

## Análise da variabilidade do nível de reservatórios utilizando imagens de sensoriamento remoto: estudo de caso no Distrito Federal com uso de imagens LANDSAT 8

Leonardo Rodrigues de Deus<sup>1</sup>  
Patrícia Rodrigues Camarão<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação do Distrito Federal  
Setor Comercial Sul Quadra 6 Bloco A – CEP 70.306-918 – Brasília – DF  
leorodriguesdedeus@gmail.com  
patriciarc.gea@gmail.com

**Abstract.** The water crisis faced by many cities generates the need to adopt different methods to monitor reservoir levels. The use of remote sensing images is a good tool for this type of work, since it allows a wide view of the reservoir in different dates and the measurement of the changes. In this work the objective is to analyze the variability of the level of the two main reservoirs of the Federal District, Descoberto River Dam and Santa Maria Reservoir, in LANDSAT 8 images from the years 2013 to 2016 applying a variation of the normalized difference water index - NDWI. For the classification of the reservoirs, the values thresholds were selected, and a slicing was applied to the NDWI images, which allowed the reservoirs to be separated from the rest of the targets easily. The results showed that in the analyzed reservoirs a reduction of the level of the open water feature has been observed since the year 2014, and in 2016 the most severe reduction occurred.

**Palavras-chave:** NDWI, remote sensing, image processing, open water features, sensoriamento remoto, processamento de imagens, reservatórios de água.

### 1. Introdução

Os eventos climáticos extremos e o permanente processo de impermeabilização do solo, associados ao constante incremento na demanda hídrica, tem levado à ocorrência de escassez de água em diversas regiões do país, uma vez que os reservatórios responsáveis por atender as cidades não são abastecidos adequadamente ao longo do ano.

No Distrito Federal, o ano de 2016 tem sido marcado pela pior crise hídrica já registrada, com o volume de água da Barragem do Rio Descoberto, maior reservatório da unidade federativa, chegando a um estado crítico para o abastecimento, com menos de 20% da capacidade (ADASA, 2016).

Embora o Distrito Federal esteja localizado próximo as nascentes de três regiões hidrográficas do País, Tocantins-Araguaia, Paraná e São Francisco, neste ponto, os mananciais ainda possuem baixa disponibilidade hídrica para atender ao contingente populacional (ANA, 2010).

A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB é o órgão responsável pela operação dos sistemas produtores do Distrito Federal, sendo que os sistemas Descoberto e Torto/Santa Maria são atualmente responsáveis pelo atendimento de mais de 80% da população (ANA, 2010). A Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal – ADASA é o órgão responsável por acompanhar o nível dos reservatórios, Barragem do Rio Descoberto e Reservatório de Santa Maria, que alimentam os sistemas Descoberto e Torto/Santa Maria respectivamente.

Embora para o monitoramento dos reservatórios a ADASA disponha de sistemas que possibilitam o acompanhamento diário dos níveis dos reservatórios, métodos alternativos que permitam analisar a variabilidade dos níveis são importantes, pois permitem fazer estudos complementares sobre a situação dos reservatórios.

Neste sentido, o uso de imagens de sensoriamento remoto e o emprego de técnicas de processamento digital de imagens são muito úteis ao permitirem uma visão ampla do reservatório em diferentes espaços de tempo.

Como para o monitoramento do nível de um reservatório a detecção da superfície de lâmina d'água é o alvo mais importante, o uso de imagens índice que buscam realçar um alvo específico na cena, como o índice de água por diferença normalizada – NDWI (McFeeters, 1996), podem ser muito úteis.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade do nível dos dois principais reservatórios do Distrito Federal em imagens LANDSAT 8 a partir do emprego do índice de água por diferença normalizada – NDWI dos anos 2013 a 2016.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho abrange os dois maiores reservatórios do Distrito Federal: Barragem do Rio Descoberto e Reservatório de Santa Maria. O Reservatório do Descoberto (Figura 1a), que está situado na bacia hidrográfica do rio Descoberto, tem capacidade nominal de 4.800 l/s e vazão média captada de 2.855 l/s, responsável por 67,22% do abastecimento no Distrito Federal. Já o Reservatório de Santa Maria (Figura 1b), está localizado no centro do Parque Nacional de Brasília, e junto com a barragem do Torto tem capacidade disponível mínima de produção de água de 2.104 l/s. É o segundo maior sistema produtor, sendo responsável por aproximadamente 25% do total de água de abastecimento produzida pela CAESB.

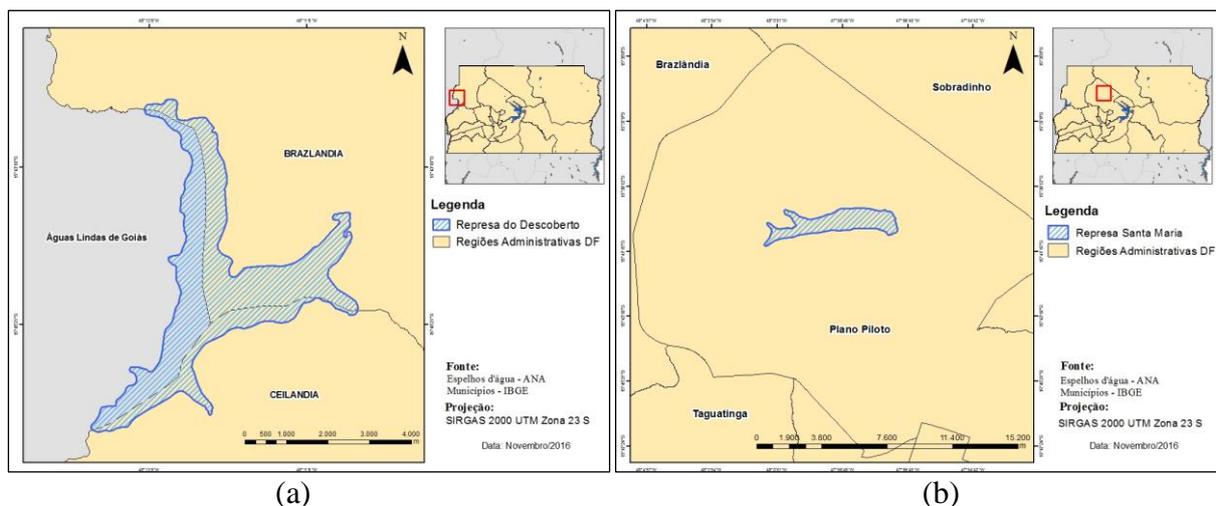


Figura 1. Localização da área de estudo, (a) Barragem do Rio Descoberto, e (b) Reservatório de Santa Maria.

### 2.2 Materiais Utilizados

Para desenvolvimento do estudo foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8, obtidas a partir do sítio <http://earthexplorer.usgs.gov/>, órbita/ponto 221/71, dos anos 2013 a 2016, das seguintes datas: 15/09/2013, 18/09/2014, 21/09/2015 e 07/09/2016. A Tabela 1 mostra as bandas do sensor OLI (Operational Land Imager) utilizadas.

Para a realização das diversas etapas de processamento de imagens para obtenção da lâmina d'água dos reservatórios foram utilizados os softwares ENVI 4.8 e SPRING 5.2.6 (Câmara et al., 1996).

Tabela 1. Bandas sensor OLI, satélite LANDSAT 8, utilizadas no estudo.

Nº Banda	Nome da Banda	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)
2	Azul	0,45 - 0,51	30
3	Verde	0,53 - 0,59	30
4	Vermelha	0,64 - 0,67	30
5	Infravermelho próximo	0,85 - 0,88	30
6	Infravermelho de ondas curtas	1,57 - 1,65	30
8	Pancromática	0,50 - 0,68	15

### 2.3 Processamento de imagens

Para aproveitar a melhor resolução espacial da banda pancromática, foi realizado um processo de fusão de imagens entre as bandas multiespectrais 2 – azul, 3 – verde, 4 – vermelho, 5 – infravermelho próximo, 6 – infravermelho de ondas curtas e a banda 8 – pancromática. Segundo Fonseca et al. (2011) a fusão de imagens objetiva integrar os detalhes espaciais da imagem pancromática de alta resolução e a informação de cor da imagem multiespectral de baixa resolução para produzir uma imagem multiespectral de alta resolução.

O processo de fusão foi realizado empregando o método Gram-Schmidt disponível no software ENVI 4.8, e que é bastante empregado por não possuir um limite de imagens que podem ser inseridas no processo. Embora a faixa espectral da banda pancromática do sensor OLI não recubra todas as faixas espectrais das demais bandas, o processo de fusão produziu imagens com variação de cor bem próximo das cenas originais, com o reservatório de água apresentando uma tonalidade mais azulada do que na cena original, como pode ser visto na Figura 2.

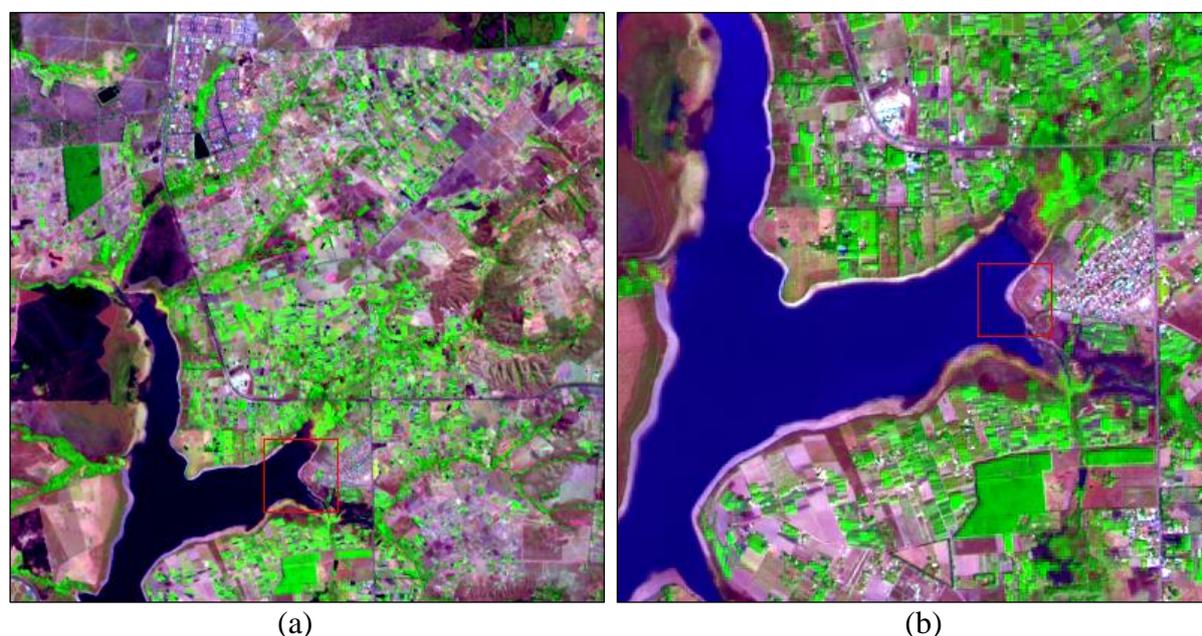


Figura 2. Comparação imagem original (a) com a imagem fusionada (b), composição R6G5B4.

De posse das imagens fusionadas foi realizado uma operação entre bandas para gerar uma imagem índice em que a água se destacasse do restante dos alvos da cena. McFeeters (1996) desenvolveu um índice para destacar água chamado Índice de Água por Diferença Normalizada (Normalized Difference Water Index – NDWI), que emprega o uso de bandas

das faixas do verde e do infravermelho próximo para produzir uma imagem monocromática onde os valores de pixel maiores que 0 indicam presença do alvo água. O NDWI desenvolvido por McFeeters (1996) é obtido a partir da fórmula:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

Outros autores desenvolveram diferentes variações do NDWI desenvolvido por McFeeters (1996) afim de buscar melhores resultado na distinção do alvo água. Xu (2006) desenvolveu o MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) substituindo a banda do infravermelho próximo pela banda do infravermelho. Segundo o autor o MNDWI resulta em uma extração mais precisa das feições de água, bem como das áreas construídas, solo e vegetação, visto que este alvos apresentam valores negativos mais ressaltados. O MNDWI desenvolvido por Xu (2006) é formulado da seguinte maneira:

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}$$

Para definir qual método de geração do NDWI melhor identificava os reservatórios de estudo, foi feita uma comparação simples, gerando uma imagem NDWI e outra MNDWI do ano 2016. Um conjunto de amostras foi coletado sobre cada reservatório, e os valores entre o mínimo e máximo foram utilizados para classificar os reservatórios. A Figura 3 mostra o range de valores destacado sobre a imagem NDWI (a) e sobre a imagem MNDWI (b).

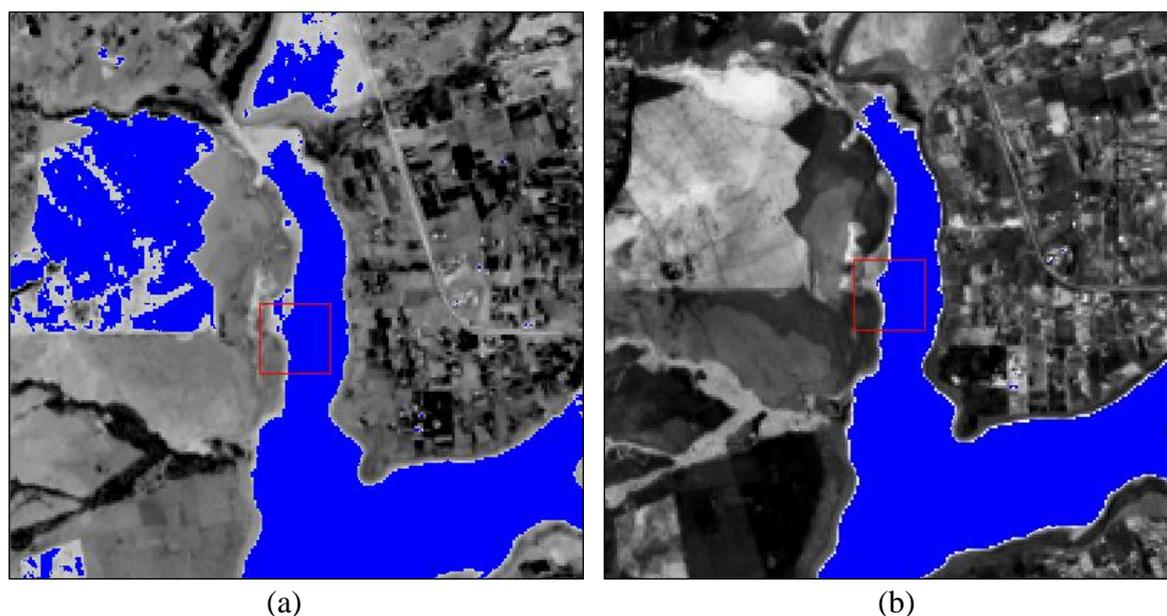


Figura 3. Imagem NDWI (a) e MNDWI (b).

Observa-se pela Figura 3, que a imagem MNDWI delimitou melhor a área do reservatório, sem selecionar muitos pixels fora do mesmo. Já a imagem NDWI selecionou mais pixels que não correspondem ao objeto de estudo. Diante deste resultado optou-se por usar neste estudo a formulação do MNDWI desenvolvido por Xu (2006).

De posse das imagens MNDWI, foi utilizado o mesmo conjunto de amostras selecionados anteriormente para delimitar um limiar de valores que separasse bem a água dos demais alvos nas imagens de todos os anos de estudo. A Tabela 2 mostra os valores definidos para identificação da lâmina d'água dos reservatórios, após a análise da estatística das amostras.

Tabela 2: Range de Valores definidos para identificados da lâmina d'água em cada ano

Ano	Range de Valores
2013	-0.0115 a 0.1
2014	-0.12 a 0.09
2015	-0.1 a 0.08
2016	-0.08 a 0.1

Na sequência as imagens MNDWI geradas foram importadas no software SPRING 5.2.6 onde foi realizado o processo de fatiamento para converter os pixels com valores definidos em uma classe temática. Para eliminar da classe temática as áreas de água que não eram os reservatórios de interesse e também os pixels que foram mal classificados como água, foi utilizado a ferramenta de edição matricial, obtendo apenas as áreas dos reservatórios nos anos 2013, 2014, 2015 e 2016.

Finalmente foi empregado um processo de álgebra de mapas utilizando o LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) para destacar as variações do nível da lâmina d'água dos reservatórios entre os anos de analisados.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1 Barragem do Rio Descoberto

O Gráfico 1 mostra os valores de área obtidos para a superfície da lâmina d'água do reservatório da Barragem do Rio Descoberto. Observa-se que entre os anos de 2013 e 2014 os resultados indicaram um aumento de 22.99 ha de área na superfície do reservatório. Já a partir de 2014 até 2016 a área da superfície do reservatório apresentou decréscimo, sendo de 46,66 ha entre 2014 e 2015, e um decréscimo bem mais acentuado, de 188,04 ha entre os anos de 2015 e 2016.

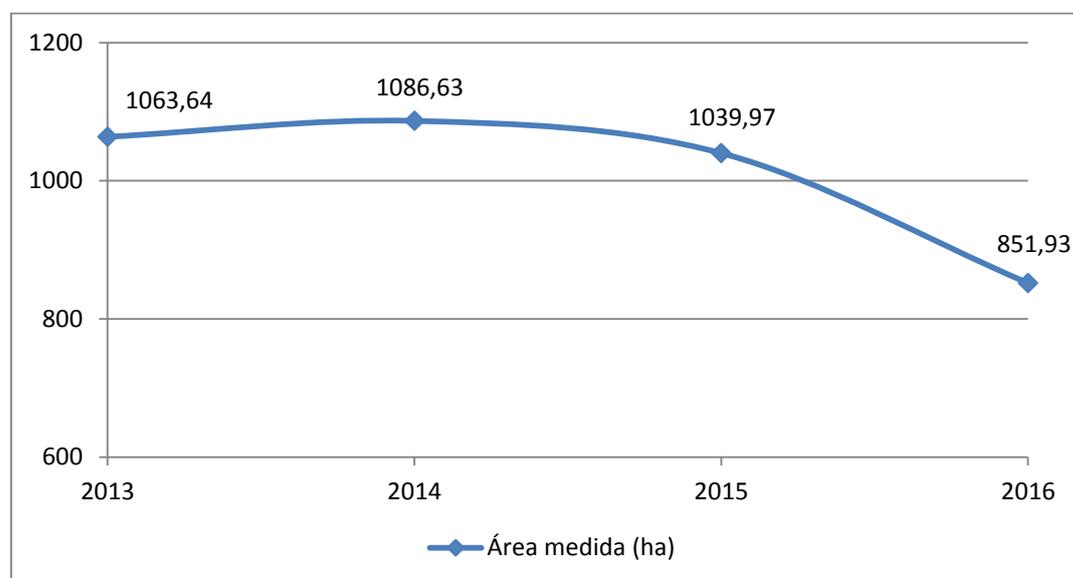


Gráfico 1. Área da superfície da lâmina d'água no reservatório da Barragem do Rio Descoberto entre os anos 2013 e 2016.

A Figura 4 destaca as áreas onde houve as alterações na superfície da lâmina d'água no reservatório da Barragem do Rio Descoberto.

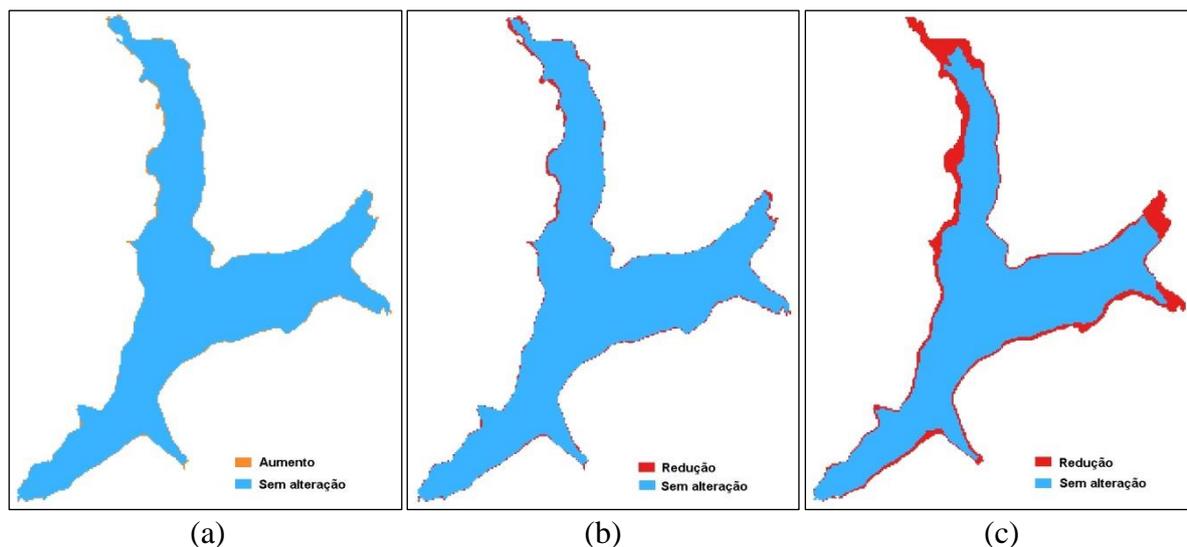


Figura 4: Reservatório da Barragem do Rio Descoberto: (a) mudanças entre 2013 e 2014, (b) mudanças entre 2014 e 2015, (c) mudanças entre 2015 e 2016.

Observa-se pela figura que quase não se nota as áreas de aumento entre os anos de 2013 e 2014, enquanto que entre os anos 2014 e 2015 é possível notar uma faixa de redução em torno de toda a superfície do reservatório. Já entre os anos 2015 e 2016 é bem destaca as áreas de redução da superfície do reservatório, com destaque para grandes áreas ao longo do braço que se entende ao norte e também para o braço a leste.

### 3.2 Reservatório de Santa Maria

O Gráfico 2 apresenta os valores de área obtidos para a superfície da lâmina d'água do reservatório de Santa Maria.

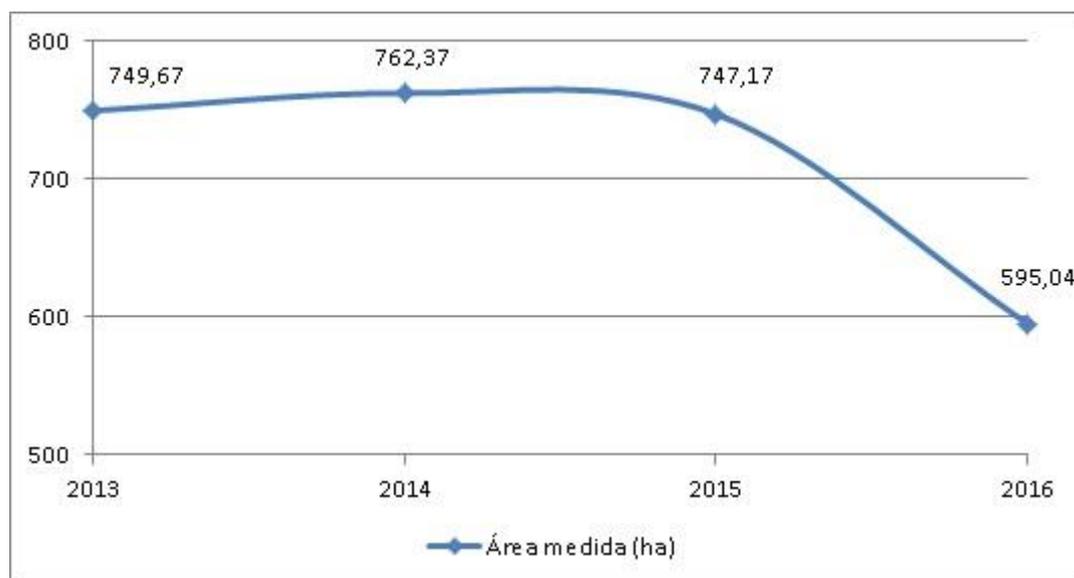


Gráfico 2. Área da superfície da lâmina d'água no reservatório de Santa Maria entre os anos 2013 e 2016.

É possível notar pela curva do gráfico que o comportamento deste reservatório ao longo do período analisado foi exatamente igual ao comportamento observado para o reservatório da Barragem do Rio Descoberto, com uma leve variação entre os anos de 2013 e 2015, e uma queda acentuada entre os anos de 2015 e 2016.

Numericamente, houve para a superfície da lâmina d'água do reservatório de Santa Maria um aumento de 12,7 ha entre 2013 e 2014, uma redução de 15,2 ha entre 2014 e 2015, e uma queda acentuada entre 2015 e 2016 de 152,13 ha.

A Figura 5 mostra as mudanças de área ocorridas na superfície da lâmina d'água do reservatório de Santa Maria.

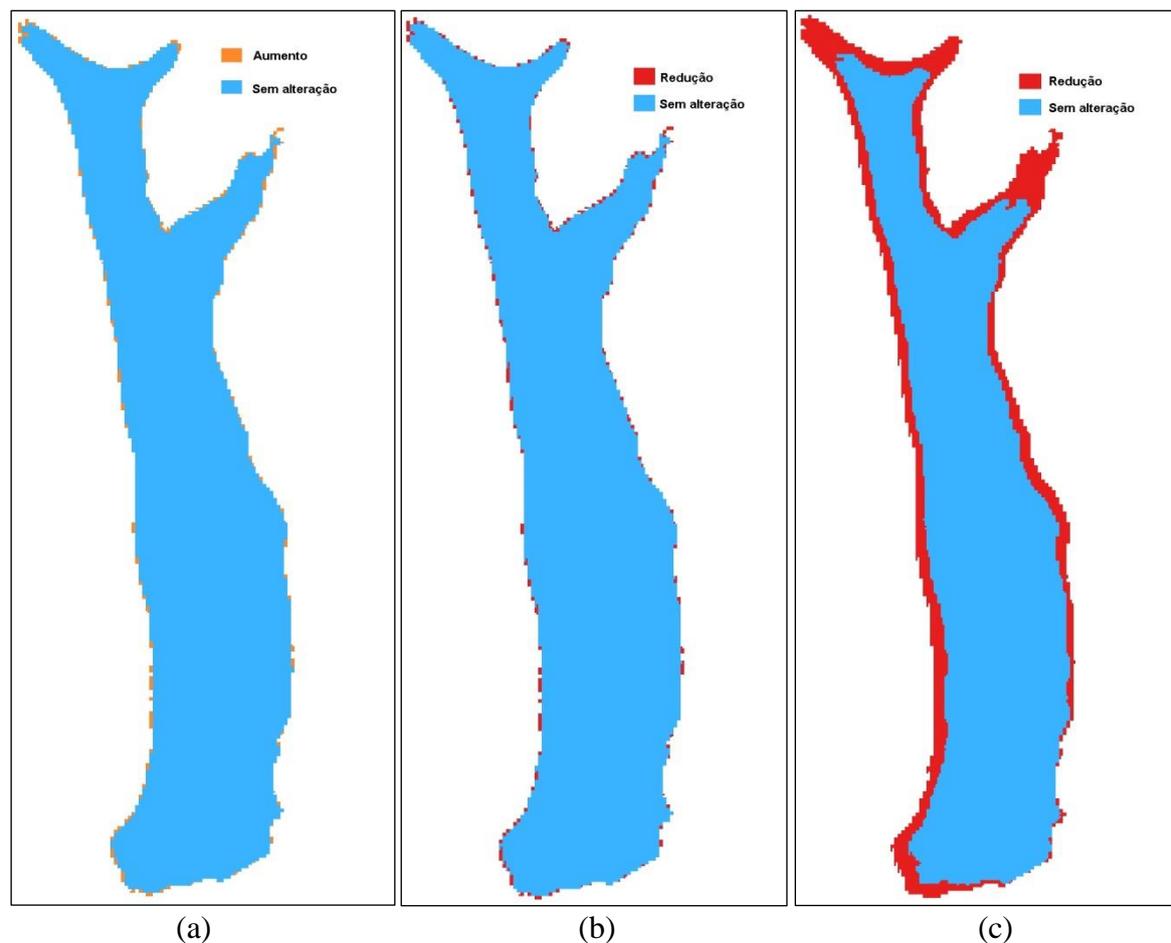


Figura 5: Reservatório de Santa Maria: (a) mudanças entre 2013 e 2014, (b) mudanças entre 2014 e 2015, (c) mudanças entre 2015 e 2016.

Com base na Figura 5 é possível notar que existe grande semelhança entre as imagens (a) e (b), onde as áreas de aumento da superfície do reservatório entre 2013 e 2014, praticamente são as mesmas áreas que sofreram redução entre os anos de 2014 e 2015.

Entre os anos de 2015 e 2016 observa-se que o processo de redução da superfície do reservatório foi praticamente uniforme ao longo do seu perímetro, com uma maior acentuação nas áreas de cabeceira do lago, e menos acentuada na região onde é realizada a captação de água, localizada na porção sudeste da Figura 4.

#### 4. Considerações Finais

A geração de imagens MNDWI a partir de imagens LANDSAT 8 fusionadas mostraram-se bastante adequadas para a delimitação da lâmina d'água de reservatórios, visto que com um ajuste correto nos limiares de valores é possível classificar os reservatórios com um número baixo de pixels errôneos, que são facilmente corrigidos a partir da edição matricial.

Os resultados mostraram que os reservatórios analisados apresentaram comportamentos exatamente iguais no período de estudo, com destaque para a queda suave no nível da lâmina d'água entre 2014 e 2015, e queda bem mais acentuada entre 2014 e 2015.

Para uma análise mais detalhada dos reservatórios, seria apropriado cruzar a área da lâmina d'água obtida das imagens de satélite com dados pluviométricos do ano e com dados de consumo de água pelos habitantes. A estimativa da variação no volume de água em determinado período, baseado na relação entre área da lâmina d'água do reservatório e o volume de água também deve ser abordada em trabalhos futuros.

#### Referências Bibliográficas

Agência Nacional de Águas (ANA). **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água**. Resultado por Estado, v. 2, 2010.

Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA). **Boletim semestral**, n. 46, 2016. Disponível em: < [http://www.cbhmaranhao.df.gov.br/boletim\\_semanal.asp](http://www.cbhmaranhao.df.gov.br/boletim_semanal.asp)>. Acesso em 15.nov.2016.

Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M., Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers and Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

Fonseca, L.; Namikawa, L.; Castejon, E., Carvalho, L.; Pinho, C.; Pagamisse, A. Image fusion for remote sensing applications. In: Zheng, Y. (Ed.) **Image fusion and its applications**. Publisher: InTech, 2011, cap. 9, p. 153-178.

McFeeters, S. K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

Xu, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.