

IMAGENS LANDSAT 8 PARA MONITORAMENTO DE VOLUME DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS: ESTUDO DE CASO NAS BARRAGENS JAGUARI E JACAREÍ DO SISTEMA CANTAREIRA

Laércio Massaru Namikawa

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
laercio@dpi.inpe.br

Abstract. This paper describes a methodology to extract open water surface from Landsat 8 multispectral images using IHS transformation of the 64 (RGB) color composition. The hue component H displays a better visual separability between open water features and other targets than the Normalized Difference Water Index using either Near-Infrared or Shortwave-Infrared. The methodology was tested using Landsat images over the Jaguari-Jacareí reservoir located in São Paulo state in Brazil, which has been depleted over the course of the availability of Landsat images, specially during year 2014. The methodology requires the existence of the relation Water level x Volume x Area for the reservoir. Results indicate that the differences in volume and area between values extracted from imagery and published by the regulatory Agency ANA are less than 2% in average, with maximum difference just over 5%.

Palavras-chave: IHS transformation, NDWI, Landsat 8, open later surface extraction.

1. Introdução

Durante o ano de 2014 houve uma redução drástica do volume de água disponível para o Sistema Cantareira, com 337,73 hm³ de volume no sistema em 6 de novembro de 2014 (ANA, 2014a), o que equivale a 22,6% da capacidade total de armazenamento. A maior capacidade de armazenamento se encontra no reservatório Jaguari/Jacareí, com 70% da capacidade total (ANA, 2014b). No reservatório Jaguari/Jacareí, a cota máxima de operação é de 844 metros, equivalendo a um volume de 1047,55 hm³ em uma área de 49,91 km² (ANA, 2014b).

A ANA divulga informações sobre o Sistema Cantareira, incluindo cotas e volumes dos reservatórios no sítio <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/saladesituacao/default.aspx>. Para reservatórios sem um monitoramento constante, uma metodologia que possa estimar o volume de água disponível através de Sensoriamento Remoto, é necessária para o gerenciamento e a tomada de decisão sobre a utilização de recursos hídricos. Logo, o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para o monitoramento do volume de água em reservatórios utilizando imagens do satélite Landsat 8.

A metodologia baseia-se no uso de imagens dos satélite Landsat 8 e técnicas de processamento de imagens que detectam lâminas de água, como as técnicas iniciadas pelo trabalho de McFeeters (1996).

1.1 Características da Imagem do Landsat 8

O Landsat 8 foi lançado em 11 de fevereiro de 2013 como provedora de imagens para a continuidade da missão Landsat através de uma cooperação entre o U.S Geological Survey (USGS) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA). As principais características que diferenciam o Landsat 8 das missões anteriores são a quantização em 12 bits e a adição de duas novas bandas, uma para aplicação em estudos de águas costeiras e aerossóis e outra para detecção de nuvens do tipo cirrus. As imagens são fornecidas sem custo e sem restrições de uso pela USGS após 24 horas da aquisição através do sítio <http://earthexplorer.usgs.gov/>. O formato de disponibilização é GeoTIFF, em 16 bits sem sinal, com projeção cartográfica UTM em Datum WGS 84, e ortorretificadas com um erro circular

de 20 metros (no intervalo de confiança de 90%). Informações adicionais podem ser encontradas em <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>.

1.2 Extração da Lâmina de Água em Imagens Landsat

As superfícies de água em imagens óticas de satélite se caracterizam pela baixa reflectância e permitiriam uma fácil separação entre este tipo de alvo e outros tipos de alvo. Entretanto, devido à efeitos de iluminação, especialmente sombras, à presença de sedimentos e pixels misturados, a separação exige o uso de combinação de bandas, como o Índice Normalizado de Diferença de Água (“*Normalized Difference Water Index*”- NDWI) e suas variações (Xu, 2006; McFeeters, 1996; Gao, 1996). O NDWI é um índice definido pela razão entre a diferença e a soma das bandas do verde e do infravermelho próximo (banda 4 no Landsat TM e ETM+) ou médio (banda 5 no Landsat TM e ETM+). Ji et al. (2009) testaram as variações do NDWI e concluíram que o uso da banda do infravermelho médio produz o limiar mais estável para diferenciar lâmina de água. Este limiar pode ser utilizado para separar a lâmina de água dos outros alvos da imagem.

2. Metodologia Proposta

A metodologia proposta consiste na extração da lâmina de água do reservatório em duas datas e, baseado na relação entre área e volume de água, estimar a variação no volume de água entre as duas datas. A relação entre área do reservatório e volume de água pode ser obtida através da documentação sobre o reservatório, como o "DADOS DE REFERÊNCIA ACERCA DA OUTORGA DO SISTEMA CANTAREIRA" disponível em <http://www.agua.org.br/editor/file/cantareira/dados.pdf> (ANA, 2014b).



Figura 1. Imagem fusionada sobre o reservatório Jaguari-Jacareí utilizada para calcular os índice NDWI53 e NDWI63 e a componente de matiz H. A fusão foi realizada sobre a composição 6,5,4 (RGB) utilizando a imagem pancromática através da transformação IHS aplicada por um programa LEGAL.

Para a extração da lâmina de água, uma comparação entre os histogramas (para a imagem Landsat 8 apresentada na Figura 1) dos índices NDWI para a banda do infravermelho próximo (NDWI53, indicando o uso das bandas 3 e 5 do Landsat 8 e apresentado na Figura 2^a) e para a banda do infravermelho médio (NDWI63, indicando o uso das bandas 3 e 6 do Landsat 8 e apresentado na Figura 2b) para a imagem indica que não existe uma diferença visual significativa entre os dois índices.

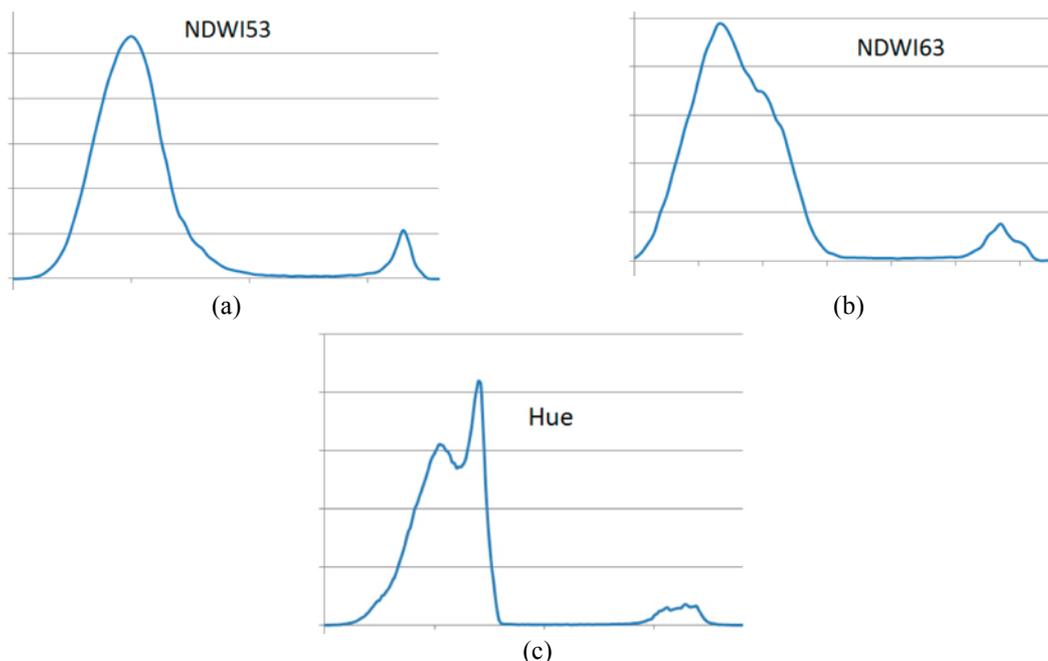


Figura 2. Histogramas: (a) da imagem índice NDWI53; (b) da imagem índice NDWI63; e (c) da imagem da componente matiz H da imagem em composição colorida 654 (RGB) de parte de uma imagem Landsat 8 (apresentada na Figura 1). Note que os pixels sobre a lâmina de água estão localizados nos valores mais altos de nível de cinza.

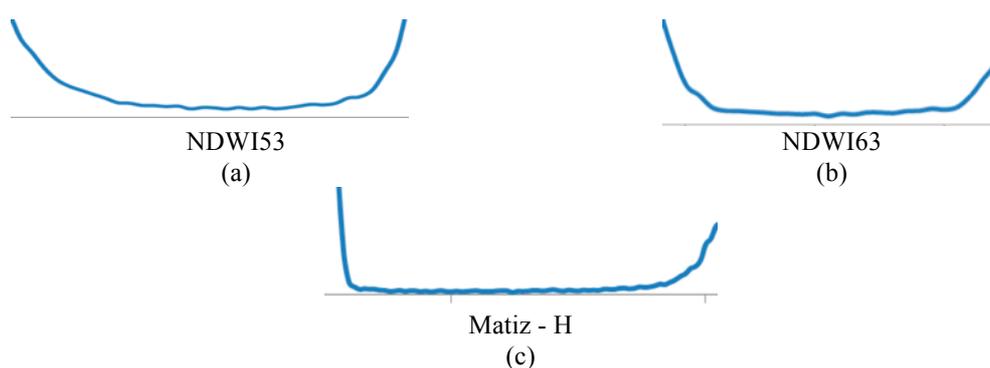


Figura 3. Detalhe da região entre os níveis de cinza correspondentes a outros alvos e a água para os histogramas: (a) da imagem índice NDWI53; (b) da imagem índice NDWI63; e (c) da imagem da componente matiz H. Note que na imagem H existe um número menor de pixels na região, indicando uma menor influência de pixels misturados.

Dado que o Landsat 8 fornece uma imagem pancromática com 15 metros de resolução espacial, a fusão entre as bandas para composição colorida RGB das bandas 6, 5 e 4, respectivamente, pode ser utilizada para criar uma imagem em composição colorida falsa cor, com resolução espacial melhorada de 30 para 15 metros (Fonseca et al., 2011). A observação

do histograma da componente de matiz (H) (apresentada na Figura 2c) do procedimento de fusão indica um formato similar aos histogramas de NDWI53 e NDWI63, indicando que H pode também ser utilizada para a extração de lâmina de água.

Entretanto, ao se observar no histograma com mais detalhe a região entre os níveis de cinza correspondentes a outros alvos e a água (apresentada na Figura 3), nota-se que a imagem H possui um número menor de pixels nesta região, indicando que a influência de efeitos de iluminação, presença de sedimentos e pixels misturados é reduzida em H em relação às imagens NDWI53 e NDWI63.

A definição do limiar de separação entre lâmina de água e outros alvos é crítica. Uma melhoria no procedimento é obtida com o uso de um classificador não supervisionado baseado no algoritmo EM (Dempster, 1977). Este classificador foi selecionado uma vez que os histograms indicam a existência de um Modelo de Mistura Gaussiano.

Assim, a metodologia consiste nos seguintes passos:

- 1- Obtenção de imagens das diversas datas de interesse a partir do sítio EarthExplorer do USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>);
- 2- Importação para o SPRING das bandas 1 a 9 disponibilizadas em arquivos imagens em Formato GeoTIFF;
- 3- Restauração das bandas 4, 5 e 6 para resolução espacial de 15 metros, utilizando os parâmetros do Landsat ETM (devido à ausência de parâmetros para o Landsat 8);
- 4- Fusão das bandas 4, 5 e 6 restauradas, em composição colorida R: 6, G: 5 e B:4, com a banda pancromática (banda 8) através de um programa escrito em LEGAL, baseado no algoritmo descrito por (Foley, et. al., 1996);
- 5- Classificação utilizando o algoritmo EM implementado no TerraView (Versão 5.0 Beta);
- 6- Limiarização do resultado do classificador no SPRING para criar um mapa temático com somente lâmina de água;
- 7- Eliminação automática de lâminas de água com área menor que 5000 m²;
- 8- Edição manual para eliminar os reservatórios e outras lâminas de água que não sejam de interesse.

3. Resultados e Discussões

As imagens Landsat 8 utilizadas foram as de 7 datas em 2013 (entre 26 de abril e 20 de novembro) e 12 datas em 2014 (entre 7 de janeiro e 7 de novembro). Estas imagens foram importadas e fusionadas no SPRING. Várias das imagens (por exemplo, a do dia 7 de janeiro de 2014 apresentada na Figura 4) contém áreas sombreadas por nuvens de diferentes intensidades, criando pixels misturados de nuvens, sombras e alvos de interesse.

A aplicação do algoritmo sobre as imagens depende do parâmetro do número de classes esperadas. Como o objetivo é separar as lâminas de água dos outros alvos, este parâmetro foi definido como sendo 2 classes. Entretanto, para as imagens com pixels misturados de nuvens e sombras, foi necessário utilizar 4 classes (por exemplo, a imagem do dia 7/1/2014 apresentada na Figura 5a). Além disto, como o algoritmo EM depende de condições iniciais, mesmo imagens sem nuvens necessitaram de definição de mais de 2 classes (imagem do dia 19/8/2014, com 6 classes). O resultado da eliminação automática de lâminas de água menores que 5000 m² e a edição manual para manter apenas o reservatório são apresentados na Figura 5 (b).

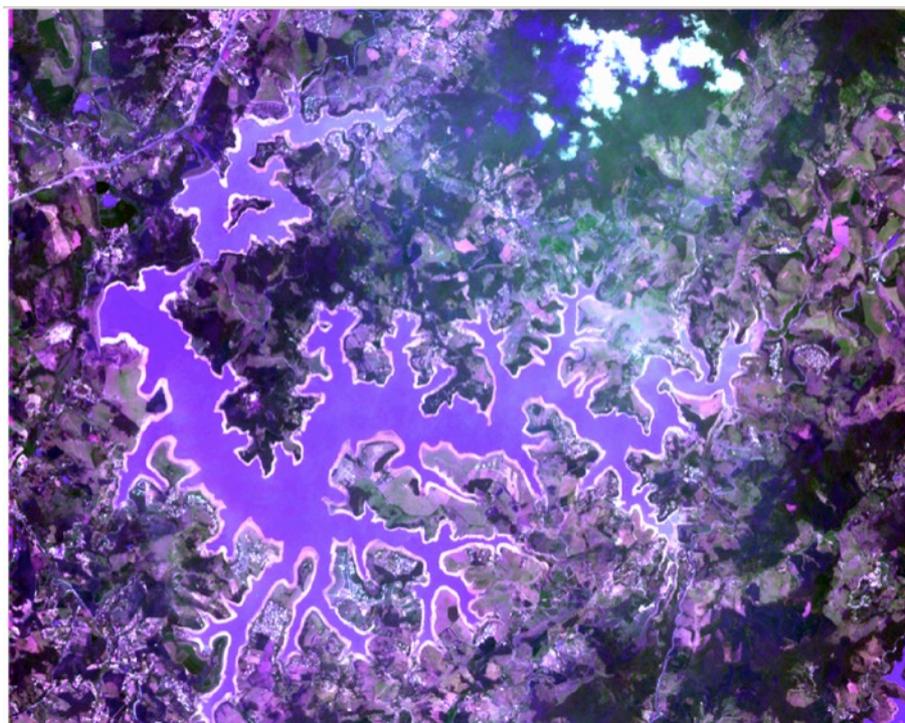


Figura 4. Exemplo de imagem fusionada sobre o reservatório Jaguarari-Jacareí de 7/Jan/2014. A fusão foi realizada sobre a composição 6,5,4 (RGB) utilizando a imagem pancromática através da transformação IHS aplicada por um programa LEGAL. Note a diferença nas reflectâncias ao longo da imagem devido a presença de nuvens.

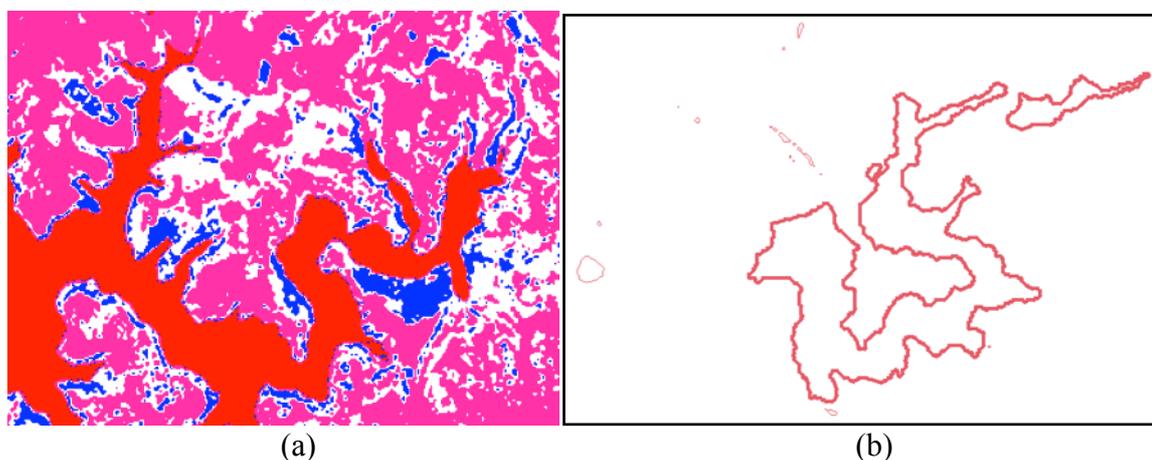


Figura 5. (a) Parte do resultado do classificador EM com parâmetro 4 classes; (b) Resultado da edição vetorial dos polígonos: os polígonos com linhas finas são eliminados e somente os polígonos com linhas grossas são preservados.

A Tabela 1 mostra a comparação entre as áreas detectadas e estimadas para as datas de aquisição das imagens, com a diferença percentual entre a área detectada na imagem e a estimada. A estimativa foi definida através da interpolação linear entre as áreas inundadas para as cotas da data da imagem de acordo com o Anexo 3.1 (“Cota x Área x Volume do reservatório Jaguarari-Jacareí”) de ANA (2014b). As cotas da data da imagem foram obtidas

dos relatórios diários similares ao ANA (2014a). Para cotas das datas anteriores a 31/Maio/2014, as cotas foram interpoladas linearmente usando as cotas do último dia do mês anterior e a do último dia do mês de aquisição obtidas dos relatórios mensais similares ao ANA (2014c). A redução na área pode ser visualizada na Figura 6.

Tabela 1. Comparação entre a área de lâmina de água detectada sobre a imagem Landsat 8 e a área do reservatório publicada pela ANA.

Data Imagem	Área Detectada (km ²)	Área Estimada (km ²)	Diferença (%)
26/Abr/2013	40,477	41,648	2,89
12/Mai/2013	39,415	41,493	5,27
15/Jul/2013	37,630	39,446	4,82
16/Ago/2013	37,444	37,835	1,04
1/Set/2013	36,300	36,846	1,50
20/Nov/2013	30,610	30,497	-0,37
7/Jan/2014	28,143	28,805	2,35
8/Fev/2014	26,289	26,871	2,21
28/Mar/2014	23,286	23,736	1,93
31/Mai/2014	21,145	21,270	0,59
16/Jun/2014	19,904	20,520	3,09
2/Jul/2014	18,215	19,188	5,34
3/Ago/2014	17,628	17,331	-1,68
19/Ago/2014	17,115	16,978	-0,79
22/Out/2014	16,218	16,351	0,82
7/Nov/2014	16,048	16,009	0,24

O diferença no volume de água entre duas datas de aquisição de imagens pode ser estimada como sendo a soma das áreas detectadas nas duas data, dividida por 2 e multiplicada pela diferença de cota nas datas. Esta diferença é apresentada na coluna 2 da Tabela 2. O total de redução no volume do reservatório de acordo com os dados publicados é de 627,90 hm³, enquanto o cálculo de redução através da estimativa nas imagens Landsat 8 indica a redução de 617,03 hm³, com uma diferença percentual de 1,73%.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

A metodologia proposta utiliza a componente matiz H, que é menos influenciada pelos efeitos de pixels misturados que ocorrem principalmente devido a presença de nuvens e suas sombras e a presença de sedimentos na água, em relação aos índices NDWI53 e NDWI63.

Tabela 2. Comparação da redução do volume de água do reservatório estimada por imagem do Landsat 8 e do volume publicado pela ANA.

Data Imagem	Redução Volume Detectado (km ²)	Volume Publicado (hm ³)	Redução Volume Publicado (hm ³)	Diferença (%)
26/Abr/2013		763,02		
12/Mai/2013	5,099	757,74	5,282	3,46
15/Jul/2013	65,202	689,61	68,127	4,29
31/Jul/2013	20,785	688,17	21,440	3,05
16/Ago/2013	26,798	641,60	26,565	-0,87
1/Set/2013	26,790	614,45	27,159	1,36
20/Nov/2013	136,153	476,41	138,035	1,36
7/Jan/2014	53,140	421,88	54,527	2,54
8/Fev/2014	53,165	367,23	54,652	2,72
28/Mar/2014	72,733	293	74,231	2,018
31/Mai/2014	50,874	242	51,000	0,25
16/Jun/2014	15,393	226,46	15,540	0,94
2/Jul/2014	23,062	202,66	23,800	3,10
3/Ago/2014	32,438	169,84	32,820	1,16
19/Ago/2014	5,732	164,21	5,630	-1,82
22/Out/2014	9,333	154,91	9,30	-0,36
7/Nov/2014	20,327	135,12	19,79	-2,72

A utilização da metodologia proposta permitiu que se estimasse tanto a área de lâmina de água, quanto a alteração no volume de água entre duas imagens com uma diferença média menor do que 2% e máxima de 5,3%.

Entretanto, a metodologia depende da existência de uma relação entre área, volume e cota para o reservatório, uma vez que somente é possível determinar a área de lâmina de água em uma imagem Landsat 8. A relação é única para cada reservatório e pode ser encontrada na documentação técnica sobre este reservatório.

Uma comparação exaustiva em áreas com mistura de pixels deve ser realizada para determinar se a utilização da componente matiz é significativamente melhor do que os índices NDWI. Além disto, deve-se também definir quais composições coloridas são mais adequadas para a extração da componente matiz.

5. Referências

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.

Gao, B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, 58, p. 257–266, 1996.

Xu, Hanqiu. "Modification of normalised 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.

Fonseca, L., Namikawa, L., Castejon, E., Carvalho, L., Pinho, C., Pagamisse, A. **Image fusion for Remote Sensing applications**. Image fusion and its applications (2011): 153-178.

Ji, Lei, Li Zhang, and Bruce Wylie. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.75, n.11 (2009): 1307-1317.

Dempster, A.P., Laird, N.M., Rubin, D.B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, (1977):1-38.

Foley, J. D., Dam, A. V., Feiner, S. K., & Hughes, J. F. (1996). **Computer graphics: principles and practice**.

ANA (2014a). **BOLETIM DIÁRIO ANA/DAEE DE MONITORAMENTO DO SISTEMA CANTAREIRA: SITUAÇÃO DO SISTEMA EQUIVALENTE - 06/11/2014**. Disponível em: < http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/BoletinsDiarios/DivulgacaoSiteSabesp_6-11-2014.pdf >. Acesso em: 07.nov.2014.

ANA (2014b). **DADOS DE REFERÊNCIA ACERCA DA OUTORGA DO SISTEMA CANTAREIRA**. Arquivo em format PDF: Aud_001_2014_DadosdeReferenciaAcercadaOutorgadoSistemaCantareira.pdf. Disponível em: < <http://audienciapublica.ana.gov.br/arquivos/> >. Acesso em: 07.nov.2014.

ANA (2014c). **BOLETIM DE MONITORAMENTO DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA CANTAREIRA**. v.5, n.4, abr. 2010. Arquivo em format PDF: Boletim_Monitoramento_Reservatorios_Cantareira_2010_10.pdf. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/BoletinsMensais/Cantareira/> >. Acesso em: 07.nov.2014.

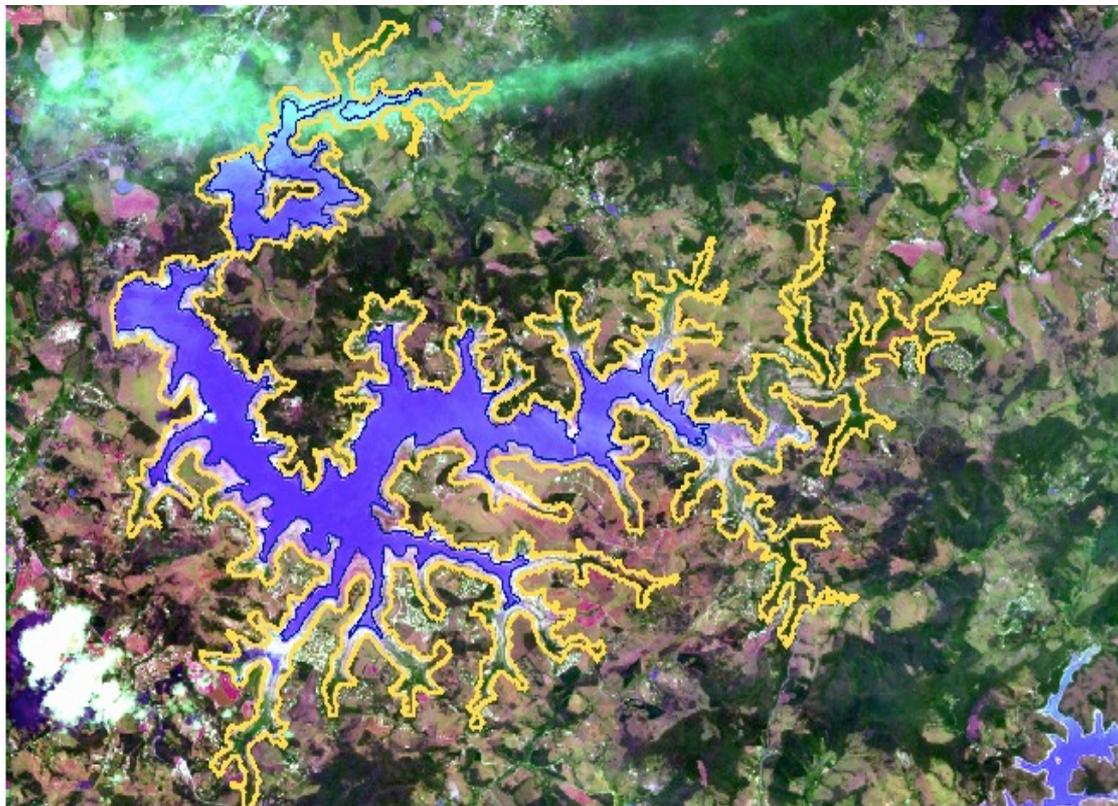


Figura 6. Imagem fusionada adquirida pelo Landsat 8 em 7/nov/2014. A linha em amarelo indica o limite do reservatório em 18/abr/2010 e a linha em azul indica o limite em 7/nov/2014.