XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

COMO OCORREM AS RELAÇÕES ENTRE INDICADORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO?

Anderson Matheus de Sousa Lima[1]; Carlinda Railly Medeiros[2] & Carlos de Oliveira Galvão[3]

RESUMO – O monitoramento da qualidade da água baseado em indicadores físicos, químicos e biológicos são essenciais para a gestão dos reservatórios no semiárido brasileiro. Modelos estatísticos multivariados têm permitido a avaliação simultânea das múltiplas relações que podem existir entre esses indicadores ambientais na água. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi analisar relações temporais entre os indicadores físico-químicos da água (volume, nitrogênio inorgânico dissolvido, fósforo total e clorofila-*a*) e biológico (riqueza dos macroinvertebrados bentônicos) em oito reservatórios do semiárido paraibano, através da Análise de Componentes Principais (do inglês, *Principal Component Analysis* – PCA). A aplicação da PCA aos dados de indicadores físico-químicos e ambientais dos reservatórios permitiu revelar relações entre esses indicadores, embora não tenha sido encontrado um padrão de comportamento comum a todos os reservatórios.

ABSTRACT – Monitoring water quality based on physical, chemical, and biological indicators is essential for managing reservoirs in the Brazilian semi-arid region. Multivariate statistical models have enabled the simultaneous assessment of the multiple relationships that may exist between these environmental indicators in water. Thus, the objective of this work was to analyze temporal relationships between the physicochemical indicators of water (volume, dissolved inorganic nitrogen, total phosphorus, and chlorophyll-a) and biological indicators (richness of benthic macroinvertebrates) in eight reservoirs of the semi-arid region of Paraíba, through Principal Component Analysis (PCA). Applying PCA to the physical-chemical and environmental indicator data of the reservoirs revealed relationships between these indicators, although a common pattern of behavior across all reservoirs was not found.

Palavras-Chave – análise multivariada; indicadores ambientais; qualidade da água.

1. INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais semiáridas, como o nordeste brasileiro onde os rios em sua maioria são efêmeros ou intermitentes, os reservatórios superficiais artificiais constituem a principal fonte de água. Embora tais reservatórios tenham surgido como uma estratégia para minimizar a vulnerabilidade da sociedade à variabilidade climática, a retenção de água nessas estruturas e as condições do clima no semiárido têm contribuído para acelerar a eutrofização, e essa condição

[1]) Doutorando em Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Campina Grande/PB, anderson.m.sousa@estudante.ufcg.edu.br
[2]) Instituto Federal do Sertão Pernambucano – IFSertãoPE, Campus Floresta - Pernambuco, Brasil, carlindarailly@gmail.com
[3]) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Campina Grande/PB, carlos.oliveira@professor.ufcg.edu.br

apresenta forte relação com a redução gradual do volume armazenado, com as altas temperaturas, a estratificação diária e a sazonalidade da vazão afluente (Qiu, Shen e Xie, 2023). Neste contexto, o monitoramento da qualidade da água baseado em indicadores físicos, químicos e biológicos é essencial para uma gestão dessas estruturas (Rocha; Andrade; Lopes, 2015).

Diversos trabalhos têm analisado a importância da qualidade da água de ecossistemas aquáticos de reservatórios do semiárido, buscando entender como os indicadores bióticos (componentes biológicos) e abióticos (componentes físicos e químicos) se relacionam, para, inclusive, em situações de eutrofização, verificar como os altos valores de nutrientes impactam a dinâmica de comunidades bióticas (Alvial et al., 2013; Leiva; Marchese; Diodato, 2020; Medeiros et al., 2025). Modelos estatísticos multivariados têm permitido a avaliação simultânea das múltiplas relações que podem existir entre os indicadores ambientais na água e sua evolução em escala espacial e temporal, possibilitando a identificação de padrões entre elas (Cubilla-Montilla; Carrasco; Castillo, 2025).

Um desses métodos é a Análise de Componentes Principais (do inglês, *Principal Component Analysis* – PCA), que é uma técnica estatística empregada na simplificação de conjuntos de dados complexos, que transforma as variáveis originais, que normalmente estão correlacionadas, em uma menor quantidade de novas variáveis que não têm essa relação. Essas novas variáveis carregam a maior parte das informações presentes no conjunto inicial, facilitando a análise e interpretação dos dados (Hongyu; Sandanielo; Oliveira Junior, 2015).

Isso mostra como a análise dos indicadores hidrológicos e ambientais em bacias hidrográficas pode ser favorecida com a aplicação de métodos multivariados, como a PCA, podendo ser utilizada na tomada de decisões, planejamento estratégico e gestão eficaz dos recursos hídricos. Desse modo, ocorre a possibilidade de identificar padrões ambientais fundamentais que auxiliam no entendimento da variabilidade ambiental de bacias hidrográficas (Rodrigues Junior et al., 2023).

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo analisar relações temporais entre os indicadores físico-químicos da água (volume, nitrogênio inorgânico dissolvido, fósforo total, clorofila-*a*) e biológico (riqueza dos macroinvertebrados bentônicos) em reservatórios do semiárido paraibano, através de análises multivariadas.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido em oito reservatórios localizados semiárido paraibano, sendo eles: Acauã, Camalaú, Cordeiro, Epitácio Pessoa, Poções, Sumé e Taperoá, situados na bacia hidrográfica do rio Paraíba, e o reservatório Araçagi, na bacia hidrográfica do rio Mamanguape (Figura 1).

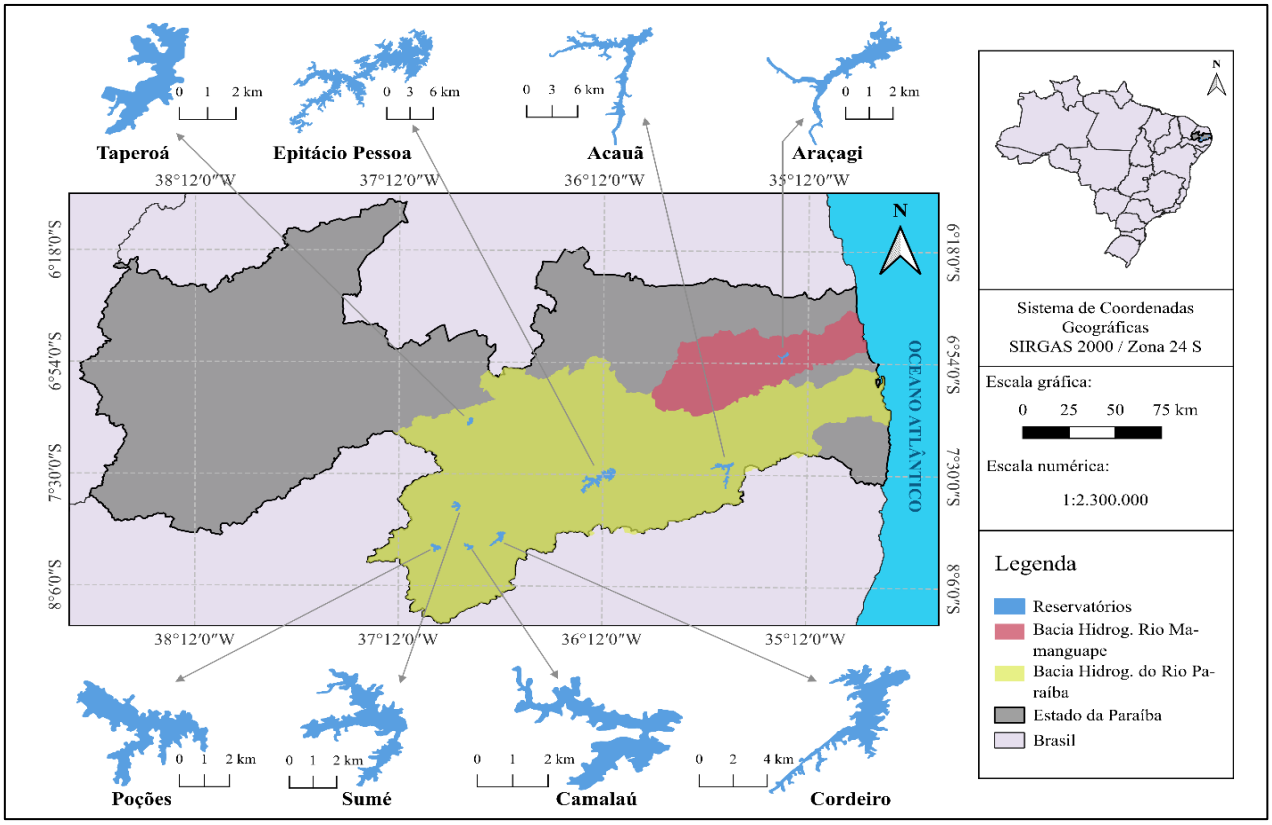


Figura 1 – Localização geográfica dos reservatórios Poções, Camalaú, Epitácio Pessoa, Sumé, Cordeiro, Taperoá e Acauã, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraíba, e o reservatório Araçagi, localizado na bacia do hidrográfica do rio Mamanguape. Fonte: Autores (2026).

A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba possui 85 municípios, onde destacam-se João Pessoa, capital do Estado, e Campina Grande, centro econômico, educacional e tecnológico do Nordeste. Ela tem uma área de cerca de 20.000,00 km² (latitudes 6º51’31’’ e 8º26’21” S; longitudes 34º48’35” e 37º2’15” W) e representa um dos sistemas hidrográficos mais importantes do semiárido nordestino (Vieira, 2008). Já, a Bacia Hidrográfica do rio Mamanguape está situada no extremo leste e posicionada no litoral norte do estado da Paraíba (latitudes 6°41’57’’ e 7°15’58’’ S e longitudes 34°54’37’’ e 36°00’00” W), com uma área territorial de 3.516,50 km² (Silva, 2019).

Os reservatórios Poções, Sumé, Camalaú, Cordeiro, Epitácio Pessoa e Taperoá fazem parte da porção central do estado, com clima tipo BSh, semiárido quente, segundo a classificação de Koppen-Geiger, e precipitação anual inferior a 600 mm (Francisco e Santos, 2017). A temperatura média diária do ar varia entre 18°C e 31°C durante do ano, sendo julho e agosto os meses mais frios, e novembro e dezembro os mais quentes (Jovem-Azevêdo et al., 2019).

A bacia do reservatório Acauã possui uma estação seca que pode variar entre 8 e 10 meses (AESA, 2026). Segundo a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

(CODEVASF, 2022), essa região apresenta um clima que vai do semiárido quente, conhecido como "BSh", ao tropical com verões secos, chamado "As".

A bacia do reservatório Araçagi está situada em uma área com clima do tipo "As", e mesmo essa área de contribuição ao reservatório não estando totalmente classificada como clima "BSh" (Francisco e Santos, 2017), ela foi incluída neste estudo por causa da influência desse clima sobre ela. Além disso, ela está inserida na região semiárida brasileira, com temperaturas médias anuais elevadas, variando entre 22°C e 24°C (CODEVASF, 2022).

2.2. Desenho amostral

Neste estudo, utilizou-se dados de indicadores físicos e químicos da água, ou seja, volume de armazenamento (VOL), clorofila-*a* (CLO), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e fósforo total (PT), e um indicador biológico (riqueza dos macroinvertebrados bentônicos (S)). A disponibilização desses dados foi feita pelo Laboratório de Ecologia de Bentos e Laboratório de Ecologia Aquática da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), no âmbito do projeto de pesquisa PELD – Rio Paraíba Integrado, tendo como objetivo avaliar a estrutura e o funcionamento ecossistêmico da bacia hidrográfica do rio paraíba (PELD-RIPA, 2021). Os dados de volume armazenado nos reservatórios, em percentual, foram obtidos por meio de consulta ao banco de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), cujo acesso é livre.

As amostragens dos indicadores ambientais e biológicos foram realizadas em 15 pontos nas zonas litorâneas dos reservatórios Araçagi, Acauã, Camalaú, Cordeiro, Epitácio Pessoa, Porções, Sumé e Taperoá. Em cada ponto, foi coletado e armazenado em garrafas de polietileno um litro de água da subsuperfície para determinar a concentração de fósforo total (µg/l) e toda a série de nitrogênio da água, isto é, nitrito (µg/l), nitrato (µg/l) e íons amônio (µg/l), espectrofotometricamente (APHA, 2012). Foi feita a adição da série de nitrogênio para estimar o nitrogênio inorgânico dissolvido e a concentração de clorofila-*a* foi determinada por extração em acetona a 90% (Lorenzen, 1967).

Quanto aos dados biológicos, a coleta da comunidade de macroinvertebrados bentônicos foi realizada nos mesmos pontos de amostragem com uma draga Eckman-Birge (225 cm²), com exceção de 2019, já que os reservatórios Cordeiro, Sumé e Poções tiveram volumes críticos de armazenamento; então naquele ano foram realizadas coletas em apenas 10 pontos de amostragem para esses reservatórios. As amostras foram lavadas em laboratório utilizando água corrente e peneiras com abertura de malha de 0,5 mm, onde, na sequência, foram preservadas em álcool a 70%. Os indivíduos foram triados, contados e identificados com auxílio de microscópio e chaves

taxonômicas especializadas até o menor nível taxonômico possível (Medeiros et al., 2025). O indicador biológico, representado pela riqueza dos macroinvertebrados bentônicos, correspondente ao número total de táxons registrados em cada ponto de amostragem (Machado; Granda; Endara, 2018).

2.3.Análise de dados

As relações entre os indicadores biótico e abióticos foram analisadas por meio da PCA, possibilitando encontrar uma maneira de classificar e detectar relações entre tais indicadores (Finkler et al., 2015), em que, incialmente, os dados foram transformados em log (x + 1) para reduzir a assimetria e o efeito dos valores muito altos.

A PCA foi usada para buscar relações entre os indicadores e observar se houve influência entre eles ou em suas propriedades. Com essa técnica, foram determinados os eixos principais de uma configuração multidimensional e fornecidas coordenadas de cada indicador relativamente a estes eixos (Riboni; Lindino, 2023). As PCAs foram realizadas no *software* RStudio, versão 4.3.3, utilizando os pacotes readxl (Wickham, 2015), ggplot2 (Pedersen, 2007), FactoMineR (Husson e Pages, 2017) e factoextra (Kassambara, Mundt e Erdey, 2017).

As análises e agrupamentos dos oito reservatórios tiveram interpretações realizadas considerando a direção e proximidade dos vetores (correlação entre variáveis), a contribuição das variáveis para os componentes principais (comprimento e cores dos vetores) e porcentagem de cada componente (informação na escala dos eixos).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No reservatório Acauã, a relação entre os indicadores nos eixos da PCA, juntos, explicam 71,5% da variância total dos dados (Dim1: 36,1%; Dim2: 35,3%). Há uma correlação positiva moderada entre VOL e NID. O PT tem forte influência para o eixo vertical (Dim2 positivo), ao passo que S aponta na direção oposta (Dim2 negativo), demonstrando comportamento inverso. A CLO está isolada no quadrante superior esquerdo, isto é, contrária ao volume e aos nutrientes (Figura 2a). Isso caracteriza um efeito negativo do fósforo sobre a fauna do fundo, pois quando o PT cresce, a eutrofização é intensificada e a riqueza S diminui.

Para o reservatório Araçagi (Figura 2b), o gráfico da PCA apresentou uma estrutura de dados com considerável robustez, uma vez que os dois primeiros eixos explicam juntos 82,50% da variabilidade total dos dados (Dim1: 53,1%; Dim2: 29,4%). O eixo horizontal (Dim1) teve a maior parte da variação, onde do lado dos valores positivos se vê os dados de DIN, PT e VOL fortemente

agrupados, com os dois últimos tendo contribuição muito alta; no lado contrário, a riqueza dos macroinvertebrados bentônicos e a clorofila-*a* têm correlação negativa com o volume. Isso indica que o crescimento do volume e nutrientes modifica o ambiente, diminuindo a riqueza de macroinvertebrados bentônicos.

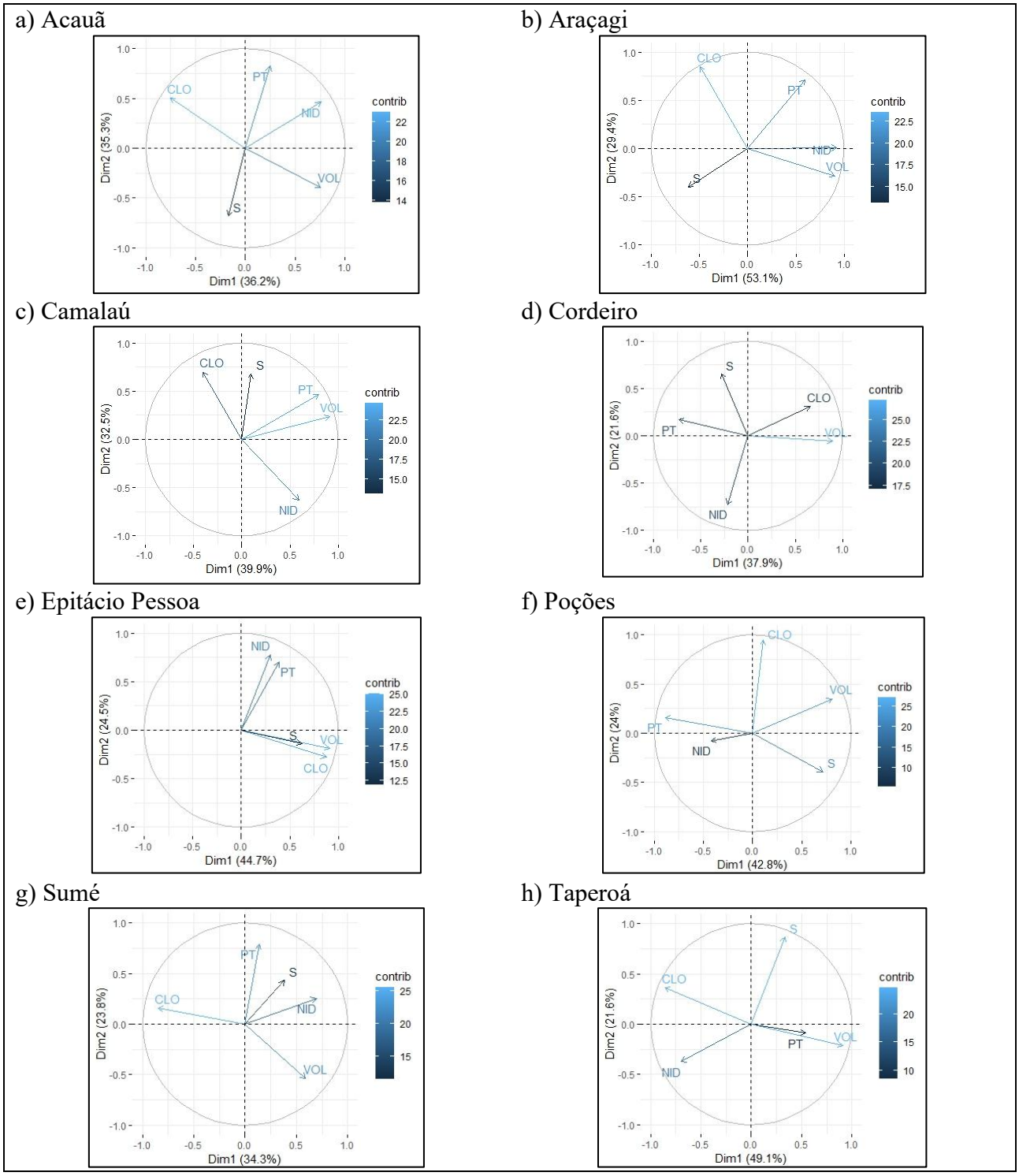


Figura 2 – Gráficos PCAs de indicadores físico-químicos e biológico para as duas primeiras componentes principais nos oito reservatórios do semiárido. Fonte: Autores (2026).

No reservatório Camalaú (Figura 2c), o gráfico da PCA apresentou uma variância total de 72,4% (Dim1: 39,9%; Dim2: 32,5%). O VOL e o PT têm forte correlação e associação do lado positivo da Dim1. Já o NID está em uma direção oposta na vertical (Dim2 negativo). A S e a CLO dividem o topo do gráfico, mas em quadrantes com direções opostas da Dim1.

Na Figura 2d, consta o gráfico da PCA correspondente ao reservatório Cordeiro, que teve variância total de 59,5% (Dim1: 37,9%; Dim2: 21,6%). O conjunto de dados desse reservatório apresentou uma das menores variâncias explicadas, o que pode indicar que existem outras variáveis não medidas influenciando neste ambiente. O VOL e a CLO estão no sentido positivo da Dim1; no lado negativo da Dim1, tem-se o PT. A S e NID dominam o eixo vertical (Dim2) em sentidos opostos,

Para o reservatório Epitácio Pessoa (Figura 2e), o gráfico da PCA apresentou variância total de 69,2% (Dim1: 44,7%; Dim2: 24,5%). O eixo horizontal (Dim1) agrupou fortemente o volume, a clorofila-*a* e S no quadrante inferior direito; O eixo vertical (Dim2) isolou DIN e PT no topo. Observou-se forte correlação positiva entre S, clorofila-*a* e volume. Os nutrientes (DIN e PT) formaram um ângulo reto com o volume, indicando que, no período amostrado, a flutuação dos nutrientes aconteceu de forma independente da resposta da riqueza de macroinvertebrados bentônicos.

Na Figura 2f, foi apresentado o gráfico da PCA para o reservatório Poções, que teve variância total de 66,8% (Dim1: 42,8%; Dim2: 24%). O VOL e a S compartilham o quadrante inferior direito (Dim1 positivo), demonstrando correlação entre si. A CLO está isolada no topo (Dim2 positivo). Na direção oposta da Dim1 (valores negativos), encontram-se o PT e o NID, indicando que maiores valores de volumes se associam a menores teores de fósforo nesse reservatório.

O gráfico da PCA para o reservatório Sumé está apresentado através da Figura 2g, o qual teve variância total de 58,1% (Dim1: 34,3%; Dim2: 23,8%), sendo este outro ambiente com variância moderada. Observou-se um comportamento que indica correlação entre S e NID na Dim1 positiva, enquanto o PT predomina na parte superior da Dim2. O VOL tem direção voltada para o quadrante inferior direito, mostrando-se inversamente correlacionado à CLO, que, por sua vez, está isolada no lado esquerdo. Isso caracteriza a diluição da biomassa algal quando o reservatório tem seu volume aumentado. Dentre todos os gráficos, o vetor de S é o mais curto de todos neste gráfico, sugerindo que esse indicador teve uma pequena contribuição para os dois primeiros eixos em Sumé. O reservatório Sumé é o que possui os menores volumes armazenados ao longo do período estudado.

Por fim, para o reservatório Taperoá, o gráfico da PCA (Figura 2h) teve variância total de 70,7% (Dim1: 49,1%; Dim2: 21,6%). O VOL e o PT estão muito próximos e correlacionados positivamente no lado direito do gráfico (Dim1). No lado contrário (Dim1 negativo), situam-se o NID e a CLO. A

riqueza dos macroinvertebrados bentônicos corre isolada para o topo (Dim2 positivo), mostrando independência dos outros indicadores.

Com base nas análises feitas através dos gráficos da PCA para os oito reservatórios, os conjuntos de dados foram reagrupados com base estritamente na geometria das correlações (Quadro 1). O Grupo A incluiu os reservatórios Poções e Epitácio Pessoa, com forte correlação positiva entre S e VOL. O Grupo B incluiu os reservatórios Araçagi e Taperoá, onde pode-se observar especialmente correlações positivas entre VOL e os nutrientes, em ambos os gráficos da PCA. O Grupo C foi formado pelos reservatórios Acauã e Cordeiro, em que se observou os gráficos com S tendo correlação inversa com os nutrientes. O Grupo D incluiu os reservatórios Camalaú e Sumé, em que o S e CLO apresentaram correlações.

Quadro 1 – Síntese das relações entre os indicadores físico-químicos e biológico.

Reservatórios	Grupos	Principais relações observadas
Poções e Epitácio Pessoa	A	Correlação positiva forte entre S e VOL, mostrando que o aumento de volume beneficia a riqueza dos macroinvertebrados bentônica. No reservatório Poções, observou-se forte correlação inversa desse bloco com PT e NID, já no reservatório Epitácio Pessoa, a CLO também teve correlação com volume, mas positivamente.
Araçagi e Taperoá	B	Correlação positiva e mútua entre VOL e nutrientes (NID para o reservatório Araçagi; PT para o reservatório Taperoá). Em ambos, esse bloco de cheia mostra uma correlação inversa direta com S.
Acauã e Cordeiro	C	Forte oposição no eixo vertical (Dim2) ou horizontal entre S e um nutriente específico, sendo: em Acauã, S possui correlação inversa ao PT; em Cordeiro, oposição direta ocorre entre S e o NID.
Camalaú e Sumé	D	Em Camalaú, observou-se correlação positiva entre CLO e S no topo do gráfico, ao passo que o NID possuiu comportamento isolado. Em Sumé, a CLO apresentou correlação inversa com o VOL, e foi visto uma proximidade entre S e NID.

Fonte: Autores (2026).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da PCA aos dados de indicadores físico-químicos e ambientais dos oito reservatórios do semiárido permitiu revelar relações entre esses indicadores. Os reservatórios Poções e Epitácio Pessoa apresentaram padrões semelhantes, onde se destaca correlação positiva forte entre S e VOL para os dois. Os reservatórios Araçagi e Taperoá também tiveram padrões semelhantes, com correlação positiva e mútua entre VOL e nutrientes. Nos reservatórios Acauã e Cordeiro, ambos demonstraram correlação inversa entre S e os nutrientes. Já no reservatório Camalaú e Sumé, os dados dos indicadores possuíram correlações entre CLO e S, sendo uma positiva e outra negativa, respectivamente. Embora não tenha sido encontrado um padrão de comportamento comum a todos os reservatórios, os quatro padrões encontrados revelam comportamentos que serão objeto de investigação causal nas próximas etapas da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 179013/2024-6) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, processo 88887.276110/2026-00) pelas bolsas de doutorado concedidas. Este estudo foi financiado pelo Programa Integrado de Pesquisa Ecológica de Longo Prazo do Rio Paraíba (PELD-RIPA), por meio do CNPq/CONFAP FAPs/PELD nº 23/2024 (processo 445968/2024-9) e da FAPESQ/PELD nº 23/2024 (auxílio nº 1698/2025), e pelo Fundo de Recursos Hídricos (CT-HIDRO, processo 409348/2022-8), com apoio do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e do (CNPq). CRM agradece ao CNPq e à FACEPE pelo apoio financeiro (APQ-0653-2.05/24; DCR-0021-2.05/24; 303234/2024-5). O estudo é parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Observatório Nacional da Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa (INCT ONSEAdapta).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESA). 2026. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>. Acesso em: 01 jun. 2026.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. DC. p, Washington, 1200p.

ALVIAL, I. E.; ORTH, K.; DURÁN, B. C.; ÁLVAREZ, E. A.; SQUEO, F. A. (2013). *Importance of geochemical factors in determining distribution patterns of aquatic invertebrates in mountain streams south of the Atacama Desert, Chile*. Hydrobiologia, 709:11–25.

BRAGA, G. G. et al. (2015). *Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region*. Acta Limnologica Brasiliensia, v. 27, n. 1, p. 15–23.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF). (2022). *Caderno de caracterização – estado da Paraíba*.

CUBILLA-MONTILLA, M.; CARRASCO, G.; CASTILLO, M. (2025). *Assessment of Water Quality in the Panama Canal Watershed Using Multivariate Analysis of Physicochemical and Biological Parameters.* Water, v. 17, n. 7, p. 979.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. (2017). *Climatologia do Estado da Paraíba.*

FRITZ, H.; GARCÍA-ESCUDERO, L. A.; MAYO-ISCAR, A. (2012). *tclust: An R Package for a Trimming Approach to Cluster Analysis*. Journal of Statistical Software, v. 47, n. 12.

FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J.; BORTOLIN, T. A.; RECH, A.; SCHNEIDER, V. E. (2015). *Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal.* Rev. Ambient. Água, vol. 10, n. 4.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. (2015). *Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação.* E&S -Engineering and Science, v. 5, n. 1.

HUSSON, F.; LE, S.; PAGES, J. (2017). *FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining.* Disponível em: <http://factominer.free.fr/>. Acesso em: 05 jun. 2026.

JOVEM-AZEVÊDO, D. et al. (2019). *Dipteran assemblages as functional indicators of extreme droughts.* Journal of Arid Environments, v. 164, p. 12–22.

KASSAMBARA, A. (2017). *Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses.* Disponível em: <https://www.rdocumentation.org/packages/factoextra/versions/1.0.4?utm_source=chatgpt.com>. Acesso em: 05 jun. 2026.

LEIVA, M.; MARCHESE, M.; DIODATO, L. (2020). *Structure, distribution patterns and ecological responses to hydrological changes in benthic macroinvertebrate assemblages in a regulated semi arid river: baseline for biomonitoring studies.* Marine and Freshwater Research, v. 72, n. 2, p. 200–212, 22 jun.

LORENZEN, C.J. (1967). *Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. Limnol. Oceanogr.* 12, 343–346. https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343.

MACHADO, V.; GRANDA, R.; ENDARA, A. (2018). *Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del Río Sardinas, Chocó Andino Ecuatoriano.* Enfoque UTE, V.9-N.4, Dec.2018, pp. 154 - 167

MEDEIROS, C. R. et al. (2025). *How does the storage volume of semi-arid reservoirs change water quality and modulate the diversity of benthic macroinvertebrates?* Science of The Total Environment, v. 958, p. 177881.

PEDERSEN, T. L. (2007). *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*. R package version 4.0.1. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2>. Acesso em: 05 jun. 2026.

ROCHA, F. C.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B. (2015). *Water quality index calculated from biological, physical and chemical attributes. Environmental Monitoring and Assessment*, v. 187, n. 1, p. 4163.

PROGRAMA DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO – RIO PARAÍBA INTEGRADO (PELD-RIPA). (2021). *Programa PELD.* Disponível em: <https://peldcom.eco.br/sobre-os-pelds/>. Acesso em: 20 mai. 2026.

RODRIGUES JUNIOR, J. C.; TAVARES, D. M. F.; FARIAS, V. E. M.; DE SANTANA, A. C. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; OLIVEIRA, L. M. M.; PAIVA, A. L. R. (2023). *Análise estatística multivariada de variáveis hidrológicas na bacia hidrográfica do rio Pajeú – PE.* Revista Brasileira de Geografia Física v.16, n.6, 3246-3262.

RIBOLI, S. A.; LINDINO, C. A. (2023). *Análise exploratória (PCA E HCA) no monitoramento e rastreabilidade de fontes de água urbana.* Tecnia, v. 8, n. 2, p. 142-157.

QIU, J.; SHEN, Z.; XIE, Hui. (2023). *Drought impacts on hydrology and water quality under climate change. Science of The Total Environment*, v. 858, p. 159854.

SILVA, A. F. (2019). *Avaliação de impacto ambiental em uma agroindústria sucroenergética na zona da mata paraibana.*

VIEIRA, Z. M. C. L. (2008). *Metodologia de análise de conflitos na implantação de medidas da gestão de demanda de água.* p.237. tese (doutorado em recursos naturais) – universidade federal de campina grande, campina grande.

WICKHAM, H. (2015). *Get data out of excel and into R with readxl*. Disponível em: <https://opensource.posit.co/blog/2015-04-15_readxl-0-1-0/?utm_source=chatgpt.com>. Acesso em: 05 jun. 2026.