



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

**DETECÇÃO DA FLUTUAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA DOS  
RESERVATÓRIOS SANTA MARIA E DISCOBERTO (DF)  
A PARTIR DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS ÓTICAS**

**Felipe Nunes Mesquita**

MONOGRAFIA

BRASÍLIA

2019



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

**Felipe Nunes Mesquita**

**DETECÇÃO DA FLUTUAÇÃO DO NÍVEL D' ÁGUA DOS  
RESERVATÓRIOS SANTA MARIA E DESCOBERTO (DF) A  
PARTIR DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS ÓTICAS**

**Monografia 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 26/04/2019**

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr<sup>a</sup>. Suzan Waleska P. Rodrigues (orientadora) \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig \_\_\_\_\_

Dr<sup>a</sup> Luciana Figueiredo Prado \_\_\_\_\_

Md

Mesquita, Felipe

Detecção da flutuação do nível d'água dos reservatórios Santa Maria e Descoberto (DF) a partir do processamento de imagens óticas / Felipe Mesquita; orientadora: Profa. Dra. Suzan Waleska P. Rodrigues. -- Brasília, 2019.  
26 p.

Monografia (Especialização - Especialização em Geoprocessamento Ambiental) -- Universidade de Brasília, 2019.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Índices de normalização de água. 3. Classificação supervisionada de imagens óticas. I. Instituto de Geociências (IG), orient. II. Título.

Este artigo foi elaborado para a tarefa de conclusão do curso de especialização em Geoprocessamento Ambiental, realizado pelo Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB). O presente artigo foi submetido para a Revista Brasileira de Cartografia em 08/05/2019.

# Detecção da flutuação do nível d'água dos reservatórios Santa Maria e Descoberto (DF) a partir do processamento de imagens óticas

Change detection of water bodies in Santa Maria and Descoberto (DF) reservoirs using optical images

*Felipe Nunes Mesquita<sup>1</sup>*  
*Suzan Waleska Pequeno Rodrigues<sup>2</sup>*

## RESUMO

Nos últimos 5 anos, principalmente entre 2016 e 2017, foi registrado o menor índice de água nos reservatórios do Distrito Federal, que por consequência, afetou o consumo diário d'água da população. Os motivos da crise estão associados à diminuição do volume de chuvas, entre os anos de 2014 e 2017, e aos impactos decorrentes do crescimento urbano desordenado, como impermeabilização dos solos, desmatamentos, entre outros. O monitoramento dos reservatórios e barragens são fundamentais para o controle, segurança e planejamento efetivo do uso dos recursos hídricos. No intuito de mapear corpos d'água com maior eficácia, foram utilizados índices espectrais de normalização NDWI, MNDWI e AWEI. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma composição colorida dos índices para otimizar ainda mais o realce dos corpos hídricos, a fim de evitar possíveis erros de classificação. Posteriormente, foi realizada a classificação supervisionada MaxVer usando a imagem composta pelos índices. O mapeamento foi realizado utilizando imagens multiespectrais do Landsat-8 anuais entre 2014 e 2019. O índice *Kappa* demonstrou um alto grau de acurácia dos resultados, devido a eficácia da metodologia e a adoção de apenas duas classes. As maiores perdas de área coberta por água no reservatório do Descoberto, durante o período de análise foi em 2016-2017, com 1.767.600 m<sup>2</sup>. No reservatório de Santa Maria, o menor índice de área coberta por água foi em 2015-2016, com uma redução de 1.468.800 m<sup>2</sup>. Em 2017, o reservatório do Descoberto apresentou uma redução de sua área mais acentuada do que do Santa Maria.

**PALAVRAS-CHAVE:** Detecção de Mudanças, Escassez Hídrica, NDWI, MNDWI, AWEI, Mapeamento de Corpos Hídricos.

---

<sup>1</sup>Universidade de Brasília. Instituto de Geociências (IG). E-mail: felipe.nunesgeo@gmail.com.br

<sup>2</sup>Universidade de Brasília. Instituto de Geociências (IG). E-mail: suzanpequeno@unb.br

## ABSTRACT

In the last 5 years, mainly between 2016 and 2017, was recorded the lowest water level in the reservoirs of the Federal District, which affects the daily water consumption of the population. Water crisis in Federal District may have been associated with a decline in the rain between 2014 and 2017 and the impacts of disordered urban growth such as soil sealing, deforestation, and other causes. The monitoring of reservoirs and dams is fundamental for the control, safety and effective planning of the use of water resources. In order to map water bodies NDWI, MNDWI and AWEI normalization indices were applied. A color image using these three indexes were generated to avoid classification errors. Subsequently, a supervised classification was performed. Water detection were based in Landsat-8 multispectral images between 2014 and 2019. The Kappa index demonstrated a high accuracy of the results due to the effectiveness of methodology and the presence of only two classes. The largest loss of water area in the Descoberto reservoir, during the analysis period of 2016-2017, were 1.767.600 m<sup>2</sup>. The Santa Maria reservoir demonstrated the lowest water coverage area between 2015-2016, with a 1.468.800 m<sup>2</sup>. In 2017, the Descoberto reservoir presented a reduction of water area more pronounced than Santa Maria.

**KEYWORDS:** Change Detection, Water Crisis, NDWI, MNDWI, AWEI, Waterbody Mapping.

\* \* \*

## Introdução

A água é imprescindível para a manutenção da vida e para o equilíbrio dos ecossistemas. Os ambientes aquáticos atuam diretamente nos sistemas ecológicos, proporcionando serviços ambientais primordiais como processo de ciclagem de nutrientes e sequestro de gases de efeito estufa (PALMER et al., 2014). Além disso, têm atendido a variados interesses sociais e econômicos, tais como: o abastecimento humano, transporte, pesca, geração de energia elétrica, irrigação agrícola, diluição de efluentes, lazer, entre outros (TUTTI, 2001).

Os recursos hídricos vêm sofrendo grandes distúrbios ambientais decorrentes de atividades antrópicas. Os principais impactos são atribuídos à urbanização, agricultura, pecuária, indústria e mineração (AUGUSTO et al., 2012; DENG et al., 2017). A poluição oriunda dessas atividades é atualmente

uma das maiores ameaças aos sistemas ambientais aquáticos e reflete diretamente na diminuição da qualidade da água e na disponibilidade hídrica para atender outros usos (MORAES e JORDÃO, 2002). A diminuição do volume de chuvas também vem afetando a disponibilidade de água de algumas regiões (PEREIRA, 2014).

O Distrito Federal passou por um período de crise hídrica, marcada por uma drástica redução dos volumes de água dos seus reservatórios, gerando um racionamento no abastecimento populacional, entre os anos de 2017 e 2018 (IBRAM, 2018). Durante essa fase, ambos reservatórios registraram os menores níveis de suas histórias. No dia 07/11/2017, o reservatório do Descoberto atingiu a menor cota registrada com 1.021,84 m, representando 5,3% do volume útil do reservatório. Em 25/11/2017, o reservatório de Santa Maria atingiu a cota mínima, com 1.064,17 m, correspondendo a 21,6% do seu volume útil.

A escassez hídrica do Distrito Federal tem como principais fatores o baixo volume de chuva registrado, entre os anos de 2014 e 2019, associado ao crescimento urbano desordenado, degradação da vegetação natural, alta impermeabilização dos solos, entre outros (IBRAM, 2018; BRANDÃO e PAVIANI, 2018).

O conhecimento da distribuição e da dinâmica espacial dos corpos hídricos é primordial para formular ações voltadas a preservação e recuperação desses recursos, especialmente aqueles que servem para o abastecimento humano.

Dados gerados a partir do mapeamento periódico dos corpos hídricos permitem a compreensão da variação espacial e temporal dessas feições, auxiliando no monitoramento, gerenciamento e controle ambiental (PEKEL et al., 2016).

Uma ferramenta que vem sendo utilizada ao longo dos anos no mapeamento dos corpos hídricos é o sensoriamento remoto que fornece dados para diferentes estudos associados à hidrologia e à gestão dos recursos hídricos (FENG et. al., 2013). Atualmente, diferentes tipos de sensores multiespectrais têm sido utilizados para a detecção e delineamento dos corpos

hídricos (ROKNI et al., 2015). Os sensores mais empregados tradicionalmente para este fim são os da missão Landsat-5, 7, e mais recentemente o Landsat-8 (DU et al., 2014). De acordo com Baker et al. (2006), o satélite Landsat possui considerado potencial para mapear corpos hídricos devido sua sensibilidade para detectar esses alvos nas bandas Verde, Vermelho e Infravermelho.

Entre as principais técnicas de detecção de água, ressalta-se a aplicação de índices de normalização de água. Estes índices utilizam as bandas Verde, Infravermelho Próximo e de Ondas Curtas, a exemplo do *Normalized Difference Water Index* (NDWI) e do *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) (LI et al., 2013).

Outro índice empregado nas imagens Landsat para a detecção de água é o *Automatic Water Extraction Index* (AWEI), visto que utiliza as bandas Verde, Vermelho, Azul, Infravermelho Próximo e de Ondas Curtas (FEYSA et al., 2014).

Diferentes métodos têm sido empregados para mapear corpos hídricos utilizando índices espectrais, tais como: técnicas de fatiamento do histograma (*threshold*), classificações supervisionadas e modelo de mistura linear (FEYISA et al., 2014). A técnica de *threshold* é bastante empregada devido à rapidez e simplificação na geração dos dados quando comparada a outros métodos. Entretanto, por serem empíricas, podem ocasionar erros nos dados devido aos efeitos de sombra e ruído (XU, 2006).

Destarte, o presente trabalho tem como objetivo o mapeamento dos reservatórios de Santa Maria e do Descoberto, no Distrito Federal, entre os anos de 2014 e 2019, mediante a composição colorida dos índices espectrais gerados a partir das imagens do sensor OLI. Foi adotada a composição colorida dos índices espectrais NDWI, MNDWI e AWEI nos canais RGB, respectivamente, para em seguida classificar o produto. Posteriormente foi realizada uma análise da dinâmica dos reservatórios, entre os anos de 2014 e 2019, em relação as perdas e ganhos de áreas cobertas por água.

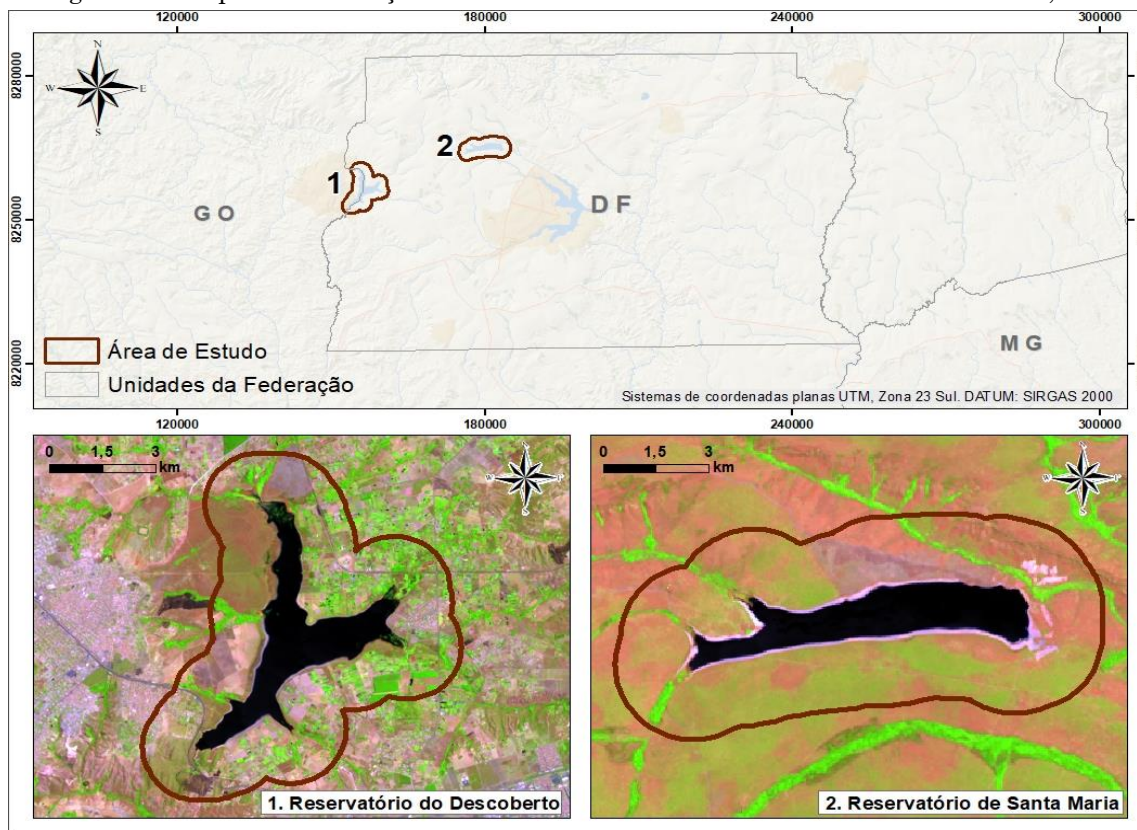


## 1. Área de Estudo

Para o trabalho, foram selecionados dois lagos/reservatórios presentes no Distrito Federal (Figura 1), os reservatórios Descoberto e Santa Maria. Eles são responsáveis pelo abastecimento diário das principais Regiões Administrativas (RA's) do Distrito Federal.

O reservatório do Descoberto está localizado na porção oeste do território do Distrito Federal, na divisa com o estado de Goiás. A bacia do Descoberto, no qual está inserido, possui 460 km<sup>2</sup> de área de drenagem. Inaugurado em 1973, o lago decorre do barramento do rio Descoberto e contribui com 70% do abastecimento público do Distrito Federal (ICMBIO, 2014).

Figura 1 – Mapa de localização dos Reservatórios do Descoberto e de Santa Maria, DF.



Fonte: elaborado pelos autores.

Situado no Parque Nacional de Brasília, o reservatório de Santa Maria abastece 20% da população do Distrito Federal. O reservatório foi construído

em meados da década de 1970, e abrange uma área de drenagem de 108,0 km<sup>2</sup> (IBAMA, 1997).

As áreas de estudo estão inseridas em uma região de clima tropical temperado chuvoso de inverno seco (ALENCAR et al., 2006). O período de estiagem geralmente ocorre entre os meses de maio a setembro e o período chuvoso entre outubro e abril (STEINKE et al., 2015).

A geologia é formada pelo conjunto litológico do Grupo Paranoá, com idade do meso/neoproterozóico, constituída pelas unidades de ardósia, metarritmito arenoso, argiloso e quartzito médio (CAMPOS, 2004).

Com relação as formas do relevo da região, destacam-se na paisagem feições associadas ao processo de pediplanação como platôs, os quais variam para áreas com morros de vertentes suaves (MARTINS et al., 2004).

Os solos predominantes são o Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo (EMBRAPA, 1978).

A vegetação típica é composta pelo bioma Cerrado com suas variadas fitofisionomia como campos limpos, campos sujos, cerrado ralo, cerrado típico, cerradão, veredas e matas de galeria (CODEPLAN, 2012).

## **2. Materiais e Métodos**

O mapeamento e a análise da dinâmica espacial dos reservatórios de Santa Maria e Descoberto foram realizados mediante seis imagens Landsat-8 sensor OLI, obtidas entre os anos de 2014 e 2019.

Foi selecionada uma imagem por ano da órbita-ponto 221-71, obtendo como critério a menor taxa de incidência de nuvens, conforme apresentado na Tabela 1.

A exceção é a imagem de 22/04/2018, que foi selecionada propositalmente com maior incidência de nuvens, com o intuito de testar se a metodologia proposta pode ocasionar erros de confusão de classificação entre os corpos hídricos e nuvens.

A imagem apresenta uma pequena área coberta por nuvens dos tipos *stratus* e *cumulus* sobre os reservatórios, conforme demonstrado na Figura 2.

Tabela 1 – Data das imagens Landsat-8 obtidas e a respectiva taxa de cobertura de nuvens.

Datas	Taxa de cobertura de nuvens (%)
04/10/2014	0,04
21/09/2015	0
07/09/2016	1,28
26/09/2017	6
22/04/2018	13,04
11/07/2018	0,06
03/01/2019	0,02

Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 2 – Imagem Landsat-8 (RGB 654) com maior incidência de nuvens no Reservatório do Descoberto e no Reservatório de Santa Maria, de 22/04/2018.



Fonte: elaborado pelos autores.

O sensor OLI possui resolução espacial de 30 metros, temporal de 16 dias e radiométrica de 16 bits. Foram adquiridas imagens da coleção 1, *Level 2*, com correção de reflectância e ortorretificadas com excelente grau de acurácia (CHIGNEL et al., 2015). Essas imagens possuem 7 bandas espectrais, descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características das bandas espectrais das imagens ortorretificadas e com correção de reflectância do satélite Landsat-8, disponibilizados pelo USGS.

<b>Bandas</b>	<b><math>\lambda</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolução Espacial (m)</b>
Banda 1- Coastal Aerosol	0,43-0,45	30
Banda 2-Azul	0,45-0,51	30
Banda 3- Verde	0,53-0,59	30
Banda 4- Vermelho	0,64-0,67	30
Banda 5- Infravermelho de ondas curtas	0,85-0,88	30
Banda 6- Infravermelho de ondas curtas 1	1,57-1,65	30
Banda 7- Infravermelho de ondas curtas 2	2,11-2,29	30

Fonte: United States Geological Survey (USGS).

Os índices normalizadores de água NDWI (1) (MCFEETERS, 1996), MNDWI (2) (XU, 2006) e o AWEI (3) (FEYISIA et al., 2014) foram processados usando a matemática de bandas do software ENVI, conforme demonstrado abaixo.

$$\frac{\rho_{band3} - \rho_{band5}}{\rho_{band3} + \rho_{band5}} \quad (1)$$

$$\frac{\rho_{band3} - \rho_{band7}}{\rho_{band3} + \rho_{band7}} \quad (2)$$

$$4 \times (\rho_{band2} - \rho_{band5}) - 0.25 \times \rho_{band4} + 2.75 \times \rho_{band7} \quad (3)$$

Após a geração dos índices espectrais, foi realizada uma composição colorida das imagens, atribuindo os índices normalizadores aos canais de cores *Red*, *Green* e *Blue* (R: NDWI; G: MNDWI; B: AWEI).

Em seguida foi realizada a coleta de amostras de treinamento para o processamento de classificação supervisionada das imagens. A coleta baseou-se em uma interpretação visual da imagem Landsat-8 (OLI), de 26/09/2017, em composição colorida (RGB 654). Esta data foi selecionada por representar

a imagem com menor nível de cota dos reservatórios Santa Maria (1.065,24m) e Descoberto (1.023,54m), conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Nível dos reservatórios nas datas das imagens Landsat-8/OLI adquiridas.

<b>Reservatório</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Datas</b>
Santa Maria	1.071,26	04/10/2014
	1.071,23	21/09/2015
	1.067,73	07/09/2016
	1.065,24	26/09/2017
	1.067,95	22/04/2018
	1.068,4	11/07/2018
	1.069,07	03/01/2019
Descoberto	1.027,77	04/10/2014
	1.028	21/09/2015
	1.026,13	07/09/2016
	1.023,54	26/09/2017
	1.029,30	22/04/2018
	1.029,29	11/07/2018
	1.030,08	03/01/2019

Fonte: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA).

Após a coleta das amostras, foi elaborada a classificação das imagens compostas a partir dos índices espectrais utilizando a técnica de Máxima Verossimilhança (MaxVer), no *software* Envi. O classificador MaxVer é um método baseado na classificação pixel-a-pixel (LU et al., 2012). A classificação é realizada a partir da análise de probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe particular considerando a variabilidade das classes e baseando-se na matriz de covariância (SISODIA et al., 2014).

Para realizar a classificação MaxVer foram coletadas 100 amostras de treinamento, sendo 50 de água (7.922 pixels) e 50 de outras classes, como área urbana, vegetação, solo exposto, nuvem, agricultura e pastagem (55.911 pixels).

Com relação a imagem de 22/04/2018, que possui maior cobertura de nuvens, foi feita uma coleta de amostras individuais. Coletou-se 100 amostras, sendo 50 de água (4.151 pixels) e 50 de não água (29.011 pixels). O critério estabelecido para enquadramento na classe não água foi o mesmo utilizado para as outras imagens.

A análise da variação espacial anual da água foi realizada mediante a detecção de mudança entre as imagens classificadas. A quantificação dos ganhos e perdas de água dos reservatórios foram calculadas em metros quadrados.

A coleta das amostras de treinamentos para a validação foi gerada mediante a interpretação visual de imagens de alta resolução Planet. As imagens Planet possuem resolução espacial de 3m, radiométrica de 12 bits, 4 bandas espectrais e são ortorretificadas.

Foram selecionadas imagens do satélite Planet, entre dezembro 2018 e janeiro de 2019, com o nível dos reservatórios próximos aos registrados na imagem Landsat-8 de 2019. Dessa forma foram obtidas duas imagens Planet, uma do reservatório do Descoberto, de 15/12/2018 cuja cota foi de 1.029,79 cm e outra do reservatório de Santa Maria do dia 30/01/2019 com 1.069,35 cm.

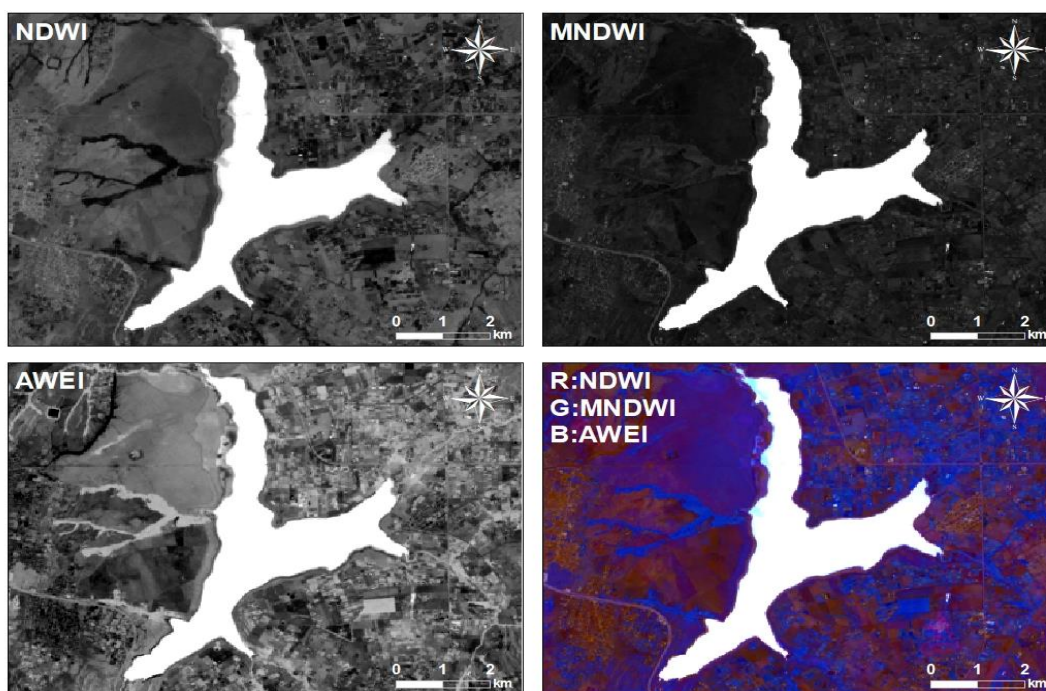
Inicialmente, foi delimitada uma área abrangendo os reservatórios e parte do entorno a fim de realizar o processo de validação. Definiu-se então uma zona de 1,5 km de raio a partir do perímetro dos reservatórios (*buffer*), que teve como referência a imagem Landsat-8 com maior cota do nível de água durante o período analisado. O *buffer* do Descoberto foi elaborado a partir do delineamento do corpo hídrico do reservatório mapeado na imagem de 03/01/2019 e o de Santa Maria foi gerado adotando a imagem de 04/10/2014.

A partir das imagens Planet foram gerados 100 pontos distribuídos aleatoriamente na área de estudo, os quais 50 representam alvos de água e os outros 50 de não água. Esses pontos serviram como base para a geração da tabela da matriz de confusão. Através dos dados dessa matriz foram calculados os índices *Kappa* e o índice de acurácia global da classificação.

### **3. Resultados**

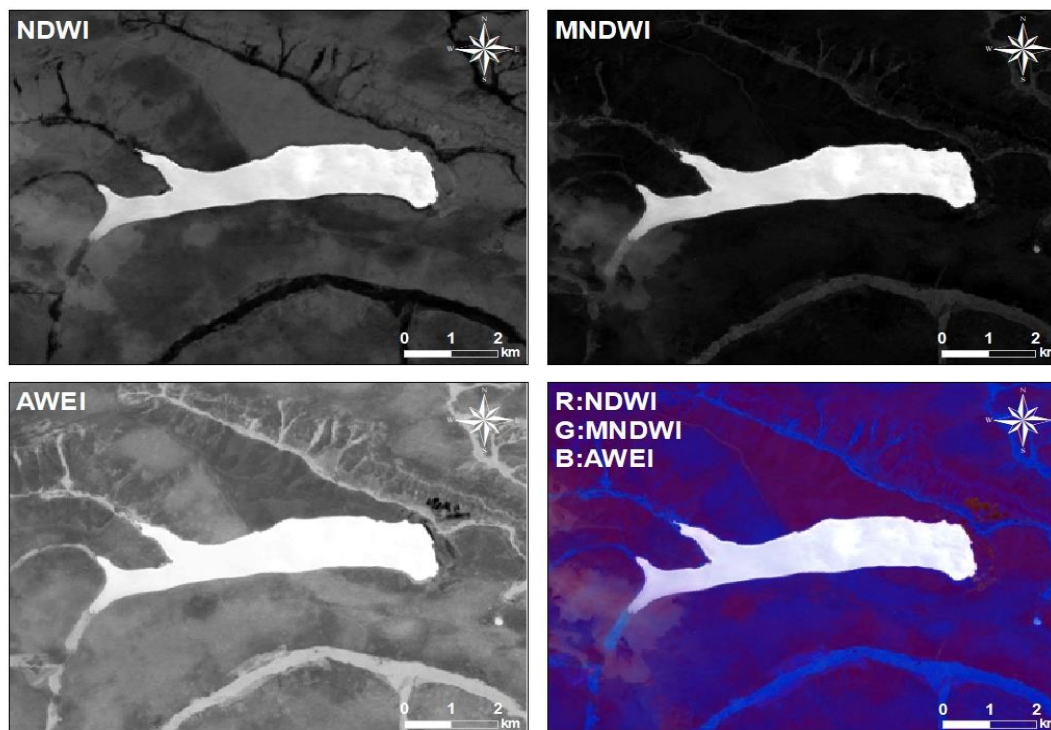
A imagem colorida composta a partir dos índices normalizadores de água demonstrou um bom detalhamento e contraste dos corpos hídricos em relação aos alvos diferentes de água, conforme demonstrado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Reservatório do Descoberto: composição de imagem colorida utilizando índices de normalização de água, 04/10/2014.



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 4 – Reservatório de Santa Maria - Composição de imagem colorida utilizando índices de normalização de água, 04/10/2014.



Fonte: elaborada pelos autores.

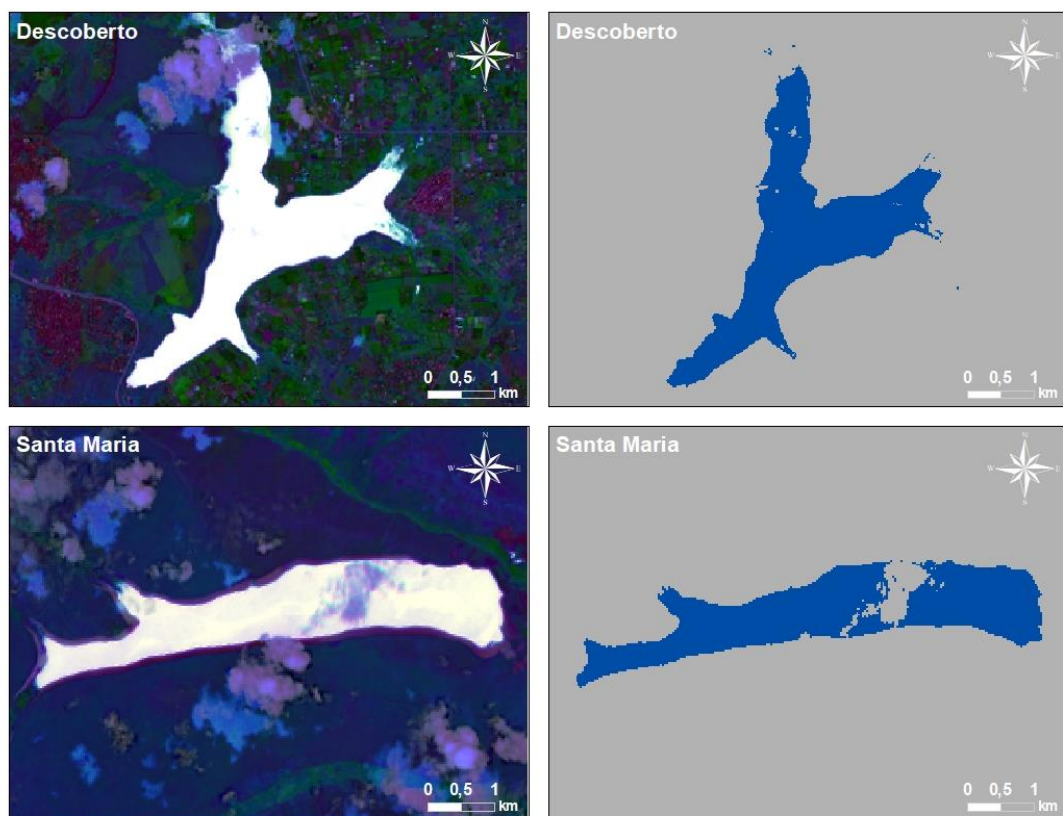
Foi possível notar uma agregação das vantagens advindas das peculiaridades de cada índice normalizador aplicado. Os corpos hídricos foram

realçados nas imagens compostas, principalmente devido a peculiaridade advinda do índice MNDWI. Entre os índices analisados, o MNDWI apresenta maior contraste entre a água e os demais alvos do terreno.

A composição colorida formada pelos índices normalizadores discriminou a vegetação aquática da água, principalmente no reservatório do Descoberto. Esta característica é proveniente do NDWI, sendo este o único índice avaliado capaz de realçar essa distinção. O índice AWEI definiu bem a linha de borda dos reservatórios, característica transpassada para a imagem colorida.

A técnica também demonstrou a capacidade de diferenciar os corpos hídricos das áreas com nuvens e suas respectivas sombras, reduzindo a possibilidades de erros de classificação entre esses alvos. Esse fato pode ser observado na classificação da imagem do dia 22/04/2018, data com maior incidência de nuvem, ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Imagem composta usando o NDWI, MNDWI e AWEI (à esq.) e classificação MaxVer dos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria (à dir.), em 22/04/2018.



Fonte: elaborada pelos autores.



A classificação das imagens, de modo geral, apresentou satisfatória precisão no mapeamento, revelando alto grau de acurácia (Tabela 4). Os índices de acurácia global e *Kappa* da classificação de ambos os reservatórios apresentaram valores maiores no ano de 2019, quando os níveis de cota dos reservatórios foram mais próximos entre a imagem Landsat-8 e as imagens Planet.

Tabela 4 – Análise de acurácia da classificação MaxVer.

Reservatório	Datas	Índice <i>Kappa</i>	Acurácia Global (%)
Santa Maria	04/10/2014	0,9394	96,96
	21/09/2015	0,9596	97,97
	07/09/2016	0,9394	96,96
	26/09/2017	0,7581	87,87
	22/04/2018	0,8588	92,92
	11/07/2018	0,9394	96,96
	03/01/2019	0,9995	99,98
Descoberto	04/10/2014	0,94	97
	21/09/2015	0,9574	97,87
	07/09/2016	0,8519	92,55
	26/09/2017	0,6043	79,78
	22/04/2018	0,900	95
	11/07/2018	0,96	98
	03/01/2019	0,9800	99

Fonte: elaborada pelos autores.

Os índices de acurácia global e *Kappa* referente as classificações do reservatório de Santa Maria nos anos de 2014, 2016 e 2018 apresentaram valores iguais. Conquanto tenha ocorrido uma redução de 3,53 metros da cota do reservatório entre a imagem de 2014 e 2016, os valores dos índices *Kappa* e de acurácia global se mantiveram iguais. A Tabela 5 da matriz de confusão contendo os erros de classificação dessas datas apresenta a causa dos índices resultarem em valores iguais.

Nota-se que, em 2014, houve um erro de comissão da classe água de 5,66% e erro de omissão da classe não água de 6,12%. No ano de 2016, ocorreu o inverso, o erro de omissão da classe água foi 6% e o erro de comissão da classe não água foi de 5,77%. Isso resultou no balanceamento dos erros de classificação utilizados no cálculo dos índices, fazendo com que as duas

imagens de datas distintas e com o nível de água diferente apresentassem resultados iguais.

Tabela 5 – Matriz de confusão da classificação do reservatório de Santa Maria nos anos de 2014, 2016 e 2018.

<b>04/10/2014</b>					
<b>Classe</b>	<b>Água</b>	<b>Não Água</b>	<b>Total</b>	<b>Comissão</b>	<b>Omissão</b>
Água	50	3	53	3/53	0/50
Não Água	0	47	47	0/47	3/50
Total	50	50	100		
<b>07/09/2016</b>					
<b>Classe</b>	<b>Água</b>	<b>Não Água</b>	<b>Total</b>	<b>Comissão</b>	<b>Omissão</b>
Água	47	0	47	0/47	3/50
Não Água	3	50	53	3/50	0/50
Total	50	50	100		
<b>11/07/2018</b>					
<b>Classe</b>	<b>Água</b>	<b>Não Água</b>	<b>Total</b>	<b>Comissão</b>	<b>Omissão</b>
Água	47	0	47	0/47	3/50
Não Água	3	50	53	3/50	0/50
Total	50	50	100		

Fonte: elaborada pelos autores.

O nível do reservatório de Santa Maria da imagem de 2016 reduziu 13 cm em relação a de 11/07/2018. Essa pequena diferença do nível em 2018 não alterou significativamente a extensão do corpo hídrico e os erros da classificação da imagem de 2016 se mantiveram iguais ao de 2018. Nos anos de 2016 e 2017, houve uma redução acentuada no volume útil dos reservatórios de Santa Maria e Descoberto. Em novembro de 2017, ambos registraram os menores níveis de suas histórias, conforme supracitado.

É possível notar que os valores mais baixos dos índices de acurácia ocorreram justamente nos anos de 2016 e 2017 para ambos reservatórios. A diminuição de suas cotas, durante esse período, gerou uma notória redução de suas áreas. Alguns pontos de referência da amostra de água incidiram na classe não água nas imagens classificadas nos referidos anos. Isso ocorreu devido a diminuição da extensão dos corpos hídricos e recuo da linha de borda. Esses fatos contribuíram para a ocorrência de maiores erros nesses dois anos, principalmente em 2017, quando o nível foi o mais baixo.

Para constatar os ganhos e perdas de áreas cobertas por água, foi realizada a análise de detecção de mudança do nível dos reservatórios, subtraindo respectivamente as áreas entre os anos (Tabela 6). É possível verificar as alterações ocorridas nos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria nas Figuras 6, 7, 8, 9 e nas Tabelas 6 e 3. Percebeu-se que mesmo com a redução da cota dos reservatórios ocorreram pequenos ganhos de áreas dos corpos hídricos em alguns períodos.

Tabela 6 – Detecção de mudança anual da cobertura de água dos reservatórios de Santa Maria e do Descoberto, entre 2014 e 2019.

<b>Reservatório</b>	<b>Período</b>	<b>Ganho (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perda (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total</b>
Santa Maria	2014-2015	37.800	101.700	-63.900
	2015-2016	0	1.468.800	-1.468.800
	2016-2017	13.500	692.100	-678.600
	2017-2018	861.300	13.500	847.800
	2018-2019	300.600	0	300.600
<b>TOTAL</b>		<b>1.213.200</b>	<b>2.276.100</b>	<b>-1.062.900</b>
Descoberto	2014-2015	379.800	38.700	341.100
	2015-2016	3.600	1.746.900	-1.743.300
	2016-2017	18.000	1.785.600	-1.767.600
	2017-2018	4.226.400	19.800	4.206.600
	2018-2019	576.000	79.200	496.800
<b>TOTAL</b>		<b>5.203.800</b>	<b>3.670.200</b>	<b>1.533.600</b>

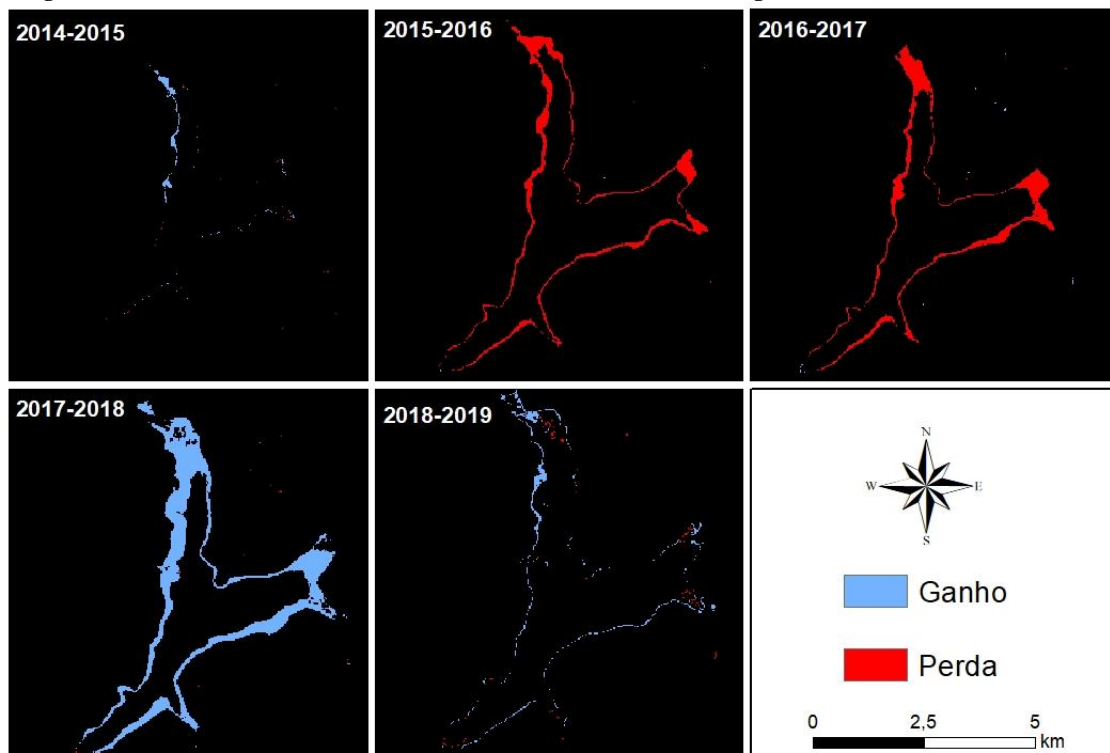
Fonte: elaborada pelos autores.

Em relação ao reservatório do Descoberto, observa-se que, entre os anos 2014 e 2015, houve um pequeno aumento de 30 cm de sua cota, representando um acréscimo de 341.100 m<sup>2</sup> de área com água.

Devido à escassez hídrica, no período de 2015 a 2016, houve uma redução de 1,87 m da cota do reservatório do Descoberto, 1.743.300 m<sup>2</sup> de sua área. Em 2017, o reservatório do Descoberto passou a operar abaixo de 20% da sua capacidade (IBRAM, 2018). Entre 2016 e 2017, os dados demonstram uma diminuição do nível da água de 2,59 metros, correspondendo a perda de 1.767.600 m<sup>2</sup> da área coberta por água.

Em consequência desse cenário de escassez hídrica, o Governo do Distrito Federal decretou Situação de Emergência, em janeiro de 2017 (IBRAM, 2018). Foram adotadas algumas medidas como a implementação da política de racionamento de água, com rodízios de abastecimento nas Regiões Administrativas (RA's), e a construção da estação de captação do Lago Paranoá.

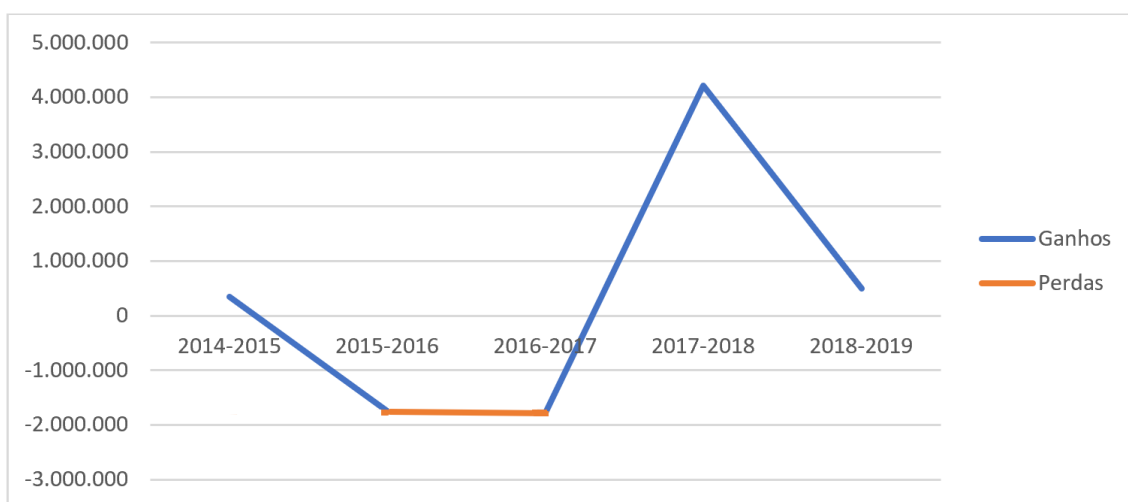
Figura 6 – Reservatório do Descoberto - Ganho e Perda de água anual, entre 2014 e 2019.



Fonte: elaborada pelos autores.

Entre os anos de 2017 e 2018, houve um aumento significativo de 5,7 m da cota do reservatório do Descoberto e um aumento de 4.206.600 m<sup>2</sup> de água. Durante o período de 2018 a 2019 a cota do reservatório aumentou 2,24 metros, expandindo a área coberta por água em 496.800 m<sup>2</sup>. O balanço de ganhos e perdas acumulados do reservatório do Descoberto apresentou um saldo positivo no período analisado. Destarte, em 2019 constatou-se um acréscimo de 1.533.600 m<sup>2</sup> de áreas cobertas por água no reservatório do Descoberto em relação a 2014.

Figura 7 – Reservatório do Descoberto: Detecção de mudança no período de análise.



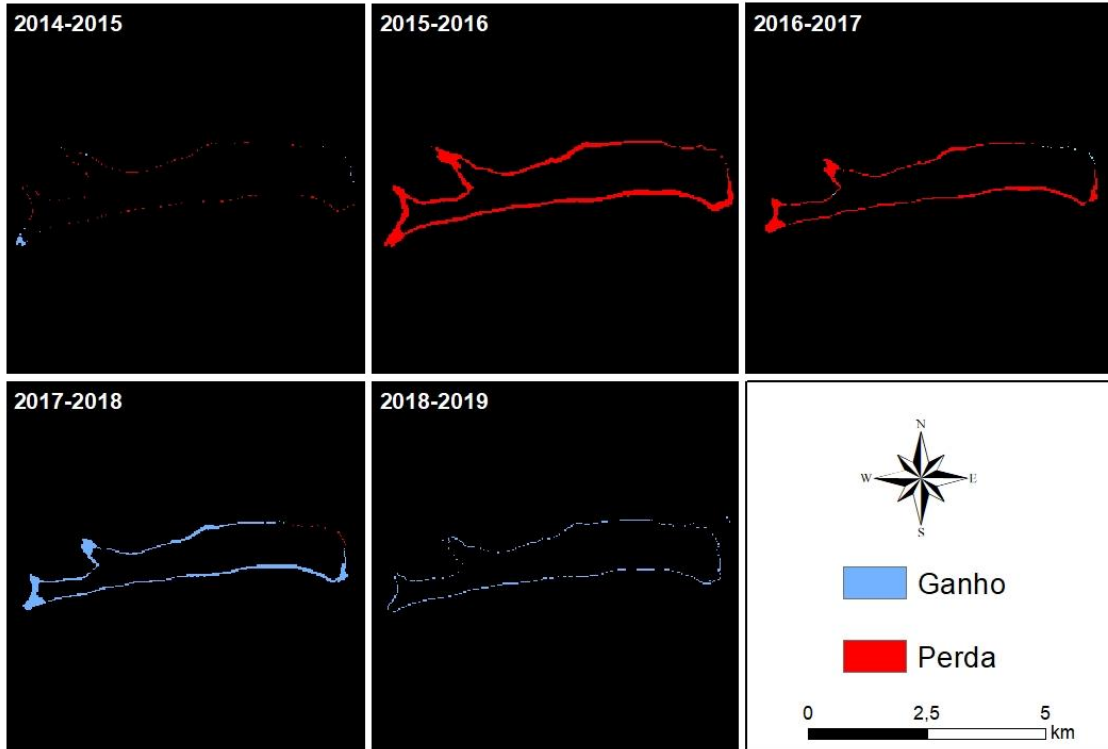
Fonte: elaborada pelos autores.

Concernente ao reservatório de Santa Maria, entre as imagens de 2014 e 2015, houve uma redução de 30 cm do nível correspondendo a uma perda de 63.900 m<sup>2</sup> de área de água. Em decorrência da escassez hídrica, entre os anos de 2015 e 2016, o reservatório de Santa Maria apresentou a mesma tendência de diminuição do nível do reservatório do Descoberto, havendo uma drástica redução da cota do nível da água em 3,44 metros. Essa redução gerou um recuo de 1.468.800 m<sup>2</sup> de área coberta por água.

Entre 2016 e 2017, a redução do nível de cota do reservatório de Santa Maria foi de 2,49 metros, representando uma diminuição de 678.600 m<sup>2</sup> de água. Em 2018, houve um aumento de 2,36 metros em relação a cota de 2017, gerando um ganho de 847.800 m<sup>2</sup> de água. Entre a imagem de 2018 e 2019, o

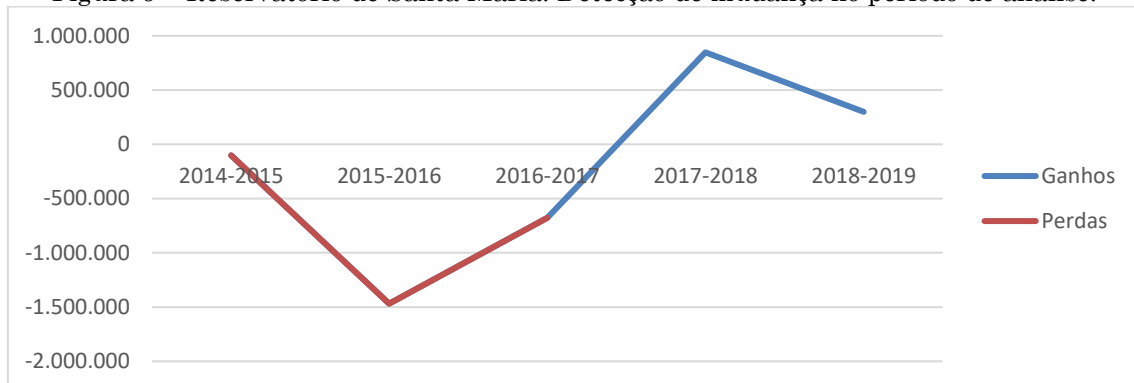
aumento do nível do reservatório foi de 1,75m, correspondendo a uma expansão de 300.600 m<sup>2</sup> de área coberta por água.

Figura 8 – Reservatório de Santa Maria - Ganho e Perda de água anual, entre 2014 e 2019.



Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 9 – Reservatório de Santa Maria: Detecção de mudança no período de análise.



Fonte: elaborada pelos autores.

O reservatório de Santa Maria não conseguiu recuperar sua área e nível de cota observado antes da escassez hídrica, embora o reservatório de Santa Maria atenda um menor contingente populacional. Diferentemente do reservatório de Santa Maria, o saldo do Descoberto foi positivo, entre 2014 e

2019, mesmo atendendo a uma demanda de abastecimento maior que o de Santa Maria.

#### **4. Conclusões**

A técnica de composição colorida associando os índices de normalização da água NDWI, MNDWI, AWEI apresentou eficácia no mapeamento multitemporal dos reservatórios do Descoberto e Santa Maria.

A elevada acurácia do produto decorre da associação das especificidades dos índices, reduzindo os erros de comissão e omissão. Uma característica observada na imagem composta com os índices foi a capacidade de distinguir bem as nuvens dos corpos hídricos, reduzindo as ocorrências de comissão. A técnica ainda apresentou grande potencialidade de mapear nuvens, podendo ser valiosa no uso de estudos atmosféricos. O método também pode ser eficaz em outros tipos de estudos relacionados a recursos hídricos, a exemplo do mapeamento de áreas inundáveis.

Notou-se uma forte correlação entre os índices dos resultados da classificação e a variação da cota dos reservatórios disponibilizadas pela Adasa. À medida que se diminui o valor de cota, também reduz o grau de acurácia da classificação.

A escassez hídrica gerou diversos problemas para a população devido à crise de abastecimento. Para evitar a ocorrência de possíveis cenários semelhantes no futuro, é necessário que as instituições governamentais adotem um melhor gerenciamento das bacias hidrográficas dos reservatórios. Esse processo é fundamental para garantir a disponibilidade de água de boa qualidade para a população e o equilíbrio da biota.

#### **Referências**

ACHARYA, T. D., SUBEDI, A., & LEE, D. H. Evaluation of water indices for surface water extraction in a Landsat 8 scene of Nepal. **Sensors**, vol.18, n.8, 2018. pp 1–15.

- AUGUSTO, L. G. D. S., GURGEL, I. G. D., CÂMARA NETO, H. F., de Melo, C. H., COSTA, A. M. The global and national context regarding the challenges involved in ensuring adequate access to water for human consumption. **Ciência & Saúde Coletiva**, vol 17, n.6, 2012. pp 1511–1522.
- ALENCAR, B.S.D.; SILVA, L.C.; OLIVEIRA, S.C.A. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Eng. Agrícola**, vol. 26, n.1, 2006. pp. 103-112.
- BAKER, C.; LAWRENCE, C.M; DUNCAN, P. Change detection of wetland ecosystems using landsat imagery and change vector analysis. **Wetlands**, vol.27, n.3, 2007. pp 610-619.
- BRANDÃO. A; PAVIANI.A. A crise e o consumo de água em Brasília. Relatório técnico, CODEPLAN, Brasília, 2018.
- CAMPOS, J. E. G. Hidrogeologia Do Distrito Federal: Bases Para a Gestão Dos Recursos Hídricos Subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 34, n.1, 2004. pp. 41–48.
- CHIGNELL, S. M.; ANDERSON, R. S.; EVANGELISTA, P. H.; LAITURI, M. J.; MERRITT, D. M. (2015). Multi-temporal independent component analysis and landsat 8 for delineating maximum extent of the 2013 Colorado front range flood. **Remote Sensing**, vol.7, n.8, 2015. pp 9822–9843.
- COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. Informações Socioeconômicas e geográficas. Relatório Técnico, CODEPLAN, 2012.
- DENG, Y.; JIANG, W.; TANG, Z., LI, J.; LV, J.; CHEN, Z.; JIA, K. Spatio-temporal change of lake water extent in Wuhan urban agglomeration based on Landsat images from 1987 to 2015. **Remote Sensing**, vol 9, n 3, 2017.
- DU, Z.; LI, W.; ZHOU, D.; TIAN, L.; LING, F.; WANG, H.; SUN, B. Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. **Remote Sensing Letters**, vol 5, n.7, 2014. pp. 672–681.
- FENG, M.; SEXTON, J. O.; CHANNAN, S.; TOWNSHEND, J. R. A global, high-resolution (30-m) inland water body dataset for 2000: first results of a topographic–spectral classification algorithm. **International Journal of Digital Earth**, vol 9, n.2, 2016. pp. 113–133.
- FEYISA, G. L.; MEILBY, H.; FENSHOLT, R.; PROUD, S. R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, vol. 140, 2014. pp. 23–35.



- INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL (IBRAM). Plano Integrado de enfrentamento à crise. Relatório Técnico, IBRAM, Brasília, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Plano de Manejo Parque Nacional de Brasília. Relatório técnico, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 1997.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). Plano de Manejo APA- Bacia do Descoberto. Relatório técnico, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2014.
- LI, W.; DU, Z.; LING, F.; ZHOU, D.; WANG, H.; GUI, Y.; ZHANG, X. (2013). A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. **Remote Sensing**, vol. 5, n.11, 2013. pp. 5530–5549.
- LU, D.; LI, G.; MORANA, E.; FREITAS, C. C.; DUTRA, L.; SANT'ANNA, S. J. S. A Comparison of Maximum Likelihood Classifier and Object-Based Method Based on Multiple Sensor Datasets for Land-Use/Cover Classification in The Brazilian Amazon. **Proceedings of the 4th GEOBIA**, Rio de Janeiro, 2012. pp 20–24.
- MARTINS, É. de S., REATTO, A., Jr, O. A. de C.; GUIMARÃES, R. F. Evolução Geomorfológica do Distrito Federal. Relatório Técnico, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (EMBRAPA), Brasília, 2004.
- MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Remote Sensing Letters*, vol. 17, 1996. pp 1425-1432
- MORAES, D. S. de L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, vol 36, n.3, 2005. pp 370–374.
- OLTHOF, I. Mapping seasonal inundation frequency (1985-2016) along the St-John River, New Brunswick, Canada using the landsat archive. **Remote Sensing**, vol 9, n.2, 2017.
- PALMER, S. C. J.; KUTSER, T.; HUNTER, P. D. Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. **Remote Sensing of Environment**, vol 157. pp 1–8.
- PEKEL, J.F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, vol 540, n.7633, 2016. pp. 418–422.

- PEREIRA FILHO, A. J. (2016). Análise da escassez hídrica brasileira em 2014. **Revista USP**, vol 104, n.125, 2016. pp125-132
- REATTO, A.; MARTINS, E.S.M.; FARIAS, M.F.R; CARVALHO, O.A. Mapa pedológico digital, SIG atualizado do Distrito Federal, escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo. Relatório Técnico, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (EMBRAPA), Brasília, 2004.
- ROKNI, K.; AHMAD, A.; SOLAIMANI, K.; HAZINI, S. A new approach for surface water change detection: Integration of pixel level image fusion and image classification techniques. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, vol 34, n.1, 2015. pp. 226–234.
- SISODIA, P. S.; TIWARI, V.; KUMAR, A. Analysis of Supervised Maximum Likelihood Classification for remote sensing image. **International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering**, Jaipur, 2014. pp. 9–12.
- STEINKE, E.T.; BARROS, R.B. Tipos de tempos e desastres urbanos no Distrito Federal entre 2000 e 2015. **Revista Brasileira de Geografia Física**. vol. 8, n.5, 2015. pp. 1435-1453.
- TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. de M. C. **Gestão da Água no Brasil**. Unesco, 2001.
- XU, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 27, n.14, 2006. pp 3025–3033.