

XVII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM UM RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO POR MEIO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO.

Gabriel Moiano Cesar¹; Tatiane Medeiros²; Nayara Barreto da Costa³; Aline de Mattos Valerio⁴; Marcela Miranda⁵; Juliana dos Santos Severiano⁶; Felipe Siqueira Pacheco⁷; Jean Ometto⁸ & José Etham de Lucena Barbosa⁹

RESUMO – O açude Epitácio Pessoa, também conhecido como Boqueirão, é crucial para a bacia hidrográfica do rio Paraíba, abastecendo cerca de 700 mil pessoas. Este estudo visa avaliar a qualidade da água do reservatório antes e depois da transposição do rio São Francisco, usando dados de sensoriamento remoto. Imagens dos satélites Sentinel-2 foram analisadas para estimar a concentração de clorofila-*a* e sólidos em suspensão (TSS) nas datas de 16 de maio de 2017 e 24 de julho de 2020. Os resultados mostram um padrão heterogêneo de variação da concentração de clorofila-*a* e uma distribuição mais homogênea de TSS após a transposição, destacando a eficácia do monitoramento remoto na avaliação da qualidade da água em grandes reservatórios.

ABSTRACT– The Epitácio Pessoa reservoir, also known as Boqueirão, is crucial for the Paraíba river basin, providing water to approximately 700,000 people. This study aims to assess the water quality of the reservoir before and after the São Francisco River transposition using remote sensing data. Sentinel-2 satellite images were analyzed to estimate chlorophyll-*a* concentration and total suspended solids (TSS) on May 16, 2017, and July 24, 2020. Results indicate a more complex distribution on chlorophyll-*a* concentration and a more homogeneous distribution of TSS post-transposition, highlighting the effectiveness of remote monitoring in evaluating water quality in large reservoirs.

Palavras-Chave – Epitácio Pessoa Boqueirão, Clorofila-*a*, Totais de Sólidos em Suspensão (TSS).

¹) Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, 12227-010, São José dos Campos, SP. (12)988595379, gabrielmoiano@gmail.com

²) Departamento de Biologia, Universidade Estadual da Paraíba- UEPB, Rua Baraúnas, n.º. 351, Universitário, 58.429-500, Campina, PB. (83)987340905, tatianemedeiros5892@gmail.com

³) Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, 12227-010, São José dos Campos, SP. (82)981708556, nayara.costa@inpe.br

⁴) Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, 12227-010, São José dos Campos, SP. (12)981393973, alinedmv@gmail.com

⁵) Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, 12227-010, São José dos Campos, SP. (32)988448614, marcelaacnmiranda@gmail.com

⁶) Departamento de Biologia, Universidade Estadual da Paraíba- UEPB, Rua Baraúnas, n.º. 351, Universitário, 58.429-500, Campina, (83)996972446, jsantosseveriano@gmail.com

⁷) Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva, Cornell University, Ithaca, Nova York. (32)988499146, felipe.pacheco@cornell.edu

⁸) Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, 12227-010, São José dos Campos, SP. (12) 32087904, jean.ometto@inpe.br

⁹) Departamento de Biologia, Universidade Estadual da Paraíba- UEPB, Rua Baraúnas, n.º. 351, Universitário, 58.429-500, Campina, (83)988222179, ethambarbosa@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O açude Epitácio Pessoa, popularmente conhecido como Boqueirão, é o segundo maior reservatório do estado da Paraíba e configura a mais importante fonte de abastecimento para a região da bacia hidrográfica do rio Paraíba (da Silva Filho et al. 2020). Construído na década de 1950 pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), o reservatório é historicamente abastecido pelos rios Paraíba e Taperoá e, a partir de 2017, devido à severa estiagem, começou a receber as águas da transposição do rio São Francisco (Morais e Barbosa, 2022).

O reservatório é usado principalmente para o abastecimento humano, animal e na agricultura com a irrigação. As estimativas mais atuais mostram que cerca de 700 mil pessoas, moradores das cidades ao seu entorno, utilizam a água desse reservatório, reiterando a importância para o estabelecimento da qualidade de vida da população nessa região (LUCENA, 2018).

Devido ao caráter peculiar da região do semiárido brasileiro com extremos de clima quente e seco, o reservatório é bastante vulnerável às mudanças climáticas e aos impactos antropogênicos (LUCENA, 2018), isso evidencia a necessidade do monitoramento constante da qualidade da água. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é o órgão fiscalizador responsável pelo acompanhamento do estado hidrológico, amparada por diversos outros órgãos das esferas estaduais e municipais (e.g., DNOCS, Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba (CBH Paraíba), Prefeitura de Campina Grande etc.) (ANA, 2024). Nesse caso, o monitoramento da qualidade da água exige amostragens múltiplas que são realizadas da maneira tradicional, que frequentemente são custosas financeiramente, na questão do tempo de análise e na divulgação dos resultados. Uma alternativa para essa questão é o uso de dados de sensoriamento remoto, que possuem uma frequência temporal padronizada com resultados sinópticos (Jensen, 2014). Contudo, esse tipo de informação exige um processo de validação das estimativas medidas de forma remota para o treinamento de algoritmos usados no monitoramento.

Desde o final da década de 1960, com o lançamento da série de satélites Landsat, da *National Aeronautics e Space Administration* (NASA) em conjunto com o *U.S. Geological Survey* (USGS), satélites de média resolução espacial desempenham um papel crucial no monitoramento de lagos e reservatórios devido à sua capacidade de fornecer dados abrangentes com frequência temporal relativamente boa (revisita em 16 dias) (NASA, 2024), atualmente o período de revisitas é menor pois frequentemente as agências espaciais utilizam mais de um satélite com os mesmos sensores, como é o caso da Série Sentinel 2, da *European Space Agency* (ESA) e a constelação de centenas de

satélites PlanetScope, com resolução espacial mais refinada e revisita diária (ESA, 2024a). Esses satélites capturam informações detalhadas sobre a superfície da água, permitindo a detecção de mudanças na qualidade da água, como a concentração de clorofila, sedimentos e outros parâmetros importantes. A acessibilidade e a frequência regular dos dados fornecidos por esses satélites permitem uma análise contínua e econômica, essencial para regiões vulneráveis como o semiárido brasileiro, onde os recursos hídricos são altamente suscetíveis a variações climáticas e impactos antropogênicos. Dessa forma, o uso de satélites de média resolução espacial complementa as técnicas tradicionais de monitoramento, proporcionando uma ferramenta poderosa para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

O objetivo desse trabalho é, com o uso de dados de satélites, observar a qualidade da água do reservatório Epitácio Pessoa antes e depois da transposição do rio São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no reservatório Epitácio Pessoa (coordenadas 07°28'54'' S e 36°08'06'' W), utilizando informações sobre a qualidade da água de antes e depois da transposição do rio São Francisco.

Banco de dados

Os dados de volume, afluência e defluência foram adquiridos através do site da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs, 2024), esses dados foram usados para determinar o período de menor e maior cota na história do reservatório.

Imagens com 3 metros de resolução espacial dos satélites Planet (mosaicos mensais de junho de 2017 e junho de 2020) foram usadas para a produção de arquivos *shapefiles* definindo os limites máximos e mínimos da cota do reservatório.

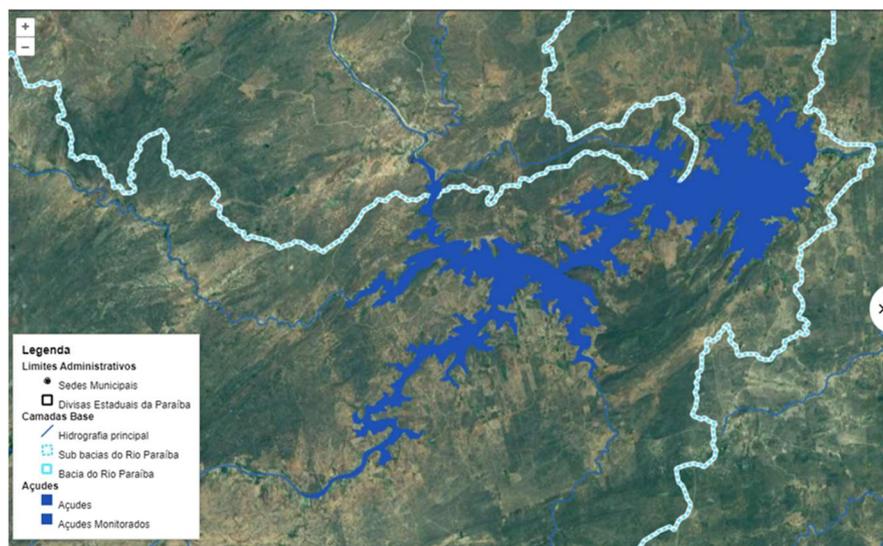


Figura 1 – Área de estudo é o açude Epitácio Pessoa, popularmente conhecido como Boqueirão (PB). Os limites do reservatório variam de acordo com a disponibilidade hídrica e sazonalidade. **Fonte** (SIGPLANO, 2024)

Os dados de sensoriamento remoto utilizados nas estimativas dos parâmetros de qualidade de água são compostos por imagens de satélite de média resolução espacial (10 m) do Sentinel 2 (MSI), disponibilizadas pela Agência Espacial Europeia (ESA) no portal oficial do programa Copernicus (ESA, 2024b), que foram adquiridas em datas antes (16 de maio de 2017) e depois (24 de julho de 2020) da transposição do rio São Francisco. As bandas de refletância de sensoriamento remoto (Rrs) centradas em 490 nm, 560 nm, 665 nm e 842 nm foram usadas para a estimativa da concentração da clorofila- a e da turbidez.

O pigmento clorofila- a , indicativo de eutrofização, acidificação e/ou mudanças na qualidade da água foi estimado utilizando o algoritmo *Chlorophyll Index (CI)*, desenvolvido por Hu et al. (2012), descrito pelo *Ocean Biology Processing Group* (OBPG da Agência espacial norte americana) e indicado pelo *Applied Remote Sensing Training Program* (ARSET) (ARSET, 2023) como a melhor alternativa para o monitoramento de lagos e reservatórios, por meio da seguinte equação:

$$CI = Rrs(\lambda_{green}) - [Rrs(\lambda_{blue}) + (\lambda_{green} - \lambda_{blue}) * (Rrs(\lambda_{red}) - Rrs(\lambda_{blue}))] \quad (1)$$

Onde λ_{green} representa a banda do verde (centrada em 560 nm), λ_{blue} representa a banda do azul (centrada em 490 nm) e λ_{red} representa a banda do vermelho (centrada em 665 nm).

Outro parâmetro importante de qualidade da água é a concentração total de sólidos em suspensão (ou, em inglês *Total Suspended Solids - TSS*), que representa a resistência da água à

passagem da luz causada pelas múltiplas partículas presentes na coluna d'água, que será estimada por meio da equação:

$$TSS = (\log_{10}(\lambda_{NIR})) / (\log_{10}(\lambda_{red})) \quad (2)$$

Onde λ_{NIR} representa a banda do Infravermelho próximo (centrada em 842 nm) e λ_{red} representa a banda do vermelho (centrada em 665 nm). Esse algoritmo é indicado para o monitoramento de águas interiores e foi desenvolvido por meio do banco de dados *GLOBAL Reflectance community dataset for Imaging and optical sensing of Aquatic environments* (GLORIA). Os processamentos e correções dos dados de sensoriamento remoto foram realizados nos *softwares* SNAP e ENVI 5.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados sobre o volume do reservatório Epitácio Pessoa evidenciam o forte período de estiagem ocorrido pela seca no ano de 2017, registrando em março de 2017 o menor valor da série com 3,18% de volume, e em maio de 2020 registrou o maior volume da série com 70,83% do volume, como pode ser observado na figura 2.

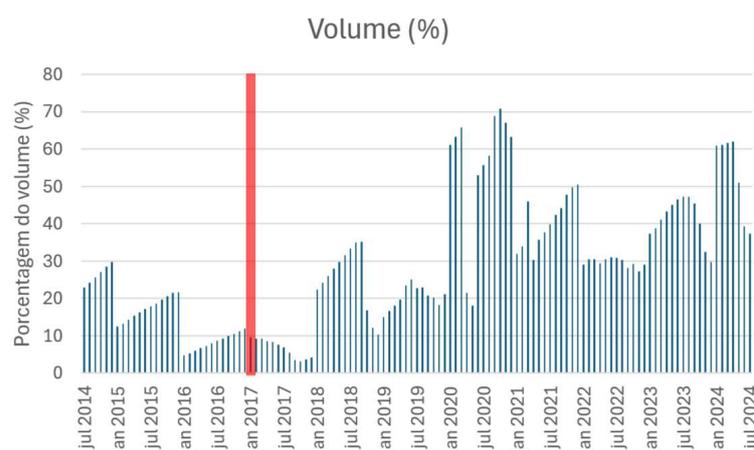


Figura 2 – Porcentagem do volume total do reservatório de dezembro de 2014 até janeiro de 2024, em vermelho a finalização da transposição do rio São Francisco no eixo Leste Nordestino. **Fonte:** AESA, (2024).

O período de seca mais intensa no semiárido brasileiro ocorre entre os meses de junho e dezembro, devido as altas taxas de insolação, combinadas com temperaturas elevadas o regime de chuvas é marcado pela escassez, mas é mais provável de acontecer entre novembro e abril, a região

também é fortemente influenciada por eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (Ribeiro e Santos, 2016). A figura 3 mostra a série temporal da variação entre afluência e defluência no reservatório, mesmo com a finalização da obra do eixo leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) com as bacias hidrográficas do Nordeste em 2017 (Calado, 2020), nota-se que além da pouca variação durante toda a série, os valores de defluência só começam a ser superiores a partir de março de 2019 e em outras poucas ocasiões, seria interessante observar uma série mais longa de dados para a definição de padrões de tendência da razão entre afluência e defluência, principalmente na região do semiárido.

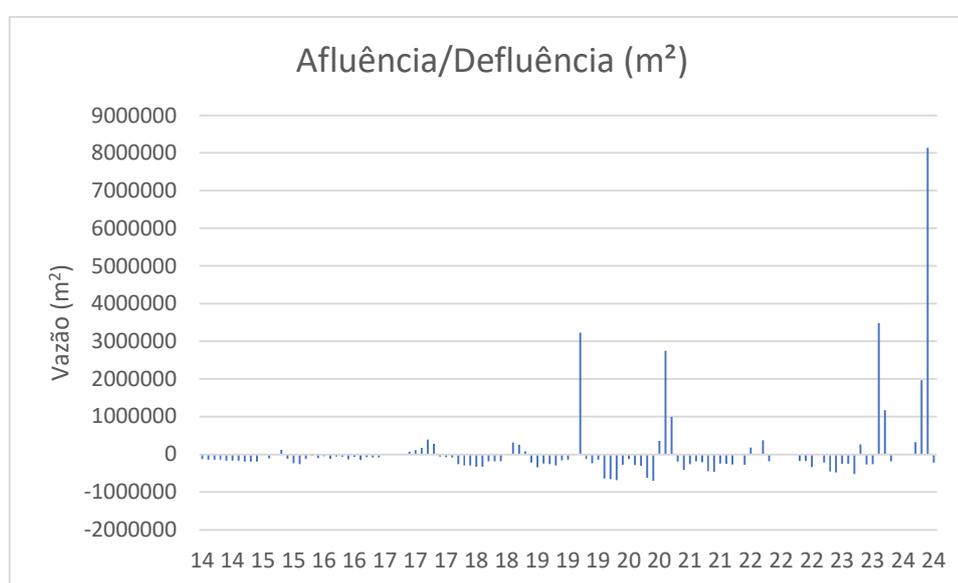


Figura 3 – Variação temporal da razão entre afluência e defluência do reservatório para o período de julho de 2014 até julho de 2024. Fonte: (AESAs, 2024).

A partir dessa notável diferença entre o período pós finalização do PISF, foram selecionadas imagens de satélites de média resolução espacial, sem a influência de nuvens para a aplicação dos algoritmos para a estimativa de concentração de clorofila-*a* (figura 4) e TSS (figura 5).

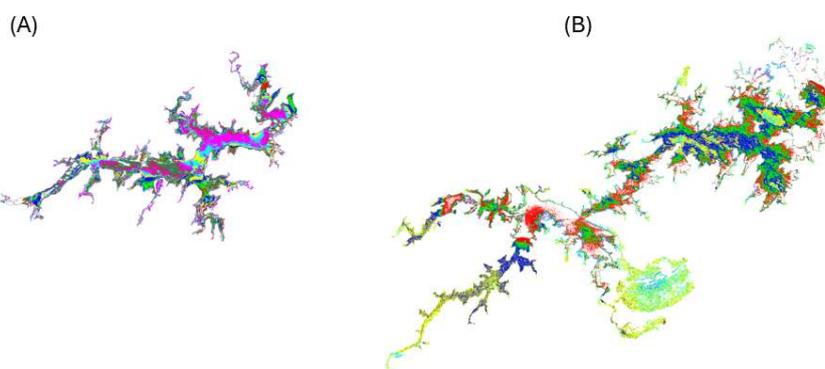


Figura 4 – Distribuição da concentração de clorofila-*a* no reservatório Epitácio Pessoa em 16 de maio de 2017 (A) e em 24 de julho de 2020 (B) derivadas de imagens Sentinel 2, as imagens foram fatiadas em 7 classes de acordo com os valores observador por pixel (10 metros).

Em ambas as ocasiões houve alta variabilidade dos dados estimados, a figura 7A tem 52% da sua área com valores estimados entre 31 e 37 mg m^3 (representado com a cor magenta), caracterizando o reservatório como hipereutrófico de acordo com (Lamparelli, 2004). Nas regiões mais próximas à costa houve maior heterogeneidade entre as classes após a aplicação do fatiamento, que pode ser a consequência do efeito de fundo na imagem de satélite, considerando o período de seca que aconteceu em 2017. A figura 7B tem 59% da sua área com valores estimados entre 1 e 11 mg m^3 (representado com as cores vermelho, verde e azul, na sequência crescente de concentração), caracterizando o reservatório como mesotrófico de acordo com Lamparelli (2004).

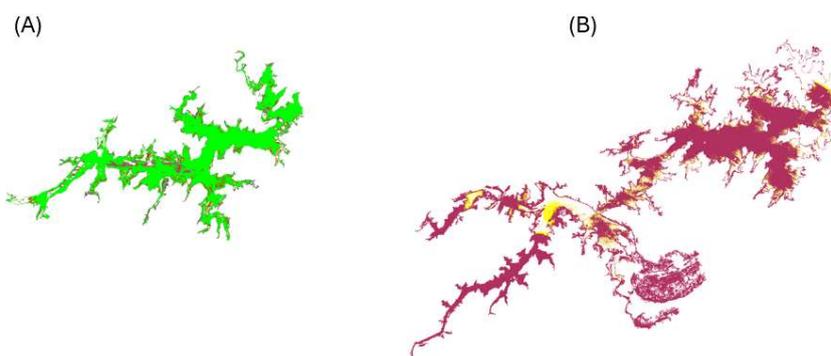


Figura 5 – Distribuição da concentração total de sólidos em suspensão no reservatório Epitácio Pessoa em 16 de maio de 2017 (A) e em 24 de julho de 2020 (B) derivadas de imagens Sentinel 2, as imagens foram fatiadas em 3 classes de acordo com os valores observador por pixel (10 metros).

A estimativa de TSS na figura 5 mostra valores altos tanto em 2017 quanto em 2020, porém com um padrão de distribuição mais homogêneo, no caso da figura 5A a maior parte do reservatório variou entre 29 a 44 mg/l (representado em verde) e a figura 5B mostra valores mais prevalentes entre

a faixa de 18 a 31 mg/l (representado em roxo), o período de seca obteve valores mais altos provavelmente devido a influência do efeito do fundo.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstram a importância e a eficácia do uso de dados de sensoriamento remoto para o monitoramento da qualidade da água em grandes reservatórios como o açude Epitácio Pessoa. Mesmo com a dificuldade de obtenção de imagens livres de nuvens para a região, a análise das imagens dos satélites Sentinel-2 no período de seca e cheia do reservatório revelou uma redução na concentração de clorofila-*a*, com um padrão complexo de distribuição espacial e uma distribuição mais homogênea de TSS após a transposição do rio São Francisco, sugerindo uma melhoria na qualidade da água. Isso reforça a necessidade do uso de imagens de satélite para o monitoramento contínuo e integrado, assim como iniciativas de amostragens *in situ*, para o treinamento de algoritmos regionais mais eficientes para uma região tão vulnerável como o semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS

- AESA. (2024). Agência Executiva de Gestão das águas. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>.
- ANA. (2024). Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). <https://www.gov.br/ana/pt-br>.
- ARSET. (2023). “*Monitoring Water Quality of Inland Lakes using Remote Sensing*”. NASA Applied Remote Sensing Training Program. <http://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/english/Arset-Monitoring-Water-Quality-Inland-Lakes-Using-Remote-Sensing> Ocean Biology Processing Group.
- CALADO, O. DE T. (2020). “*Análise da relação do uso do solo com a qualidade da água do açude Epitácio Pessoa no eixo leste do projeto de integração do rio São Francisco*” [Mestrado]. Universidade Federal de Pernambuco.
- DA SILVA FILHO, E. D., DA SILVA, A. B.; DOS SANTOS, J. S. I. (2020). “*Verificação da qualidade da água do açude Epitácio Pessoa, Boqueirão, PB, Brasil*”. Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente, 8(2).
- ESA. (2024a). Earth online. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope>.
- ESA. (2024). Sentinel Hub. <https://apps.sentinel-hub.com/>.

- HU, C., LEE, Z.; FRANZ, B. (2012). “*Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference*”. Journal of Geophysical Research: Oceans, 117(C1). <https://doi.org/10.1029/2011JC007395>
- JENSEN, J. R. (2014). “*Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*”. Pearson.
- LAMPARELLI, M. C. (2004). “*Graus de trofia em corpos d’água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.*” [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/T.41.2004.tde-20032006-075813>
- LUCENA, D. P. M. (2018). “*Simulações da Implantação de ações de gestão do açude Epitácio Pessoa e seus impactos na crise hídrica em Campina Grande-PB e região*” [Mestrado]. Universidade Federal de Campina Grande.
- MORAIS, A. C. DA S.; BARBOSA, N. F. M. (2022). “*Modelagem de dados volumétricos do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)*”. Research, Society and Development, 11(11), e409111133772. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33772>
- NASA. (2024). Landsat Science. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/>.
- Ribeiro, S. K., & Santos, A. S. (2016). Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.
- SIGPLANO. (2024). Plano Rio Paraíba. <https://www.planorioparaiba.com.br/>.