

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

30 ANOS DE MONITORAMENTO EM TRÊS RESERVATÓRIOS DO BIOMA CERRADO NO DF: COMPORTAMENTO DA CONDUTIVIDADE.

Karina Bassan Rodrigues¹ ; Tarcila Neves Generoso¹, Davi Camargo dos Santo², Ligia Silva Viveiros Gurgel,¹ Eloneide Meneses França Arruda³

Abstract: This study evaluated the evolution of electrical conductivity in three reservoirs of the Cerrado biome, located in the Federal District, over 30 years of monitoring, including the years during which the Federal District experienced a severe drought period. Data were collected at various depths to assess both long-term behavior and the impacts of drought and recovery, considering the specific characteristics of each reservoir. The watersheds of the studied reservoirs exhibit distinct patterns of land use and occupation: one is entirely situated within a fully protected conservation unit, another in an agricultural/urban region, and the third in a heavily urbanized area. This diversity enabled a comprehensive comparative evaluation of anthropogenic and natural effects on the electrical conductivity of the analyzed aquatic systems. The results highlight that conductivity varied significantly among the reservoirs, reflecting the different land use and occupation patterns in their respective watersheds. A progressive increase in conductivity was observed throughout the analyzed period, including in areas with greater environmental protection. Another noteworthy aspect was the rise in conductivity during severe drought periods, even under conditions where no reduction in water level occurred. Following the recovery of storage volumes, the reservoirs maintained elevated conductivity values from the preceding drought period.

Resumo: Este trabalho avaliou a evolução da condutividade elétrica em três reservatórios do bioma Cerrado, no Distrito Federal, ao longo de 30 anos de monitoramento, incluindo os anos em que o Distrito Federal enfrentou um severo período de seca. Os dados foram coletados em diversas profundidades permitindo avaliar tanto o comportamento de longo prazo, como também os impactos da estiagem e de sua recuperação, à luz das características específicas de cada reservatório. As bacias dos mananciais estudados apresentam padrões de uso e ocupação distintos, uma totalmente inserida em uma unidade de conservação de proteção integral, uma em região agrícola/urbana e uma em área fortemente urbanizada. Essa diversidade proporcionou uma avaliação comparativa abrangente dos efeitos antrópicos e naturais sobre a condutividade elétrica dos sistemas aquáticos analisados. Os resultados evidenciam que a condutividade variou significativamente entre os reservatórios, refletindo os diferentes padrões de uso e ocupação do solo em suas respectivas bacias. Observou-se uma tendência de aumento progressivo da condutividade do período analisado, inclusive nas áreas de maior proteção ambiental. Outro aspecto relevante foi a elevação da condutividade nos períodos de estiagem mais severa e em condições em que não houve redução significativa de cota. Após a

1) Analista de Sistemas de Saneamento na Companhia de Saneamento Ambiental do DF, Avenida Sibipiruna, Lotes 13/21, Águas Claras, Brasília-DF, (61) 32147927, karinarodrigues@caesb.df.gov.br, tarcilageneroso@caesb.df.gov.br, ligiaviveiros@caesb.df.gov.br.

2) Estagiário na Companhia de Saneamento Ambiental do DF, Avenida Sibipiruna, Lotes 13/21, Águas Claras, Brasília-DF, (61) 32147927, carolinacsalerno@gmail.com, davicsantos@caesb.df.gov.br.

3) Analista de Sistemas de Saneamento do DF, Gerente de Recursos Hídricos, Avenida Sibipiruna, Lotes 13/21, Águas Claras, Brasília-DF, (61) 32147925, eloneidefranca@caesb.df.gov.br

recuperação do volume de armazenamento, os reservatórios responderam a manutenção dos valores elevados de condutividade do período de estiagem anterior.

Palavras-Chave – Crise hídrica. mudanças climáticas, uso do solo.

INTRODUÇÃO

A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb, possui uma densa rede de monitoramento de qualidade da água dos corpos hídricos do Distrito Federal dos quais é usuária. Além de densa, essa rede possui um longo período de monitoramento, alguns desde a década de 1970.

Um dos parâmetros monitorados por essa rede é a condutividade elétrica, que designa a capacidade de uma substância conduzir eletricidade, e está associada à presença de íons dissolvidos, sendo, portanto, uma medida da concentração iônica no meio (Hem, 1985). Mesmo que não haja um limite estabelecido pela Resolução Conama 357/2005, essa variável é monitorada por sua capacidade de detectar alterações pequenas, principalmente quando se estuda ambientes pouco impactados, como é o caso de Santa Maria, em que a concentração de nutrientes, por exemplo, tende a ficar abaixo do limite de detecção dos métodos (Rodrigues *et al.* 2024).

Sabe-se que mesmo águas pristinas apresentam uma grande variedade de íons, dependendo das características pedológicas e do uso e ocupação da bacia, de modo que é necessário um acompanhamento robusto da condutividade de um corpo hídrico, para compreender a sua condição e avaliar se há stress no meio ou se a variação na condutividade se deve a um comportamento sazonal. Deve-se ter em mente, contudo, que a análise isolada dessa variável não é suficiente para fornecer um panorama completo da qualidade da água, não refletindo, por exemplo, a presença de contaminantes derivados de petróleo.

A condutividade elétrica também é afetada pela temperatura (Barron e Ashton, s.d.), fato que deve ser considerado neste estudo pois as medidas foram feitas *in locu*, indicando o valor real da condutividade daquele ambiente, naquele momento, (Hem, 1985). No entanto, variações mais significativas ou mais persistentes devem ser observadas com atenção, já que podem indicar eventos anormais naquele ambiente (EPA, 2023).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi analisar os dados de condutividade de três reservatórios da região Centro-Oeste do Brasil, pertencentes ao bioma Cerrado, visando acompanhar a evolução ao longo de 34 anos de monitoramento e verificar comportamentos e tendências, conforme o uso das bacias de drenagem.

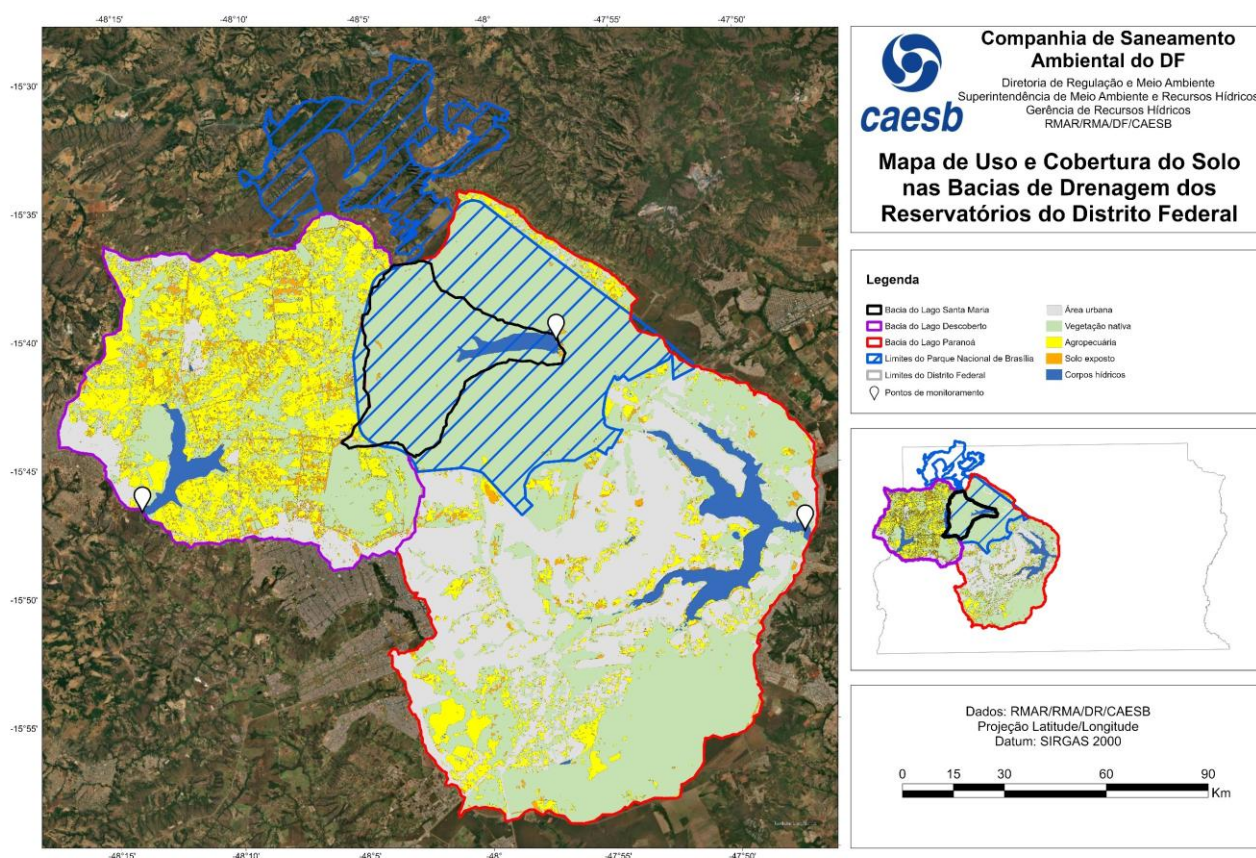
METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo foram selecionados os dados mensais de condutividade elétrica e de cota para cada um dos reservatórios, do período de 1993 a 2025. No caso dos valores de cota, foi utilizado o último dado registrado dentro de cada um dos meses estudados, em cada ano.

Para condutividade foram consideradas as análises realizadas para diferentes profundidades, isto é, no Santa Maria, foram estudados os dados coletados na superfície, 1, 5, 10 metros de profundidade e a 1 metro do fundo. Para o Descoberto, os dados considerados foram coletados na superfície, 1, 5, 10, 15 metros de profundidade e a 1 metro de fundo e finalmente para o Paranoá foram coletados os dados a 1, 5, 10, 15 e 20 metros de profundidade e a 1 metro do fundo.

A Figura 1 ilustra a localização de cada reservatório com sua respectiva bacia de drenagem e o ponto de monitoramento que foram utilizados nesse estudo.

Figura 1 – Localização das bacias dos reservatórios, pontos de monitoramento e usos preponderantes.



As características específicas de cada um dos reservatórios e demais informações estão sumarizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Informações dos reservatórios.

	Paranoá	Santa Maria	Descoberto
Área de drenagem km²	1000,3	105,6	435,2
Área do espelho d'água km²	38,56	7,65	14,9
Profundidade máxima (m)	39	26	15
Profundidade média (m)	12,4	10,8	12
Volume máximo de armazenamento (hm³)	490	84,3	87
Tempo de detenção atual (d)	300	1046	
Cota da soleira do vertedouro	*	1072	1030
Cota (s) de captação (m)	**	1065,25 (desativada) e 1059,25	1025 e 1018
Entrada em operação	1959	1971	1974
Descarga de fundo	Não*	Não	Sim
Vazão remanescente (L/s)	1000	0	
Usos preponderantes	Múltiplos	Abastecimento	Abastecimento
Uso do solo principal	Urbano	Unidade de conservação	Rural e Urbano
Período deste estudo	1993-2025	1993-2025	1995-2025

*Comporta. **Em um dos braços, distante da barragem, flutuante.

Os pontos de monitoramento apresentados na Figura 1 ficam localizados, no caso do Descoberto, próximos ao barramento, no Santa Maria, na tomada d'água e no caso do lago Paranoá, um pouco antes do barramento.

RESULTADOS

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os valores históricos dos níveis dos reservatórios do Distrito Federal, aqui considerados, Santa Maria, Descoberto, Paranoá, respectivamente. Os dados correspondem à cota do final de cada mês. Observa-se que os reservatórios de Santa Maria e Descoberto operam com uma amplitude maior de nível e por serem de uso exclusivo para abastecimento, a Caesb acompanha essa variação. Nestes dois reservatórios os períodos de estiagem foram bem marcados (1996-1997 e 2015-2018). No segundo período de estiagem severa ocorrido em 2015-2018, o lago Santa Maria chegou a 21,6% de seu volume e o Descoberto em 5,3%, as menores cotas históricas registradas, de ambos. Nos dois casos, os reservatórios só verteram novamente em 2019.

O lago Paranoá é um caso à parte, pois sua cota apresenta um rigoroso controle de nível, possuindo, pouca variação. Essa característica é reflexo dos diversos usos existentes no lago, sendo eles compartilhados com clubes, práticas esportivas, diluição de efluentes tratados, paisagismo, geração de energia e a partir de 2017 usado também para captação de água para abastecimento público. Atualmente, a cota de cada dia do ano é definida anualmente pelo Grupo de Acompanhamento instituído pela Resolução Adasa nº 44/2024, formado por diversos usuários (Distrito Federal, 2024). A cota apresenta várias pequenas oscilações principalmente devido à geração de energia.

Figura 2 – Variação de cotas no reservatório Santa Maria.

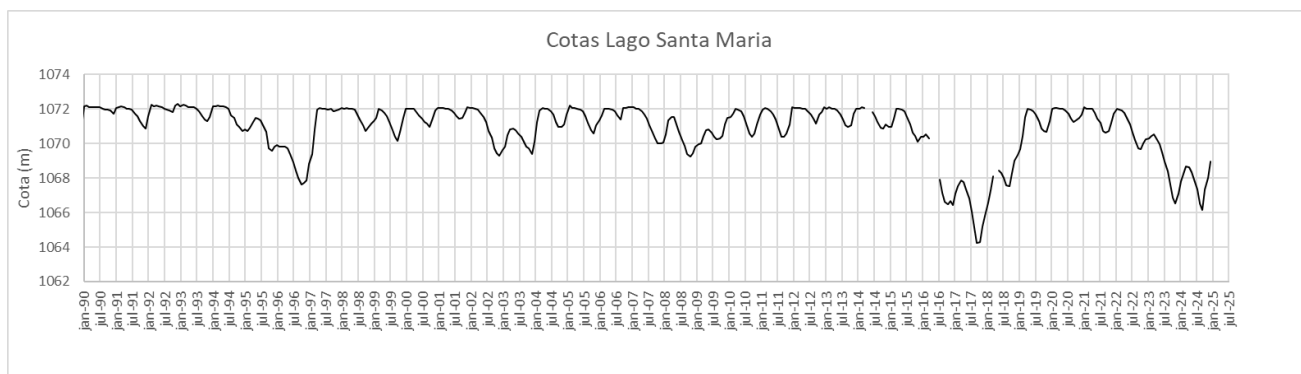


Figura 3 – Variação de cotas no reservatório Descoberto.

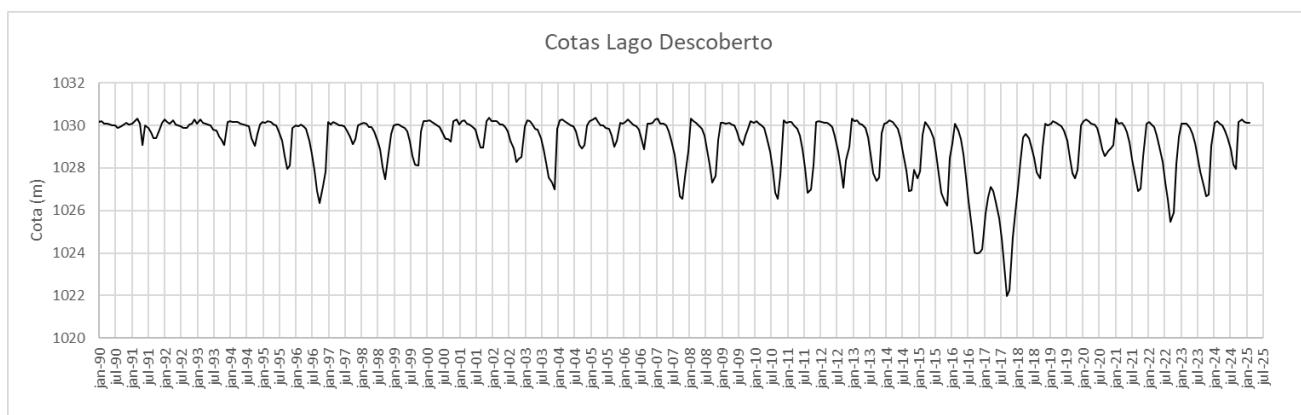
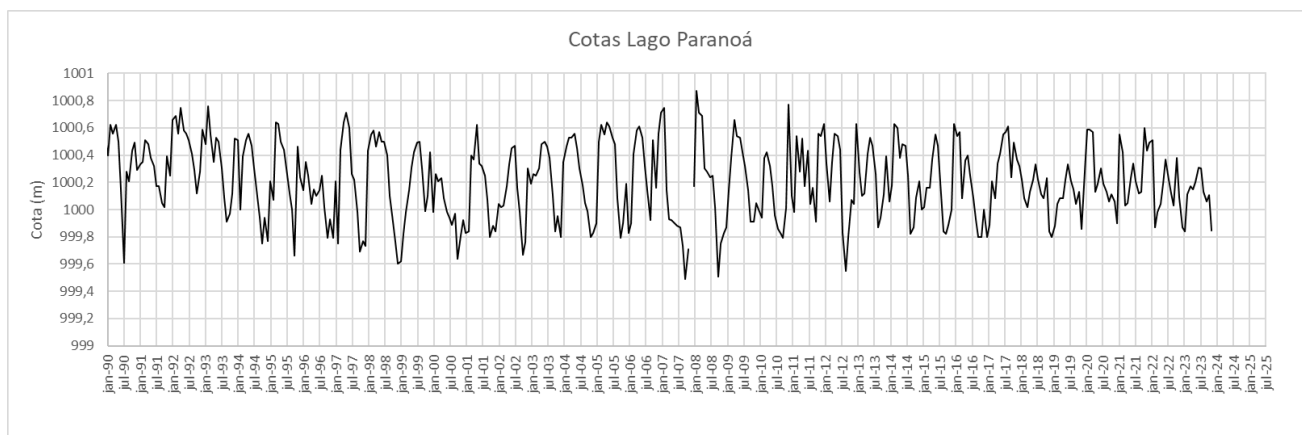


Figura 4 – Variação de cotas no reservatório Paranoá.



Na avaliação dos valores de condutividade elétrica monitorados desde 1990 apresentados nas Figuras 5, 7 e 9 pode-se averiguar o comportamento ao longo dos anos para cada reservatório. Nestes gráficos os dados de *outliers* superiores foram suprimidos pela escala, para melhor visualização do comportamento ao longo dos anos. Nos três reservatórios não se observou uma diferença significativa da condutividade entre as profundidades estudadas. Por esse motivo, os gráficos de caixa (Figuras 6, 8 e 10) foram construídos com os dados de todas as profundidades.

Observa-se que o reservatório de Santa Maria (Figura 2) sofreu uma redução de cota mais evidente durante o segundo período de crise hídrica (2015-2018). Neste período a condutividade apresentou um aumento significativo (Figura 5), embora os valores tenham permanecido baixos. Os valores baixos se justificam pela característica da bacia, que se encontra totalmente incluída (inclusive suas nascentes) dentro de uma unidade de proteção integral, o Parque Nacional de Brasília (PNB). Apesar disso, é interessante perceber que após a recuperação deste reservatório, posterior a estiagem, os valores de condutividade além de não retornaram aos valores anteriores ainda apresentaram um comportamento mais disperso.

Figura 5 – Variação de condutividade no reservatório Santa Maria.

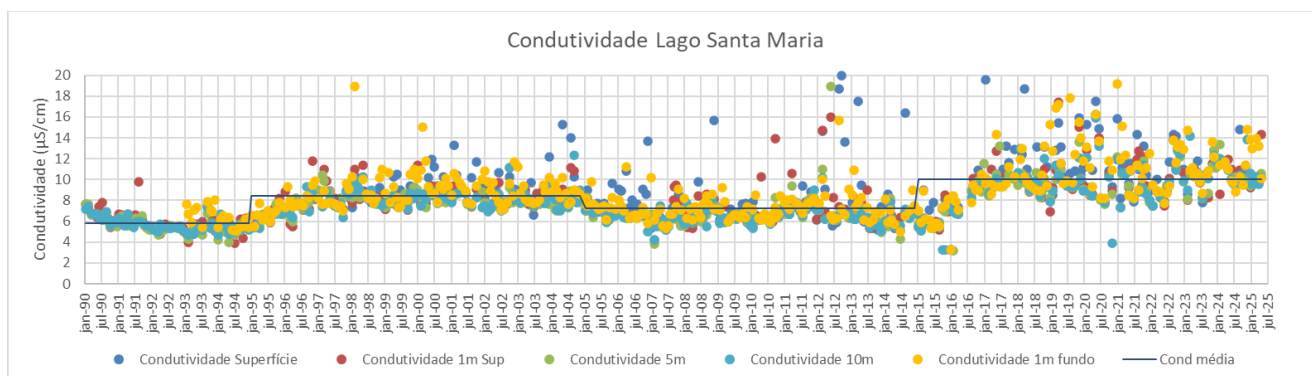
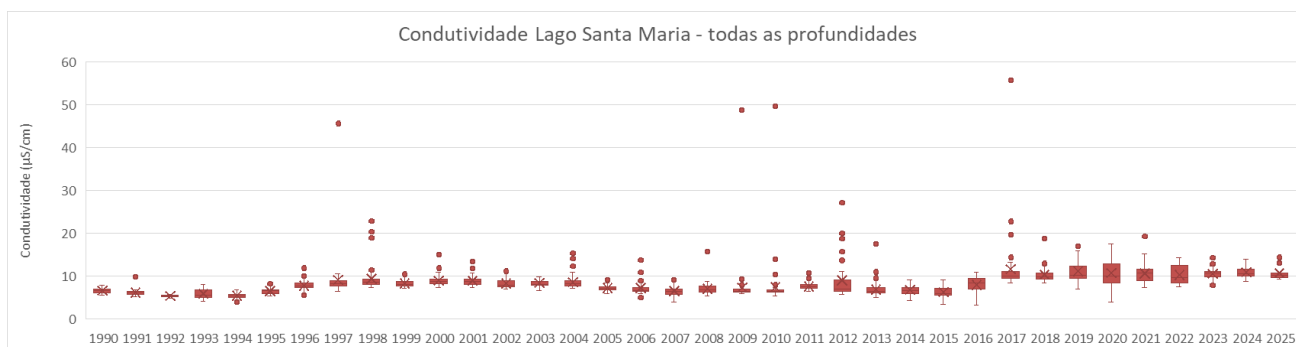


Figura 6 – Gráfico de caixa para a condutividade em todas as profundidades no reservatório Santa Maria.



No reservatório do Descoberto observou-se que a condutividade no início do período monitorado (em torno de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$) apresentava valores muito baixos (Figura 7), quase tanto quanto aos do reservatório de Santa Maria (6 $\mu\text{S}/\text{cm}$) no mesmo período. Porém, no reservatório do Descoberto notou-se uma tendência de aumento ao longo dos anos mais evidente que no Santa Maria, com um primeiro aumento significativo por volta de 1997 e um segundo aumento significativo em 2016. Ambas as datas coincidem com os períodos de estiagem marcantes na região, não havendo uma recuperação dos valores anteriores de condutividade após a recuperação do nível. Pelo contrário, a condutividade permaneceu nos patamares do período de seca.

Figura 7 – Variação de cotas no reservatório Descoberto.

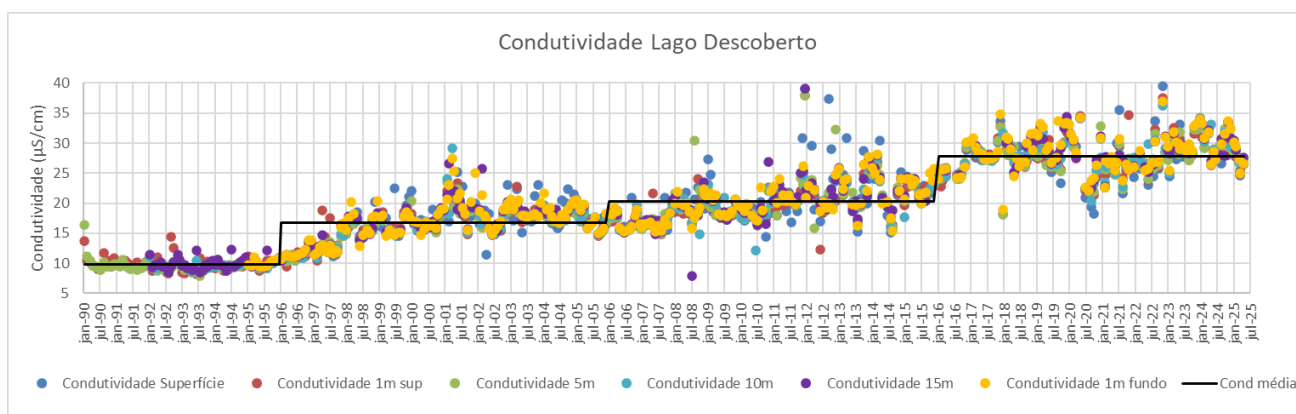
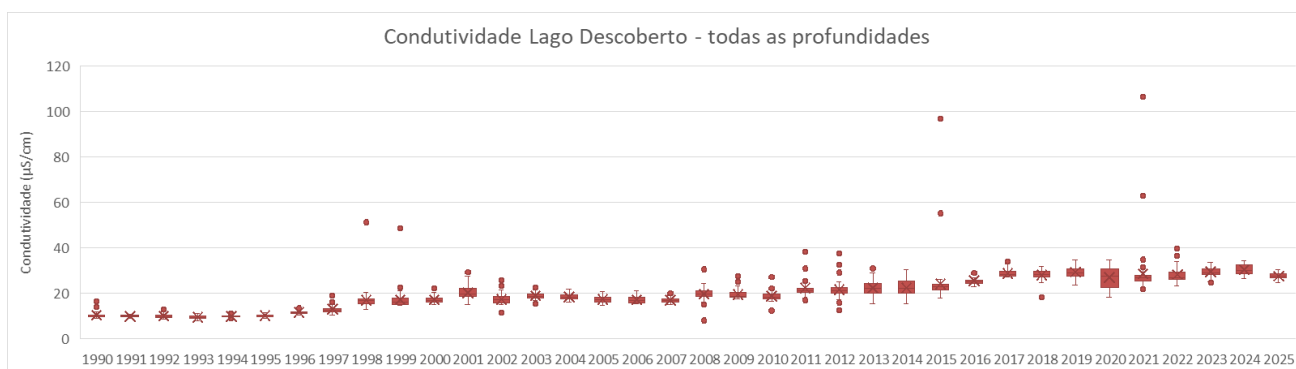


Figura 8 – Gráfico de caixa para a condutividade em todas as profundidades no reservatório Descoberto.



No lago Paranoá, cujos dados de condutividade estão apresentados na Figura 9, é necessário destacar que nos anos 1990 este reservatório ainda estava bastante eutrofizado, como mostra a Figura 11. Neste período, a condutividade apresentava valores na faixa de 40 a 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Com a reforma das estações de tratamento de esgoto (ETE), localizadas nas extremidades norte e sul do lago, houve a implementação do tratamento em nível terciário e aumento da capacidade hidráulica, entrando em

operação em 1994 e 1995. A partir desses anos houve uma diminuição considerável do aporte de nutrientes e de esgoto bruto para dentro deste corpo hídrico.

A melhoria possibilitou a despoluição do lago Paranoá, que hoje é balneável em mais de 90% de sua área. Houve um reflexo extremamente positivo no estado trófico do lago, que passou de um ambiente eutrofizado para uma variação entre oligotrófico a ultraoligotrófico, com mostra a Figura 11. Essa redução significativa do estado trófico foi acompanhada pela redução de outras variáveis de qualidade monitoradas, como nutrientes e clorofila a.

No entanto, considerando a condutividade, nota-se que na área central do lago Paranoá houve uma tendência de aumento ao longo do período estudado, com uma leve estagnação da condutividade nos anos 2000 e um novo aumento no início do período de estiagem de 2015-2018. Este comportamento é interessante, pois a remoção de grande parte da carga orgânica e de nutrientes provenientes de esgoto doméstico para o lago com a instalação das ETEs não teve um reflexo na redução da condutividade. Por se tratar de um reservatório bastante urbanizado, o crescimento das cidades na bacia de drenagem pode ter contribuído para manter e elevar a condutividade continuamente neste lago. Além disso, considerando a tendência de aumento da condutividade mesmo no reservatório mais protegido, esta pode ser uma tendência natural destes corpos hídricos, devendo esse padrão ser melhor investigado.

Figura 9 – Variação de condutividade no reservatório Paranoá.

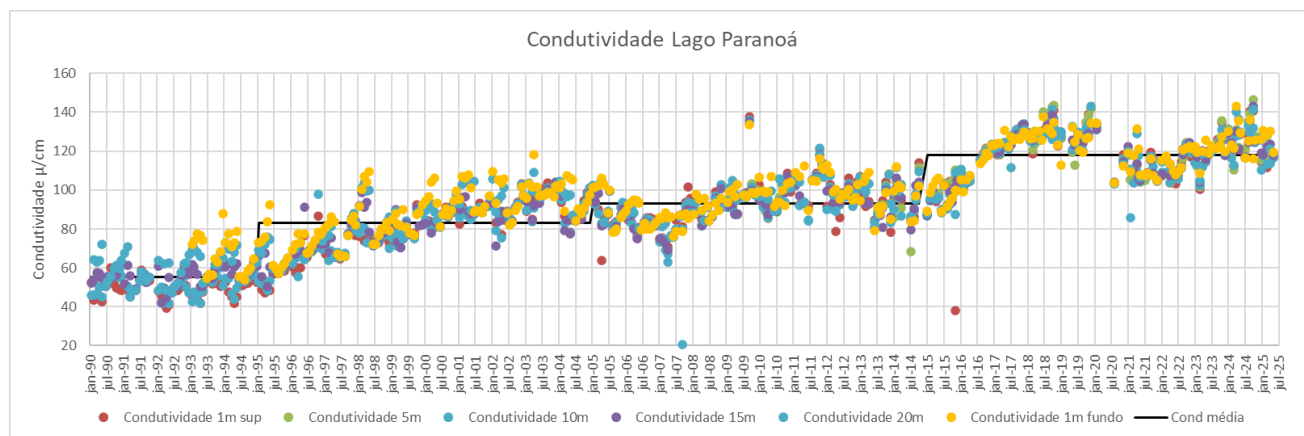


Figura10– Gráfico de caixa para a condutividade em todas as profundidades no reservatório Paranoá.

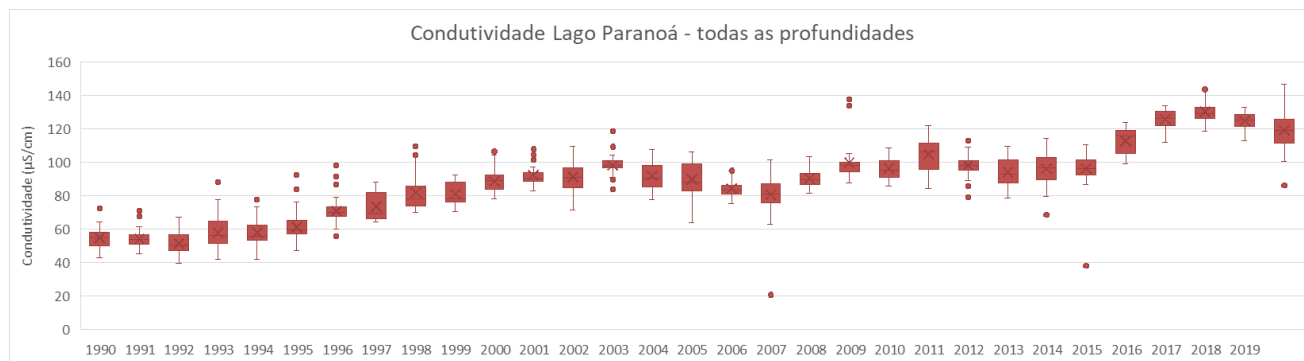
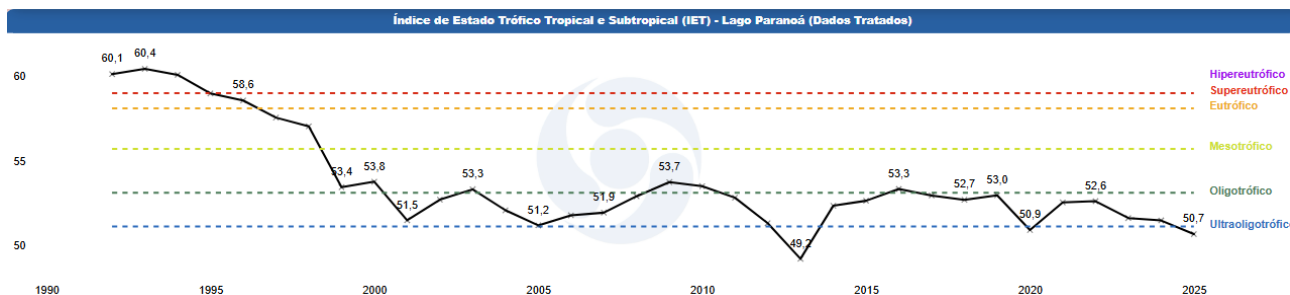


Figura 11 –Índice de Estado Trófico (IET_{TST}) no reservatório Paranoá.



*Calculado com base no trabalho de Cunha *et. al*, 2013.

Analisando conjuntamente os três reservatórios e suas bacias, pode-se perceber que o reservatório Santa Maria, cuja bacia está totalmente inserida em uma área de proteção integral, apresentou valores muito baixos de condutividade. Apesar disso, mesmo estando localizado em ambiente muito protegido, a condutividade apresentou um comportamento que tende a uma elevação, embora bastante suave.

Já o reservatório do Descoberto, cuja bacia há constante desenvolvimento de atividades agrícolas, pecuária e tem uma parcela considerável de área urbana, a condutividade era mais baixa no início do período monitorado, apresentando um aumento mais vigoroso com o desenvolvimento das atividades na região.

No reservatório do Paranoá, caracterizado por estar inserido em uma bacia plenamente urbanizada, observou-se desde o início do período valores mais elevados de condutividade, e uma tendência de aumento ao longo dos anos mais acentuada que as demais regiões estudadas. Este comportamento está de acordo com os achados de Araújo (2017), que concluiu que a maior cobertura de mata implica em menores os valores condutividade elétrica, devido menor aporte de partículas aos corpos hídricos e um ambiente mais antropizado apresenta maior turbidez.

Em todos os reservatórios os períodos de escassez hídrica, com baixa pluviometria, resultaram em um aumento na condutividade que se manteve mesmo após o retorno às condições normais de operação dos reservatórios. Isso ocorreu mesmo no reservatório do Paranoá, que foi o menos impactado pela redução de cota e no reservatório mais protegido, no caso o Santa Maria.

CONCLUSÕES

A condutividade elétrica representa um parâmetro sensível e eficiente para detecção de contaminantes dissociados em sistemas aquáticos, sendo um indicador eficaz de alterações do ambiente, mesmo que mínimas e pontuais, o que é percebido pela dispersão dos dados de curto prazo. Na análise de longo prazo revelou uma tendência crescente dos valores desta variável nas bacias monitoradas, incluindo o reservatório Santa Maria, localizada em uma área de proteção integral. Observou-se que valores de condutividade mais elevados são predominantemente associados a bacias urbanizadas, como a do Paranoá, como era esperado. (Araujo *et al.* 2018), que apresentou os maiores valores e maior taxa de incremento ao longo do período estudado. Na bacia do Descoberto, caracterizada por uma mescla de urbanização e uso agrícola, os valores encontrados foram intermediários, com uma elevação moderada. A bacia do Santa Maria, mais preservada, fez com que este reservatório apresentasse os menores valores de condutividade elétrica e um aumento mais brando.

Após a crise hídrica de 2015-2018, observou-se uma elevação consistente nos valores de condutividade em todas as profundidades e em todos os reservatórios, sem retorno aos patamares

anteriores mesmo após a normalização das condições hídricas. Esse comportamento demanda estudos mais aprofundados para elucidar suas causas e implicações, mas reforça o papel da condutividade como parâmetro para identificar pequenas interferências, como para avaliações de longo prazo relacionadas aos usos da bacia e alterações ambientais contínuas, que podem não aparecer quando se analisa outros parâmetros de caracterização ambiental (Rodrigues *et al.* 2024).

Contudo, é fundamental olhar essa variável com cautela avaliando os demais parâmetros característicos do meio aquático, uma vez que ela não foi capaz de refletir, por exemplo, a redução do estado trófico no lago Paranoá, ocorrida nos anos 1990. Neste período houve a substituição das ETEs de nível secundário pelas ETEs de nível terciário (com remoção de nutrientes) e o aumento da capacidade hidráulica dessas unidades que contribuiu para a remoção do lançamento de esgoto bruto direto no lago, tornando o lago Paranoá balneável em mais de 90% da sua área. Os benefícios dessas ações trouxeram um reflexo extremamente positivo no estado trófico do lago, passando de eutrofizado para oligotrófico/ultraoligotrófico. Portanto, mesmo com o aumento da condutividade, houve uma melhoria ambiental significativa da qualidade ambiental deste corpo hídrico.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, P.L. (2017). *A Relação Entre O Uso Do Solo E A Qualidade Da Água Em Microbacias Hidrográficas No Reservatório Billings, Na Grande São Paulo – Sp*. Dissertação. UFABC, p.73.
- ARAUJO, P.L.; HAMBURGER, D.S.; DE JESUS, T.A.; BENASSI, R.F.; DE CICCIO, V. (2018). “*Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo – SP*”. Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 15, e2, doi: 10.21168/REGA. v15e2.
- BARRON, J.; ASHTON, C. (2025). *The Effect of Temperature on Conductivity Measurement – A Reagecon Technical Paper*. Disponível em: <https://sitefiles.camlab.co.uk/Tech_papers/TempCondMeas.pdf>. Acesso em: 6 jan 2025.
- BRASIL. 2005. *Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005*. Diário Oficial da União (da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. p. 58.
- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M. do C.; LAMPARELLI, M.C. (2013). “*A Trophic State Index for Tropical/subtropical Reservoirs (TSI_{tsr})*”. Ecological Engineering, v. 60, p. 126-134.
- DE SOUSA DN, MOZETO AA, CARNEIRO RL, FADINI PS. (2014). “*Electrical conductivity and emerging contaminant as markers of surface freshwater contamination by wastewater*”. Sci Total Environ. Jun 15;484:19-26. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.02.135. Epub 2014 Mar 28. PMID: 24686141.
- Environmental Protection Agency (EPA), 2023. Indicators: Conductivity. Disponível em: <<https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-conductivity>>. Acesso em: 6 jan 2025.
- HEM, J. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. 3 ed .U.S. Geological Survey. Reston-VA, 263p.

RODRIGUES, K.B., GENEROSO, T.N., SALERNO, C.C.F., GURGEL, L.S.V. AND ARRUDA, E.M.F. (2024). *“Assessment of water quality parameters associated to eutrophication and water level changes in the Santa Maria Reservoir, Distrito Federal, Brazil”* in proceedings of IWA 17th SWWS and 9thROS, Curitiba, Brazil, 2024.

AGRADECIMENTOS Agradecemos a todas as equipes de campo da Caesb, bem como ao time de laboratório que, com maestria, cuidado e precisão, geraram os dados apresentados neste trabalho.