



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS EMPÍRICOS DE SENSORIAMENTO
REMOTO UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT NO LAGO
PARANOÁ – DF PARA ESTIMATIVA DE CLOROFILA – A E
TURBIDEZ.**

Laynara Oliveira de Sá

ARTIGO

BRASÍLIA

2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

Laynara Oliveira de Sá

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS EMPÍRICOS DE SENSORIAMENTO
REMOTO UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT NO LAGO
PARANOÁ – DF PARA ESTIMATIVA DE CLOROFILA – A E
TURBIDEZ.**

Artigo de especialização em Geoprocessamento Ambiental apresentada a banca examinadora do Instituto de Geociências como exigência para a obtenção do título de especialista em Geoprocessamento.

**Aprovada em
BANCA EXAMINADORA**

Prof.^a. Dr. ^a Rejane Ennes Cicerelli (orientadora) _____

Prof. Ms. Diogo Olivetti _____

Prof. Dr. Henrique Llancer Roig _____

Prof.^a. Dr^a. Tati Almeida _____

OOL48a Oliveira de Sá, Laynara
Aplicação de Métodos Empíricos de Sensoriamento Remoto
utilizando Imagens Landsat no Lago Paranoá -DF para
estimativa de Clorofila - a e Turbidez / Laynara Oliveira de
Sá; orientador Rejane Ennes Cicerelli. -- Brasilia, 2018.
20 p.

Monografia (Especialização - Geoprocessamento Ambiental)
- Universidade de Brasilia, 2018.

1. sensoriamento remoto. 2. turbidez. 3. clorofila-a. 4.
Água. 5. recursos hidricos. I. Ennes Cicerelli, Rejane,
orient. II. Titulo.

O presente artigo consta como exigência para a obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento Ambiental, parte da avaliação do curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Especialização em Geoprocessamento, ministrado no Instituto de Geociências na Universidade de Brasília (IGD/UnB).

O curso objetiva capacitar profissionais de nível superior no uso e aperfeiçoamento das tecnologias de Processamento e Interpretação de Imagens de Sensores Remotos Orbitais e aerotransportados e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

O tema abordado neste artigo é “ Aplicação de Métodos Empíricos de Sensoriamento Remoto utilizando Imagens Landsat no Lago Paranoá –DF para estimativa de Clorofila – a e Turbidez”. Para seu desenvolvimento foram utilizados conhecimentos adquiridos durante os módulos apresentados no curso. O trabalho foi orientado pela Prof.^a Dr. ^a Rejane Ennes Cicerelli, membro docente do curso de especialização e do Instituto de Geociências que ofereceu todo o suporte necessário para a elaboração deste trabalho.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS EMPÍRICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT NO LAGO PARANOÁ – DF PARA ESTIMATIVA DE CLOROFILA – A E TURBIDEZ.

APPLICATION OF EMPIRICAL METHODS OF REMOTE SENSING USING LANDSAT IMAGES IN LAKE PARANOÁ - DF FOR CHLOROPHILA - E AND TURBIDITY ESTIMATION.

Laynara Oliveira de Sá

RESUMO: Os reservatórios de água como recurso para abastecimento público necessitam de monitoramento constante e de novas técnicas para complementar e indicar a qualidade da água, para isso o sensoriamento remoto pode facilitar o estudo de dados limnológicos. Por meio de uma série histórica de estimativas de clorofila-a e turbidez obtidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal e uma série temporal de imagens multiespectrais dos satélites Landsat 5, 7 e 8, e avaliou-se a relação entre estes dados através de métodos empíricos, sendo o Lago Paranoá (DF) como local de estudo. O parâmetro de clorofila - a (chl-a) respondeu de forma satisfatória alcançando correlação entre os dados espectrais e dados de campo de r^2 0,72 para a banda do vermelho, já o parâmetro de turbidez alcançou baixos resultados com os índices de correlação com uma máxima de r^2 0,39. O sensoriamento remoto para métodos empíricos demonstra-se favorável para detecção de chl-a, para turbidez as estimativas por serem extremamente baixas dificultam a detecção por meio de dados espectrais.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; clorofila a; turbidez; água; recursos hídricos.

ABSTRACT: Water reservoirs as a resource for public supply require constant monitoring and new techniques to complement and indicate water quality, for which remote sensing can facilitate the study of limnological data. By means of a historical series of estimates of chlorophyll and turbidity obtained by the Environmental Sanitation Company of the Federal District and a temporal series of images of the Landsat 5, 7 and 8 satellites, and the relationship between these data was evaluated through methods (Paranoá Lake) as a place of study. The chlorophyll-a (chl-a) parameter responded satisfactorily, reaching a correlation between the spectral data and the field data of r^2 0.72 for the red band, whereas the turbidity parameter reached low results with correlation indices with a maximum of r^2 0.39. Remote sensing for empirical methods proves favorable for chl-a detection, for turbidity estimates because they are extremely low make detection difficult by spectral data.

Keywords: remote ensing; chlorophyll a; turbidity; Water; water resources.

1. Introdução

Os reservatórios hídricos são um recurso essencial, não somente pela sua amplitude de utilização comparada a densidade demográfica atual e a sua demanda, mas também por ser um excelente indicador ambiental da qualidade da manipulação do solo pelo homem (Mantelli, 2012). Em síntese, as águas dos cursos que drenam uma região apresentam características físico-químicas e biológicas próprias (Ritchie, Zimba & Everitt, 2003). O monitoramento dos reservatórios e dos seus tributários é feita por estações hidrológicas de qualidade da água convencionais e por amostragens limnológicas mensais. No entanto, a eficácia desta rede é contestável, pois a frequência de amostragem e a distribuição espacial das medições podem não ser adequadas para monitorar a variabilidade hidrológica de uma determinada bacia, sendo assim caracterizada como uma problemática atual. Uma alternativa para facilitar o estudo de dados limnológicos é o sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto possui notáveis vantagens em relação a métodos tradicionais de monitoramento, devido a cobertura sintética e consistência temporal dos dados oferecidos (Matthews, 2011, apud Navalgund *et al.* 2007). Por tanto, modelos tradicionais de monitoramento podem ser complementados com a utilização de metodologias de sensoriamento remoto para auxiliar na detecção de anomalias no comportamento dos componentes da água.

Os componentes que possuem propriedades opticamente ativas podem ser monitorados com a aplicação de métodos empíricos em dados coletados remotamente, incluem pigmentos de clorofila-*a* (Chl-*a*), concentração de sólidos suspensos totais (TSS), absorção por matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM), profundidade do disco de Secchi (zSD), turbidez, temperatura da água, pigmento de ficocianina, entre outros (Matthews, 2011).

As principais propriedades ópticas aparentes (POAs) são as medidas de radiância, reflectância, fator de reflectância e coeficiente de atenuação difusa (kd), tais características dependem da composição aquática e de variações no campo de luz incidente em função da quantidade de energia do corpo d'água (Bernardo, 2015; Kirk,

2011). Já as propriedades ópticas inerentes (POIs) dependem apenas das magnitudes dos componentes opticamente ativos (COAs) presentes nos sistemas aquáticos, como o coeficiente de absorção $a(\lambda)$, o coeficiente de espalhamento $b(\lambda)$ e função volumétrica de espalhamento $c(\lambda)$ (Bernardo, 2015; Campbell et al., 2011). Sendo assim, conjunto de propriedades ópticas inerentes ($a(\lambda) + b(\lambda) = c(\lambda)$) e aparentes (Rsr) são fundamentais para caracterizar o sinal eletromagnético registrado pelos sensores remotos, possibilitando a identificação e estimativa dos COAs presentes em corpos d'água (Bernardo, 2015).

Sensores como MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), MERIS (Medium Resolution imaging Spectrometer) apresentam boa representatividade para “cores oceânicas”, assim como os satélites Landsat, Sentinel possuem boa representatividade para águas interiores com uma resolução espacial melhor (Matthews, 2011). Os sensores TM (Thermal Mapper), ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) e OLI (Operacional Land Imager) todos provenientes de satélites Landsat (5, 7 e 8) em sequência são relacionados usualmente na literatura para estimativas de COAs em águas interiores.

A utilização de métodos empíricos já possui uma vasta quantidade de referencial teórico (Machado & Baptista, 2016; Sathyendranath. et al, 2010; Ligi. et al, 2017) que provam que os algoritmos utilizados nos modelos empíricos através dos instrumentos de sensoriamento remoto são capazes e eficazes na obtenção de dados com as propriedades ópticas de águas interiores (Matthews, 2011).

Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi, por meio de uma série histórica de estimativas de clorofila- a e turbidez obtidos pela Caesb (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) e uma série histórica de imagens Landsat, avaliar a relação existente entre tais parâmetros limnológicos e dados espectrais advindos das séries Landsat. Para tanto, foi selecionada como área de estudo o Lago Paranoá, Distrito Federal, que atualmente é fonte de abastecimento público para população.

2. Área de Estudo

O Lago Paranoá está localizado na região central do Distrito Federal, Brasil. Possui uma vasta área de aproximadamente 1.034,07 km. A sub-bacia ocupa uma área de 288,69 km² que funciona como bacia de captação dos principais cursos d'água que drenam a cidade de Brasília (Machado & Baptista, 2016).

Em seu histórico o Lago Paranoá passou por um longo processo de eutrofização, como centro de aporte de esgoto doméstico, além de entradas difusas de fósforo (Angelini, R. et al, 2008), evento este que culminou no final da década de 70 com um desastre ambiental, o chamado “bloom” de cianobactérias, com concentração no Riacho Fundo, ocasionando com a morte de peixes que viria se repetir na década de 80 (Angelini, R. et al, 2008; Bennett, 2001). Os problemas persistiram, levando a Companhia de Abastecimento e Saneamento de Brasília (CAESB) a implementar duas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), ETE Norte e ETE Sul, que reduziu em 70% os níveis de fósforo e nitrogênio, assim como aumento da transparência da água, com o iniciou de monitoramento de ponta (Angelini, R. et al, 2008; Cavalcanti, 1997).

Com a crise hídrica e a necessidade de uma fonte abastecimento público, o Lago Paranoá de acordo com dados do Plano Integrado de Enfrentamento da Crise Hídrica, torna-se uma fonte de captação emergencial de água para abastecimento público sendo feito para suprir a demanda de regiões administrativas atendidas pela Barragem do Descoberto, com a instalação da ETA – Estação de Tratamento de água compacta, sendo a CAESB responsável pelo projeto (GDF, 2017).

3. Fonte de dados

Os dados foram disponibilizados pela CAESB com um espaço temporal de 2000 até 2017, todos com análises de 1 metro de profundidade. Com seis pontos de coleta (Figura 1), os pontos A e B estão localizados no Ribeirão do Riacho Fundo, o ponto C está no Ribeirão do Gama, ponto D na Região Central, o ponto E no Ribeirão do Torto e o ponto F no Ribeirão Bananal.

Os pontos foram selecionados de acordo com os pontos de amostragem nos quatro braços e na região central determinados pela CAESB. Dentre as coletas realizadas nestes pontos serão destacadas as estimativas de clorofila-*a* e turbidez.

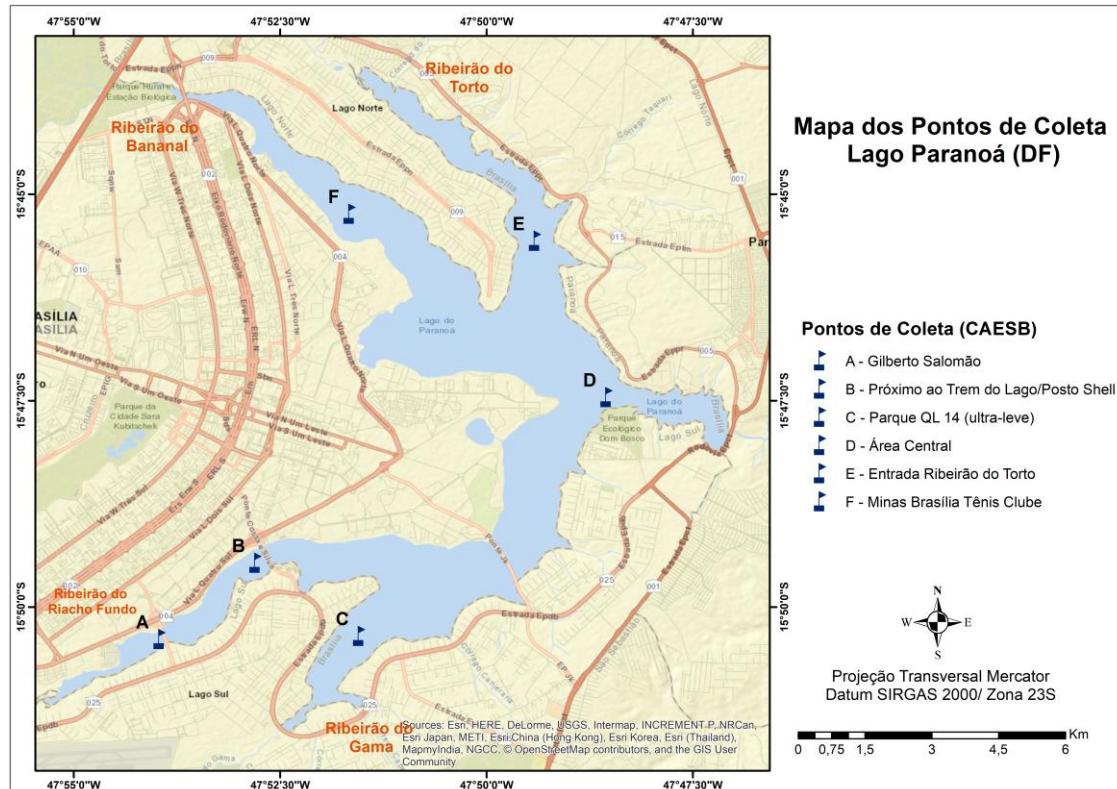
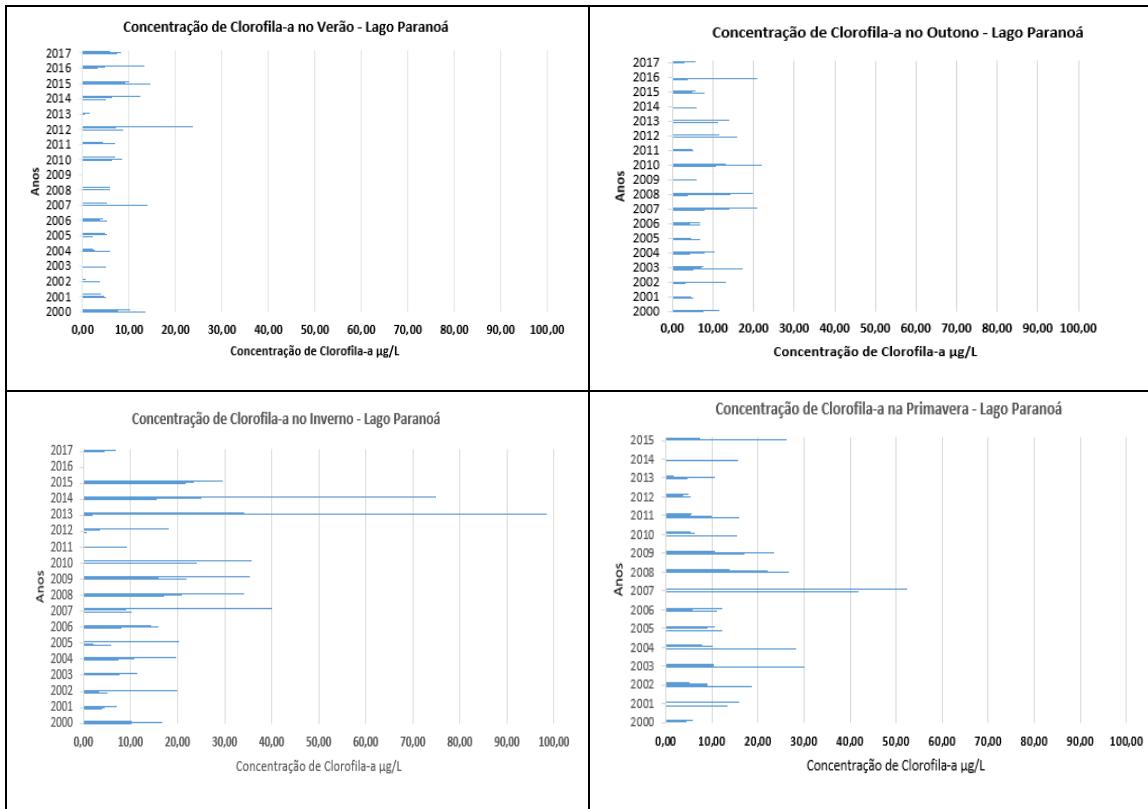


Figura 1 - Mapa de localização dos pontos de coleta. Fonte: CAESB (adaptado).

3.1. Clorofila-*a*

A concentração de clorofila-*a* (chl-*a*) pode fornecer a indicação da qualidade da água e da saúde do ecossistema do lago (Hamilton, et al. 2015). Na tabela abaixo estão representados por estações do ano os dados disponibilizados pela CAESB referentes as estimativas no período de janeiro de 2000 até agosto de 2017. Os dados foram distribuídos por estações do ano para contemplar todas as estimativas e melhor visualização.

Tabela 1 - Concentrações de Clorofila - a distribuídas por estações do ano.



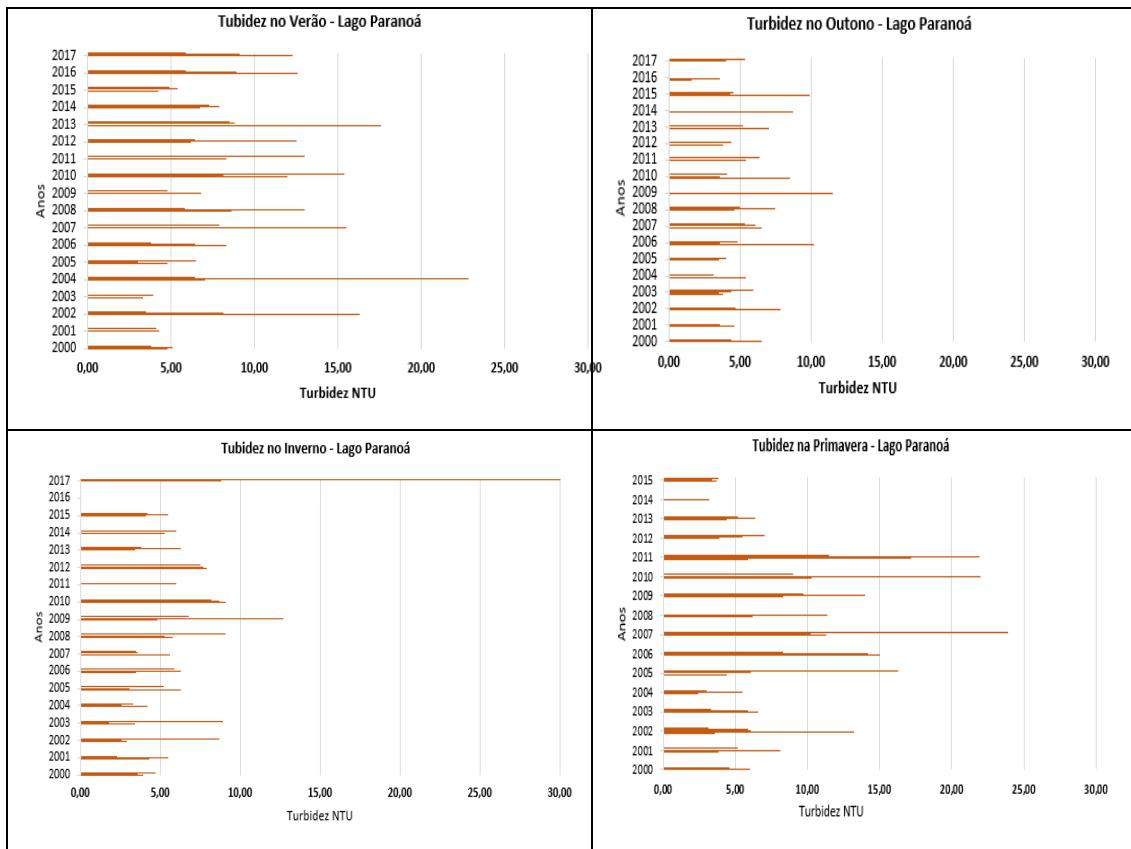
Fonte: CAESB (adaptado).

Nota-se concentrações semelhantes entre as estações do verão e outono (janeiro até junho) com variações baixas e com picos que chegam no máximo de 20 µg L, com sua maior concentração no ano de 2012 nos primeiros meses do ano, no período (verão e outono) citado não ocorre grande perturbação nas águas do Lago Paranoá, caracterizado pelo período de estiagem. O valor máximo aceitável de acordo com a Resolução do CONAMA nº 357/2005 equivale a 30 µg L-1 para águas de classe II (Brasil, 2012), tais valores não são observados com frequência nos dados, observa-se picos maiores nos períodos de inverno e primavera, caracterizado por período mais chuvoso na região, o que influencia na proliferação de fitoplactons no lago.

3.2. Turbidez

A turbidez é caracterizada pela concentração de matéria orgânica dissolvida e de partículas abióticas, onde podem ocorrem taxas altas de fotossíntese que varia pela relação de transparência da água (Wetzel, 2001).

Tabela 2 - Medidas de Turbidez distribuídas por estações do ano.



Fonte: CAESB (adaptado).

Os níveis de turbidez do Lago Paranoá de acordo com a resolução CONAMA nº 357/2005 não são críticos, possuem medidas em baixa escala, com variações distintas ao longo dos anos. Estimativas que ultrapassem os 100 NTU caracterização estado de anomalias, porém nos dados não foram observados tal informação.

4. Metodologia

Diversos estudos utilizam o uso do sensoriamento remoto para estimar e identificar parâmetros limnológicos em corpos d'água (Matthew, 2011) com satélites Landsat e métodos empíricos (Machado & Baptista, 2016; Cheng & Lei, 2001; Watanabe et al, 2017). Este trabalho busca realizar estimativas dos parâmetros de turbidez e clorofila-a com a utilização de métodos empíricos e demonstrar algoritmos que possuem a melhor resposta para cada variável. Fluxograma abaixo, descreve as etapas realizadas ao longo do trabalho para obtenção dos resultados.

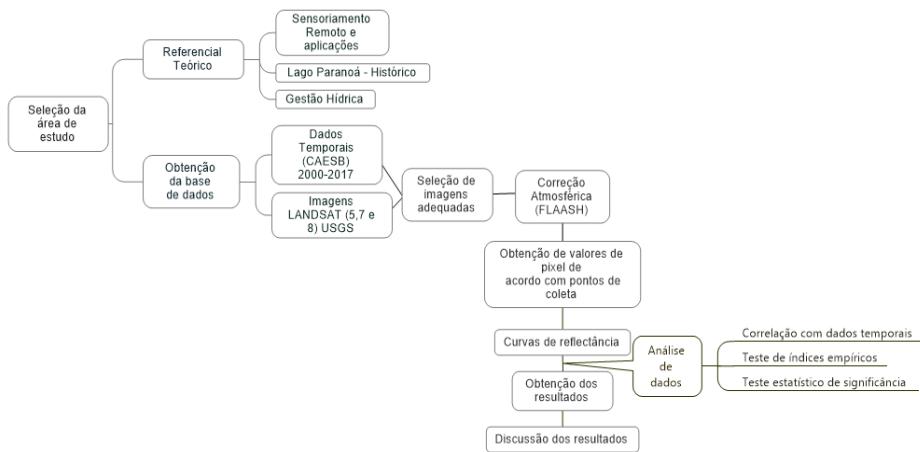


Figura 2 - Fluxograma com etapas de trabalho.

Com os dados da CAESB de uma escala temporal de janeiro de 2000 até agosto de 2017 ocorreu a fase de análise desses dados, assim como a definição de quais satélites poderiam ser utilizados, optou-se pelos dados provenientes dos Landsat 5, 7 e 8, pelo fácil acesso aos dados e qualidade das imagens. Definiu-se um intervalo de tempo de no máximo 2 dias entre a data do campo (CAESB) e a data da cena (Landsat) e sem presença de nuvens.

Coletadas as imagens, inicia-se a calibração radiométrica, transformando de ND (números digitais) para radiância e correção atmosférica para valores em reflectância, todos os processamentos foram realizados no software ENVI (Environment for visualizing Images). O método para correção atmosférica escolhido foi o FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes) baseado no código MODTRAN4, procura por efeitos de espalhamento e absorção dos gases da atmosfera (Cicerelli & Galo, 2015). Foram extraídos os valores de reflectância dos pixels da imagem de acordo com os pontos que estão sendo analisados que correspondem aos dados georreferenciados de campo da CAESB.

Os valores coletados nas cenas corrigidas foram relacionados com os valores gerados a partir de teste de algoritmos e depois relacionados com os dados de clorofila-*a* e turbidez. Além das relações de banda por banda, buscou-se na literatura por índices empíricos para identificação da melhor correlação entre os dados, sendo eles:

Tabela 3 -Algorítmicos empíricos para Chl-a.

Bandas/Algorítmicos (Chl-a)	Referência
(TM1-TM3)/TM2	Mayo et al. (1995)
TM4/TM3	Duan et al. (2007)
TM1/TM3	Brezonik et al. (2005)
Log ETM1/log ETM3	Han_and_Jordan (2005)
Log(TM2/TM3)	Matthew (2011)
Ln TM1–Ln TM2	Matthew (2011)
TM1/TM1 + TM2 + TM3	Östlund et al._(2001)
Log(TM1/TM2)	Matthew (2011)
Log(TM3/TM1)	Gitelson et al. (1996)
(TM1–TM3)/TM2	Brivio et al. (2001)

Estes algorítmicos foram testados para chegar na maior acurácia possível com os dados disponíveis, tais índices restringem-se aos parâmetros de clorofila-*a* (tabela 3). Já na Tabela 4 constam os algorítmicos testados para o parâmetro de turbidez.

Tabela 4 -Algorítmicos empíricos para Turbidez.

Bandas/Algorítmicos (Turbidez)	Referência
ETM3/ETM2	Matthew (2011)
(TM1–TM4)/(TM3– TM4)	Härmä et al. (2001)
Ln TM3	Machado & Baptista (2016)
Ln (TM2)	Matthew (2011)
TM1 ²	Machado & Baptista (2016)

Com os testes realizados, destaca-se os que tenham maiores valores de (*r*) para cada parâmetro, que são denominados coeficientes de relação de Pearson, através da construção das curvas de regressão para análise dos dados de forma estatística e representatividade dos mesmos.

Como a quantidade de dados é grande, pois a escala temporal é de 17 anos, realizar um teste de significância dos dados é importante. Neste trabalho foi utilizado o teste de

Fisher para identificação de pontos de correlação significativos, onde a hipótese da existência de correlação entre os dados espectrais e as amostras de variáveis limnológicas (Bussab, W.; Morettin. 1987).

5. Resultados e Discussão

A partir da análise da correlação entre as datas de campo da CAESB e de imagens disponíveis, chegou-se a um total de 15 imagens em condições favoráveis, com intervalos de no máximo 02 dias a partir da data de amostragem. Na Tabela 5 estão listados as imagens adquiridas com o tipo de satélite e o período defasagem.

Tabela 5- Imagens adquiridas de acordo com paridade com os campos.

Satélite	Data da imagem	Data do campo	Intervalo (dias)
Landsat 5	25/03/2008	24/03/2008	1
Landsat 7	20/05/2008	19/05/2008	1
Landsat 5	15/07/2008	14/07/2008	1
Landsat 5	16/08/2008	18/08/2008	2
Landsat 7	26/07/2009	27/07/2009	1
Landsat 7	14/08/2010	16/08/2010	2
Landsat 5	23/09/2010	21/09/2010	2
Landsat 7	17/10/2010	18/10/2010	1
Landsat 7	17/08/2011	16/08/2011	2
Landsat 7	28/03/2012	27/03/2012	1
Landsat 8	29/07/2013	29/07/2013	0
Landsat 8	18/09/2014	18/09/2014	0
Landsat 8	20/10/2014	21/10/2014	1
Landsat 8	21/09/2015	21/09/2015	0
Landsat 8	25/08/2017	23/08/2017	2

Como demonstrado (tabela 5) encontrou-se imagens adequadas para um período de 09 anos, totalizando 90 pontos com medições de clorofila-*a* e turbidez. Após análises alguns pontos foram descartados por não possuírem uma correlação favorável.

Com a quantidade alta de pontos estimados foi realizado o teste de significância de Fisher (teste f), onde foram considerados nível de significância de 1% e limiar de aceitação de 99% que após do refinamento de dados com uma variável de 53 pontos, os valores de correlação aceitável $> 0,32$. Onde garante-se a dependência dos dados espectrais e os parâmetros amostrais (Bussab, W.; Morettin. 1987).

Os resultados para o parâmetro de clorofila-*a* valores de correlação significativos a banda do vermelho demonstrou-se com maior sensibilidade para a correlação de dados, com coeficiente de determinação (r^2): 0,727, seguida de índice de relação de bandas com (r^2): 0,70.

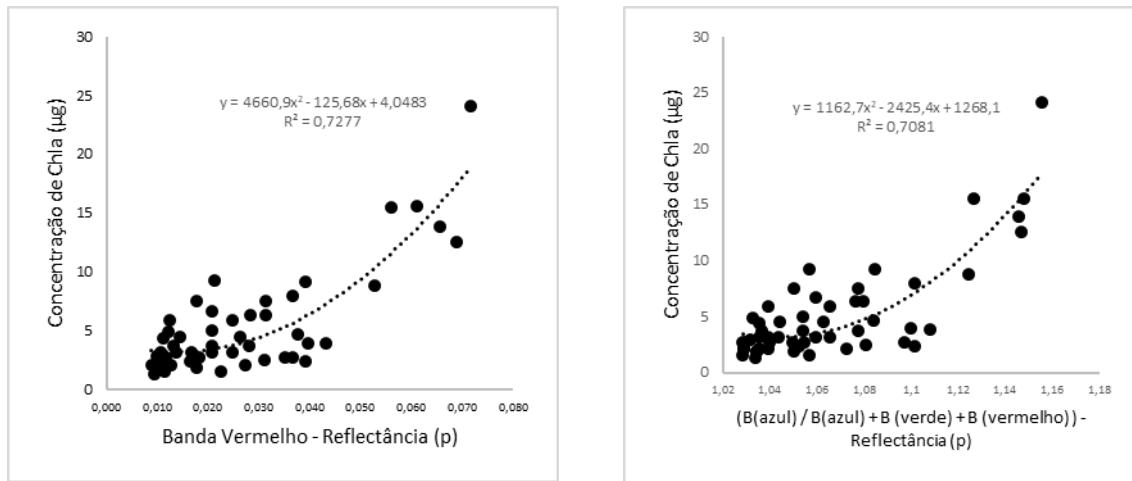


Figura 3 -Modelos de regressão polinomial entre os dados Landsat e concentração de clorofila-a .

Com 72% de correlação entre os dados em uma regressão polinomial a banda do vermelho dos sensores Landsat adequa-se como favorável para detecção deste parâmetro no Lago Paranoá. Expectativa maior que o proposto pelo Teste de Fisher (32%).

Com o parâmetro de turbidez os dados já se tornaram de difícil correlação. Abaixo (Figura 4) consta a melhor relação detectadas de acordo com os índices testados para este parâmetro e o melhor desempenho.

O modelo de regressão polinomial para o parâmetro de turbidez demonstrou resultado abaixo do esperado, as concentrações encontradas na base de dados da CAESB continham dados com valores muito abaixo daqueles possíveis de serem detectados.

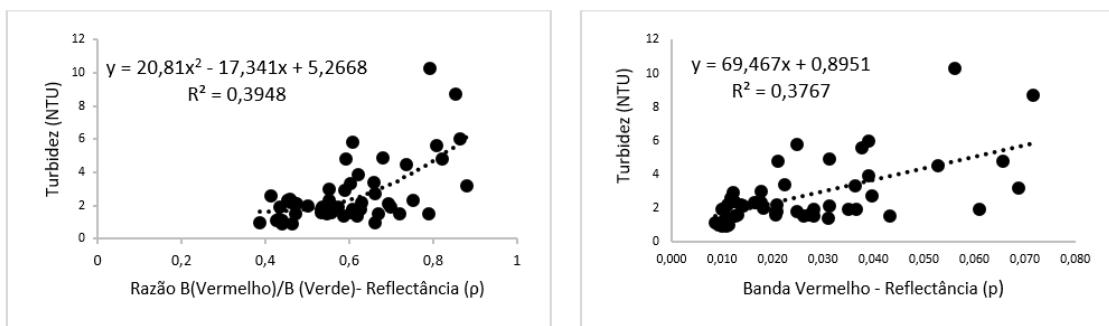


Figura 4 - Modelos de regressão polinomial entre os dados Landsat
e parâmetro de turbidez.

Com isso, os valores de correlação entre os dados de reflectância e as estimativas de turbidez não foram considerados importantes do ponto de vista de auxílio na detecção

de anomalias na água do Lago Paranoá, como os valores são baixos, pode significar que o lago em si não necessita no momento de um monitoramento para este parâmetro. Pois seus valores de concentração de sólidos suspensos totais poderão estar em baixa, demonstrando a transparência da água sem distúrbios que geram baixa reflectância.

Com os resultados das correlações entre os dados e a melhor regressão encontrada para os parâmetros foi possível gerar um mapa de destruição para as estimativas de Chl-*a* com equação polinomial (Figura 5).

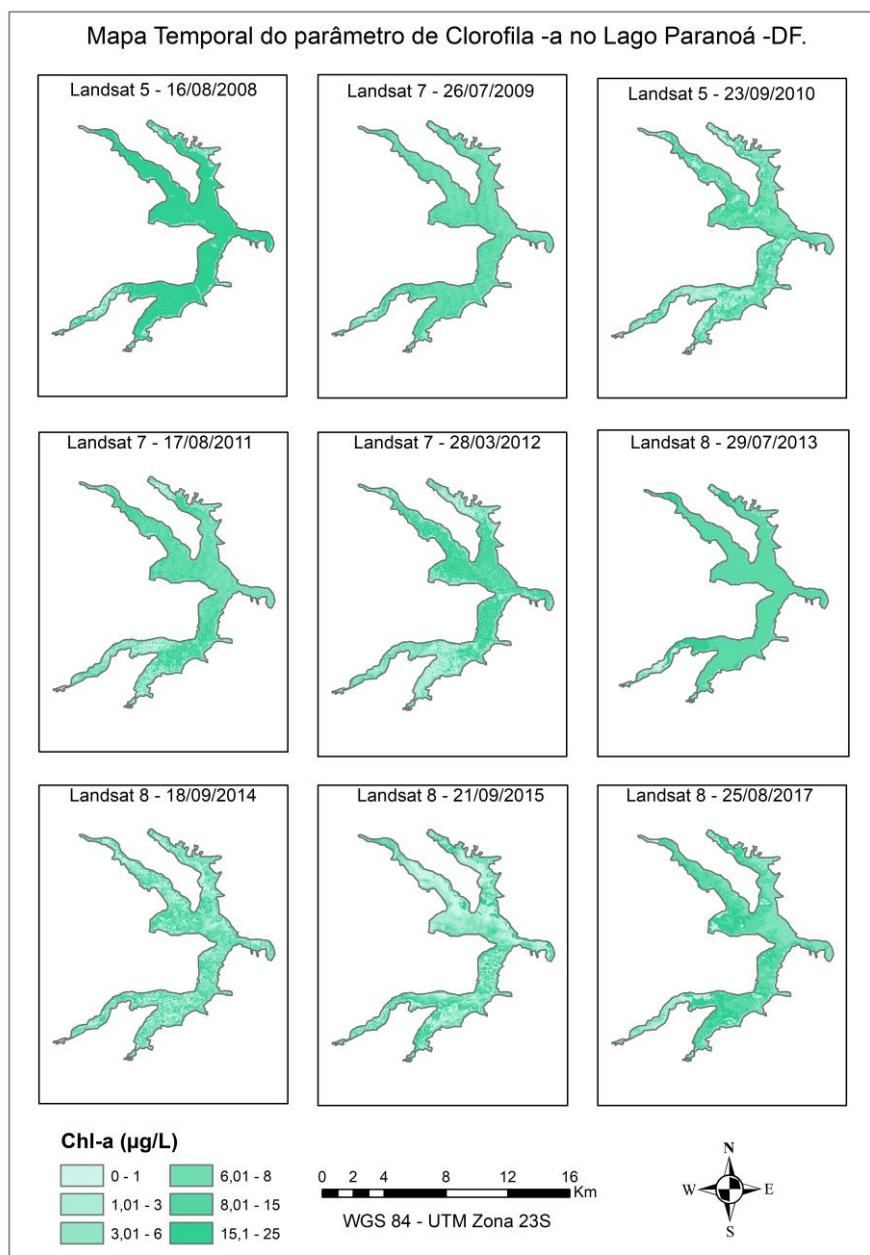


Figura 5 - Mapa temporal de Chl-a com equação polinomial.

Nota-se no mapa acima que os dados se tornaram superestimados, constando valores acima do normal em regiões com histórico de baixa estimativas e em locais, como nos braços do Riacho Fundo e Ribeirão do Gama onde deveriam ocorrer uma alta nas estimativas e serem distribuições pontuais de maior ocorrência da presença de fitoplâctons no Lago Paranoá não ocorre.

6. Conclusão

- Sensoriamento remoto permite detectar dados de clorofila-*a* com imagens de média resolução multiespectrais, tais imagens já são acessíveis, como os satélites Landsat;
- Com dados obtidos e analisados o corpo d'água demonstra-se favorável ao uso para abastecimento público, porém os índices dos parâmetros amostrados são baixos, o que pode comprometer sua detecção por meio de sensoriamento remoto em algumas épocas do ano, onde as concentrações de clorofila-*a* são extremamente baixas;
- O parâmetro de clorofila- *a* foi o que mais demonstrou-se resultados significativos ao longo do estudo, as bandas do vermelho tiverem boa interação com os dados amostrados, dos diversos índices buscados na literatura de acordo com os parâmetros testados apenas alguns foram favoráveis para a clorofila-*a*, porém a representação da equação polinomial não foi satisfatória no parâmetro de clorofila- *a*;
- Os resultados para o parâmetro de turbidez não transpareceram os resultados esperados, com baixa correlação dos dados;
- Outra alternativa de acompanhamento da qualidade dos reservatórios é a utilização de VANT, popularmente chamados de drones, para estudo e captação de dados que auxiliam no monitoramento, medição de fluxo, estudos de hidrologia de superfície, onde conseguem-se captar melhor as imagens que provavelmente são de difíceis percepção por satélite.

Referências Bibliográficas

BERNARDO, Nariane Marelhe Ribeiro. **Análise do potencial do sensor OLI (Operational Land Imager) a bordo do Landsat-8 em estimar a concentração de sólidos totais em**

suspensão no reservatório de Barra Bonita. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Presidente Prudente. 2015.

BRASIL. Resolução n° 357, de março de 2005. Conselho nacional do meio ambiente – CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

BREZONIK, P., MENKEN, K.D. and BAUER, M. **Landsat-based remote sensing of lake water quality characteristics, including chlorophyll and colored dissolved organic matter (CDOM).** *Lake and Reservoir Management*, **21**, pp. 373–382. 2005.

BRIVIO, P.A., GIARDINO, C. and ZILIOLI, E. **Determination of chlorophyll concentration changes in Lake Garda using an image-based radiative transfer code for Landsat TM images.** *International Journal of Remote Sensing*, **22**, pp. 487–502. 2011.

BUSSAB, W.; MORETTIN, P. **Estatística Básica.** Editora Saraiva, São Paulo. 1987, v. 4.

CAVALCANTI, C.G.B.; PINTO, M.T.; FREITAS, H.J. & MOREIRA, R.C.A. 1997. **Paranoá Lake restoration: impact of tertiary treatment sewage in the watershed.** Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, **26**: 689-693.

CHENG, K.S. & LEI, T.C. (2001) **Reservoir Trophic state Evaluation using Landsat TM Images.** *Journal of the American Water Resources Association*, v. 37, n. 5, p. 1321-1334.

CICERELLI, E. R. & GALO, M. de L. B. T. **Sensoriamento remoto multifonte aplicado na detecção do fitoplâncton em águas interiores.** *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.19, n.3, p.259–265, 2015.

DUAN, H.T., ZHANG, Y.Z., ZHAN, B., SONG, K.S. and WANG, Z.M. **Assessment of chlorophyll-a concentration and trophic state for Lake Chagan using Landsat TM and field spectral data.** *Environmental Monitoring and Assessment*, **129**, pp. 295–308. 2007.

EXELIS, 2014. **Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH).** Disponível em: <http://www.harrisgeospatial.com/docs/FLAASH.html>

GDF (Governo do Distrito Federal). **Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica.** 2017. Disponível em: <http://www.mpdft.mp.br/portal/pdf/eventos/crisehidrica/PLANO-INTEGRADO-DE-ENFRENTAMENTO-CRISE-HIDRICA_21-2-2017.pdf>

GITELSON, A.A., YACOBI, Y.Z., KARNIELI, A. and KRESS, N. **Reflectance spectra of polluted marine waters in Haifa Bay, Southeastern Mediterranean: features and application for remote estimation of chlorophyll concentration.** *Israel Journal of Earth Science*, **45**, pp. 127–136. 1996.

HAN, L. and JORDAN, K., 2005, **Estimating and mapping chlorophyll a concentration in Pensacola Bay, Florida using Landsat ETM data.** *International Journal of Remote Sensing*, **26**, pp. 5245–5254.

HÄRMÄ, P., VEPSALAINEN, J., HANNONEN, T., PYHALAHTI, T., KAMARI, J., KALLIO, K., ELOHEIMO, K. and KOPONEN, S. **Detection of water quality using simulated satellite data and semi-empirical algorithms in Finland.** *The Science of the Total Environment*, **268**, pp. 107–121. 2011.

LIGI, et al. **Testing the performance of empirical remote sensing algorithms in the Baltic Sea waters with modelled and in situ reflectance data.** *Oceanologia*, Volume 59, Issue 1, 2017. Pages 57-68, ISSN 0078-3234, <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2016.08.002>.

LIPORONI, L. M. (2012). **Estudo preliminar da qualidade da água do Lago Paranoá, Brasília – DF, utilizando um modelo de qualidade de água bidimensional.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM– 138/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 188p.

MACHADO, M.T.S. & BAPTISTA, G.M.M. **Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF).** Eng Sanit Ambient | v.21 n.2 | abr/jun 2016 | 357-365.

MANTELLI, L. R. **Sensoriamento Remoto como ferramenta para gestão de recursos hídricos: modelagem espaço- temporal dos riscos ecológicos em bacias hidrográficas.** Tese de Doutorado. Instituto de Biociências. Universidade São Paulo. São Paulo. 2012.

MATTHEWS, W.M. **A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional Waters.** Department of Oceanography, Marine Remote Sensing Unit, Marine Research Institute, University of Cape Town, South Africa. *Internacional Journal of Remote Sensing* . Vol. 32, No. 21, 10 November. 2011, 6855–6899.

MAYO, M., GITELSON, A., YACOBI, Y.Z. and BEN-AVRAHAM, Z., 1995, **Chlorophyll distribution in Lake Kinneret determined from Landsat Thematic Mapper data.** *International Journal of Remote Sensing*, **16**, pp. 175–182.

NAVALGUND, R.R., JAYARAMAN, V. and ROY, P.S., 2007, **Remote sensing applications: an overview.** *Current Science*, **93**, pp. 1747–1766.

ÖSTLUND, C., FLINK, P., STROMBECK, N., PIERSON, D. and LINDELL, T., 2001, **Mapping of the water quality of Lake Erken, Sweden, from imaging spectrometry and Landsat Thematic Mapper.** *The Science of the Total Environment*, **268**, pp. 139–154.

RITCHIE, J.C.; ZIMBA, P.V.; EVERITT, J.H. (2003). **Remote sensing techniques to assess water quality.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing , v. 69, n. 6, p. 695-704.

SÁENZ, N. A.; PAEZ, D. E.; ARANGOA, C. **Local Algorithm for monitoring total suspended sediments in micro-watersheds usin drones and remote sensing aplications. Case Study: Teusacá River, La Calera, Colombia.** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W4, 2015 International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 30 Aug–02 Sep 2015, Toronto, Canada.

S. Sathyendranath, G. Cota, V. Stuart, H. Maass & T. Platt (2010) **Remote sensing of phytoplankton pigments: A comparison of empirical and theoretical approaches.** International Journal of Remote Sensing, 22:2-3, 249-273, DOI: [10.1080/014311601449925](https://doi.org/10.1080/014311601449925)

TAURO, F. et al. **Surface flow measurements from drones.** *Journal of Hydrology*. V. 540. 2016, Pages 240-245. ISSN 0022-1694.

WATANABE, F. et al. **Remote sensing of the chlorophyll-a based on OLI/Landsat-8 and MSI/Sentinel-2A (Barra Bonita reservoir, Brazil).** Anais da Academia Brasileira de Ciências (2017).

WETZEL, R. G. **Limnology.** Academic press, v. 3, 2001, p. 1006.