



## UTILIZAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL PARA ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS E DA TURBIDEZ DA ÁGUA DO LAGO PARANOÁ

**Victor Alexsander Oliveira Silva<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade de Brasília (UnB), bolsista de iniciação científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), membro do projeto “Modelagem da dinâmica ambiental em bacias hidrográficas como subsídio à implantação de ações de saneamento básico e de gestão ambiental do território” da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal e estagiário do Núcleo de Geoprocessamento do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (SLU/DF).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Módulo D, 48/A – Estância Planaltina - Planaltina – Distrito Federal - CEP: 73401-312 - Brasil - Tel: +55 (61) 98305-7025 - e-mail: v.alexsanderos@gmail.com.

### RESUMO

O monitoramento de parâmetros de qualidade da água é indispensável para uma boa gestão de recursos hídricos. Tradicionalmente, o monitoramento é realizado por meio de amostragem *in situ* seguida de análise laboratorial das amostras coletadas. Entretanto, esse método não possibilita análise temporal nem espacial, além de ser oneroso. Nesse sentido, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto consiste em alternativas para o monitoramento, possibilitando a análise espacial e temporal dos parâmetros de qualidade. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a utilização de imagens do sensor orbital *Landsat8* convertidas em radiância no topo da atmosfera para estimativa da concentração de sólidos dissolvidos totais e de turbidez da água superficial do Lago Paranoá, localizado em Brasília – DF.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto, qualidade da água, *Landsat 8*.

### INTRODUÇÃO

No âmbito do saneamento ambiental, o conceito de qualidade da água é muito amplo, extrapolando a caracterização da água por sua fórmula molecular ( $H_2O$ ), pois as propriedades de solvente e de transporte de partículas pertencentes à água implicam na incorporação de impurezas, as quais indicam sua qualidade (Von Sperling, 2005).

Qualidade da água é uma descrição genérica dada a propriedades da água em termos físicos, químicos, térmicos e/ou características biológicas. É difícil definir um padrão de qualidade da água que abranja a todos os seus múltiplos usos e às necessidades de seus usuários utilizando um mesmo conjunto de parâmetros, uma vez que sua definição depende do uso a qual será destinada. Por exemplo, parâmetros físicos, químicos e biológicos que indicam que a água é adequada para o consumo humano podem diferir dos indicadores de uma água considerada apropriada para irrigação de lavouras (Ritchie, Zimba, & Everitt, 2003).

As propriedades físicas, químicas e biológicas de águas superficiais podem ser afetadas pelo lançamento de materiais nos corpos hídricos por fontes pontuais e/ou não-pontuais. As fontes pontuais podem ser facilmente identificadas, por se tratarem de uma única fonte, como, por exemplo, uma tubulação. Já as fontes não-pontuais não são identificadas com facilidade, por serem difusas e são relacionadas à ocupação do solo e às águas pluviais (Ritchie et al., 2003).

O monitoramento e a avaliação da qualidade das águas superficiais são de extrema importância para a gestão de recursos hídricos. Atualmente, isso é embasado na coleta de amostras *in situ* seguida de análise laboratorial. Entretanto, esta coleta de amostras possui elevado custo financeiro, que não envolve somente a retirada de amostras de água do reservatório, mas toda a logística do processo (coleta, armazenamento e transporte das amostras). Além disso, embora essas medidas sejam acuradas para análises pontuais, não fornecem uma visão temporal ou espacial da qualidade da água, que é imprescindível para a avaliação desta (Cunha & Calijuri, 2010; Ritchie et al., 2003).

Nesse sentido, este trabalho objetiva avaliar a utilização de técnicas de sensoriamento remoto como alternativa para estimar parâmetros de qualidade da água de um reservatório de águas superficiais, o Lago Paranoá, em Brasília – DF, proporcionando análise espacial e temporal dos parâmetros selecionados.

O termo sensoriamento remoto consiste na aquisição de informações sobre um objeto sem que haja contato físico entre o objeto e o sensor. Recentemente, a expressão sensoriamento remoto tem sido utilizada, principalmente, para remeter à obtenção e análise de dados provenientes de satélites orbitais, que medem a interação dos objetos com ondas de radiação eletromagnéticas e cujas principais vantagens consistem na ampla



visualização de vastas áreas e na possibilidade de representação de faixas não-visíveis do espectro eletromagnético (Jain & Singh, 2003).

O presente trabalho teve como área de estudo o Lago Paranoá, lago urbano artificial localizado em Brasília – DF, construído em 1959, a partir do represamento de águas do Riacho Fundo e do Ribeirão do Gama, ao Sul e do Ribeirão do Torto e do Córrego do Bananal, ao Norte, visando propiciar a recreação e o paisagismo (Machado & Baptista, 2016).

Por ser corpo receptor de efluentes das duas estações de tratamento de esgotos (ETEs) de Brasília, o Lago Paranoá passou por um processo de eutrofização, que teve o seu ápice em 1978, resultando em um considerável impacto ambiental, pela perda da qualidade de suas águas e impossibilidade parcial do objetivo do seu represamento. Todavia, as ações empreendidas para a recuperação da qualidade das águas do Lago Paranoá acarretaram a melhoria na remoção de nutrientes do tratamento das ETEs que o têm como corpo receptor (Pinto, Cavalcanti, & Ludovice, 1998).

Em outubro de 2017, com a inauguração da Estação de Tratamento Emergencial do Lago Norte, o Lago Paranoá passou a ser utilizado como manancial para abastecimento urbano, medida que visou a redução dos impactos da crise hídrica enfrentada pelo Distrito Federal (Lacerda, 2017).

Portanto, em função dos usos múltiplos do Lago Paranoá, o constante monitoramento e a avaliação da qualidade da água fazem-se necessários e, para este fim os algoritmos de processamento de imagens de sensoriamento remoto apresentam-se como uma alternativa.

## **OBJETIVO**

Este trabalho objetiva correlacionar dados de resposta espectral obtidos pelo satélite orbital *Landsat 8* e com dois parâmetros de qualidade da água, a saber: o teor de sólidos dissolvidos totais e a turbidez, ambos medidos em análises laboratoriais de amostras coletadas *in situ*.

## **MATERIAIS E METODOLOGIA UTILIZADA**

- Seleção dos parâmetros para análise

Segundo Von Sperling (2005), todas as substâncias lançadas nos corpos hídricos que podem alterar a sua qualidade, à exceção de gases dissolvidos, contribuem para o teor de sólidos dissolvidos. Por isso, antes da análise dos diversos parâmetros de qualidade, os sólidos presentes são analisados separadamente.

Sabe-se que concentrações de sólidos na água afetam a resposta espectral da superfície da água (Jain & Singh, 2003; Pavelsky & Smith, 2009; Ritchie et al., 2003). Por isso, um dos parâmetros de qualidade da água selecionados foi a concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT).

O segundo parâmetro selecionado foi a turbidez, que, segundo Von Sperling (2005), representa o nível de interferência que a água exerce em um feixe de luz que a atravessa, concedendo aparência turva à água. Desse modo, a presença de turbidez também interfere na resposta da superfície da água a uma faixa do espectro eletromagnético e, por esse motivo, esse foi o outro parâmetro selecionado.

- Pontos de coleta de amostras

Foram selecionados locais para coleta das amostras *in situ* em cada um dos braços do Lago Paranoá, além de um ponto na área central, próximo à barragem. O braço do Riacho Fundo recebeu dois pontos de coleta de amostras, visto que, em função da alta carga orgânica proveniente dos esgotos da região mais populosa do DF lançados no Lago Paranoá, a qualidade deste braço é prejudicada. A Figura 1 apresenta a localização dos pontos de coleta utilizados.

- Análise laboratorial das amostras coletadas

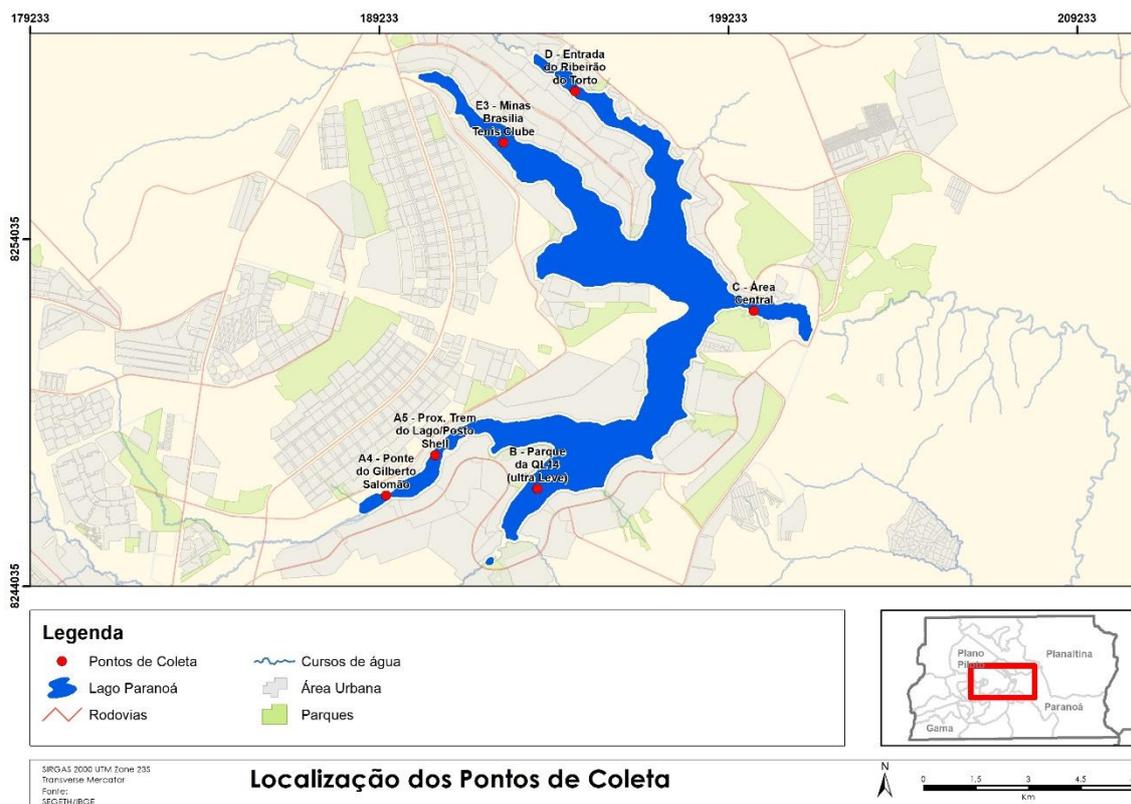


Figura 1: Localização dos pontos de coleta de amostras *in situ*.

- Seleção e tratamento das imagens

Para a realização deste estudo, foram utilizadas imagens do sensor orbital *Landsat 8 (LS8)*, satélite orbital desenvolvido em uma parceria entre a Agência Espacial Norte-Americana (*National Aeronautics and Space Administration – NASA*) e o Serviço geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS*) e que foi lançado em fevereiro de 2013 (USGS, 2013). A tabela 1 apresenta as faixas de comprimentos de ondas de cada uma das bandas do LS8, bem como a sua resolução espacial.

**Tabela 1: Faixas de comprimentos de onda e resoluções espaciais para cada banda do LS8. Fonte: (Barsi, Lee, Kvaran, Markham, & Pedelty, 2014)**

Bandas	Comprimento de ondas ( $\mu\text{m}$ )	Resolução (m)
Banda 1 – Ultra azul	0.435 - 0.451	30
Banda 2 – Azul	0.452 - 0.512	30
Banda 3 – Verde	0.533 - 0.590	30
Banda 4 – Vermelho	0.636 - 0.673	30
Banda 5 – Infravermelho próximo	0.851 - 0.879	30
Banda 6 – Infravermelho de onda curta (SWIR) 1	1.566 - 1.651	30
Banda 7 – Infravermelho de onda curta (SWIR) 2	2.107 - 2.294	30
Banda 8 – Pancromática	0.503 - 0.676	15
Banda 9 – <i>Cirrus</i>	1.363 - 1.384	30
Banda 10 – Infravermelho Termal (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Banda 11 – Infravermelho Termal (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Neste estudo foram utilizadas as bandas 1 a 6 do LS8. As bandas 2, 3 e 4 foram utilizadas por se tratarem do espectro visível. Já as bandas 1, 5 e 6 foram utilizadas para verificação correlação com faixas fora do espectro visível.



Foram selecionadas imagens do sensor obtidas no mesmo dia das coletas de amostras *in situ* utilizadas na correlação. As coletas foram realizadas no dia 29/07/2013 e 18/09/2014, ambas na estação seca do Distrito Federal, buscando evitar a interferência de nuvens.

Realizou-se a conversão das imagens de níveis de cinza para reflectância no topo da atmosfera (TOA) por meio da equação 1 abaixo.

$$\rho\lambda' = M\rho * Q_{cal} + A\rho \quad (\text{eq. 1})$$

onde:

$\rho\lambda'$  = Reflectância TOA, sem correção do ângulo solar

$M\rho$  = Fator multiplicativo de escala para reflectância

$A\rho$  = Fator aditivo de escala para reflectância

- Coleta e ajuste dos dados

Para coleta dos dados, foi utilizado um software capaz de lidar com Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os locais de coleta de amostras *in situ* foram georreferenciados com o auxílio de um aparelho de GPS e mapeados no software. Em seguida, coletou-se o valor de reflectância do pixel correspondente ao ponto de coleta e dos oito pixels ao seu redor, totalizando 9 valores de reflectância para cada ponto e se calculou a média desses valores para cada um dos pontos. O procedimento foi repetido para cada uma das bandas estudadas.

A partir das médias e dos dados obtidos nas análises laboratoriais das amostras coletadas, foram realizadas regressões lineares e curvilíneas e estas foram analisadas, visando a melhor representatividade dos dados obtidos *in situ* e selecionou-se os melhores ajustes, com base no valor de  $R^2$ , de modo que os ajustes com maior valor de  $R^2$  foram selecionados.

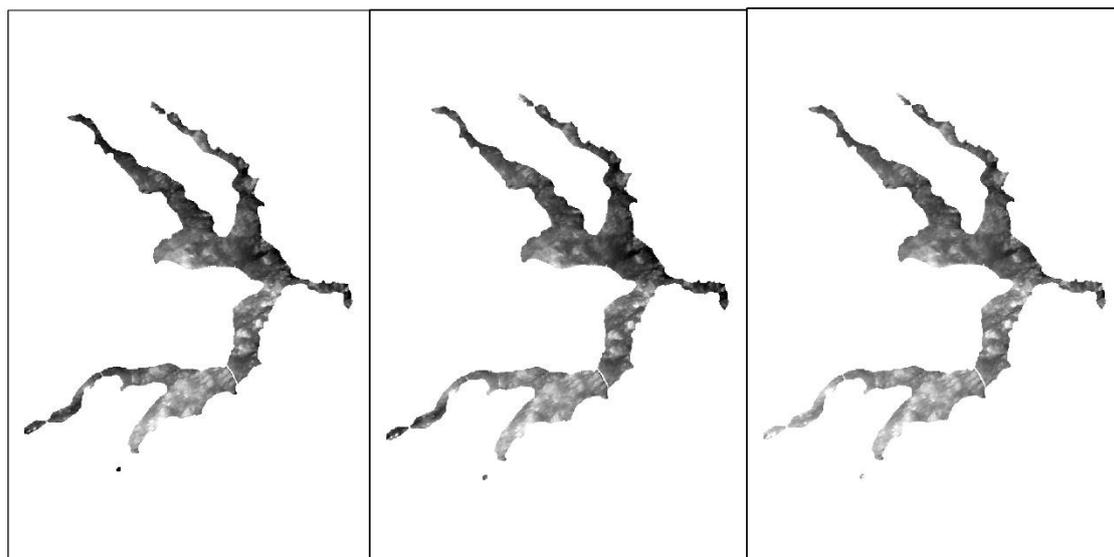
- Estimativa dos parâmetros

A partir das equações produzidas nos ajustes dos dados, realizou-se a estimativa dos parâmetros, espacializando os dados pontuais, através de recursos de SIG.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Imagens de 18 de setembro de 2014

Foram obtidas as imagens com dados de reflectância para cada uma das seis bandas analisadas. Entretanto, foi não foi possível progredir com a análise dos dados das imagens de 2014, uma vez que estes sofreram interferência atmosférica. A Figura 2 mostra as imagens de radiância obtidas através da conversão das imagens das bandas do espectro visível (bandas 2, 3 e 4) do LS8 adquiridas em 18 de setembro de 2014. As manchas brancas que podem ser observadas consistem em nuvens.



(a) Banda 2

(b) Banda 3

(c) Banda 4

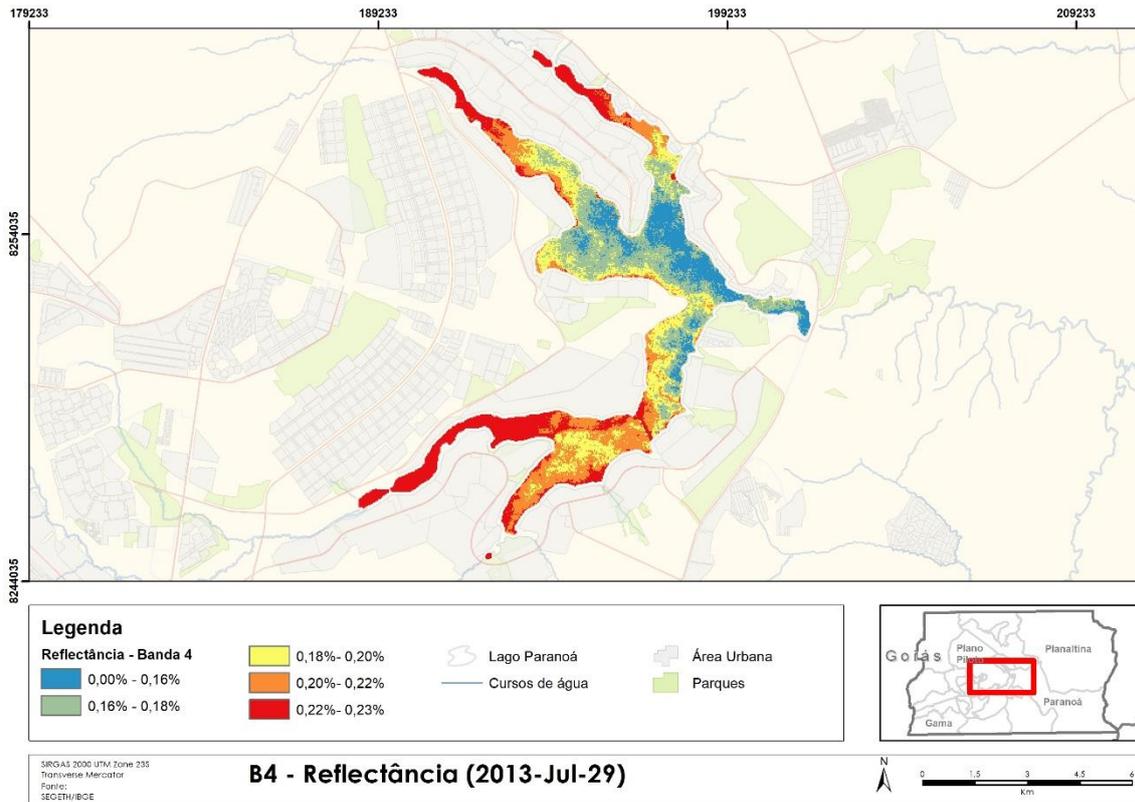


**Figura 2: Interferências atmosféricas observadas nas bandas do espectro visível das imagens de 2014.**

A utilização de sensoriamento remoto para monitoramento de qualidade da água possui vantagens, visto que possibilita a análise temporal e espacial dos parâmetros, entretanto, também enfrenta dificuldades, como observado na Figura 2, pois interferências atmosféricas e presença de nuvens consistiram no maior obstáculo para a realização deste estudo, visto que a quantidade de imagens obtidas em dias de coleta e sem interferências é muito pequena mesmo na estação seca.

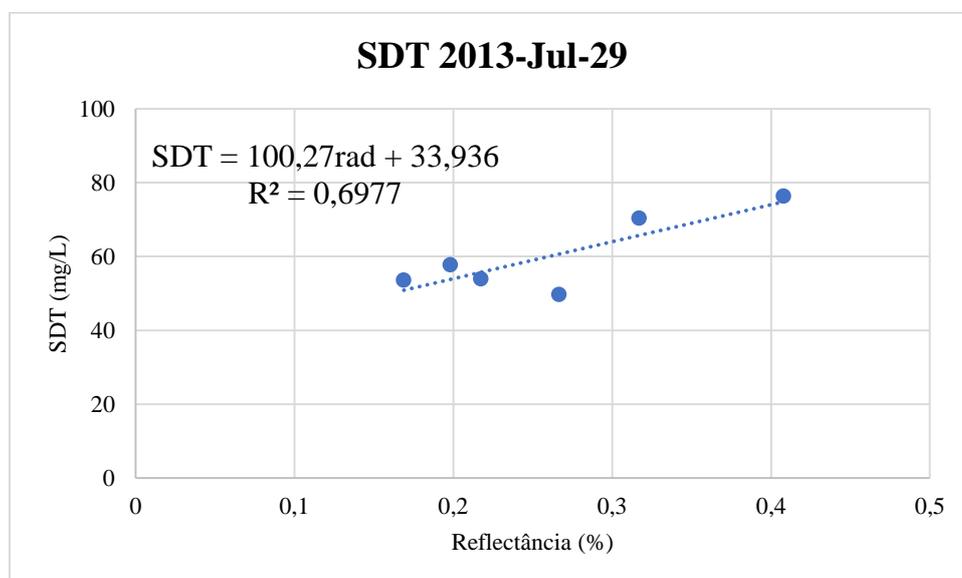
- Imagens de 29 de julho de 2013

Foram obtidas imagens de reflectância para cada uma das seis bandas do LS8 analisadas. A Figura 33 apresenta, como exemplo, uma das imagens obtidas, correspondente à banda 4 do LS8.

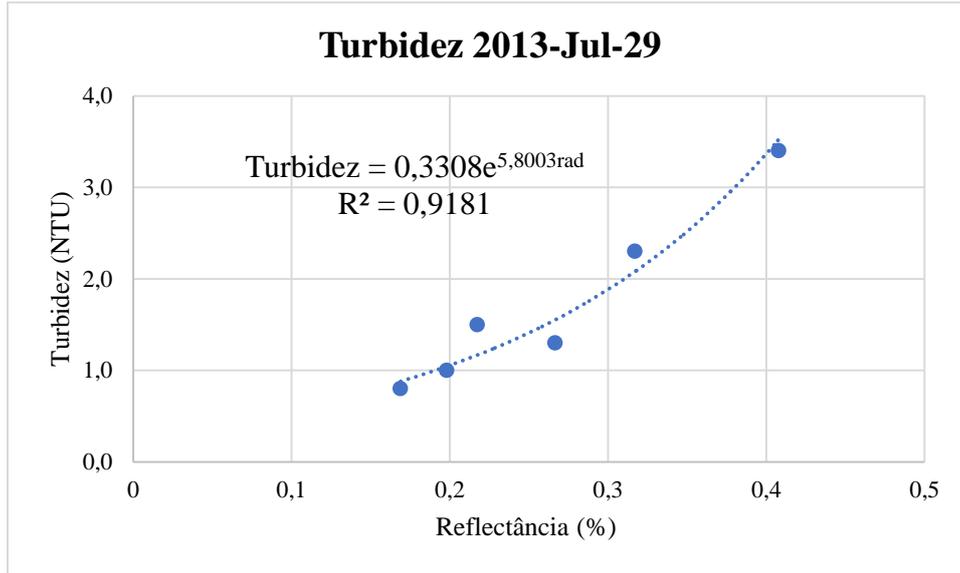


**Figura 3: Imagem de reflectância obtida para a coleta de 29 de julho de 2013.**

Após coleta dos dados de reflectância de todas as bandas analisadas e do ajuste dos mesmos, verificou-se que a banda 4 do LS8, que corresponde ao vermelho do espectro visível e compreendida na faixa de comprimentos de ondas de 0,636 a 0,673 micrômetros apresentou a melhor correlação tanto para a concentração de SDT, quanto para a turbidez. Os ajustes realizados apresentaram  $R^2$  de 0,6977 e de 0,9181 para o teor de SDT (ajuste linear) e turbidez (ajuste exponencial), respectivamente. A Figura 44 apresenta o ajuste realizado para o teor de SDT, enquanto a Figura 55 mostra o ajuste dos dados de turbidez.

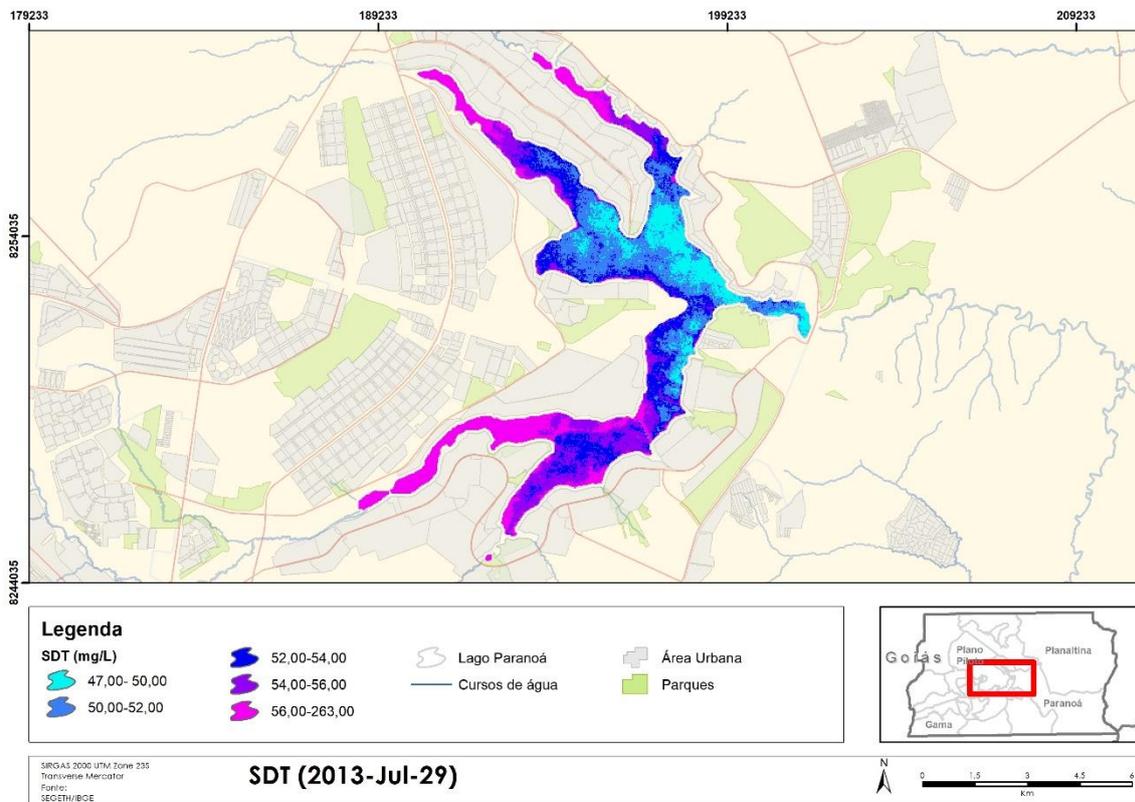


**Figura 4: Ajuste dos dados de SDT obtidos *in situ* em relação à reflectância.**

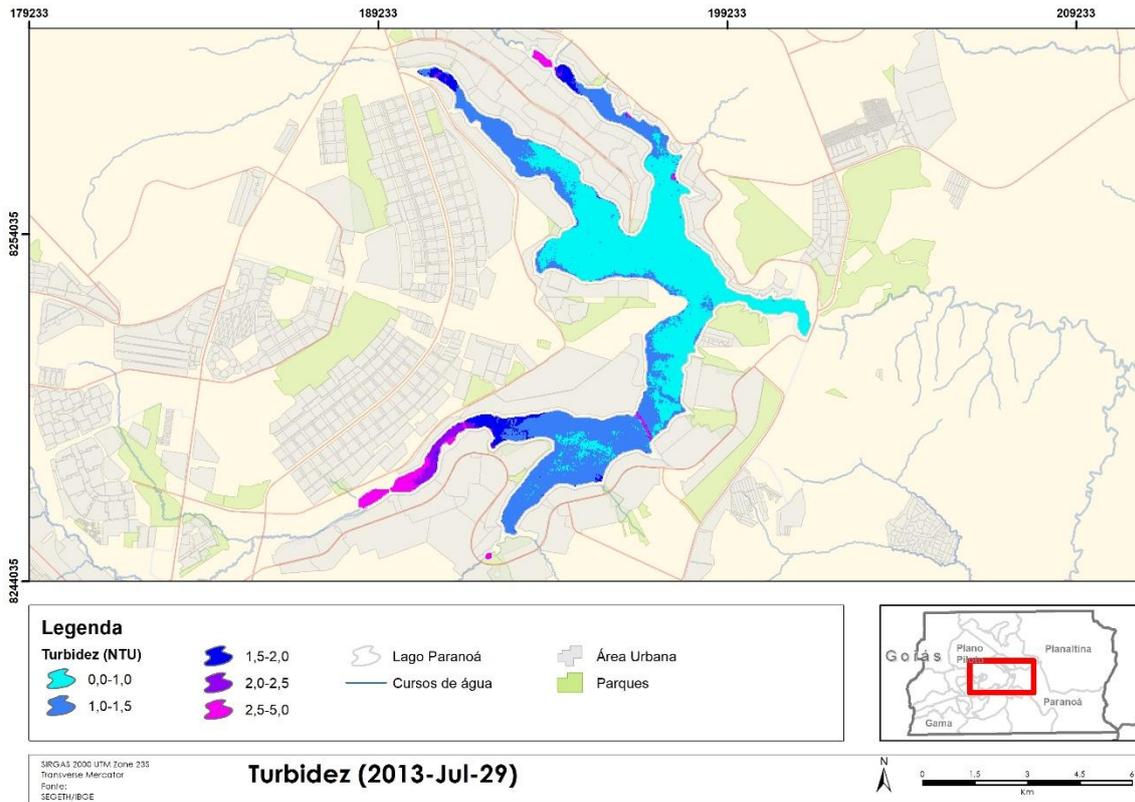


**Figura 5: Ajuste dos dados de turbidez obtidos *in situ* em relação à reflectância.**

É possível observar a correlação entre os parâmetros de qualidade da água analisados e a resposta espectral da superfície do Lago Paranoá, expressa por meio da reflectância TOA. Dessa forma, foi possível realizar a estimativa espacializada de SDT e de turbidez do Lago Paranoá.



**Figura 6: Estimativa de concentração de SDT do Lago Paranoá realizada através do ajuste dos dados de coleta *in situ* e reflectância de julho de 2013.**



**Figura 7: Estimativa de turbidez do Lago Paranoá realizada através do ajuste dos dados de coleta *in situ* e reflectância de julho de 2013.**

Os resultados obtidos para a concentração de SDT e para a turbidez (Figuras 6 e 7, respectivamente) mostraram-se coerentes, uma vez que há maior concentração de sólidos nos braços dos afluentes do Lago Paranoá e essa concentração diminui conforme o escoamento se aproxima da barragem, com a sedimentação dos sólidos. Além disso, o processo de autodepuração realizado pelo corpo hídrico contribui para a melhoria da qualidade da água ao longo do escoamento.

A utilização das imagens do LS8 convertidas em radiância TOA possuem a vantagem de analisar espacialmente a qualidade da água. Entretanto, para este trabalho, como só foram coletadas amostras *in situ* em seis pontos do Lago Paranoá, que possui um espelho d'água de aproximadamente 38 km<sup>2</sup> (Pinto et al., 1998), houve grande dificuldade para ajuste dos dados, visto que a nuvem de pontos era pequena. Dessa forma, apenas os resultados obtidos para a banda 4 do LS8, para as imagens de 2013 foram significativos.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com a realização deste estudo, foi possível verificar a aplicabilidade das técnicas de sensoriamento remoto para monitoramento de parâmetros de qualidade da água, em especial, da concentração de sólidos dissolvidos totais e da turbidez.

Conclui-se que há correlação entre a resposta espectral da superfície da água, medida por meio de imagens do LS8 convertidas para radiância TOA e as características do corpo hídrico.

Entretanto, também foi possível identificar interferências atmosféricas na obtenção das imagens de 2014, o que impossibilitou a utilização destas imagens para ajuste dos dados espectrais. Além disso, a pequena quantidade de pontos de coleta pode representar falhas na análise espacial da qualidade da água, promovida pela utilização de sensoriamento remoto.

Assim, recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados, com utilização de Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs) para a aquisição de imagens multiespectrais, diminuindo a interferência da atmosfera. Sugere-se também a análise com utilização de um número maior de pontos de coleta, visando maior confiabilidade da análise espacial.



## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) pelo apoio prestado à pesquisa inserida no Processo n°. 0193-001.362/2016.

À Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) pela cessão dos dados de qualidade da água, primordiais para a realização deste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barsi, J. A., Lee, K., Kvaran, G., Markham, B. L., & Pedelty, J. A. (2014). The spectral response of the Landsat-8 operational land imager. *Remote Sensing*, 6(10), 10232–10251. <https://doi.org/10.3390/rs61010232>
2. Cunha, D. G. F., & Calijuri, M. C. (2010). Probabilistic analysis of the occurrence of incompatibility of the water quality with the legal framework of aquatic systems - case study of Pariquera-Açu River (SP, Brazil). *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 15(4).
3. Jain, S. K., & Singh, V. P. (2003). Chapter 3 Emerging techniques for data acquisition and systems modeling. *Water Resources Systems Planning and Management*. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5648\(03\)80057-6](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5648(03)80057-6)
4. Lacerda, M. (2017). Caesb começa a captar água do Lago Paranoá. Retrieved from <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2017/10/02/caesb-comeca-a-captar-agua-do-lago-paranoa/>
5. Machado, M. T. de S., & Baptista, G. M. de M. (2016). Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF). *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 21(2), 357–365. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016141970>
6. Pavelsky, T. M., & Smith, L. C. (2009). Remote sensing of suspended sediment concentration, flow velocity, and lake recharge in the Peace-Athabasca Delta, Canada. *Water Resources Research*, 45(11). <https://doi.org/10.1029/2008WR007424>
7. Pinto, M. T., Cavalcanti, C. G., & Ludovice, M. (1998). A Evolução Do Processo De Eutrofização Do Lago Paranoá - Brasília , Após Cinco Anos De Controle Nas Descargas de Nutrientes. *Vigésimo Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental*, 2325–2336.
8. Ritchie, J. C., Zimba, P. V., & Everitt, J. H. (2003). Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 695–704. <https://doi.org/10.14358/PERS.69.6.695>
9. USGS. (2013). Landsat 8. *Fact Sheet*. <https://doi.org/10.1002/0471743984.vse9497>
10. Von Sperling, M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias* (Vol. I).