



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

BIANCA AMARO DE ARAÚJO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS COMUNIDADES FITOPLANCTÔNICAS EM
AMBIENTES TEMPORÁRIOS EM UMA REGIÃO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

AREIA
2025

BIANCA AMARO DE ARAÚJO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS COMUNIDADES FITOPLANCTÔNICAS EM
AMBIENTES TEMPORÁRIOS EM UMA REGIÃO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Biológicas, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador(a): Prof.(a) Dr.(a) Luciana Gomes Barbosa

Coorientador(a): Prof.(a) Dr.(a) Edjane Oliveira de Lucena

AREIA

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A994d Araújo, Bianca Amaro de.

Distribuição espacial das comunidades
fitoplanctônicas em ambientes temporários em uma região
no semiárido nordestino / Bianca Amaro de Araújo. -
Areia:UFPB/CCA, 2025.

39 f. : il.

Orientação: Luciana Gomes Barbosa Barbosa.

Coorientação: Edjane Oliveira de Lucena Lucena.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Ciências Biológicas. 2. Fitoplâncton. 3. Grupos
funcionais. 4. Ecossistemas temporários. 5. Semiárido.
6. Tanques de pedra. I. Barbosa, Luciana Gomes Barbosa.
II. Lucena, Edjane Oliveira de Lucena. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 573(02)

BIANCA AMARO DE ARAÚJO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS COMUNIDADES FITOPLANCTÔNICAS EM
AMBIENTES TEMPORÁRIOS EM UMA REGIÃO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Trabalho de Conclusão de Curso em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal da Paraíba, como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Aprovado em: 06 / 10 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof.(a) Dr.(a) Luciana Gomes Barbosa (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Prof.(a) Dr(a). Edjane Oliveira de Lucena (Coorientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Dr.(a) Fátima dos Santos Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

PhD. Dr.(a) Amanda de Souza Santos
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

À minha família, minha mãe e meu pai, à minha
irmã, ao meu Gabriel Francisco e aos meus avós
maternos e paternos.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro agradeço a Deus por toda honra e todas as graças a mim concedida, por sempre ouvir minhas orações e por me manter de pé e fechar mais esse ciclo em minha vida. A minha família por todo apoio, meus pais Rosilene e Edvaldo, minha irmã Rafaela, ao meu amor Gabriel por sempre me incentivar e acreditar em mim, a minha sogra dona Gracinha e a toda família obrigado por tudo.

Aos meus amigos, Eduarda, Carol, Matheus, Severiana, Wiliane, Poliana, Irece, Lislaine. Aos amigos que tive o privilégio de conhecer nesses anos na UFPB. Minhas amigas, Mércia, Sabrina, Nayara e Fernandinha, e a todos os amigos e colegas que tive a honra de conhecer, vocês foram essenciais para deixar os dias mais leves durante essa caminhada.

A professora Dra. Luciana Gomes, por todo apoio durante esses anos, desde sua primeira aula sempre admirei por toda sua trajetória como professora e orientadora e principalmente pela pessoa que a senhora é, lhe admiro e tenho orgulho da senhora em todos os quesitos, muito obrigada por tudo.

A Professora Dr. Edjane Lucena agradeço de todo meu coração pela coorientação em meu trabalho de conclusão de curso.

Aos amigos do laboratório NULIBAC, Karine, Verônica e todos os outros colegas, gratidão por tudo.

À Universidade Federal da Paraíba, ao Centro de Ciências Agrárias, coordenação, agradeço imensamente.

Obrigada.

É justo que muito custe o que muito
vale.

“Santa Teresa D'Ávila.”

RESUMO

Os tanques de pedra são ecossistemas aquáticos temporários caracterizados pelo acúmulo de água da chuva em depressões de afloramentos rochosos, comuns em diversas regiões do mundo. Esses ambientes desempenham papel ecológico e socioeconômico relevante, especialmente em períodos de escassez hídrica em regiões semiáridas. Devido ao caráter sazonal e instável, apresentam elevada variabilidade físico-química e biológica, com destaque para o fitoplâncton, cuja estrutura é fortemente influenciada pela dinâmica climática e hidrológica. Diante disso, o presente estudo buscou analisar a distribuição espacial e temporal, bem como estimar as métricas de diversidade e redundância funcional da comunidade fitoplanctônica em tanques de pedra temporários em uma região semiárida. Foram amostrados 11 tanques, distribuídos em duas áreas, sendo uma na zona urbana (n=7) e uma na zona rural (n=4), essa localizada em uma propriedade particular, o Parque das Pedras. As amostras de água foram coletadas mensalmente entre junho de 2016 e junho de 2017. Durante o período de estudo, o ciclo hidrológico foi dividido em três fases: Fase I de junho a novembro de 2016 (estiagem prolongada); Fase II de dezembro de 2016 a março de 2017 (meses de maior precipitação) e Fase III de abril a junho de 2017 (segunda precipitação seguida de estiagem). As amostras *in situ* foram coletadas no ponto mais profundo, na subsuperfície da coluna d'água dos tanques (20 cm). As variáveis físico-químicas analisadas foram: transparência da água, zona eufótica, pH, temperatura da água (°C), condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), sólidos totais dissolvidos (STD; mg L^{-1}), fósforo total e fósforo reativo dissolvido ($\mu\text{g L}^{-1}$). Para determinação do fitoplâncton foram calculados o biovolume ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$), composição taxonômica e funcional, os índices de diversidade e redundância funcional, riqueza funcional (FRic), uniformidade funcional (FEve) e dispersão funcional (FDis). Na análise dos dados foi aplicada uma análise de variância ANOVA ($p < 0,05$), e para comparação das médias e identificação da significância dos grupos, aplicou-se o teste post-hoc de Tukey Honest Significant. Os resultados mostraram influência da sazonalidade e da espacialidade para os grupos de fitoplâncton entre os tanques. Na área em Pocinhos, a classificação de Kruk revelou a predominância dos grupos funcionais do fitoplâncton IV e V, e no Parque das Pedras, os grupos IV, V e I. Para classificação de Reynolds, os tanques na área de Pocinho, apresentaram maior representação dos grupos funcionais W1, W2, J e P, sobretudo na fase 1, enquanto no Parque das Pedras a maior predominância foi dos grupos funcionais de fitoplâncton W2, Lo e J. Os índices funcionais foram influenciados pela sazonalidade, em função do efeito da mesma sobre luz e fósforo. A mais alta redundância funcional na fase 1 indica sobreposição de funções ecológicas, possivelmente devido à concentração de nutrientes e organismos em áreas reduzidas de habitat. Já a riqueza funcional e a uniformidade funcional apresentaram-se maiores na Fase 2, e a dispersão funcional na fase 3, associados aos maiores volumes de água e maior disponibilidade de luz.

Palavras-chave: fitoplâncton; grupos funcionais; ecossistemas temporários; semiárido; tanques de pedra.

ABSTRACT

Rock pools are temporary aquatic ecosystems formed by the accumulation of rainwater in depressions in rocky outcrops. They are common in many regions worldwide. These ecosystems play an important ecological and socio-economic role, particularly during periods of water scarcity in arid and semi-arid regions. Due to their seasonal and unstable conditions, rock pools exhibit high spatial and temporal physical, chemical and biological variability, particularly with regard to phytoplankton, whose structure is strongly influenced by the dynamics of climate, hydrology, nutrients and light availability. This study aimed to analyse the spatial and temporal distribution of phytoplankton functional groups, and to estimate the functional redundancy metrics of phytoplankton communities in temporary rock pools in a semiarid region of Brazil. Eleven rock pools were sampled in two areas: one urban ($n = 7$) and one rural ($n = 4$). Water samples were collected monthly between June 2016 and June 2017. During the study period, the hydrological cycle was divided into three phases: Phase I: June–November 2016 (prolonged drought); Phase II: December 2016–March 2017 (months of highest precipitation); and Phase III: April–June 2017 (second period of precipitation followed by drought). In situ samples were collected at the deepest point in the water column of the tanks (20 cm). The analysed physical-chemical variables were water transparency, euphotic zone, pH, water temperature ($^{\circ}\text{C}$), electrical conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$), total dissolved solids (TDS; mg L^{-1}) and total phosphorus ($\mu\text{g L}^{-1}$). For phytoplankton, the following were determined: biovolume ($\text{mm}^3 \text{ L}^{-1}$), taxonomic and functional composition, functional diversity and redundancy indices, and functional richness (FRic), evenness (FEve) and dispersion (FDis). ANOVA analysis ($p < 0.05$) was applied to the data, and the Tukey's honest significant post hoc test was applied to compare the means and identify the significance of the groups. The results showed the influence of seasonality and spatiality on phytoplankton groups in the tanks. Kruk's classification revealed the predominance of phytoplankton functional groups IV and V in the Pocinhos area, and groups IV, V, and I in the Fazenda de Pedras area. For Reynolds' classification, tanks in the Pocinho area showed a higher representation of functional groups W1, W2, J, and P, particularly in phase 1. In contrast, the predominant functional phytoplankton groups in Parque das Pedras were W2, Lo, and J. The functional indices were influenced by seasonality due to its effect on light and phosphorus availability. The highest functional redundancy in phase 1 indicates an overlap of ecological functions, possibly due to the concentration of nutrients and organisms in small habitat areas. Functional richness and uniformity were higher in phase 2 and functional dispersion was higher in phase 3, which is associated with greater water volumes and light availability.

Keywords: phytoplankton; functional groups; temporary ecosystems; semi-arid; rock pools.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tanque de pedra localizado no município de Pocinhos/PB durante período de estiagem (A), apresentando acúmulo reduzido de água e tanque com menor dimensão com presença de vegetação (B)	16
Figura 2 - Tanque de pedra localizado no município de Pocinhos/PB durante período de estiagem (A), apresentando acúmulo reduzido de água e tanque com menor dimensão com presença de vegetação (B)	16
Figura 3 - Variação mensal entre julho de 2016 e junho de 2017, da composição fitoplanctônica dos tanques em Pocinhos/PB, com base nos grupos funcionais de Kruk et al. (2010)	24
Figura 4 - Variação mensal da composição fitoplanctônica de grupos funcionais, segundo classificação de Reynolds et al. (2002), entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017	26
Figura 5 – Variação dos índices funcionais (FRic, FEve, FDis e redundância) entre as poças rochosas, no município de Pocinhos/PB	29
Figura 6 – Comparação dos índices funcionais entre as fases sazonais nos tanques de pedra, no município de Pocinhos/PB	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização das fases sazonais dos tanques de pedra estudados em Pocinhos/PB, entre julho de 2016 e junho de 2017	17
Tabela 2 – Variáveis ambientais dos tanques estudados, nas áreas no município de Pocinhos/PB	20
Tabela 3 - Variáveis físicas e químicas da água (médias e desvios-padrão) dos tanques de pedras em Pocinhos/PB	22
Tabela 4 – ANOVA para os índices funcionais entre as fases, da comunidade de fitoplâncton dos tanques estudados nas áreas em Pocinhos/PB	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FRic Riqueza funcional

FEve Uniformidade funcional

FDis Dispersão funcional

GFBM Grupos Funcionais Baseados na Morfologia

HSD Honestly Significant Difference

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 METODOLOGIA	14
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	14
2.2 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	15
2.3 PERÍODO DE AMOSTRAGEM	16
2.4 COLETA DAS AMOSTRAS NOS TANQUES DE PEDRA	17
2.5 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DO FITOPLÂNCTON	17
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
3.1 FATORES AMBIENTAIS DOS TANQUES DE PEDRAS NAS ÁREAS DE ESTUDO	20
3.2 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DOS PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS	21
3.3 ANÁLISE DOS GRUPOS FUNCIONAIS DA COMUNIDADE DE FITOPLÂNCTON	23
3.4 DIVERSIDADE FUNCIONAL E REDUNDÂNCIA ENTRE TANQUES DE PEDRA	28
3.5 EFEITO DA SAZONALIDADE SOBRE A DIVERSIDADE FUNCIONAL E REDUNDÂNCIA DOS GRUPOS FUNCIONAIS DO FITOPLÂNCTON	30
4 CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Tanques de pedra são ecossistemas aquáticos temporários formados pelo acúmulo de água da chuva em depressões localizadas em afloramentos rochosos, conhecidos como *inselbergs* (Castillo *et al.*, 2019). Esses ambientes, comuns em diversas regiões do mundo, apresentam um ciclo hidrológico caracterizado por períodos de cheia, vazante e seca ao longo do ano (Bastos *et al.*, 2021).

Por serem ecossistemas temporários, os tanques de pedra estão sujeitos a intensas variações físico-químicas, o que torna o fitoplâncton sensível a fatores como alterações climáticas, disponibilidade hídrica, temperatura e luminosidade (Silva *et al.*, 2020). Essas variações impactam diretamente a estrutura e biomassa da comunidade fitoplanctônica, podendo resultar tanto em processos de estratificação quanto em homogeneização da coluna d'água (Pereira *et al.*, 2018).

No Brasil, os tanques de pedra ocorrem principalmente nas regiões Sul e Nordeste, com destaque para os estados da Bahia, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte, estes inseridos em áreas de clima árido e semiárido sob predominância do Bioma Caatinga (Pereira *et al.*, 2018). Esses ecossistemas representam um recurso ecológico e social relevante, funcionando como reservatórios naturais de água, utilizados por comunidades locais durante períodos de estiagem prolongada para consumo humano, como também para dessedentação animal e outras atividades cotidianas (Almeida *et al.*, 2020).

Dentre os fatores que influenciam nas comunidades fitoplanctônicas, a sazonalidade interfere na composição, na abundância e na distribuição espacial desses organismos (Pires *et al.*, 2023). Além disso, as mudanças no regime pluviométrico e no volume de água também afetam a disponibilidade de nutrientes, o estado trófico e a biodiversidade aquática. Nesse contexto, a diversidade funcional representa uma abordagem importante para compreender variações na composição comunitária entre diferentes reservatórios (Carvalho Neto *et al.*, 2023).

Pesquisas realizadas em pequenas poças temporárias formadas em rochas expostas demonstraram que esses sistemas sustentam comunidades complexas e funcionam como hotspots de biodiversidade em regiões áridas (Washko; Bogan, 2019). A dinâmica ecológica desses ambientes é fortemente influenciada pela duração do hidroperíodo, e alterações climáticas podem reduzir o tempo de

permanência da água, afetando diretamente espécies com baixa capacidade de dispersão. Para compreender como as comunidades fitoplanctônicas respondem a essas condições ambientais, a aplicação de classificações de grupos funcionais tem-se mostrado uma ferramenta eficaz (Lins *et al.*, 2017).

A abordagem proposta por Reynolds *et al.* (2002) baseia-se em estratégias ecológicas adaptativas, que descrevem como as espécies de fitoplâncton respondem às variações ambientais, principalmente quanto à disponibilidade de luz, nutrientes e estabilidade da coluna d'água. O autor agrupou as espécies em grupos funcionais (FGs) conforme suas preferências ecológicas, modos de crescimento e tolerância às perturbações do ambiente aquático. Essa classificação possibilita compreender padrões de sucessão e dominância das comunidades fitoplanctônicas ao longo de gradientes ambientais e sazonais.

Posteriormente, Kruk *et al.* (2010) propuseram uma abordagem complementar, denominada classificação morfológico-funcional (MBFGs – *Morphology-Based Functional Groups*), fundamentada em traços morfológicos mensuráveis, como forma e volume celular, presença de flagelos, mucilagem e capacidade de formar colônias ou filamentos. Essa metodologia busca reduzir a complexidade taxonômica, destacando as funções ecológicas associadas à morfologia das espécies. O modelo desenvolvido por Kruk e colaboradores (2010) constitui assim, uma ferramenta objetiva e comparável para a avaliação da estrutura funcional do fitoplâncton em distintos ecossistemas, sendo amplamente aplicado em estudos de monitoramento e diagnóstico ambiental.

No presente trabalho, as duas abordagens foram utilizadas de forma complementar, permitindo compreender como as variações sazonais e espaciais influenciam a estrutura e o funcionamento das comunidades fitoplanctônicas em tanques de pedra no semiárido nordestino.

Na ecologia do fitoplâncton, fatores bióticos e abióticos exercem grande influência sobre os traços funcionais, fornecendo bases para novas abordagens de análise (Dantas *et al.*, 2009). Esses traços são definidos como atributos morfológicos, fisiológicos ou comportamentais, que determinam a sensibilidade e a tolerância das espécies às variações ambientais, influenciando tanto sua sobrevivência quanto seu sucesso reprodutivo (Kearney, 2021).

Em ecologia, a redundância funcional refere-se à presença de espécies que desempenham funções semelhantes, assegurando que processos ecológicos

essenciais continuem mesmo diante de alterações ambientais (Rosenfeld, 2002). Em ecossistemas sazonais e instáveis, como os tanques de pedra do Semiárido, a sobreposição de funções entre espécies aumenta a resiliência da comunidade, reduzindo o impacto da perda de qualquer espécie sobre os serviços ecossistêmicos (Otero, 2020). Dessa forma, algumas espécies podem assumir os papéis de outras, garantindo a manutenção da estabilidade e integridade funcional do ecossistema ao longo do tempo (Loreau; Mazancourt, 2013).

No semiárido brasileiro, estudos em poças temporárias da Caatinga têm demonstrado que a sazonalidade exerce maior impacto sobre a composição das comunidades aquáticas do que variáveis isoladas, como temperatura ou pH, que destacaram o papel das variações hidrológicas na estrutura das comunidades aquáticas em ecossistemas efêmeros (Barbosa *et al.*, 2024; Oliveira, 2022). Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a distribuição espacial e temporal da comunidade fitoplanctônica em tanques de pedra localizados no município de Pocinhos, estado da Paraíba, região semiárida, considerando as variações sazonais e os fatores ambientais associados. Para isso, foram utilizadas as classificações funcionais propostas por Reynolds (2002) e por Kruk *et al.* (2010), bem como índices de diversidade funcional e redundância, a fim de identificar grupos dominantes e padrões de recorrência funcional sob diferentes condições hidrológicas.

2 METODOLOGIA

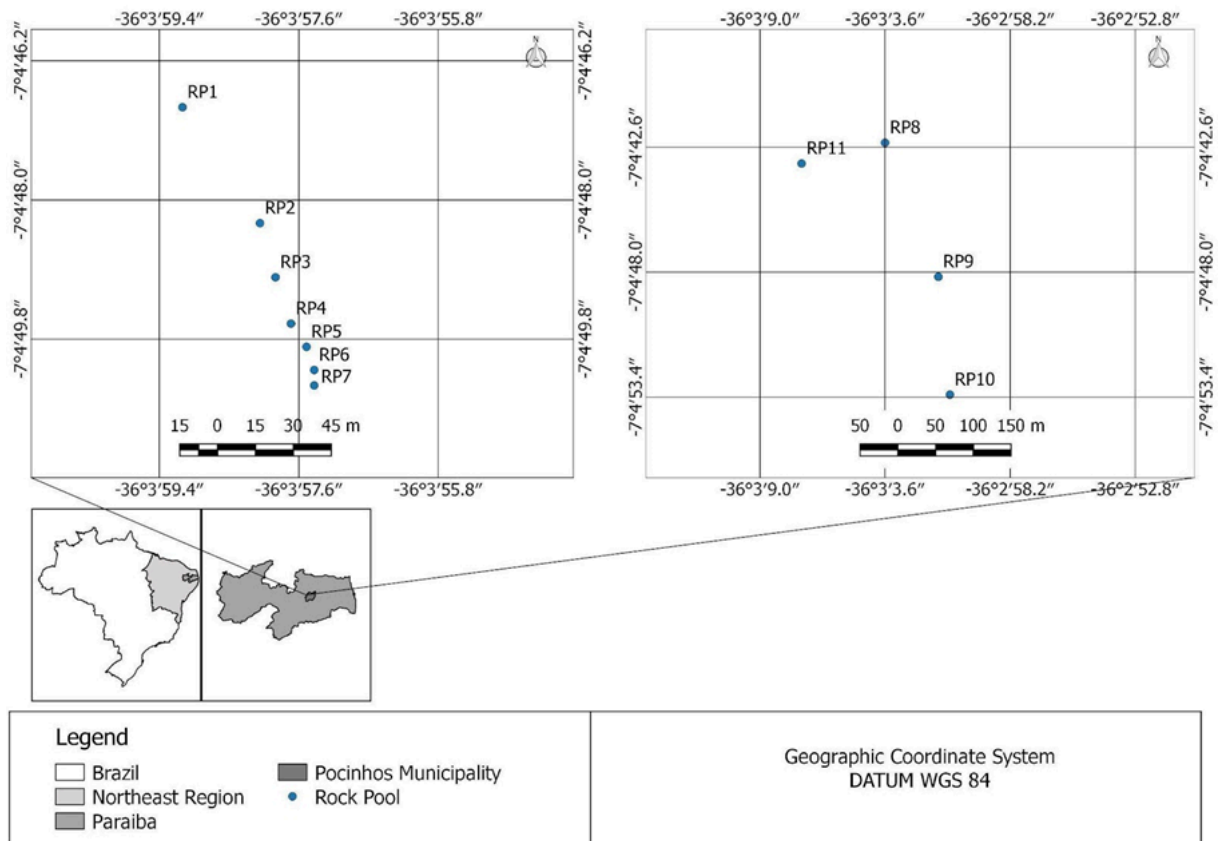
O presente estudo foi realizado em duas áreas localizadas no município de Pocinhos, Paraíba. O município possui uma área territorial de 630 km², e está situado na microrregião do Curimataú Ocidental, a aproximadamente 153 km da capital João Pessoa. A vegetação predominante na região é a Caatinga nativa, composta por espécies xerófitas adaptadas às condições semiáridas, como altas temperaturas, baixa umidade e longos períodos de estiagem. O clima apresenta temperaturas médias anuais entre 26 e 28 °C e precipitação irregular, geralmente concentrada em poucos meses, com valores médios em torno de 400 a 600 mm anuais (AESAs, 2019; IBGE, 2022). A área de estudo é formada por afloramentos rochosos graníticos e terrenos de base cristalina, nos quais se desenvolvem depressões conhecidas como tanques de pedra ou poças temporárias (Ribeiro; Paciullo, 1995).

Esses ambientes acumulam exclusivamente água da chuva e grande influência da sazonalidade, alternando períodos de cheia, vazante e seca. Durante a estação chuvosa há maior disponibilidade hídrica e diluição de nutrientes; já na estiagem ocorre concentração de sais, elevação da temperatura da água e redução do volume hídrico, fatores que afetam diretamente a composição e a dinâmica da comunidade fitoplanctônica.

2.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Foram amostrados 11 tanques de pedra, distribuídos em duas áreas localizadas na zona urbana e rural do município de Pocinhos (Figura 1). Na área da zona urbana foram amostrados sete tanques, denominados RP1 a RP7 e TC1 a TC7, essa área está sob maior influência antrópica (abastecimento de água, dessedentação animal, irrigação e lazer). A segunda área está localizada na zona rural, no Parque das Pedras, e foram amostrados quatro tanques. O Parque das Pedras é uma propriedade privada, e encontra-se há alguns anos com manutenção da cobertura vegetal, apresentando menos impacto, sendo utilizada principalmente para captação doméstica em pequena escala.

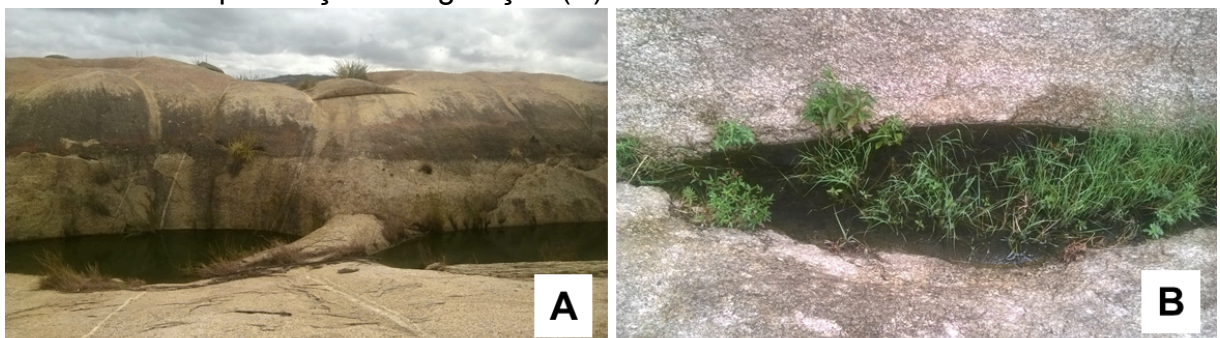
Figura 1 - Mapa de localização das áreas e dos tanques de pedra, no município de Pocinhos/PB



Fonte: Barbosa *et al.* (2024)

Os tanques estudados foram selecionados e amostrados ao longo do período chuvoso e seco, em que se buscou avaliar a influência da sazonalidade nas comunidades fitoplanctônicas (Figura 2).

Figura 2 - Tanque de pedra localizado no município de Pocinhos/PB durante período de estiagem (A), apresentando acúmulo reduzido de água e tanque com menor dimensão com presença de vegetação (B).



Fonte: arquivo pessoal (2017)

2.2 PERÍODO DE AMOSTRAGEM

As coletas das amostras foram realizadas no período de junho de 2016 a junho de 2017. Entre julho e dezembro de 2016, o município de Pocinhos/PB registrou um acumulado de 42,2 mm de precipitação, e no período de janeiro a junho de 2017 a precipitação registrada foi de 153,1 mm, somando um acumulado de 195,3 mm em doze meses consecutivos. Esses dados foram obtidos no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). Durante o período de estudo, o ciclo hidrológico foi dividido em três fases (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização das fases sazonais dos tanques de pedra estudados em Pocinhos/PB, entre julho de 2016 e junho de 2017

Fases	Período	Condições ambientais
Fase 1	Julho a novembro de 2016	Período de estiagem prolongada, com secagem quase total de algumas poças.
Fase 2	Dezembro de 2016 a março de 2017	Meses de maior precipitação, com elevação dos níveis de água.
Fase 3	Abril a junho de 2017	Segunda precipitação significativa, seguida de nova redução do volume hídrico.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Essas transições foram consideradas fatores determinantes na dinâmica ecológica dos tanques, promovendo alterações na estrutura do habitat e na disponibilidade de recursos ao fitoplâncton. Mesmo durante os picos de precipitação, os tanques permaneceram isolados hidrológicamente.

2.3 COLETA DAS AMOSTRAS NOS TANQUES DE PEDRA

As coletas foram realizadas mensalmente no período de julho de 2016 a junho de 2017, nos 11 tanques selecionados nas duas áreas. Uma amostra de água foi coletada em cada tanque mensalmente, sendo 66 amostras coletadas na área urbana e 43 na área rural, totalizando 109 amostras.

As amostragens *in situ* foram coletadas no ponto mais profundo de cada tanque, na subsuperfície da coluna d'água, aproximadamente 20 cm de profundidade. As coletas das amostras de água foram realizadas com auxílio de uma sonda multiparâmetro (Hanna®), que permitiu a medição imediata das variáveis

físico-químicas: pH, temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), sólidos totais dissolvidos (STD; mg L^{-1}), fósforo total e fósforo reativo solúvel ($\mu\text{g L}^{-1}$).

A transparência da água foi determinada com o uso de um disco de Secchi, e a profundidade da zona eufótica foi estimada pela multiplicação do valor de transparência 2,7. As amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno devidamente esterilizados e transportadas em caixas térmicas fixadas com solução de Lugol a 4% com ácido acético. Após coletadas, foram encaminhadas ao Laboratório de Limnologia (NULIBAC), no Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus de Areia/PB.

2.4 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DO FITOPLÂNCTON

A densidade fitoplanctônica (indivíduos mL^{-1}) foi determinada por microscopia invertida com aumento de 400 \times , segundo o método de Utermöhl (1958) com contagem aproximada de 100 indivíduos das espécies mais abundantes, conforme o protocolo de Lund *et al.* (1958). O cálculo do biovolume ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) considerou formas geométricas celulares básicas, conforme Hillebrand *et al.* (1999) e Sun e Liu (2003). Assumiu-se que o peso fresco das células é equivalente à massa, adotando-se a conversão de $1 \text{ mm}^3 \text{L}^{-1} = 1 \text{ mg L}^{-1}$ (Wetzel; Likens, 2000).

A riqueza de espécies do fitoplâncton foi definida com base no número total de táxons presentes em cada amostra. Para proceder com a identificação taxonômica do fitoplâncton, foi realizada no nível taxonômico mais baixo possível, seguindo a literatura disponível (Prescott *et al.*, 1975; 1977; 1981; 1982; Komárek; Fott, 1983; Komárek; Anagnostidis, 1989; 1999; Bicudo; Menezes, 2017). A classificação taxonômica para o nível de classe foi realizada conforme metodologia proposta por Bicudo e Menezes (2017).

A identificação dos grupos funcionais foi determinada através do sistema de classificação funcional do fitoplâncton (Reynolds *et al.*, 2002; Reynolds *et al.*, 2011; Padisák *et al.*, 2009). As variáveis analisadas abordaram tanto a variação espacial entre reservatórios quanto a variação temporal entre diferentes fases sazonais, permitindo compreender como a estrutura funcional das comunidades é influenciada pelas condições ambientais e pela sazonalidade. Para identificar a comunidade fitoplanctônica foram avaliados: a composição taxonômica e funcional, os índices de diversidade funcional e redundância nos tanques rochosos considerando métricas

como riqueza de espécies, riqueza funcional (FRic), uniformidade funcional (FEve), dispersão funcional (FDis) e redundância funcional.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As diferenças entre os grupos foram inicialmente avaliadas por meio de uma análise de variância (ANOVA). Quando a ANOVA indicou diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), aplicou-se o teste post-hoc de Tukey Honest Significant Difference (HSD), que permite comparar todas as médias entre si e identificar quais pares de grupos apresentaram diferenças significativas (Tukey, 1949). Esse teste é amplamente utilizado em estudos ecológicos por sua robustez em controlar o erro do tipo I em comparações múltiplas, sendo adequado para dados de abundância, biomassa e índices de diversidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no *software* R (versão 4.3.1), utilizando o pacote stats.

Os gráficos de variação temporal da composição fitoplanctônica (Figuras 4 e 5) foram construídos no Excel, permitindo a visualização da distribuição mensal dos grupos funcionais, segundo as classificações de Kruk *et al.* (2010) e Reynolds *et al.* (2002). Já os gráficos referentes aos índices funcionais (Figuras 6 e 7) foram gerados diretamente no R. A análise dos dados foi realizada com auxílio de softwares estatísticos e de visualização gráfica.

Os cálculos dos índices funcionais (FRic, FEve, FDis e redundância) foram efetuados no programa R (R Core Team, 2023), utilizando os pacotes FD e vegan, amplamente aplicados em estudos ecológicos. As comparações entre fases sazonais foram testadas por ANOVA do teste de Tukey HSD para identificar diferenças significativas entre os grupos ($p < 0,05$).

Essa abordagem combinada possibilitou não apenas a representação descritiva da variação espacial e temporal das comunidades fitoplanctônicas, mas também a aplicação de testes estatísticos robustos, garantindo maior confiabilidade às interpretações dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 FATORES AMBIENTAIS DOS TANQUES DE PEDRAS NAS ÁREAS DE ESTUDO

As temperaturas nos tanques avaliados mostraram-se elevadas, conforme o esperado para a região, com mínima de 21,6 °C e máxima de 30,6 °C, nos tanques localizados na área rural (TCO), no Parque das Pedras (Tabela 2). Como esses ambientes possuem profundidade máxima de 2,5 m, observam-se diferenças de temperatura nas camadas ao longo da coluna d'água. Essas condições térmicas elevadas podem favorecer o rápido crescimento e metabolismo das espécies fitoplanctônicas, aumentando a produtividade primária e acelerando os ciclos de nutrientes. No entanto, também podem intensificar o estresse térmico, reduzir a solubilidade do oxigênio dissolvido e beneficiar espécies termotolerantes, levando à diminuição da diversidade e à dominância de grupos mais adaptados a altas temperaturas.

Tabela 2 – Variáveis ambientais dos tanques estudados, nas áreas no município de Pocinhos/PB.

Tanques	Temperatura (°C)		Profundidade (m)		Transparência (m)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Área urbana						
TC1	21,7	29,7	0,5	2,0	0,1	1,4
TC2	22,8	29,1	0,0	1,0	0,1	1,2
TC3	21,8	26,5	0,0	1,0	0,1	1,2
TC4	21,8	26,6	0,0	1,2	0,1	1,2
TC5	23,7	27,6	0,0	1,5	0,1	0,8
TC6	23,9	29,0	0,0	2,2	0,1	0,9
TC7	23,5	27,3	0,0	2,1	0,1	1,1
Área rural						
TCO	21,6	30,6	0,05	2,5	0,1	0,8
TN	22,5	29,2	0,05	2,5	0,1	1,7
TP4	23,7	30,6	0,0	1,0	0,1	0,9
TQ	23,8	29,1	0,0	1,5	0,1	0,1

Os tanques de pedra nas duas áreas estudadas apresentaram elevadas temperaturas, permitindo a penetração de luz até o fundo do tanque. Esse aumento na incidência luminosa favorece a fotossíntese, estimulando o crescimento do fitoplâncton e aumentando a produtividade primária desses ambientes rasos.

Condições semelhantes foram observadas por Oliveira (2022), que registrou temperatura máxima de 34,3 °C e profundidade de 1 metro em tanques de pedra no município de Casserengue/PB, região semiárida brasileira. Em ambientes de acúmulo temporário de água, a variação das condições ambientais e limnológicas é elevada, incluindo altas temperaturas, pH alcalino e variações de profundidade, influenciadas por elevadas taxas de evaporação (Majagi et al., 2009). Nesse contexto, embora a luz favoreça o crescimento fotossintético, temperaturas elevadas podem reduzir a sobrevivência de propágulos e impactar negativamente populações vulneráveis, favorecendo espécies termotolerantes e, possivelmente, reduzindo a diversidade (Pinceel et al., 2018).

3.2 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DOS PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS

A zona eufótica, a condutividade elétrica, o pH, os sólidos totais dissolvidos (STD), o fósforo total e o fósforo reativo solúvel apresentaram ampla variação entre os tanques em função da sazonalidade e da localização (Tabela 3). Nos tanques da área urbana, a zona eufótica variou entre 0,6 m (TC5) no período seco e 2,3 m (TN) no período chuvoso, enquanto na área rural os valores variaram de 0,1 m (TC) no período seco a 3,3 m (TN) no período chuvoso, indicando que a profundidade da zona eufótica tende a aumentar durante o período chuvoso devido ao maior volume de água, o que favorece a penetração de luz e a disponibilidade de habitat para o fitoplâncton. O pH manteve-se próximo da neutralidade (6,5–7,5) na maioria dos tanques. Já os teores de fósforo total e fósforo reativo solúvel foram mais elevados no período seco, especialmente nos tanques urbanos (364,2 mg L⁻¹ e 172,2 µg L⁻¹, respectivamente), possivelmente em função da concentração de nutrientes pela menor quantidade de água e maior evaporação. Nos períodos chuvosos, houve redução desses teores, refletindo a diluição causada pelo aumento do volume de água.

Tabela 3 - Variáveis físicas e químicas da água (médias e desvios-padrão) dos tanques de pedras em Pocinhos/PB.

Área I	Período chuvoso						Período seco					
	ZE	CE ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)	pH	STD (mg/L)	PRS ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Pt ($\mu\text{g L}^{-1}$)	ZE	CE ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)	pH	STD (mg/L)	PRS ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Pt (mg L ⁻¹)
TC1	1,3 ($\pm 1,4$)	154,7 ($\pm 91,7$)	6,8 ($\pm 0,4$)	77,5 ($\pm 45,3$)	48,2 ($\pm 20,9$)	78,8 ($\pm 38,9$)	0,8 ($\pm 1,1$)	599,6 ($\pm 753,0$)	7,0 ($\pm 0,9$)	300,2 ($\pm 375,7$)	172,2 ($\pm 192,1$)	364,2 ($\pm 485,0$)
TC2	1,2 ($\pm 1,5$)	96,6 ($\pm 57,6$)	6,7 ($\pm 0,5$)	48,0 ($\pm 28,3$)	39,5 ($\pm 5,8$)	172,2 ($\pm 98,6$)	0,7 ($\pm 1,3$)	158,2 ($\pm 53,3$)	7,0 ($\pm 1,2$)	77,0 ($\pm 32,1$)	59,3 ($\pm 44,6$)	92,8 ($\pm 47,6$)
TC3	0,9 ($\pm 1,4$)	292,7 (± 237)	5,9 ($\pm 0,8$)	145,7 (± 118)	21,5 ($\pm 8,0$)	51,8 ($\pm 19,3$)	0,7 ($\pm 1,3$)	148,8 ($\pm 65,0$)	6,0 ($\pm 0,6$)	72,8 ($\pm 32,1$)	19,8 ($\pm 9,3$)	96,8 ($\pm 124,5$)
TC4	1,1 ($\pm 1,4$)	103,3 ($\pm 66,9$)	6,5 ($\pm 0,5$)	52,0 ($\pm 33,2$)	57,7 ($\pm 26,6$)	129,0 ($\pm 66,9$)	0,9 ($\pm 1,3$)	109,7 ($\pm 43,0$)	6,1 ($\pm 0,4$)	54,5 ($\pm 22,1$)	52,1 ($\pm 37,3$)	93,4 ($\pm 66,9$)
TC5	0,8 ($\pm 0,9$)	98,0 ($\pm 56,0$)	6,5 ($\pm 0,5$)	49,0 ($\pm 27,6$)	60,1 ($\pm 13,8$)	319,0 ($\pm 321,2$)	0,6 ($\pm 0,8$)	140,7 ($\pm 50,9$)	6,5 ($\pm 0,7$)	69,2 ($\pm 27,8$)	62,8 ($\pm 47,2$)	102,8 ($\pm 62,1$)
TC6	1,9 ($\pm 0,6$)	68,3 ($\pm 31,0$)	6,6 ($\pm 0,1$)	34,0 ($\pm 15,6$)	22,0 ($\pm 8,0$)	54,9 ($\pm 16,0$)	0,9 ($\pm 0,6$)	74,7 ($\pm 30,1$)	7,4 ($\pm 1,2$)	37,3 ($\pm 15,1$)	20,2 ($\pm 13,9$)	31,1 ($\pm 23,5$)
TC7	2,3 ($\pm 0,8$)	61,0 ($\pm 24,1$)	6,7 ($\pm 0,1$)	31,0 ($\pm 12,0$)	64,6 ($\pm 64,0$)	86,8 ($\pm 52,7$)	1,3 ($\pm 0,8$)	59,7 ($\pm 48,0$)	7,2 ($\pm 1,1$)	30,1 ($\pm 24,2$)	51,2 ($\pm 73,8$)	71,3 ($\pm 94,6$)
Área II												
TN	1,3 ($\pm 1,2$)	128,2 ($\pm 86,2$)	7,2 ($\pm 0,6$)	64,0 ($\pm 43,0$)	32,5 ($\pm 12,4$)	55,5 ($\pm 13,6$)	3,3 ($\pm 1,4$)	113,0 ($\pm 56,2$)	8,0 ($\pm 1,1$)	82,2 ($\pm 39,9$)	73,2 ($\pm 61,8$)	90,7 ($\pm 80,1$)
TC	0,1 ($\pm 0,0$)	84,7 ($\pm 38,0$)	7,5 ($\pm 1,1$)	42,7 ($\pm 19,1$)	4,8 ($\pm 2,0$)	23,9 ($\pm 10,2$)	0,1 ($\pm 0,0$)	56,2 ($\pm 17,1$)	7,8 ($\pm 0,7$)	60,5 ($\pm 28,3$)	8,8 ($\pm 3,4$)	12,9 ($\pm 4,5$)
TP	1,1 ($\pm 1,0$)	143,7 ($\pm 74,0$)	6,5 ($\pm 0,8$)	94,1 ($\pm 52,7$)	16,2 ($\pm 10,4$)	117,9 ($\pm 118,2$)	0,4 ($\pm 0,6$)	123,7 ($\pm 94,4$)	7,7 ($\pm 0,7$)	6,59 ($\pm 0,87$)	91,1 ($\pm 208,8$)	124,9 ($\pm 221,8$)
TQ	1,1 ($\pm 0,9$)	151,2 ($\pm 79,2$)	6,4 ($\pm 0,4$)	66,8 ($\pm 46,3$)	32,0 ($\pm 17,0$)	54,1 ($\pm 43,5$)	0,8 ($\pm 0,9$)	74,7 ($\pm 25,4$)	6,9 ($\pm 0,3$)	6,4 ($\pm 0,4$)	24,6 ($\pm 14,1$)	40,6 ($\pm 25,8$)

ZE: zona eufótica; CE: condutividade elétrica ($\mu\text{s.cm}^{-1}$); STD: sólidos totais dissolvidos (mg/L); PSR: fósforo reativo solúvel ($\mu\text{g L}^{-1}$); Pt: fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$);

De forma geral, os tanques rurais apresentaram menores concentrações de fósforo, o que pode estar associado a menor impacto antrópico e maior cobertura vegetal ao redor, atuando na retenção de nutrientes e sedimentos. Essas variações indicam que a sazonalidade e o tipo de área influenciam diretamente as condições limnológicas, afetando a estrutura e a disponibilidade de recursos para as comunidades de fitoplâncton, tendência também observada por Barbosa *et al.* (2024) em tanques de pedra da região semiárida paraibana.

As variáveis limnológicas, tais como transparência da coluna d'água, temperatura da água, condutividade elétrica, fósforo total, fósforo reativo solúvel e o total de sólidos dissolvidos foram fortemente influenciadas pela sazonalidade, assim como observado por Barbosa *et al.* (2024), ao avaliar os processos que influenciam na distribuição de comunidades fitoplanctônicas em função da variabilidade espaço-temporal em tanques de pedras, em região semiárida brasileira.

Os resultados avaliando o efeito do hidroperíodo na estrutura da comunidade de zooplâncton em tanques de pedra no município de Casserengue/PB por Dias (2022) foram superiores aos achados no presente estudo. Observou-se variação nos parâmetros limnológicos, como pH com valores entre neutro e alcalinidade elevada (7,05 a 9,7), temperatura máxima de 34,3 °C, profundidade máxima dos tanques de 1,2 m e uma zona eufótica máxima de 3,24. Os fatores físico-químicos de 20 tanques de pedras estudados por Oliveira (2022) no município de Cabaceiras, no Cariri paraibano, mostraram em geral temperaturas mínima de 23,9 °C e máxima de 34,6 °C, pH levemente ácido a alcalinidade elevada (5,8 a 10,28) e uma zona eufótica com valores entre 0,63 a 4,5

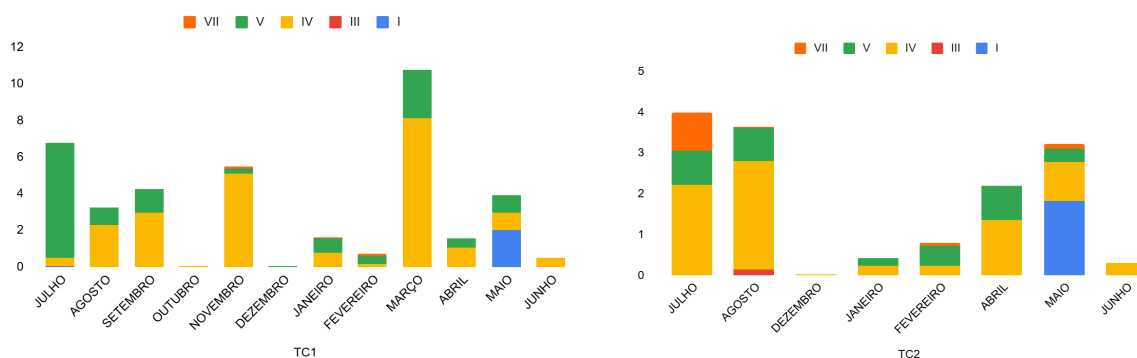
Essas características ambientais, como altas temperaturas, condutividade elétrica e pH alcalino contribuem para o florescimento de comunidades fitoplanctônicas, tendo em vista que cada grupo apresenta diferentes requerimentos fisiológicos, e consequentemente, variam em relação às suas respostas quanto aos parâmetros físicos e químicos do ambiente (Sousa *et al.*, 2015). Além disso, os baixos níveis de água nos tanques durante o período seco (Fase 1) podem ter contribuído com a maior concentração dos teores de fósforo total e fósforo reativo solúvel (Barbosa *et al.*, 2024).

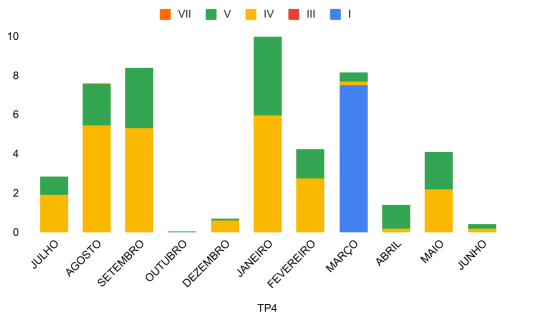
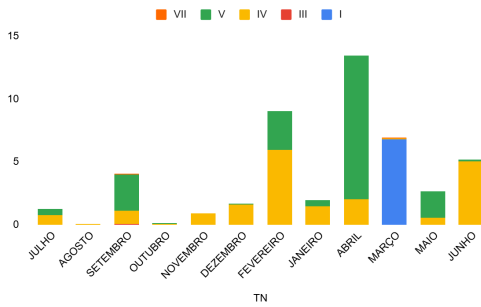
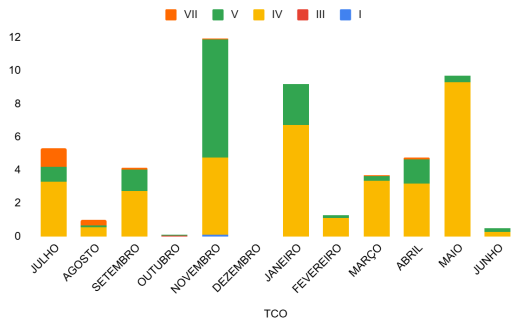
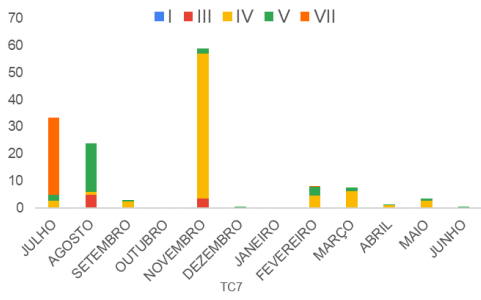
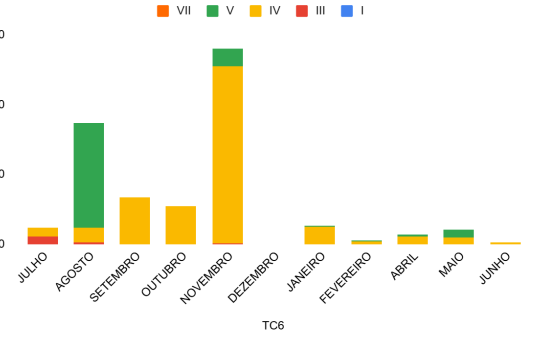
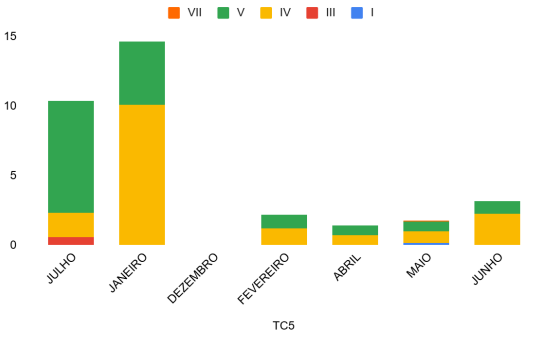
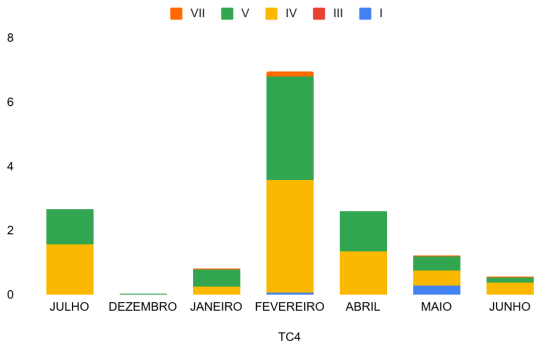
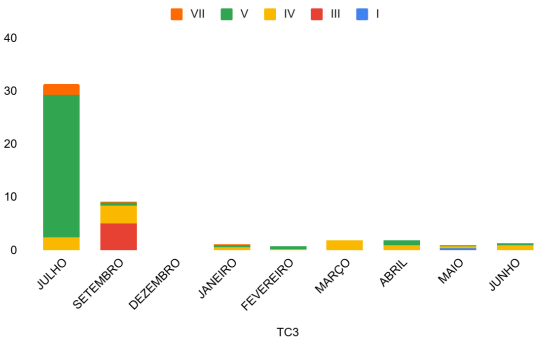
3.3 ANÁLISE DOS GRUPOS FUNCIONAIS DA COMUNIDADE DE FITOPLÂNTON

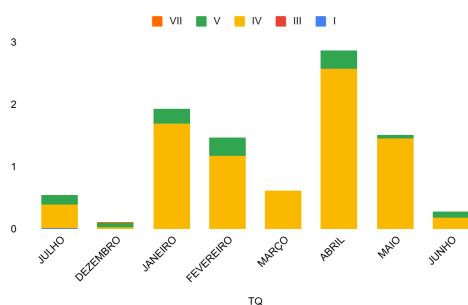
Nos 11 tanques estudados, foram identificados 83 táxons fitoplanctônicos, distribuídos em oito classes. Os táxons de maior predominância foram representados pelas Classes Chlorophyceae (n=37), Zygnematophyceae (n=13), Euglenophyceae (n=12), Cyanobacteria (n=11), Bacillariophyceae (n=7), e Cryptophyceae, Dinophyceae e Xanthophyceae, cada um representado por um táxon.

A análise dos aspectos funcionais da comunidade fitoplanctônica identificou a presença de alguns grupos funcionais sob influência da sazonalidade e da espacialidade entre os tanques. De acordo com a classificação proposta por Kruk *et al.* (2010), os tanques na área urbana apresentaram maior predominância dos grupos fitoplanctônicos IV e V, sobretudo no período seco. Em relação aos tanques na zona rural, observou-se o mesmo padrão para os grupos IV e V, mas com presença também do grupo I. Entretanto, para essa área identificou-se uma distribuição mais equilibrada desses grupos ao longo do ano (Figura 3).

Figura 3 - Variação mensal entre julho de 2016 e junho de 2017, da composição fitoplanctônica dos tanques em Pocinhos/PB, com base nos grupos funcionais de Kruk *et al.* (2010).

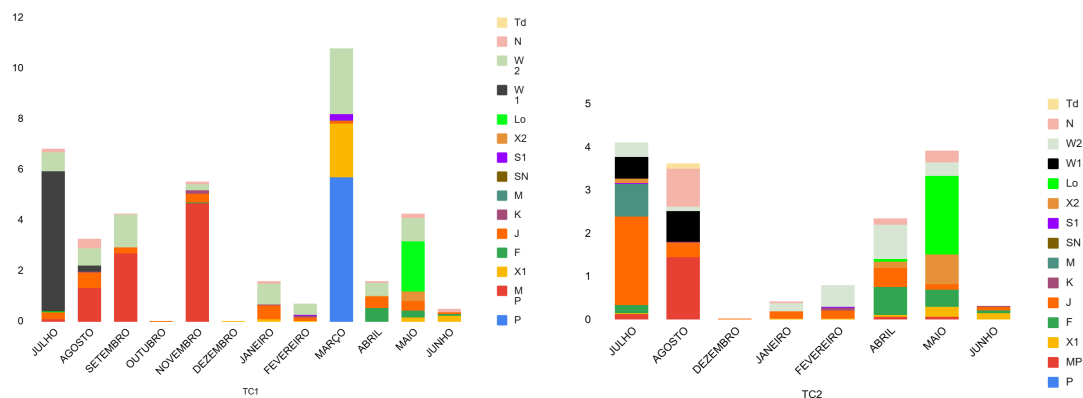


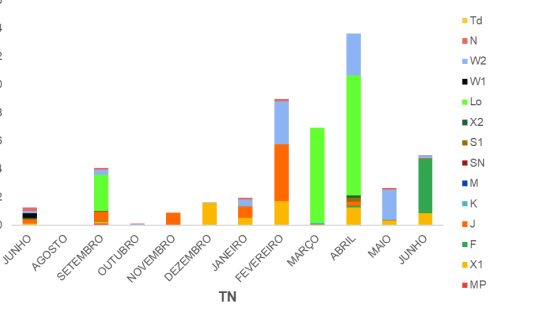
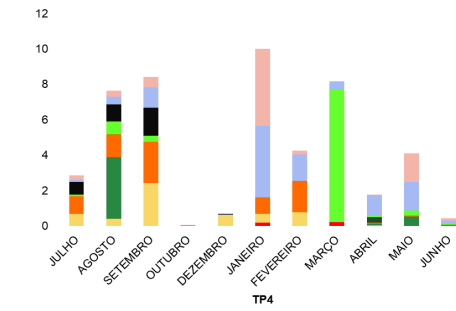
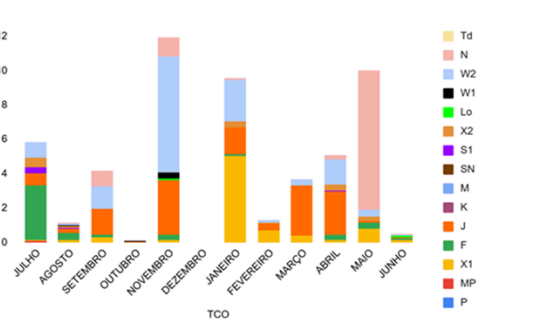
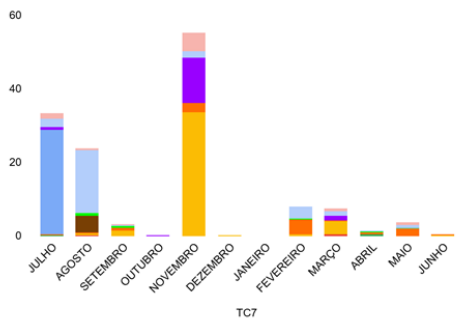
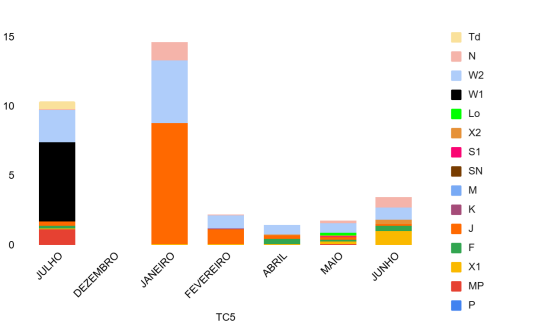
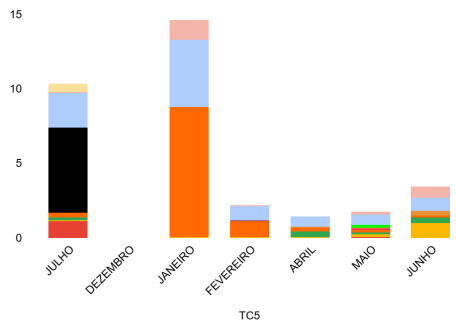
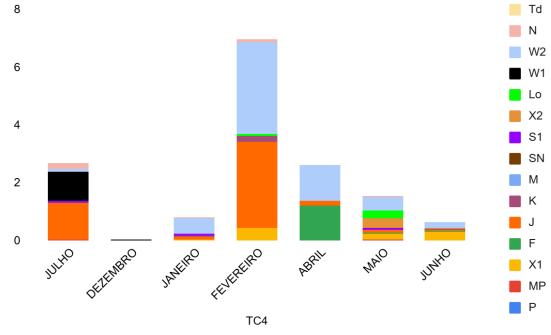
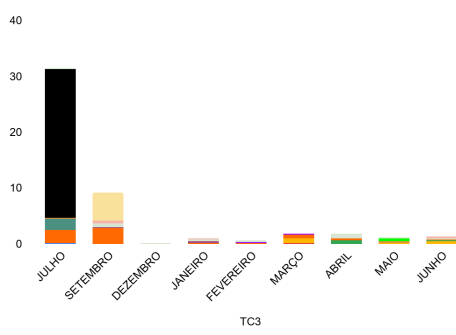


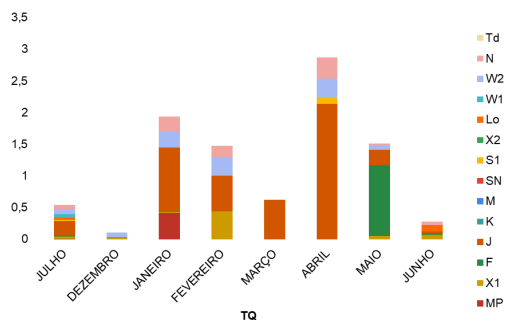


Em relação à classificação de Reynolds (2002), observou-se variação espaço-temporal na distribuição dos grupos funcionais de fitoplâncton entre os tanques de pedra. Nos tanques urbanos, os grupos W1, W2, J e P tiveram maior representação, especialmente na fase 1, correspondente ao período seco, quando os tanques quase secaram completamente (Figura 4). Já nos tanques rurais, predominaram os grupos W2, Lo e J. A classificação de Reynolds organiza as espécies em grupos funcionais com base em estratégias ecológicas semelhantes, considerando fatores como necessidade de luz, disponibilidade de nutrientes, tolerância à mistura da coluna d'água e tipo de crescimento (células solitárias, filamentosas ou coloniais). Dessa forma, os resultados indicam não apenas quais espécies estão presentes, mas também quais estratégias ecológicas predominam em cada tanque, evidenciando como a sazonalidade e as características locais (urbano e rural) afetam a composição funcional do fitoplâncton.

Figura 4 - Variação mensal da composição fitoplanctônica de grupos funcionais, segundo classificação de Reynolds et al. (2002), entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017







A avaliação conjunta das classificações de Kruk (2010) e Reynolds (2002) evidenciou diferenças marcantes na composição e na dinâmica funcional do fitoplâncton entre os tanques e ao longo do ciclo sazonal. Pela abordagem de Kruk (2010), destacou-se a predominância dos grupos IV e V, responsáveis por aproximadamente 70% da abundância total registrada.

O grupo IV é composto por espécies de fitoplâncton adaptadas a ambientes bem iluminados, com níveis moderados de nutrientes, desenvolvendo-se em águas rasas e com mistura moderada. Esse grupo apresentou maior abundância nos tanques TC1, TC2, TC6, TCO, TP4 e TQ, indicando a predominância de condições favoráveis à fotossíntese nesses locais. Já o grupo V reúne espécies adaptadas a ambientes eutróficos e instáveis, capazes de tolerar altas concentrações de nutrientes e variações na profundidade e na mistura da água. Esse grupo foi mais representativo nos tanques TC3, TC4, TN e TP4, especialmente nos meses mais quentes, refletindo tanto o aumento da carga de nutrientes quanto a influência de práticas de manejo mais intensivas (Kruk et al., 2010).

Na classificação de Reynolds, a sazonalidade teve maior influência sobre os grupos W1, J, W2, P e F, especialmente na Fase I, correspondente ao período mais seco, quando a redução do volume de água e o aumento da concentração de nutrientes favorecem espécies adaptadas a condições rasas e estressantes. Em contrapartida, durante o período chuvoso, predominaram os grupos X1 e N, devido à maior estabilidade da coluna d'água e à diluição de nutrientes, que beneficiam espécies menos tolerantes à dessecação. A ocorrência mais restrita de grupos como I, III e VII (Kruk) e K, S1 e Lo (Reynolds) indica que sua presença depende de condições ambientais específicas, disponibilidade limitada de nutrientes ou eventos hidrológicos pontuais (Stockwell et al., 2020).

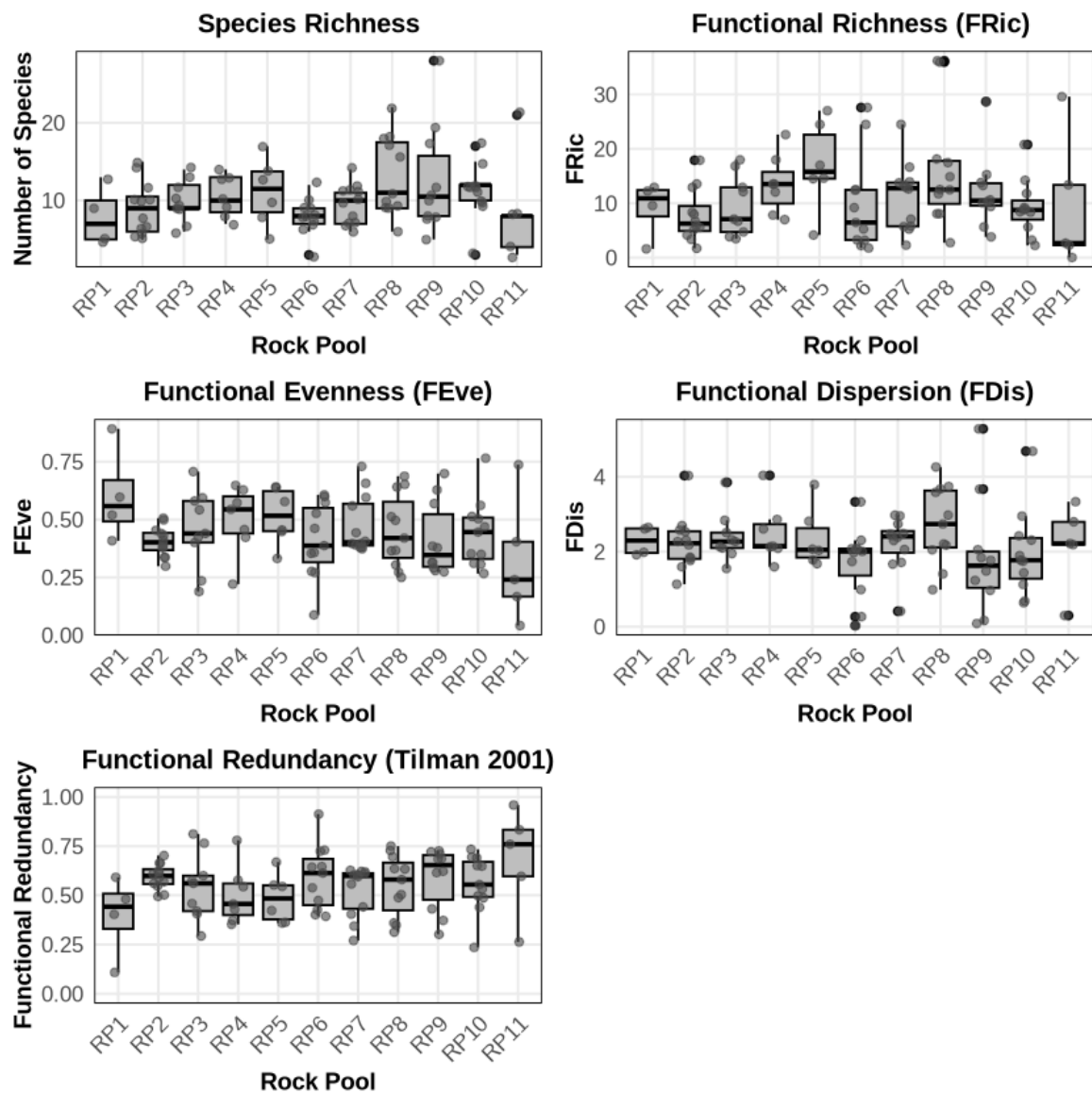
3.4 DIVERSIDADE FUNCIONAL E REDUNDÂNCIA ENTRE TANQUES DE PEDRA

Com relação à riqueza de espécies, a maioria dos tanques apresentou variação moderada (Figura 5), com a maior média (11 espécies) ocorrendo no tanque TC5 e a menor no tanque TC2 (oito espécies). A média da riqueza funcional (FRic), foi maior (16,96) no TC5 e menor (7,77) no TC1. A média da uniformidade funcional (FEve) foi maior em TC2 (0,604), indicando distribuição mais uniforme das espécies no espaço funcional, e menor em TC1 (0,405), refletindo maior agregação de espécies (Figura 6). Para a dispersão funcional (FDis), o TC4 apresentou a maior média (2,50) e TC6 a menor (1,72), com variação moderada entre os reservatórios.

A redundância funcional foi mais elevada no TC1 (média= 0,595) e menor em TC2 (0,396), evidenciando relação inversa com a uniformidade funcional. De modo geral, observa-se que os tanques na área urbana em Pocinhos foram mais representativos quanto aos índices funcionais, com destaque para TC5 e TC4 com maior diversidade funcional (riqueza e dispersão), TC1 com alta redundância e T2 com alta uniformidade com baixa redundância (Figura 5).

Os resultados observados no presente estudo demonstram o efeito da sazonalidade sobre a variação espacial e temporal dos grupos funcionais fitoplanctônicos. Isso se confirma ao observar que a maioria das espécies fitoplanctônicas identificadas nas áreas estudadas são típicas de ecossistemas rasos e com maior disponibilidade de nutrientes (Padisak *et al.*, 2009). Essas espécies comuns nestes ambientes, também foram observadas em estudo realizado por Silva *et al.* (2020) e Barbosa *et al.* (2024), ao avaliarem comunidades fitoplanctônicas na região semiárida brasileira.

Figura 5 – Variação dos índices funcionais (FRic, FEve, FDis e redundância) entre as poças rochosas, no município de Pocinhos/PB.



A estrutura de comunidades fitoplanctônicas pode ser fortemente influenciada por fatores ambientais, pela espacialidade temporal (sazonalidade), como também pelo ciclo hidrológico, ao passo que a interação que ocorre entre essas variáveis pode modular a estrutura dessas comunidades (Gálvez *et al.*, 2020).

Além disso, a diversidade do fitoplâncton também sofre influência da taxa de sedimentação, da intensidade de radiação, da distribuição vertical dos organismos ao longo da coluna de água, da disponibilidade de nutrientes, da predação pelo zooplâncton (Muller; Cybis; Raya-Rodriguez, 2012). Nesse sentido, a redundância funcional representa uma característica importante das comunidades biológicas, que reflete na conservação e manutenção dos serviços ecossistêmicos (Feit *et al.*, 2019).

3.5 EFEITO DA SAZONALIDADE SOBRE A DIVERSIDADE FUNCIONAL E REDUNDÂNCIA DOS GRUPOS FUNCIONAIS DO FITOPLÂNCTON

Todos os índices funcionais apresentaram diferenças significativas entre as três fases sazonais ($p < 0,05$) (Tabela 1 e 4). Na Fase 1, equivalente ao período de estiagem, observou-se maior riqueza de espécies (13,38 espécies).

A riqueza funcional seguiu o padrão semelhante à riqueza de espécies, com valores mais baixos na Fase 2 (8,90). Já em relação a uniformidade funcional, observou-se menor valor na Fase 1 (0,38) e maior nas fases chuvosas, especialmente na Fase 3 (0,49), indicando distribuições mais equilibradas das características funcionais durante períodos úmidos. A dispersão funcional aumentou progressivamente da Fase 1 para a Fase 3, atingindo o pico na Fase 3 (2,56), sugerindo maior ocupação do espaço funcional. Em contrapartida, a redundância funcional mostrou-se maior na Fase 1 (0,62), refletindo a tendência inversa da uniformidade.

Tabela 4 – ANOVA para os índices funcionais entre as fases, da comunidade de fitoplâncton dos tanques estudados nas áreas em Pocinhos/PB

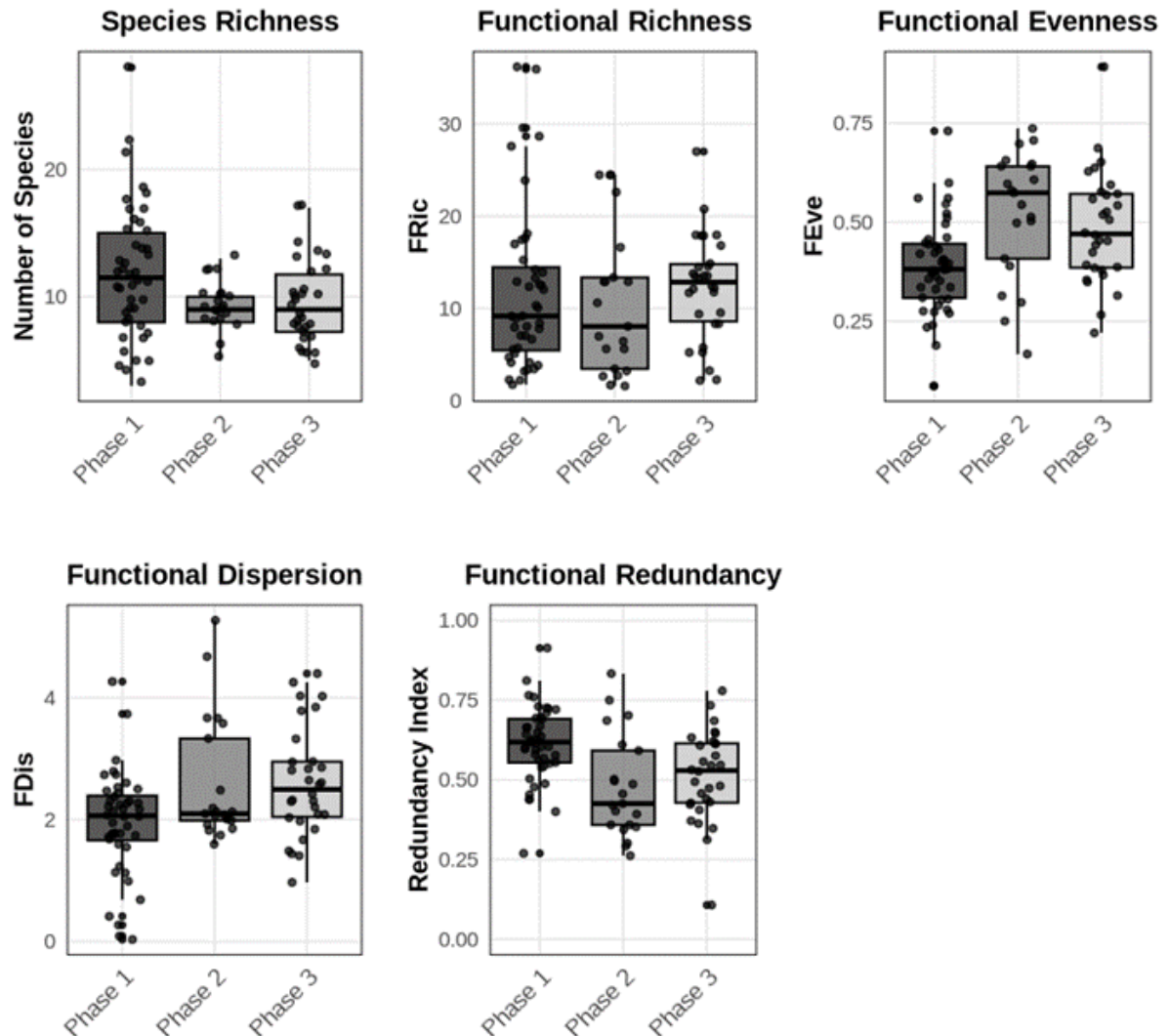
Índices	Comparação significativa p-valor original (Tukey HSD)	
Riqueza de espécies	F1 > F2	0,0000001
	F1 > F3	0,0007106
Uniformidade funcional	F1 < F2	0,0374641
	F1 < F3	0,0174703
Redundância funcional	F1 < F2 e F3	$p < 0,05$
Dispersão funcional	F3 > F1	0,0354558

F1 = Fase seca; F2 = Fase chuvosa inicial; F3 = Fase chuvosa tardia.

Fonte: Autoria própria (2025)

A Fase 1 teve riqueza de espécies significativamente maior que as Fases 2 e 3 (Figura 6). A uniformidade e a redundância funcional foram significativamente menores na Fase 1, logo a dispersão funcional foi significativamente maior na Fase 3. No período seco (Fase 1), a combinação de maior riqueza de espécies e alta redundância funcional indica sobreposição de funções ecológicas, possivelmente devido à concentração de organismos em áreas reduzidas de habitat.

Figura 6 – Comparação dos índices funcionais entre as fases sazonais nos tanques de pedra, no município de Pocinhos/PB



Phase 1: Dry (Jul-Nov 2016) | Phase 2: Max Rainfall (Dec 2016-Mar 2017) | Phase 3: 2nd Rainfall (Apr-Jun 2017)

Possivelmente, esses resultados podem estar relacionados com o efeito de concentração de nutrientes nos habitats no período seco devido ao menor volume de água nos tanques. Nas fases chuvosas (Fases 2 e 3), a maior disponibilidade hídrica e o aumento da heterogeneidade ambiental favoreceram tanto uma distribuição mais uniforme das espécies quanto o incremento da dispersão funcional, com destaque para a Fase 3 (Castillo *et al.*, 2019; Washko; Bogan, 2019; Costa; Attayde; Becker, 2015).

Essas transições foram consideradas fatores determinantes nas alterações na estrutura do habitat e na disponibilidade de recursos ao fitoplâncton (Stockwell *et al.*, 2020). Durante períodos de seca, predominaram espécies oportunistas e tolerantes a

perturbações, enquanto nas fases de maior volume de água aumento da diversidade funcional e redução da redundância foram observados, refletindo a maior heterogeneidade ambiental e distribuição mais uniforme das espécies (Silva *et al.*, 2020).

Portanto, a análise integrada de diferentes abordagens funcionais mostrou-se eficiente para identificar padrões gerais de dominância, bem como respostas específicas às variações físico-químicas e hidrológicas. Essas dinâmicas fornecem informações valiosas para o monitoramento ambiental e para o planejamento de práticas de manejo nos tanques estudados (Wetzel; Likens, 2000).

4 CONCLUSÕES

- A estrutura e a dinâmica da comunidade do fitoplâncton em tanques de pedra na região Semiárida no Brasil refletiu diretamente as oscilações dos fatores físico-químicas, fortemente influenciados pelo regime pluviométrico e volume dos tanques, reforçando o papel da sazonalidade na composição, abundância e diversidade funcional das comunidades;
- As classificações de Reynolds *et al.* (2002) e Kruk *et al.* (2010), e os índices funcionais mostraram-se relevantes para compreender os padrões ecológicos e identificar grupos funcionais dominantes nos períodos hidrológicos estudados nos tanques de pedras nas áreas em Pocinhos/PB;
- O efeito da sazonalidade na estrutura e nos índices ecológicos das comunidades fitoplanctônicas foi observado pela variação na temperatura, pH, condutividade elétrica, profundidade da coluna d'água, nos teores de fósforo total e fósforo reativo solúvel.
- Os índices funcionais foram influenciados pela sazonalidade, em função do efeito da mesma sobre fatores físicos e químicos tais como luz e nutrientes. A mais alta redundância funcional na Fase 1 indica sobreposição de funções ecológicas, possivelmente devido à concentração de nutrientes e organismos em áreas reduzidas de habitat. Já a riqueza funcional, uniformidade funcional apresentaram-se maiores na Fase 2 e dispersão funcional na fase 3, associados a maiores volumes de água e maior disponibilidade de luz.

REFERÊNCIAS

- AESA. AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Meteorologia**. 2019. Disponível em: <https://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 7 jan. 2025.
- ALMEIDA, H. A.; VIRIATO, C. L.; SAMPAIO, E. A. M. Alternativa da captação de água da chuva: qualidade da água armazenada em cisternas e em tanques naturais. **Geo UERJ**, n. 37, e36106, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.36106>. Acesso em: 5 out. 2024.
- BARBOSA, L. G.; KULKARNI, M. R.; DANTAS, E. W.; OLIVEIRA, D. L.; SILVA, F. S.; BORTOLINI, J. C. Temporal and spatial variations drive the phytoplankton communities in rock pools in a semi-arid region. **Aquatic Ecology**, v. 58, p.659–674, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10452-024-10097-3>. Acesso em: 5 out. 2024.
- BASTOS, F. D. H. *et al.* Relevos graníticos do Nordeste brasileiro: uma proposta taxonômica. In: CARVALHO JÚNIOR *et al.* **Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira**, 2021. p. 26. Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/book/376>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil**: chave para identificação e descrições. 3. ed. São Carlos: RiMa, 2017.
- CARVALHO NETO, F. C. M. *et al.* Fitoplâncton do estuário do Emborai Velho (Nova Olinda - PA). **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 6, p. 5492–5519, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv21n6-122>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- CASTILLO, B. T. *et al.* Seasonal variation in community assembly mechanisms in ephemeral aquatic habitats. **Freshwater Biology**, v. 64, n. 9, p. 1621–1634, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/fwb.13366>. Acesso em: 16 maio 2025.
- COSTA, M. R. A.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Effects of water level reduction on the dynamics of phytoplankton functional groups in tropical semi-arid shallow lakes. **Hydrobiologia**, v. 778, n. 1, p. 75–89, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2593-6>. Acesso em: 20 maio 2025.
- DANTAS, Ê. W. *et al.* Efeito das variáveis abióticas e do fitoplâncton sobre a comunidade zooplânctônica em um reservatório do Nordeste brasileiro. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 99, n. 2, p. 132–141, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212009000200003>. Acesso em: 26 maio 2025.
- DIAS, J. A. **Estrutura de comunidades zooplânctônicas em piscinas de pedra na região semiárida brasileira**. 2022. 34f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2022. Disponível em:

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/26312/1/JAD17022023-MB257.pdf>. Acesso em: 22 set. 2025.

GÁLVEZ, Á.; AGUILAR-ALBEROLA, J. A.; ARMENGOL, X.; BONILLA, F.; IEPURE, S.; MONRÓS, J. S.; MESQUITA-JOANES, F. Environment and space rule, but time also matters for the organization of tropical pond metacommunities. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.558833>. Acesso em: 22 set. 2025.

FEIT, B.; BLÜTHGEN, N.; TRAUGOTT, N.; JONSSON, M. Resilience of ecosystem processes: a new approach shows that functional redundancy of biological control services is reduced by landscape simplification. **Ecology Letters**, v. 22, p.1568–1577, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ele.13347>. Acesso em: 22 set. 2025.

HILLEBRAND, H.; DÜRSELEN, C. D.; KIRSHTTEL, D.; POLLINGHER, I.; ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae: a guide to specific biovolumes and cell shapes from 1000 species. **Limnology and Oceanography**, v. 44, n. 8, p. 1787-1798, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x>. Acesso em: 22 ago. 2025.

KEARNEY, M. R.; PORTER, W. P.; MUNDAY, P. L. Where do functional traits come from? The role of theory and models. **Functional Ecology**, v. 35, n. 7, p. 1385–1396, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13829>. Acesso em: 12 jun. 2025.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprokaryota. 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl, H. et al. (Eds.). **Süßwasserflora von Mitteleuropa**. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1999. v. 19/1, p. 1–548.

KOMÁREK, J.; FOTT, B. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung Chlorococcales. In: Huber-Pestalozzi, G. (Ed.). **Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie**. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1983. v. 7, p. 1–1044.

KRUK, C. et al. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 3, p. 614–627, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>. Acesso em: 12 out. 2024.

IBGE. INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pocinhos**. 2025. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pocinhos/panorama>. Acesso em: 10 set. 2025.

LOREAU, M.; DE MAZANCOURT, C. Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms. **Ecology Letters**, v. 16, n. 1, p. 106–115, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ele.12073>. Acesso em: 18 jun. 2025.

LINS, R. P. M.; OVRUSKI DE CEBALLOS, B. S.; SERRAMO LOPEZ, L. C.; GOMES BARBOSA, L. Phytoplankton functional groups in a tropical reservoir in the Brazilian

semiarid region. **Revista de Biología Tropical**, v. 65, n. 3, p. 1129–1141, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i3.29446>. Acesso em: 1 jun. 2025.

LUND, J. W. G.; KIPLING, C.; LECREN, E. D. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. **Hydrobiologia**, v. 11, n. 2, p. 143-170, 1958. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00007865>. Acesso em: 15 jun. 2025.

MAJAGI, S.; VIJAYKUMAR, K. Ecology and abundance of zooplankton in Karanja reservoir. **Environmental monitoring and assessment**, v. 152, n. 1, p. 451-458, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0329-z>. Acesso em: 20 set. 2025.

MÜLLER, C. C.; CYBIS, L. F.; RAYA-RODRIGUEZ, M. T. Monitoramento do fitoplâncton para a qualidade de água para abastecimento público – estudo de caso de mananciais do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 203–211, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.183/229930/000855618.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 set. 2025.

OLIVEIRA, F. G. **Fatores determinantes para a diversidade de zooplâncton em tanques de pedra na região semiárida brasileira**. 2022. 35f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/23286/1/FGO06072022-MB256.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

OTERO, J.; ÁLVAREZ-SALGADO, X. A.; BODE, A. Phytoplankton diversity effect on ecosystem functioning in a coastal upwelling system. **Frontiers in Marine Science**, v. 7, 592255, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.592255>. Acesso em: 20 set. 2025.

PADISÁK, J.; CROSSETTI, L. O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia**, v. 621, p. 1–19, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9645-0>. Acesso em: 25 out. 2024.

PEREIRA, M. M. D.; BRAGA, P. E. T.; GUIOMAR, N.; SANTOS, F. D. S.; RIBEIRO, S. A flora e a vegetação dos afloramentos rochosos em três municípios na região Norte do Ceará, Brasil: caracterização fitossociológica. **Rodriguésia**, v. 69, n. 2, p. 281-299, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869202>. Acesso em: 25 out. 2024.

PINCEEL, T.; BUSCHKE, F.; WECKX, M.; BRENDONCK, L.; VANSCHOENWINKEL, B. Climate change jeopardizes the persistence of freshwater zooplankton by reducing both habitat suitability and demographic resilience. **BMC Ecology**, v. 18, n. 1, p. 1-9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12898-018-0158-z>. Acesso em: 23 set. 2024.

PIRES, P.; GARCIA DÍAZ, X. F.; BRABO DE SOUSA, E.; MELO, N. F. A. C. Índices ecológicos e estrutura do fitoplâncton de reservatórios urbanos abastecidos por

águas estuarinas e sob os efeitos da sazonalidade (Belém, Pará, Brasil). **Scientia Plena**, v. 19, n. 7, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2023.072401>. Acesso em: 21 jun. 2025.

PRESCOTT, G. W.; CROASDALE, H. T.; VINYARD, W. C. **A synopsis of North American desmids**: Part II. Desmidiaceae: Placodermae, Section 2. Lincoln: University of Nebraska Press, 1982.

PRESCOTT, G. W.; CROASDALE, H. T.; VINYARD, W. C. **A synopsis of North American desmids**: Part II. Desmidiaceae: Placodermae, Section 1. Lincoln: University of Nebraska Press, 1981.

PRESCOTT, G. W.; CROASDALE, H. T.; VINYARD, W. C. **A synopsis of North American desmids**. Lincoln: University of Nebraska Press, 1977.

PRESCOTT, G. W. **Algae of the Western Great Lakes Area**. 7. ed. Dubuque: Wm. C. Brown Company Publishers, 1975.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

REYNOLDS, J. F. et al. Scientific concepts for an integrated analysis of desertification. **Land Degradation & Development**, v. 22, n. 2, p. 166–183, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.1104>. Acesso em: 17 jul. 2025.

REYNOLDS, C. S.; HUSZAR, V. L. M.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 24, n. 5, p. 417–428, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>. Acesso em: 17 jul. 2025.

ROSENFELD, J. S. Functional redundancy in ecology and conservation. **Oikos**, v. 98, n. 1, p. 156–162, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.980116.x>. Acesso em: 21 jun. 2025.

SILVA, F. S.; LIRA, G. A. S. T.; DANTAS, Ê. W.; MELO JÚNIOR, M. A. Phytoplankton communities in freshwater rock pools: structural and spatial dynamics in Brazilian drylands. **Limnetica**, v. 39, n. 1, p. 487–498, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.23818/limn.39.31>. Acesso em: 16 jul. 2025.

SOUSA, E. B.; GOMES, A. L.; CUNHA, C. J. S. Dinâmica Sazonal do Fitoplâncton do Parque Estadual do Charapucu (Afuá, Arquipélago do Marajó, Pará, Brasil). **Biota Amazônia**, v. 5, n. 4, p. 34–41, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n4p34-41>. Acesso em: 13 set. 2025.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n. 11, p. 1331–1346, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbg096>. Acesso em: 13 ago. 2025.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3001913>. Acesso em: 13 set. 2025.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-methodik. **Mitteilung Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 9, p. 1-38, 1958. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>. Acesso em: 13 set. 2025.

WASHKO, S.; BOGAN, M. T. Global patterns of aquatic macroinvertebrate dispersal and functional feeding traits in aridland rock pools. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, p. 1-7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00106>. Acesso em: 10 set. 2025.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological Analyses**. 3. ed. New York: Springer, 2000.