigênio dissolvido (OD, % saturação de O<sub>2</sub>) e profundidade (m) foram medidos com uma sonda multiparâmetro (TROLL 9500 PROFILER XP). As concentrações de Nitrogênio total (Nt, mg N/L), nitratos (NO<sub>3</sub>, mg N/L), amônio (NH<sub>4</sub>, mg N/L), fósforo total (Pt, mg P/L), sódio (Na, mg/L), potássio (K, mg/L), cálcio (Ca, mg/L), cloretos (Cl, mg/L), sulfatos (SO<sub>4</sub>, mg/L), carbonatos (CO<sub>3</sub>, mg/L), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>, mg/L), magnésio (Mg, mg/L) e sílica (SiO<sub>2</sub> mg Si/L) foram determinados de acordo com a American Public Health Association (APHA 1998).

A transparência da água foi estimada utilizando um disco de Secchi e a zona eufótica (Zeu) foi calculada como 2,7 vezes a profundidade de Secchi (Cole 1994). A razão entre a profundidade da zona eufótica (Zeu) e da zona de mistura (Zmix) foi usada como índice de disponibilidade de luz na zona de mistura (Jensen *et al.* 1994).

### 2.4 DIVERSIDADE FUNCIONAL DOS FITOPLÂNCTON ESTUDADOS NOS RESERVATÓRIOS EM CABO VERDE, ÁFRICA

A análise quantitativa do fitoplâncton foi realizada segundo Utermöhl (1958) com amostras fixadas em ácido acético aquoso de Lugol (1%). O tempo de sedimentação foi determinado de acordo com Lundet *al.* (1958). O biovolume do fitoplâncton (mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup>) foi estimado utilizando as formas geométricas das espécies (Hillebrandet *al.*, 1999; Sun; Liu, 2003), sendo o biovolume obtido pela multiplicação da densidade de cada táxon pelo seu respectivo volume, com a unidade de peso fresco expressa em massa, onde 1 mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup> = 1 mg L<sup>-1</sup> (Wetzel; Likens, 2000).

Para a análise do fitoplâncton, em cada local, foi realizada uma amostra composta da zona eufótica, sendo fixadas no campo com solução de Lugol (0,5%). No laboratório, o fitoplâncton foi identificado até o nível taxonômico mais baixo através de um microscópio invertido (LeicaDMIL, ampliação de 1000×) e bibliografia específica.

A diversidade funcional foi calculada usando as características funcionais das espécies associadas às adaptações e ajustes aos processos de perda e predação, como aerótopos, lóricos, mucilagens, espinhos, processos, dimensão linear máxima (DLM) e forma

de vida (flagelados unicelulares e não flagelados), coloniais flagelados e não flagelados e filamentosos). A diversidade funcional foi considerada neste estudo como um componente que influencia o funcionamento do ecossistema (Tilman, 2001). Dentre os componentes principais, foram calculadas a equitabilidade funcional (FEve), a riqueza funcional (FRic) e a dispersão funcional (FDis).

A Equitabilidade funcional (FEve) refere-se como as funções estão distribuídas entre as espécies da comunidade. O FEve varia de 0 a 1, onde 0 corresponde a todas as funções concentradas em uma única espécie, e 1 equivale a todas as funções igualmente representadas, sendo 1 referente a uma distribuição perfeita e equitativa. Um alto valor indica que as funções estão bem divididas entre diferentes espécies, sem que uma espécie domine (Lavorel, 2011).

A riqueza funcional (FRic) mede quantas funções diferentes estão presentes em uma comunidade. O FRic pode variar de 0, quando não há funções presentes, até um valor máximo que depende do número total de espécies e das características consideradas. Possui uma relação diretamente proporcional onde, quanto maior for a riqueza funcional maior será a diversidade funcional (DU, 2022)

A dispersão funcional (FDis) avalia a distribuição das características funcionais das espécies em relação à média funcional da comunidade. Uma maior dispersão indica que as espécies são mais diferentes em suas características funcionais. O FDis não possui limites fixos como os anteriores, pois varia com a estrutura da comunidade as características funcionais consideradas. Um valor mais alto indica uma maior diversidade nas características funcionais (Otero, 2020).

A classificação segundo Reynolds (RGF) agrupa espécies de fitoplâncton em grupos funcionais, com base nas suas características e funções no ecossistema. A diversidade de espécies dentro de cada grupo é como uma estratégia do ecossistema para manter as suas funções essenciais, mesmo quando as condições ambientais mudam. Em outras palavras, os RGF mostram como as comunidades do fitoplâncton se adaptam e garantem a estabilidade e resiliência do ecossistema, mesmo diante a diferentes fatores ambientais (KRUK, 2021).

A classificação dos grupos funcionais segundo Kruk *et al.* (2010) baseados na morfologia (GFBM) agrupa espécies de fitoplâncton de acordo com as características morfológicas, a fim de melhor entender a estrutura e função das comunidades fitoplanctônicas, auxiliando na identificação de padrões e a previsão de respostas a mudanças ambientais.

## 2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS AMOSTRAGENS

Uma análise de regressão múltipla pelo método dos mínimos quadrados e método descendente stepwise foi realizada para analisar a relação das variáveis abióticas na estrutura da comunidade fitoplanctônica: equitabilidade funcional (FEve), a riqueza funcional (FRic) e a dispersão funcional (FDis). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi calculado como uma medida da proporção da variação que é explicada pelas variáveis independentes e o grau de significância das regressões foi testado por uma análise de variância, usando o valor de F para  $p < 0,05$ . Devido ao pressuposto das análises de regressão em relação a normalidade dos dados, eles foram transformados em  $\log(x + 1)$  antes da análise e a análise realizada com o software PaleontologicalStatistics (PAST v.4.03).

### 3 RESULTADOS

A análise das características dos reservatórios indicou que Figueira Gorda é a barragem mais recente (2014). Os reservatórios de Poilão e Saquinho mostraram uma diminuição gradual da profundidade, o que reflete no uso e demanda da água. Já o reservatório Faveta mantém uma profundidade estável, o que pode indicar boas condições de retenção e uso de água, enquanto Figueira Gorda mostrou uma boa profundidade constante, com um pequeno aumento no final do período sugerindo um aumento da precipitação.

A precipitação e o pH afetaram a dispersão funcional e grupos funcionais específicos (III e V), com significância variando de moderada a alta. A correlação ( $R^2$ ) variou entre os modelos, com alguns explicando uma proporção significativa da variabilidade ( $R^2$ : 0,6282) e de outros mostrando ajustes mais modestos ( $R^2$ : 0,299).

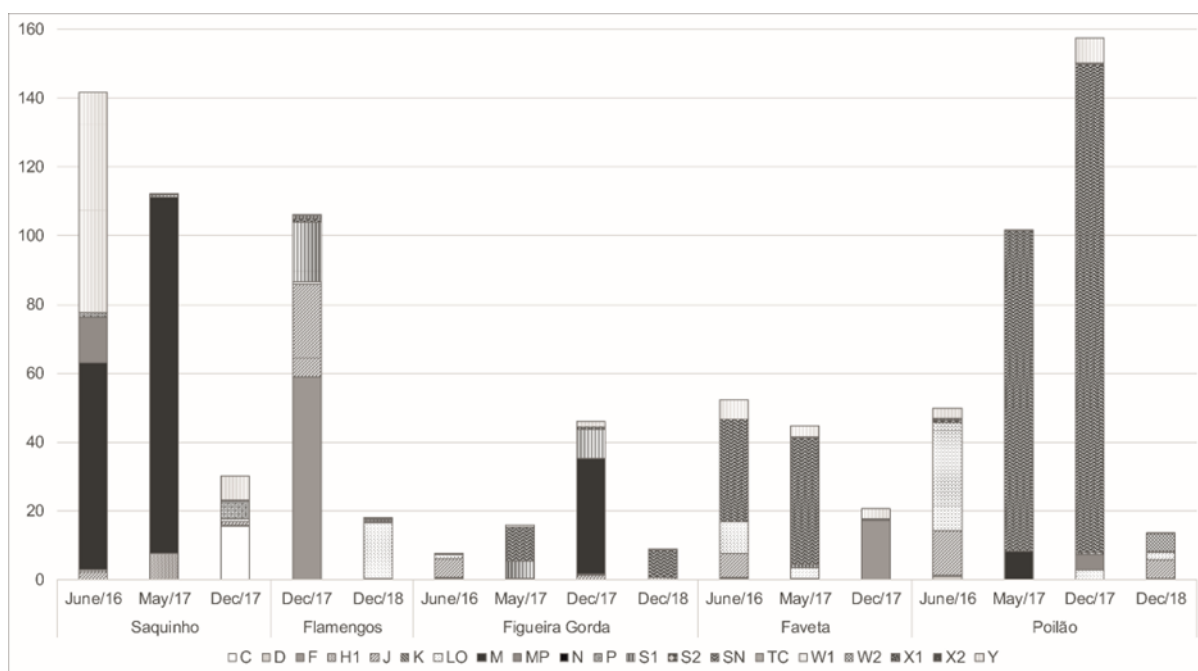
#### 3.1 DISTRIBUIÇÃO E BIOVOLUME DE FITOPLÂNTONS EM DIFERENTES RESERVATÓRIOS EM CABO VERDE, ILHA DE SANTIAGO

A distribuição do biovolume foi realizada em duas classificações, segundo Kruk e Reynolds. Observa-se valores elevados no Grupo III no reservatório Poilão em maio de 2017 (93,0464) e em dezembro de 2017 (146,4595), em comparação aos outros grupos funcionais (Figura 2). Esses valores sugerem que esse grupo funcional foi predominante em pelo menos duas coletas. Além do reservatório Saquinho em junho de 2016 (103,667) e maio de 2017.

Os grupos de fitoplâncton foram avaliados quanto aos grupos de espécies, seus padrões de distribuição e biomassa. As maiores biomassas foram identificadas nos reservatórios Flamingo em dezembro de 2017 (85.879,9 mg.l-1) e em Saquinho em maio de 2017 (7.785,3 mg, L-1). Entre os grupos funcionais dominantes, os grupos I, III, V e VII foram os mais dominantes (Figura 2). No reservatório de Saquinho, os grupos V e VII foram os mais representativos, com maior biomassa identificada em junho de 2016 (64,7 e 60,3 mg.l-1, respectivamente) e maio de 2017 (103,6 mg.l-1, grupo VII).

No reservatório Poilão, o grupo VII apresentou maior dominância em maio de 2017 (93,0 mg.l-1). As menores biomassas foram registradas em torno de 30,0 mg.l-1 nos reservatórios Poilão (grupo V em junho de 2016), Faveta Gorda (grupo III em junho de 2016 e maio de 2017) e Flamingo e Faveta Gorda em dezembro de 2017 (grupos I e III, respectivamente).

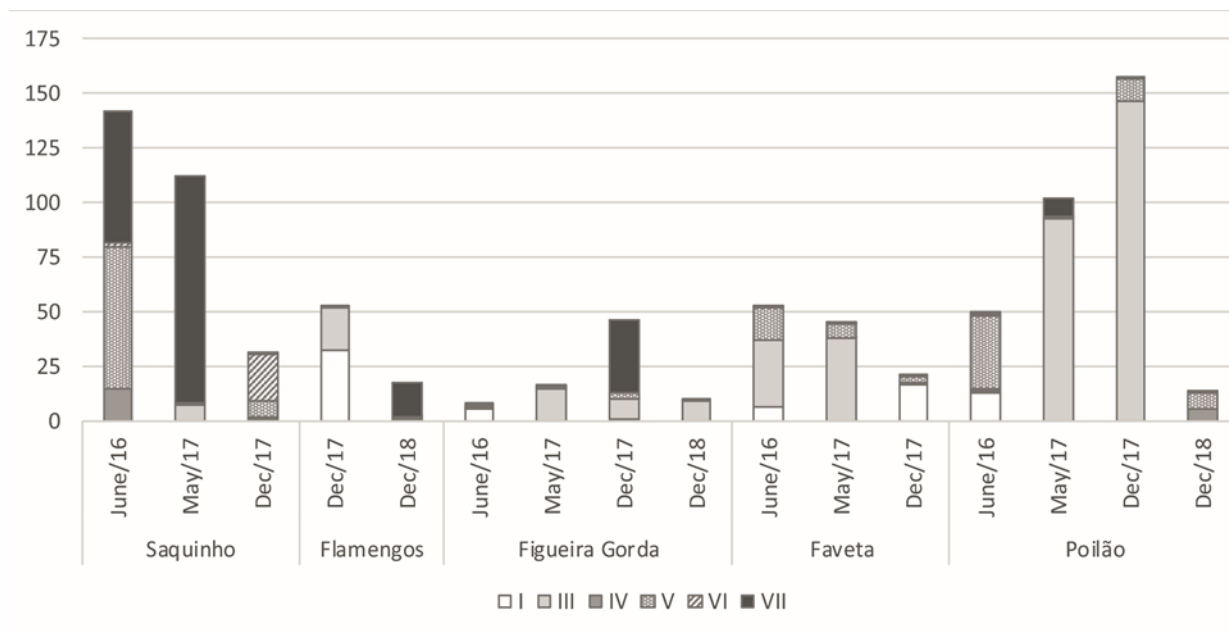
**Figura 2** -Biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) dos grupos funcionais do fitoplâncton de Reynolds em Saquinho, Flamengos, Figueira Gorda, Faveta e Poilão durante o período de estudo.



### 3.2 GRUPOS FUNCIONAIS DE FITOPLÂNTONS EM DIFERENTES RESERVATÓRIOS ESTUDADOS EM CABO VERDE, ILHA DE SANTIAGO

As análises do biovolume revelaram a presença das espécies *Anabaena sp.*, *Anabaenopsis sp.*, *Aphanizomenonaphanizomenoides* (Forti) Hortobágyi&Komárek, *A. manguinii*Bourrelly, *Aphanizomenon sp.*, *Cuspidothrix sp.*, *Oscillatoria limosa* C. AgardhGomont, *Phormidium sp.*, *Raphidiopsis sp.* no grupo III. No grupo I, pequenos clorofitos como *Coelastrumastroideum* De Notaris, *Crucigeniatetrapedia* (Kirchner) Kuntze, *Kirchneriella sp.*, *Monoraphidiumcontortum* (Thuret) Komárková-Legnerová, *Monoraphidiumkomarkovae*Nygaard, *Tetraedron mínimo* (A.Braun) Hansgirg foram os mais representativos. Entre as espécies do grupo V, predominaram *Cryptomonascurvata*Ehrenberg, *C. erosa*Ehrenberg, *C. ovata*Ehrenberg e *Kommacaudata* (L.Geitler) D.R.A.Hill. Enquanto isso, no grupo VII, *Coelosphaerium sp.*, *Microcystis sp.* e *Merismopediatenuissima*Lemmermann apresentaram a maior biomassa. Obiovolume dos grupos funcionais de fitoplâncton mensurados nas amostragens dos diferentes reservatórios em função das épocas de coleta estudados pode ser observado na Figura 3.

**Figura 3** -Biovolume (mm<sup>3</sup>/L) dos grupos funcionais do fitoplâncton (GFBM) em Saquinho, Flamengos, Figueira Gorda, Faveta e Poilão durante o período de estudo



### 3.3 DIVERSIDADE FUNCIONAL E REDUNDÂNCIA

A diversidade funcional nos reservatórios ao longo dos meses avaliados indicou regressão acima de 0,6 e correlação ( $p < 0,05$ ) com os teores de sódio. A equabilidade funcional (FEve) indicou valores inferiores a 0,5 na regressão, ao longo dos reservatórios e meses (Figura 4), fortemente relacionados ao cálcio (Ca) (Tabela 2).

**Tabela 2** -Resultados resumidos da análise de regressão múltipla aplicada a índices funcionais e descritores de determinantes grupos. Valores de P significativos (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ ) são apresentados. DF: Graus de Liberdade.

Dependentvariable	Independentvar iáveis	Regression Coefficient	F value	R <sup>2</sup>	D.F.
FunctionalDiversity	Na	0,156**	10,98	0,6282	15
	TP	-0,137***			
FunctionalEvenness	Ca	0,150**	10,38	0,426	15
FunctionalDispersal	Precipitation	-0,026*	7,55	0,350	15
Redundancy	pH	0,095*	5,98	0,299	15
Morfofunctionalgroup III	pH	-24,179*	5,94	0,298	15
MorfoFunctionalgroup IV	Mg	-1,134***	17,59	0,557	15

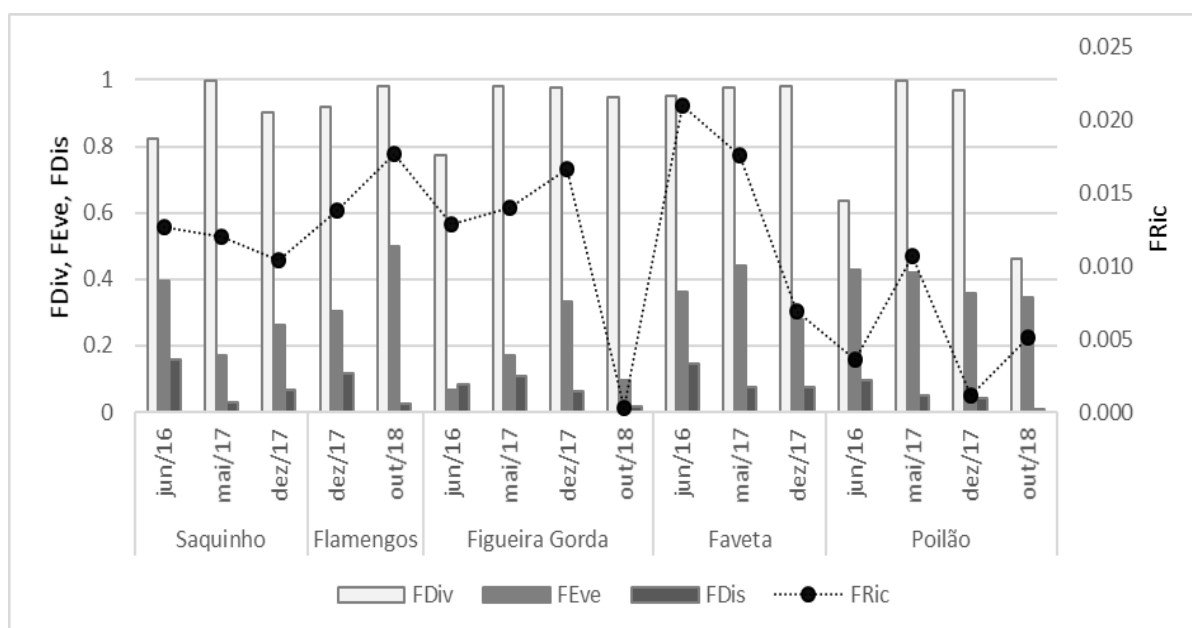


MorfoFunctionalgroup V	Precipitation	-0,672*	4,65	0,249	15
MorfoFunctionalgroup VII	SO4	-1,188*	5,44	0,280	15

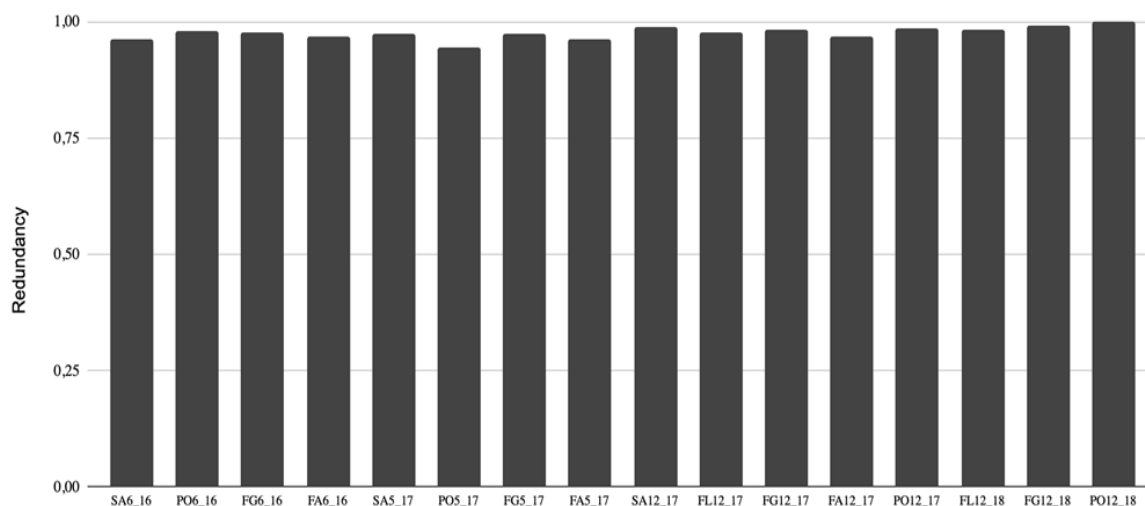
A riqueza funcional (FRic) dos fitoplâncton apresentou valores inferiores no reservatório em Poilão ( $p < 0,001$ ) em relação aos demais ambientes analisados, associada à dominância dos grupos morfofuncionais do fitoplâncton 3 ou SN (Figura 4). Em uma escala temporal, o mês com os valores mais baixos foi dezembro, principalmente nos reservatórios Faveta e Poilão, onde a dominância de grupos de cianobactérias é maior.

A diversidade funcional registou valores superiores a 0,9, com exceção de dezembro no reservatório do Poilão (0,47). As regressões entre FDiv, sódio (Na) e fósforo total (TP) foram significativas (Tabela 2). A dispersão funcional (FDisp) apresentou forte relação com a precipitação, com os menores valores concentrados no período seco (dezembro de 2017 e outubro de 2018).

**Figura 4** -Diversidade funcional do fitoplâncton presente nos reservatórios na Ilha de Santiago, em Cabo Verde, África. FRic: Riqueza funcional; FDiv: Diversidade funcional; FDis: dispersão, mede a dispersão das espécies no espaço funcional (0-1); FEve: uniformidade (0-1)



Na figura 5, foi observada uma alta redundância funcional em todos os reservatórios coletados ao longo do tempo. A redundância funcional registou valores próximos de 1 em todos os reservatórios e meses, indicando uma elevada redundância associada aos grupos funcionais de cianobactérias, principalmente filamentosos com aerótopos (Figura 5).

**Figure 5** - Redundância funcional nos reservatórios de Cabo Verde

### 3.4 VARIÁVEIS ABIÓTICAS

A transparência média da água varia entre 1,5m a 4,0 pode indicar a presença de matéria orgânica ou algas em suspensão, o que pode impactar na fotossíntese. Alguns pontos apresentam mais de 100% de oxigênio dissolvido, como 106,3% e 102,2%. Isso sugere uma produção intensa de oxigênio, geralmente associada à alta atividade fotossintética relacionada aos blooms de fitoplâncton (Paerl, 2020).

O pH variou entre 8,2 e 9,4 indicando um ambiente alcalino, o que é favorável para várias espécies de fitoplâncton, mas também indicou eutrofização, especialmente quando é acompanhado de altas concentrações de nutrientes. Em algumas amostras, o fósforo total atingiu valores elevados como 5120.0 ug/l P. Uma variável crítica, pois o fósforo é um nutriente limitante em muitos ecossistemas aquáticos e pode indicar potencial para crescimento excessivo de algas (eutrofização). As temperaturas variaram entre 23,2 °C e 30 °C com valores mais altos favorecendo o crescimento do fitoplâncton (Díaz, 2016).

A análise dos dados físico-químicos sugere que a comunidade de fitoplâncton pode ser influenciada por diversos fatores como a disponibilidade de nutrientes, condições de oxigênio, pH e temperatura. A presença de diferentes espécies de fitoplâncton em amostras específicas pode refletir a adaptação a essas condições, as condições ambientais atuais estão propensas a influenciar a dinâmica do fitoplâncton, com potenciais consequências para a saúde do ecossistema aquático. (Dory, 2024) Em águas eutrofizadas, espera-se uma maior presença de cianobactérias, enquanto que em ambientes oligotróficos poderia favorecer clorófitas ou diatomáceas (Tabela 3).

**Tabela 3** – Resultados das análises físico-químicas das amostras dos cinco reservatórios estudados na Ilha de Santiago, em Cabo Verde, África

Reservatóri os	Trs	Prof <sub>m</sub>	% OD	pH	T (°C)	Na (mg/l)	K mg/l	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (m/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/)	NH <sub>4</sub> - (ug/l)	NO <sub>3</sub> (ug/l)	Pt (ug/l)	CO <sub>3</sub> (ug/l)
Fav6.16	3,0	10	100.7	8.9	28.68	110.0	5.4	44.0	30.0	126.0	115.0	0	11.1	93.02	356.66	1450	168.4
Fav5.17	3,0		89.7	8.3	28.3	51.2	7.7	24.7	36.3	104.46	119.44	0	7.6	38.76	248.31	72.0	161,1
Fav12.17	4,0	9	26.0	8.8	26,0	44.47	1.21	36.8	36.8	98.27	43.27	91.4	9.6	54.26	613.99	50	0
Poil6.16	3,0	8	102.02	8.53	27.34	113.0	6.9	32.8	40.9	166.0	91.7	0	9.7	62.01	173.8	3460	163,1
Poil5.17	3,2	7	99.0	8.2	27.5	71.4	7.92	21.6	41.6	150.08	85.11	0	12.6	31.0	367.94	48	193.2
Poil12.17	2,0	4	99.3	8.7	26.1	80.87	2.5	38.7	60.7	195.0	42.64	0	9.9	54.26	873.6	67	275.7
Poil12.18	3,0	4	98.5	9.3	30.0	32.93	2.09	33.8	17.2	50.35	44.98	83.5	5.38	38.0	60.0	1014	0
FG6.16	4,0	8	106.3	9.04	28.94	118.0	11.6	16.8	32.1	153.1	50,0	0	8.1	62.01	255.08	5120	164,1
FG5.17	3,0	8	100.3	8.5	28.7	82.0	10.27	12.1	40.6	169.35	54.29	0	9.68	170.6	546.27	68	180.9
FG12.17	2,5	11	6.58	9.0	28.6	89.8	4.67	23.3	50.7	187.47	29.2	0	8.9	46.5	632.05	43	227.2

FG12.18	3,0	9	95.3	9.4	30.0	99.7	4.7	16.2	49.3	225.64	29.48	168.5	5.8	23.0	1.0	685	0
Saq6.16	2,0	9	80.7	9.32	24.5	89.0	9.4	20.2	8.9	39.6	16.4	0	9.1	31.00	462.75	561	121,2
Saq5.17	1,5	7	100.6	8.3	26.5	53.5	13.09	9.1	14.0	58.13	9.17	0	1,6	224.8	559.81	189	187.7
Saq12.17	4,0	7	103.0	8.9	23.2	57.34	6.74	19.6	16.1	65.34	12.28	85.0	2.18	0	708.80	63	0
Flam12.17	3,0	6	118.8	8.4	26.4	83.34	3.76	15.9	43.0	162.72	25.3	0	8.06	38.75	566.59	54	204.6
Flam12.18	3,0		89.3	8.9	29.2	111.61	4.93	38.4	36.0	224.69	18.9	146.0	4.18	0.0	8.0	1451	0

Trs: transparência; Prof<sub>m</sub>: profundidade máxima; %OD: oxigênio dissolvido; T: temperatura (°C); Na: sódio (mg/l); K: potássio (mg/L);Ca: cálcio (mg/L); Mg: magnésio (mg/L); Cl: cloreto (mg/L); SO<sub>4</sub>: sulfatos (mg/L); HCO<sub>3</sub>: bicarbonatos (mg/L); SiO<sub>2</sub>: sílica (mg Si/L);NH<sub>4</sub>: amônio (mg N/L); NO<sub>3</sub>: nitratos (mg N/L); Pt: fósforo total (mg/L); CO<sub>3</sub>: carbonatos (mg/L). Fav6.16: reservatório Faveta, coleta em junho de 2016; Fav5.17: reservatório Faveta, coleta em maio de 2017;Fav12.17: reservatório Faveta, coleta em dezembro de 2017; Poil6.16: reservatório Poilão, coleta em junho de 2016; Poil5.17: reservatório Poilão, coleta em maio de 2017; Poil12.17: reservatório Poilão, coleta em dezembro de 2017; Poil12.18: reservatório Poilão, coleta em dezembro de 2018; FG6.16: reservatório Figueira Gorda, coleta em junho de 2016; FG5.17: reservatório Figueira Gorda, coleta em maio de 2017;FG12.18: reservatório Figueira Gorda, coleta em dezembro de 2018; Saq6.16: reservatório Saquinho, coleta em junho de 2016; Saq5.17: reservatório Saquinho, coleta em maio de 2017;Saq12.17: reservatório Saquinho, coleta em dezembro de 2017; Flam12.18: reservatório Flamengos, coleta em dezembro de 2018

## 4 DISCUSSÃO

Os altos valores indicaram uma alta redundância durante o período de amostragem em todos os reservatórios, resultado associado a elevada biomassa de cianobactérias. Nesse sentido, outros estudos demonstram que a predominância de cianobactérias em reservatórios pode elevar a competitividade por nutrientes e luz, diminuindo a diversidade de outras espécies de fitoplâncton (Amorim, 2020).

Os resultados encontrados no presente estudo destacam as variáveis com alto impacto como o fósforo total e o magnésio (Mg) e como esses valores têm efeitos significativos em vários índices, como a diversidade funcional e grupos funcionais específicos. A Análise dos dados de biovolume e das variáveis abióticas revelou interações complexas, a presença elevada de fósforo total (TP) e seus efeitos negativos sobre a diversidade funcional podem estar relacionados ao aumento de alguns grupos funcionais e a diminuição de outros, como os grupos IV e VII, que parecem ser mais sensíveis a alterações nos parâmetros químicos (Welbara, 2024).

De acordo com Zanon e colaboradores (2021), as condições eutróficas têm o potencial de inibir o crescimento de alguns grupos de fitoplânctons, em contrapartida, podem favorecer o desenvolvimento de outros, a exemplo dos representantes que compõem os grupos morfofuncionais.

O pH parece desempenhar um papel crucial especialmente no grupo III, onde a sua elevação interfere na produção das cianobactérias. Por outro lado, Na e Ca parecem favorecer a diversidade e equidade funcional. Condição semelhante foi relatado por Sipaubá-Tavares (2019) ao afirmarem que as variáveis pH, fósforo total e os sólido suspensos totais foram as variáveis que expressaram as melhores respostas para a comunidade fitoplanctônica, de modo que apresentaram grande dominância de alguns grupos funcionais de fitoplânctons.

Os efeitos negativos da precipitação sobre a dispersão funcional e de grupos, como V e VII, indicam que as mudanças climáticas e padrões de precipitação podem impactar a composição das comunidades fitoplanctônicas. Essas hipóteses são corroboradas por Ferreira (2022) ao avaliar um ecossistema eutrofizado na região metropolitana de Recife/PE, observaram que variáveis climáticas e características físico-químicas da água nos reservatórios apresentaram influência significativa da densidade de grupos de fitoplânctons.

A diversidade de espécies observada no presente estudo em cada grupo pode ser interpretada como uma estratégia do ecossistema para manter suas funções essenciais, mesmo diante de mudanças nas condições ambientais. As clorofitas (grupo I), como

*Coelastrumastroideum* e *Crucigeniatetrapedia* são típicas de ambientes com baixa turbidez e níveis adequados de nutrientes, cumprem funções semelhantes na fotossíntese e na ciclagem de nutrientes, o que indica a capacidade do sistema em suportar variações (Magalhães, 2020).

As espécies de *Cryptomonas* e *Komma* (grupo V) evidenciam uma fase intermediária, com uma água rica em nutrientes e indicativos de possível início de eutrofização. A presença dessas espécies em um ambiente em transição entre limpo e eutrofizado reflete a capacidade do sistema em suportar diferentes formas de fitoplâncton que podem lidar com níveis variados de nutrientes, mostrando redundância funcional, enquanto o ambiente evolui (Umaña-Villalobos, 2020).

As cianobactérias (grupo III e VII) como *Anabaena sp.* e *Aphanizomenon sp.* indicam ambientes com altos níveis de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo. *Microcystis* e *Merismopediasão* associadas a ambientes altamente eutrofizados, a alta biomassa dessas espécies indica uma carga excessiva de nutrientes e baixa oxigenação, e sua abundância sugere poluição por escoamento agrícola ou orgânico frequentemente resultando em condições de eutrofização. A diversidade de cianobactérias em águas eutrofizadas também explica a redundância funcional, a exemplo de *Anabaena sp.* e *Microcystis que* desempenham papéis semelhantes no uso de nutrientes abundantes e na formação de blooms. Sua presença variada sugere que o sistema pode suportar múltiplas espécies sob condições de alta nutrição e desequilíbrio ambiental (Abbas, 2022).

A teoria da redundância funcional sugere que a presença de várias espécies de fitoplâncton em um ambiente pode ser vista como reflexo de um sistema ecológico robusto, onde diversas espécies desempenham funções semelhantes e podem ocupar nichos ecológicos similares (Biggs, 2020). A diversidade gera estabilidade, a compreensão de que o funcionamento dos ecossistemas depende dos traços funcionais ao invés de apenas a diversidade de espécies em si tem se tornado um paradigma dominante (Bello, 2021).

Os dados mostram que a distribuição do biovolume nos reservatórios de Poilão e Saquinho variaram significativamente entre as coletas, indicando alterações na comunidade fitoplanctônica ao longo do tempo. Além disso, muitas amostras que apresentam valores de biovolume muito baixos como os do reservatório de Figueira Gorda em 2017 e 2018, indicam que esses grupos podem ser menos relevantes em determinadas amostras ou podem estar passando por estresse ambiental.

As amostras de Poilão apresentaram a maior concentração de cianobactérias (grupo III) em duas coletas seguidas, e essa análise sugere que a comunidade fitoplanctônica é dinâmica, e a dominância de cianobactérias em alguns dos reservatórios pode ser um

indicativo de um ambiente em mudanças, ou de uma resposta a perturbações ambientais (Znachor, 2020).

Na amostra de Saquinho (junho de 2016), observou-se valores elevados relacionados aos GFBM VII, que representam grandes colônias mucilaginosas, incluindo algumas cianobactérias e algas verdes. Esses organismos são sensíveis a baixas concentrações de luz e nutrientes, mas tem uma boa tolerância à alta concentração de nutrientes e controle na coluna d'água. A amostra de maio de 2017, do mesmo reservatório possui valores altos para o GFBM VII, indicando uma dominância de grandes colônias mucilaginosas e cianobactérias. Já na amostra de dezembro de 2017, é possível observar valores elevados relacionados ao grupo funcional VI, que caracteriza as diatomáceas que apresentam altas taxas de sedimentação (Padisák, 2021).

No reservatório de Flamengos, na amostra de dezembro de 2017, observou-se valores altos para o grupo funcional III, caracterizados por grandes filamentos com aerótopos, típicos das cianobactérias. Na amostra de dezembro de 2018 o grupo funcional moderadamente expressivo é o VII com colônias mucilaginosas. No reservatório Figueira Gorda, a amostra de maio de 2017 apresentou alto valor dos GFBM III (grandes filamentos, cianobactérias). Já na amostra de dezembro de 2017 os altos valores se concentram nos grupos III e VII, e em dezembro de 2018 a maior presença de indivíduos apresentou-se no grupo III.

É possível concluir que houve uma variação nos tipos de fitoplânctons predominantes ao longo do tempo e em diferentes locais. Esses dados evidenciam como o ambiente aquático muda e como diferentes tipos de fitoplâncton respondem a essas mudanças (Henson, 2021).

A diversidade funcional explica o quanto diversificado é o conjunto funções desempenhadas pelas espécies presentes naquele ambiente, e como essas funções estão distribuídas entre elas. Já a redundância funcional explica como diversas espécies podem atuar nos mesmos papéis ecológicos (ou funções semelhantes). A diversidade funcional pode ser enriquecida pela redundância funcional. Contudo, ter muita redundância funcional não significa alta diversidade funcional. A diversidade funcional considera a variedade total de funções e como estão distribuídas as espécies. A redundância funcional funciona como um escudo para o ecossistema, permitindo que ele mantenha suas funções mesmo se algumas espécies forem perdidas. A diversidade funcional ajuda a garantir que uma gama de funções esteja presente, tornando o ecossistema mais robusto e capaz de enfrentar mudanças (Biggs, 2020).

A floração (blooms) descontrolada dessas espécies pode comprometer os processos ecossistêmicos e a biodiversidade aquática. A profundidade e as condições dos reservatórios,

especialmente em Figueira Gorda, indicam um manejo eficiente da água, enquanto a diminuição da profundidade nos reservatórios de Poilão e Saquinho demonstram uma pressão crescente sobre esses recursos. Os grupos funcionais analisados como as clorófitas, cianobactérias e espécies intermediárias evidenciaram como são complexas as interações ecológicas desses organismos.

As cianobactérias predominantes em ambientes eutrofizados mostraram a influência negativa da poluição advinda do escoamento agrícola e uso excessivo de agroquímicos, criando a necessidade de um monitoramento contínuo dos ambientes para garantir e prevenir maiores problemas para a saúde ambiental e humana.

A dinâmica diversidade funcional x redundância funcional mostra que a capacidade dos ecossistemas de adaptação às mudanças é essencial para sua estabilidade. Apesar da presença de diversas espécies ser um indicativo de abundância, a verdadeira resiliência dos ecossistemas é resultado de uma complexa teia de funções desempenhadas por essas espécies.

Portanto, os altos valores da redundância funcional observados nos reservatórios indicam que as comunidades de fitoplâncton possuem a capacidade de manter suas principais funções mesmo diante de perturbações ambientais como a seca prolongada e a eutrofização, essa redundância propõe uma resiliência dos ecossistemas aquáticos, onde diversas espécies desempenham papéis ecológicos semelhantes.



## 5 CONCLUSÃO

Altas concentrações entre fósforo e nitrogênio associadas a aumentos na biomassa de cianobactérias, evidenciam relação entre a eutrofização e a diminuição da qualidade da água. As maiores biomassas foram observadas nos reservatórios Flamingo em dezembro de 2017 e Saquinho em maio de 2017.

Os grupos I, III, V e VII foram os mais significativos. No reservatório Saquinho os grupos V e VII dominaram com a maior biomassa registrada entre junho de 2016 e maio de 2017, enquanto Poilão, o grupo VII foi o mais predominante em maio de 2017.

As interações entre a biodiversidade funcional e os fatores ambientais em ecossistemas frágeis como os encontrados em zonas áridas reforçam a importância de estratégias de conservação e manejo sustentável, visando à preservação da biodiversidade e a funcionalidade dos ecossistemas aquáticos diante das mudanças climáticas e da pressão antrópica.

Os resultados evidenciam a importância do uso de estratégias para a conservação em ecossistemas de zonas áridas e vulneráveis como os reservatórios estudados de Cabo Verde. A compreensão das interações entre a biodiversidade funcional e as variáveis ambientais é essencial para garantir que esses ecossistemas continuem a desempenhar suas funções no cenário de mudanças climáticas e pressões antrópicas.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, M. *et al.* Analyzing eutrophication and harmful algal bloom dynamics in a deep Mediterranean hypereutrophic reservoir. **Environmental Science and Pollution Research**, v.30, p.37607–37621, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24804-w>. Acesso em: 02 out. 2024.
- AMORIM, Cihelio Alves; DANTAS, Ênio Wocyl; DO NASCIMENTO MOURA, Ariadne. Modeling cyanobacterial blooms in tropical reservoirs: The role of physicochemical variables and trophic interactions. **Science of the Total Environment**, v.744, p.140659, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140659>. Acesso em: 10 de out. de 2024.
- ATKINSON, Carla L.; VAN EE, Brian C.; PFEIFFER, John M. Evolutionary history drives aspects of stoichiometric niche variation and functional effects within a guild. **Ecology**, v.101, n.9, p. e03100, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ecy.3100>. Acesso em 08 de out. de 2024.
- BARBOSA, L. G. *et al.* Advances in limnological research in Earth's drylands. **Inland Waters**, v.10, n.4, p.429-437, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20442041.2020.1728179>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- BIGGS, C. R. *et al.* Does functional redundancy affect ecological stability and resilience? A review and meta-analysis. **Ecosphere**, v.11, n.7, e03184, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3184>. Acesso em: 20 ago. 2024.
- CANTONATI, M. *et al.* Characteristics, main impacts, and stewardship of natural and artificial freshwater environments: consequences for biodiversity conservation. **Water**, v.12, p.260, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12010260>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- CURY, A. **Nunca desista de seus sonhos**. São Paulo: Editora Sextante, 2004.
- DE MAGALHÃES, L. *et al.* Responses of morphology-based phytoplankton functional groups to spatial variation in two tropical reservoirs long water-residence time. **Inland Waters**, v. 11, n. 1, p. 29–43, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20442041.2020.1745007#abstract>. Acesso em: 26 set. 2024.
- DEBELLO, F. *et al.* Functional trait effects on ecosystem stability: assembling the jigsaw puzzle. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 36, n. 9, p. 822-836, 2021. Disponível em: <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S0169-5347%2821%2900146-4>. Acesso em: 26 set. 2024.
- D'ODORICO, Paolo; BHATTACHAN, Abinash. Hydrologic variability in dryland regions: impacts on ecosystem dynamics and food security. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 367, n. 1606, p. 3145-3157, 2012. Disponível em: <http://doi.org/10.1098/rstb.2012.0016>. Acesso em: 18 de jul. de 2024.

DORY, F. *et al.* Interaction between temperature and nutrients: How does the phytoplankton community cope with climate change? **Science of the Total Environment**, v. 906, p. 167566, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167566>. Acesso em 08 de out. de 2024.

DU, X. *et al.* Functional responses of phytoplankton assemblage to watershed land use and environmental gradients. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, p. 819252, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.819252>. Acesso em: 2 out. 2024.

FERREIRA, E.F.F.; FERREIRA, G.S.; OLIVEIRA, F.H.P.C. Influência de variáveis abióticas sobre os grupos morfofuncionais fitoplanctônicos de um reservatório eutrófico tropical no estado de Pernambuco. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e577111336030, 2022. CC BY 4.0. ISSN 2525-3409. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i13.360301>. Acesso em: 2 out. 2024.

FU, C.B.; MA, Z.G. Global change and regional aridification. **Chinese Journal of Atmospheric Sciences**, v.32, p.752–760, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/283993311\\_Global\\_change\\_and\\_regional\\_aridification](https://www.researchgate.net/publication/283993311_Global_change_and_regional_aridification). Acesso em: 16 jul. 2024.

HENSON, S.A. *et al.* Future phytoplankton diversity in a changing climate. **Nature Communications**, v. 12, p. 5372, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-25699-w>. Acesso em: 07 out. 2024.

HILL, M. J. *et al.* Ecological effects of a supra-seasonal drought on macroinvertebrate communities differ between near-perennial and ephemeral river reaches. **Aquatic Sciences**, v. 81, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00027-019-0659-7>. Acesso em: 18 de jul. de 2024.

JAISWAL, D. *et al.* Integrating resilience with functional ecosystem measures: a novel paradigm for management decisions under multiple-stressor interplay in freshwater ecosystems. **Global Change Biology**, v. 27, n. 11, p. 2435-2449, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33915017/>. Acesso em: 6 ago. 2024.

KRUK, C.; DEVERCELLI, M.; HUSZAR, V. L. Reynolds Functional Groups: a trait-based pathway from patterns to predictions. **Hydrobiologia**, v. 848, p. 113–129, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04340-9>. Acesso em: 02 out. 2024.

LAPLACE-TREYTURE, C. *et al.* Phytoplankton morpho-functional trait dataset from French water-bodies. **Scientific Data**, v. 8, n. 1, p. 40, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41597-021-00814-0>. Acesso em: 16 jul. 2024.

LAVOREL, S.; GRIGULIS, K. How fundamental plant functional groups respond to changes in environmental conditions. **Functional Ecology**, v. 26, n. 2, p. 202-215, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01914.x>. Acesso em: 02/10/2024.

LONDE, V. The importance of ecological redundancy for ecosystem restoration. **Research in Ecology**, v. 3, n. 2, 2021. DOI: 10.30564/re.v3i2.29571. Disponível em: <https://journals.bilpubgroup.com/index.php/re/article/view/2957>. Acesso em: 14 ago. 2024

MAESTRE, Fernando T. et al. Plantspeciesrichnessandecosystemmultifunctionality in global drylands. **Science**, v. 335, n. 6065, p. 214-218, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1215442>. Acesso em: 18 de jul. de 2024.

OTERO, J.; ÁLVAREZ-SALGADO, X. A.; BODE, A. Phytoplanktondiversityeffectonecosystemfunctioning in a coastalupwelling system. **Frontiers in Marine Science**, v. 7, p. 592255, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.592255>. Acesso em: 08 out. 2024.

PADISÁK, J.; NASELLI-FLORES, L. Phytoplankton in extreme environments: importanceandconsequencesof habitat permanency.**Hydrobiologia**, v. 848, p. 157–176, 2021. Disponível em:<https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-020-04353-4#citeas>. Acesso em: 26 set. 2024.

PAERL, H. W.; BARNARD, M. A. Mitigatingthe global expansionofharmfulcyanobacterialblooms: movingtargets in a human- andclimatically-altered world. **HarmfulAlgae**, v. 96, p. 101845, 2020. Disponível em:[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568988320301244?casa\\_token=g8kz0zW2tfQAAAAA:\\_54h4WFqbqBuLRz6TCKnZgcfZpfyYhXql-AHjuUtAMP\\_u39nkdW0yLFtsol19ZNY-FrGCgVOItc](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568988320301244?casa_token=g8kz0zW2tfQAAAAA:_54h4WFqbqBuLRz6TCKnZgcfZpfyYhXql-AHjuUtAMP_u39nkdW0yLFtsol19ZNY-FrGCgVOItc). Acesso em: 1 ago. 2024.

PICHLER, Melanie et al. Drivers of society-naturerelations in theAnthropoceneandtheirimplications for sustainabilitytransformations. **CurrentOpinion in Environmental Sustainability**, v. 26, p. 32-36, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.01.017>. Acesso em: 20 de jul. de 2024.

REYNOLDS, J. F. Scientificconcepts for anintegratedanalysisofdesertification. **Land Degradation&Development**, v. de julho de 22, p. 166–183, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.1104>. Acesso em 18 de jul. 2024.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H., *et al.* Abioticparametersandplanktoniccommunityofanearthenfishpondwithcontinuouswaterflow. **Acta LimnologicaBrasiliensia**, v.31, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x3018>). Acesso em 12 de out de 2024.

SNYDER, S. D.; LOFTIN, C. S.; REEVE, A. S. Vulnerability assessment ofgroundwaterinfluencedecosystems in thenortheastern United States. **Water**, v. 16, n. 10, p. 13661, 2024. Disponível em:<https://www.mdpi.com/2073-4441/16/10/1366>. Acesso em: 24 jul. 2024.

TOOTH, Stephen; MCCARTHY, Terence S. Wetlands in drylands: geomorphologicalandsedimentologicalcharacteristics, withemphasisonexamplesfromsouthernAfrica. **Progress in PhysicalGeography**, v. 31, n. 1, p. 3-41, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0309133307073879>. Acesso em: 18 de jul. de 2024.

UMAÑA-VILLALOBOS, G.; AVILÉS-VARGAS, L. Planktonvariations in Lake Cote, Costa Rica, from 2002 to 2018. **Hydrobiologia**, v. 847, p. 4177–4190, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04387-8>. Disponível em:<https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-020-04387-8#Abs1>. Acesso em: 28 set. 2024.

VANDERLEY, R. F. *et al.* The influence of trophic status and seasonal environmental variability on morpho-functional traits in tropical man-made shallow lakes. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 7, p. 507, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-10091-y>. Acesso em: 18 jul. 2024.

WELBARA, D. E.; GEBRE-MESKEL, D. K.; HAILU, T. F. Morpho-functional traits of phytoplankton functional groups: a review. **Biologia**, v. 79, p. 1983–1998, 2024. DOI: 10.1007/s11756-024-01669-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11756-024-01669-7>. Acesso em: 07 out. 2024.

YANG, J. *et al.* Urbanization reduces resource use efficiency of phytoplankton community by altering the environment and decreasing biodiversity. **Journal of Environmental Sciences**, v. 34, p. 140-151, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.05.001> Acesso em: 1 ago. 2024.

ZANON, F.M.; IATSKIU, P.; LEMKE, M.J.; VELHO, L.F.M.; RODRIGUES, L.C. Grupos Funcionais Fitoplanctônicos Evidenciam Diferenças Ambientais Em Uma Planície de Inundação Temperada. **Oecologia Australis**, v.25, n.3, p.648-661, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2021.2503.02>. Acesso em: 18 set. 2024.

ZHANG, Y. *et al.* Challenges and solutions to biodiversity conservation in aridlands. **Science of The Total Environment**, v.857, p.3, 2023. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023ScTEn.85759695Z/abstract>. Acesso em: 24 jul. 2024.

ZNACHOR, P. *et al.* Changing environmental conditions underpin long-term patterns of phytoplankton in a freshwater reservoir. **Science of The Total Environment**, v. 710, p. 135626, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135626>. Acesso em: 07 out. 2024.