

Análise de múltiplas imagens para detecção de bordas do Reservatório de Sobradinho, Bahia

Analysis of multiple images for edge detection of Sobradinho Reservoir, in Bahia, Brazil

João Rodrigues Tavares Junior^{1*}, Jhonathan Gomes dos Santos², Ana Lúcia Bezerra Candeias³

RESUMO

Neste trabalho, foram realizados testes de mapeamento de borda do reservatório de Sobradinho, Bahia, Brasil, com imagens TM LANDSAT-5, MDE-SRTM, borda do SRTM-SWBD e ASTER-GDEM-VNIR. A segmentação da imagem mosaicada da banda 4 do sensor TM serviu como referência comparativa de borda do reservatório de Sobradinho em relação às outras imagens: observou-se que o mais próximo era a borda SRTM-SWBD da NASA/NGA. Foram elaborados perfis altimétricos, entre as bordas MDE-SRTM, e radiométricos, na banda B4 segmentada. Constatou-se: baixa penetração do imageamento do MDE-SRTM nas reentrâncias das bordas do reservatório. Foram constatadas discrepâncias entre a borda SRTM-SWBD (SWB) e a segmentação da banda 4.

Palavras-chave: segmentação; TM LANDSAT-5; MDE-SRTM; SRTM-SWBD; ASTER-GDEM-VNIR.

ABSTRACT

Edge mapping tests of Sobradinho reservoir, Bahia, Brazil, were carried out on this work with TM Landsat-5 and MDE-SRTM images and SRTM-SWBD and ASTER-GDEM-VNIR edges. Mosaic of image segmentation band 4 TM sensor aided as comparative reference edge of the Sobradinho reservoir in relation to other images, and it was observed that the closest was the SRTM-SWBD edge of the NASA/NGA. Altimetry profiles were developed between MDE-SRTM edges, and also radiometric profiles, on the targeted band B4. It was found: low penetration of MDE-SRTM imaging in recessed edges of the reservoir, and discrepancies between the SRTM-SWBD edge (SWB) and the segmentation of the band 4.

Keywords: segmentation; TM LANDSAT-5; MDE-SRTM; SRTM-SWBD; ASTER-GDEM-VNIR.

INTRODUÇÃO

O mapeamento da borda de reservatórios não é trivial, pois existe uma dinâmica dessa feição, como: variações do nível do reservatório, eutrofização, sedimentação, erosão e alterações no uso e na ocupação das margens. Outro problema é tempo de revisita do sensor (resolução temporal) coincidente com a medição da cota do reservatório.

Para o estudo de bordas de reservatório, são muito importantes a disponibilidade das épocas das imagens e o conhecimento correto sobre as datas das suas cotas o mais próximo possível das datas das imagens na análise das bordas.

Diversas aplicações de detecção de grandes corpos d'água utilizam técnicas de sensoriamento e processamento de imagem, como: extração de linhas de contornos de lagos e reservatórios (FRAZIER & PAGE, 2000; LU *et al.*, 2011); delimitação da linha de costa (YOO *et al.*, 2004); demarcação de linhas recife de corais (YAMANO *et al.*,

2006); ou, ainda, na delimitação dos contornos de planícies de maré (RYU; WON; MIN, 2002). Verifica-se, entretanto, que esses trabalhos não avaliam a detecção de feições usando múltiplas imagens. Tem-se, então, que isso constitui um problema que demanda experimentos e discussões sobre discrepâncias espaciais, espectrais e radiométricas entre bordas, especialmente se forem obtidas por diferentes sensores. Estuda-se, aqui, o caso da borda do Reservatório de Sobradinho, o maior lago artificial do mundo (CHESF, 2011), localizado no Estado da Bahia, Brasil.

Na abordagem com os múltiplos sensores foram usadas as imagens TM LANDSAT-5 (*Thematic Mapper Land remote sensing Satellite-5*), MDE-SRTM (Modelo Digital de Elevação-*Shuttle Radar Topography Mission*), borda do SRTM-SWBD (SRTM-*Water Body Data*), da National Aeronautics and Space Administration/National Geospatial-Intelligence Agency-NASA/NGA) e ASTER-GDEM-VNIR (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global*

¹Professor do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - Recife (PE), Brasil.

²UFPE - Recife (PE), Brasil.

³Professora do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE - Recife (PE), Brasil.

*Autor correspondente: rodriguesjoao380@gmail.com

Recebido: 09/03/15 - Aceito: 31/01/17 - Reg. ABES: 146952

Digital Elevation Model-Visible Near Infrared). Na análise das múltiplas imagens e extração de borda, tomou-se como referência a segmentação da banda 4 do sensor TM, que está na faixa espectral do infravermelho. Nessa faixa, que vai de 0,75 até 1,00 μm , o comportamento espectral da água (NOVO, 2001; WATANABE *et al.*, 2010) é diferente do tipo de solo exposto, facilitando o contraste com afloramentos de rochas do embasamento cristalino, estruturas geológicas (JENSEN, 2009; NOVO, 2008) muito frequentes nas margens do Reservatório de Sobradinho (SANTOS, 2012; SANTOS & TAVARES JUNIOR, 2013).

A seguir, são apresentadas algumas definições sobre as imagens dos sensores utilizados para posterior análise comparativa de extração da borda do reservatório de Sobradinho e que podem gerar produtos cartográficos na escala 1:150000.

Modelo Digital de Elevação-Shuttle Radar Topography Miss

O MDE-SRTM é uma representação tridimensional da superfície terrestre obtida por interferometria InSAR (FARR *et al.*, 2007); Rodríguez, Morris e Belz (2006) listam diversas fontes de erros nos dados MDE-SRTM, bem como atribuem esses ruídos lineares paralelos entre si a erros de calibração estática do sistema InSAR, resultando em uma notável observação de padrões de faixas. Esses ruídos são mostrados na Figura 1A, com imagem sombreada do MDE-SRTM do reservatório de Sobradinho, e na Figura 1B, com imagem TM LANDSAT-5, banda 4, da mesma área. Na segmentação com SRTM, esse tipo de ruído poderá prejudicar a extração da borda.

SRTM-Water Body Data

Slater *et al.* (2006) descrevem a edição de um produto, dentre outros, muito significativo acerca dos MDE-SRTM: o SRTM-SWBD. Trata-se de um conjunto de dados obtidos a partir do MDE-SRTM de nível 2, ou seja, com 30 m por *pixel*, editados para cada bloco, e disponível em arquivos na extensão SHP (ESRI, 1998), que fornecem uma

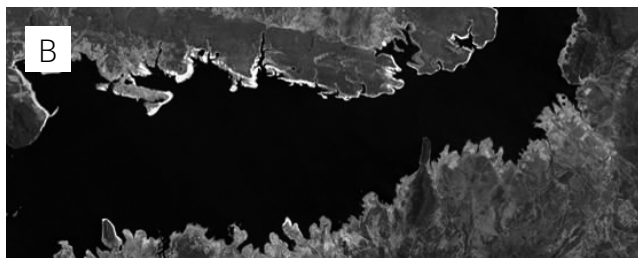
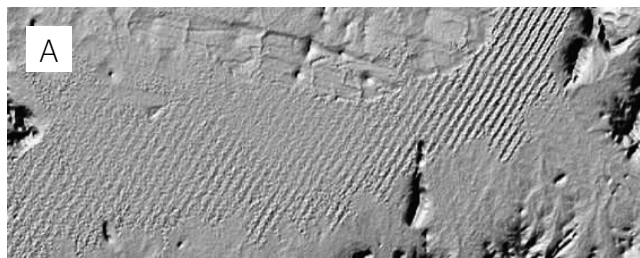
representação vetorial de linhas de borda de corpos d'água. A edição desses produtos foi realizada com apoio suplementar por cartas digitalizadas pertencentes à NGA e por máscaras de coberturas de solo obtidas com o TM LANDSAT-5, com datas do final da década de 1980 ao ano de 1993. A precisão planimétrica desses dados foi especificada em 50 m (erro médio quadrático), mas, na avaliação da NASA, o erro pode ser menor, de 19 a 25 m. No caso de águas interiores, foram incluídos lagos com comprimento maior ou igual a 600 m, conforme especificações da *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA, 2000).

Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model

O ASTER-GDEM consiste em um MDE obtido por estereoscopia da banda 3 do ASTER (infravermelho próximo na faixa espectral de 0,78 a 0,86 μm) (HIRANO; WELCH; LANG, 2003). Devido ao método de obtenção dos dados ASTER-GDEM, nos corpos d'água, segundo Guth (2006), ocorrem algumas anomalias visuais desse sistema sensor e esse autor sugere o uso do SWBD para cobrir tais ocorrências. Dentre os principais erros e anomalias inerentes ao ASTER-GDEM-VNIR, destacam-se: a anomalia de passo e o efeito topeira (ASTER GLOBAL DEM, 2009).

O modelo ASTER-GDEM de uma mesma área é obtido de ângulos distintos, o que pode acarretar diferenças em altitudes nos extremos das cenas, gerando feições lineares nesses locais.

Quando as cenas são obtidas em diferentes datas, haverá diferenças de nível do reservatório, que são denominadas anomalias de passo (*step anomalies*). Isso ocorre em imagens sobrepostas na geração do MDE. Essas anomalias podem representar para o ASTER-GDEM descontinuidade ou deslocamento altimétrico do relevo apresentado pelo modelo, semelhante a um cisalhamento da superfície. O efeito caminho de toupeira é descrito em Aster Global DEM (2009) como uma anomalia de sobreposição das cenas utilizadas no modelo, mas, diferentemente das anomalias de passo, não se evidencia somente nos limites das cenas capturadas.



SRTM: Shuttle Radar Topography Mission.

Figura 1 – Efeito de ruído de radar SRTM na água (listras). (A) Imagem sombreada SRTM; (B) imagem da banda 4 TM.

Fatiamento e crescimento de regiões

O fatiamento simplifica uma imagem original em intervalos. Os valores dos *pixels* de uma imagem podem representar níveis de cinza, em caso da imagem TM, altimetria, caso do MDE-SRTM e do ASTER-GDEM, ou resultados dependendo do que está sendo modelado na imagem. Quando se tem apenas um limiar, a imagem resultante é binária.

O crescimento de regiões (CR) gera uma segmentação de imagem e depende de parâmetros de similaridade em sua definição. Esses conceitos podem ser vistos em Gonzalez e Woods (2010), bem como em Guimarães e Candeias (2009).

A técnica de CR (ESPINDOLA, 2006) é obtida supondo um agrupamento de dados, em que, espacialmente, regiões adjacentes são agrupadas. Ela é baseada em um critério de similaridade baseado em um teste de hipótese estatístico e que testa a média entre as regiões. Essa técnica pode ser vista no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), e é utilizada aqui para a extração de bordas. Neste trabalho foi efetuada a segmentação por CR que agrupa *pixels* em sub-regiões ou regiões, utilizando limiares de similaridade entre os *pixels* da imagem, com base nos valores de reflectância da imagem TM banda 4 (BRITES; BIAS; SANTA ROSA, 2012).

METODOLOGIA

A área de estudo é o Reservatório de Sobradinho (Figura 2), maior lago artificial do mundo, localizado no Estado da Bahia. Ele foi gerado

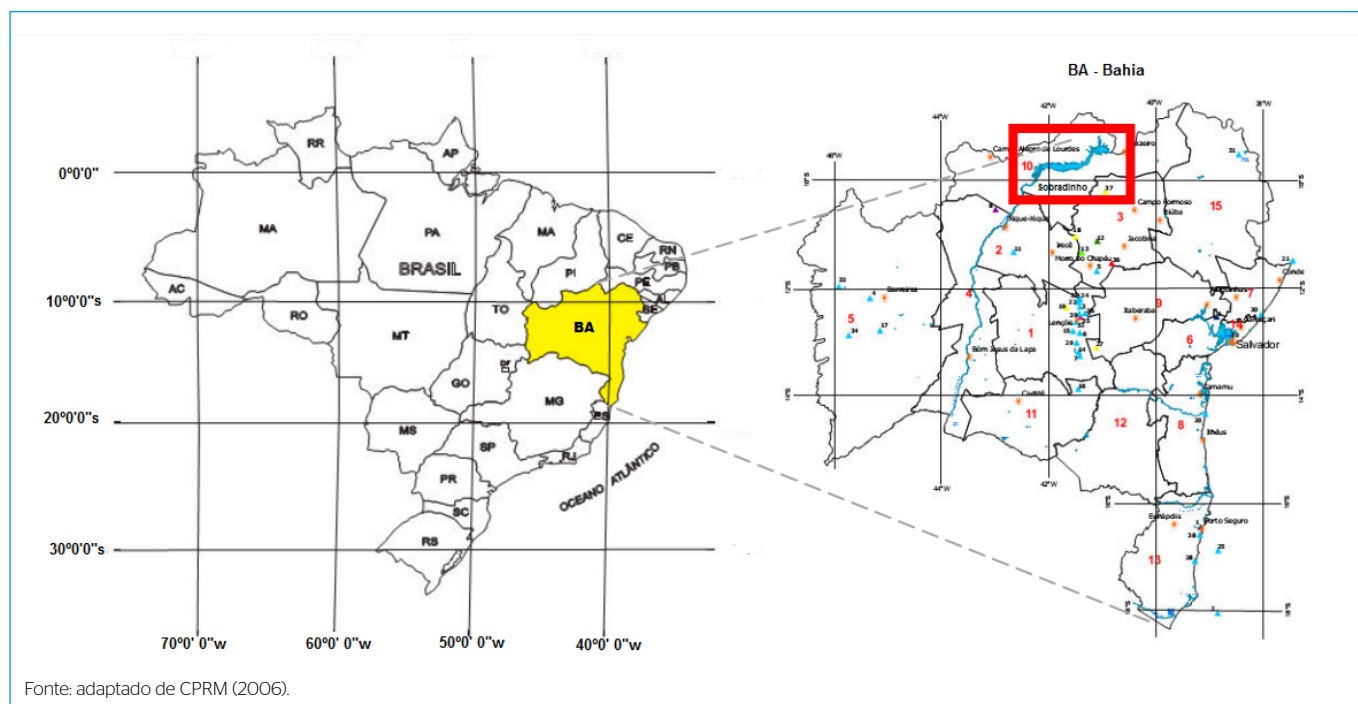
a partir do represamento do Rio São Francisco e tem-se que o relevo e o volume de água condicionam a forma da sua borda. A vegetação predominante é de caatinga, geologia caracterizada por terrenos cristalinos aplainados (CPRM, 2006).

A área do entorno do Reservatório de Sobradinho apresenta-se predominantemente constituída de sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso, configurações características de planícies fluviais ou flúviolacustres (CPRM, 2006). O reservatório tem área de 4.214,3 km²; sua cota máxima de operação é de 392,5 m, tendo 280 km de comprimento máximo e largura variável de 5 a 50 km; já a cota mínima de operação é de 380,5 m (CORREIA & DIAS, 2003; DANTAS, 2005).

Neste trabalho, a escolha de um MDE para a detecção de bordas de corpos d'água deve-se ao fato de que o relevo, com a cota de água, delimita o contorno aproximado das margens do reservatório.

Foram usadas imagens do ASTER-GDEM-VNIR e MDE-SRTM; este último, em particular, traz, entre seus subprodutos, o SWBD, que consiste em um trabalho de vetorização de grandes corpos d'água da Terra no formato .shp (*shape file*).

Neste trabalho, o estudo da borda do Reservatório de Sobradinho inclui a segmentação da banda 4 do TM LANDSAT-5 (assumida como referência) e o relevo do MDE-SRTM, que permitiram analisar o comportamento espacial da banda 4 segmentada do TM LANDSAT-5, e comparações com as bordas do SRTM-SWBD, MDE-SRTM e ASTER-GDEM-VNIR. A adoção da banda 4 representa um referencial comparativo em relação às bordas detectadas por outros sistemas



Fonte: adaptado de CPRM (2006).

Figura 2 - Localização do Reservatório de Sobradinho.

sensores e também por ser bastante utilizada na definição de corpos d'água devido às suas características espectrais.

Nas imagens *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR), do MDE-SRTM (banda C – 5,21 a 7,69 cm; 90 m por *pixel*), o comportamento espectral da interface água-solo é muito distinto da faixa do infravermelho (ZHOU; SHANG; LI, 2009; RABUS *et al.*, 2003).

O ASTER-GDEM-VNIR obtém o relevo por meio da estereoscopia das imagens das bandas 3B (*Back*) e 3N (*Nadir*), cuja faixa espectral é de 0,76 a 0,86 μm , e possui resolução espacial de 30 m (ASTER GLOBAL DEM, 2009).

Foi utilizado o SPRING (versão 5.1.7), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Foi necessário compatibilizar datas das imagens MDE-SRTM, ASTER-GDEM e TM LANDSAT-5, visto que o contorno do reservatório varia de nível.

A missão SRTM foi realizada entre 11 e 20 de fevereiro de 2000 (RABUS *et al.*, 2003). Os dados do ASTER-GDEM, produzidos a partir de estereoscopia (ASTER GLOBAL DEM, 2009), foram obtidos com imagens de diferentes épocas.

O critério de busca e escolha das imagens TM LANDSAT-5 foi composto pelas datas e pelas cotas médias mensais do Reservatório de Sobradinho entre os anos 2000 e 2011, disponibilizadas pela CHESF. A cota estabelecida como padrão foi a de fevereiro de 2000, já que as imagens SRTM não estavam disponíveis para quaisquer outras épocas.

Em fevereiro de 2000, a cota média mensal foi de 387,24 m; a partir disso, foram escolhidos os meses entre janeiro de 2000 e dezembro de 2011 que apresentassem cotas semelhantes à de 387,24 m (± 1 m). Diante das dimensões do Reservatório de Sobradinho (4214,30 km^2), bem como de sua localização e orientação, foram necessárias quatro cenas TM LANDSAT-5, cujas órbitas-pontos são: 217/66, de 29 de agosto de 2011; 217/67, de 24 de setembro de 09/2009; 218/66, de 26 de maio de 2011; e 218/67, de 28 de setembro de 2010.

Devido à baixa disponibilidade das imagens TM LANDSAT-5 com índices de nuvens menores possíveis, foram consideradas, nas análises e nos processamentos efetuados neste trabalho, apenas as bandas da cena da órbita-ponto 218/67, que cobre 79,2% da superfície do reservatório. As demais imagens das órbitas-pontos 217/66, 217/67 e 218/66 foram usadas apenas para completar o mosaico do reservatório, não sendo consideradas no processamento.

As cenas TM LANDSAT-5 aqui utilizadas foram submetidas à correção radiométrica usando o método *Dark Object Subtraction* (DOS), desenvolvido por Chaves Jr. (1989), e implementado no presente artigo a partir do uso da metodologia proposta por Gürtler *et al.* (2005). O mosaico das imagens TM foi corrigido pelo método DOS.

A área de estudo deste trabalho foi dividida em dez setores nas margens do Reservatório de Sobradinho na comparação da segmentação da banda 4 e os dados obtidos pelo SWBD.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os resultados e a discussão da extração de borda do Reservatório de Sobradinho supondo múltiplas imagens de sensores distintos.

Fatiamento de imagens TM

O mosaico da banda TM4 das cenas 218/66, 217/66, 218/67 e 217/67 é apresentado na Figura 3A. Já o fatiamento radiométrico da Figura 3A é mostrado na Figura 3B. Esse fatiamento divide a imagem TM4 em dez níveis de cinza, sendo os limites inferior e superior desse fatiamento 0 e 255, respectivamente. É possível observar na Figura 3B que a área alagada do Reservatório de Sobradinho é representada predominantemente em tons azuis correspondentes aos mais baixos níveis de cinza. A geometria do reservatório é facilmente percebida mediante esse fatiamento radiométrico. A Figura 3C apresenta o fatiamento do ASTER-GDEM; a Figura 3D, o fatiamento do MDE-SRTM; e a Figura 3E, a borda vetorizada do MDE-SRTM, denominada de BWB. O detalhamento desses resultados será mostrado posteriormente nesta seção.

A identificação do limiar de nível de cinza da área alagada pertencente ao reservatório é obtida a partir da busca por um valor que apresente visualmente toda a área do Reservatório de Sobradinho, que, por sua vez, devido à dinâmica e às dimensões desse corpo d'água, apresenta valores de reflectância maiores que os esperados para água mais transparente. Isso ocorre devido à presença de elementos opticamente ativos.

O algoritmo de segmentação de imagens por CR usado no SPRING, versão 5.1.7, solicita um valor numérico de similaridade que corresponda à média do intervalo de níveis de cinza admitido para determinada classe de alvo na superfície, neste caso: as áreas alagadas e uma área. Foram realizados testes com similaridade 25 e 50 e área igual a 1, 10 e 50. O melhor resultado obtido teve similaridade igual a 25 e área igual a 1. Essa borda foi tomada como referência neste trabalho e convencionou-se chamá-la de borda B4 (Figura 3F).

Fatiamento *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model*

O modelo ASTER-GDEM-VNIR da região do Reservatório de Sobradinho foi mosaicado a partir de seis imagens ASTER-GDEM (BWB) oriundas da banda 3 (3B e 3N), latitude/longitude:ASTGTM_S10W041_dem,10°S/41°W;ASTGTM_S10W042_dem,10°S/42°W,ASTGTM_S10W043_dem,10°S/43°W;ASTGTM_S11W041_dem,11°S/41°W, ASTGTM_S11W042_dem, 11°S/42°W; ASTGTM_S11W043_dem, 11°S/43°W.

A partir do mosaico ASTER-GDEM foi gerada uma imagem sombreada. Foram observadas anomalias de cotas sobre corpos d'água, descritas em Aster Global DEM (2009), que determinaram a não uniformização da extração da água supondo uma cota (Figura 3C).

A Figura 3C mostra o produto do fatiamento altimétrico do modelo ASTER-GDEM-VNIR com os valores de altitude de 380,50, 392,50 (cotas mínima e máxima de operação da barragem fornecidas pela CHESF, respectivamente) e 387,24 m (valor médio para o mês de

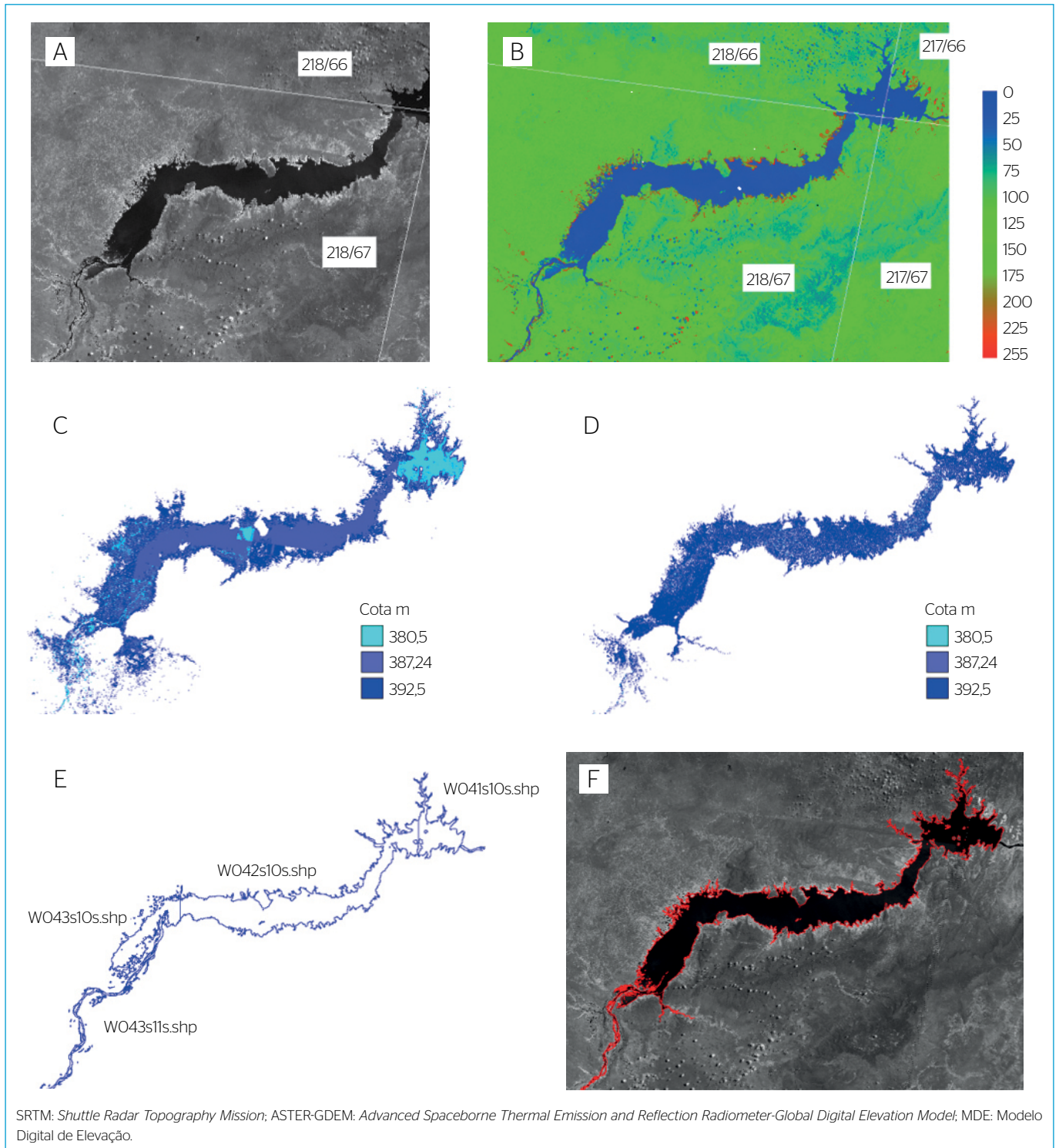


Figura 3 - Processamento de imagens no Reservatório de Sobradinho, Bahia, Brasil. (A) Mosaico de imagens TM LANDSAT-5 banda 4 do reservatório de Sobradinho; (B) fatiamento radiométrico de (A); (C) fatiamento do ASTER-GDEM; (D) fatiamento do MDE-SRTM; (E) borda vetorizada do MDE-SRTM, denominada de BWB; (F) banda B4, segmentação CR (vermelho).

fevereiro de 2000). Esse fatiamento foi realizado com o intuito de se avaliar a possibilidade de utilização do ASTER-GDEM-VNIR. Nota-se que existe diferença de altitude na superfície do reservatório fornecida pelo modelo ASTER-GDEM e que esta chega a 14 m, bem como há presença de anomalias inerentes a este produto, portanto, não é possível considerar a borda gerada por fatiamento altimétrico do reservatório de Sobradinho pela descontinuidade da mesma.

Fatiamento com Modelo Digital de Elevação-Shuttle Radar Topography Miss

O MDE-SRTM, disponível na forma de uma imagem em níveis de cinza, foi obtido pelo mosaico de quatro imagens, apresentadas pelo índice de nomenclatura da articulação compatível com a escala 1:250000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1998).

No SPRING, aplicou-se um fatiamento altimétrico ao MDE-SRTM, com seleção dos *pixels* baseada em intervalos regulares de mesma altitude; dessa forma, o fatiamento altimétrico mostra regiões em que a altitude é igual ou menor à cota do nível do Reservatório de Sobradinho cedida pela CHESF para o período da missão SRTM, ou seja, 387,27 m.

A Figura 3D apresenta o produto do fatiamento altimétrico em três níveis de altitude: 380,5, 387,5 e 392,5 m, representando o valor mínimo de operação da Barragem de Sobradinho, o valor da cota

média mensal do mês de fevereiro de 2000 e o valor da cota máxima de operação da barragem, respectivamente. Como não existe uma uniformidade das regiões, não é possível obter a borda do reservatório supondo essas altitudes.

SRTM-Water Body Data

Os dados da missão SRTM do MDE-SRTM possuem 90 m por *pixel*, o subproduto SWBD é uma vetorização de corpos d'água, informações que fornecem duas bordas distintas, consideradas a seguir.

Os arquivos SRTM-SWBD caracterizam-se em uma borda validada pela NGA, identificada no presente trabalho como borda BWB. Para tal, foram mosaicados quatro arquivos disponibilizados no formato .shp (*shape file*) de latitude/longitude: W041s10s.shp,41°W/10°S, W042s10s.shp,42°W/10°S, W043s10s.shp,43°W/10°S e W043s11s.shp,44°W/11°S.

A Figura 3F exhibe a borda do mosaico dos arquivos .shp, SWBD, chamada aqui de BWB.

A Figura 4 apresenta as 15 áreas selecionadas (em ciano) para estudar a comparação da borda B4 (em vermelho) com a BWB (em azul-marinho). As Tabelas de 1 a 6 apresentam as altitudes e os valores iniciais e finais encontrados nas bordas B4 e BWB, respectivamente; valores máximos e mínimos encontrados ao longo do perfil; o afastamento (em m) entre as bordas e a declividade média das áreas selecionadas das Figuras 4A, 4B e 4C.

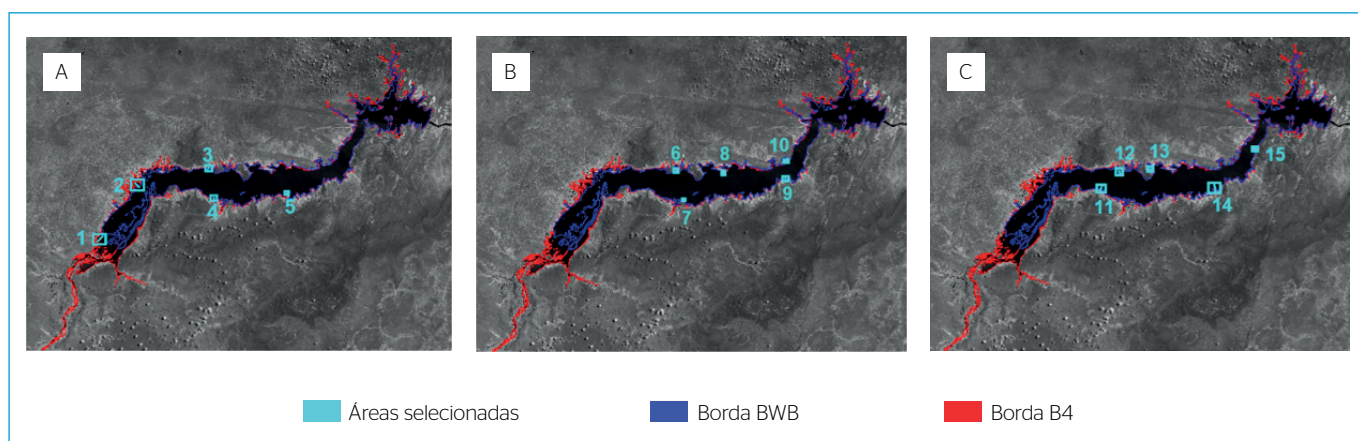


Figura 4 - Comparação de bordas B4 com BWB. (A) Borda B4 externa à BWB; (B) borda BWB externa à B4; (C) borda B4 igual à BWB.

Tabela 1 - Dados dos perfis topográficos: áreas 1, 2, 3, 4 e 5 da Figura 4A.

Perfil das áreas selecionadas	Afastamento (m)	Altitude B4	Altitude BWB	Maior altitude	Menor altitude	Declividade média (%)
1	3.348	390,00	390,42	392,20	387,60	0,60
2	2.549	391,70	390,90	391,80	388,40	0,40
3	1.404	392,50	389,00	392,60	388,40	0,50
4	756	393,10	398,50	399,60	387,50	1,39
5	908	389,30	393,20	393,80	387,80	0,83

Tabela 2 - Dados dos perfis radiométricos: áreas 1, 2, 3, 4 e 5 da Figura 4A.

Perfil das áreas selecionadas	Afastamento (m)	Reflectância B4	Reflectância BWB	Maior reflectância	Menor reflectância	Reflectância média (%)
1	3.348	39,60	13,51	39,60	10,13	26,56
2	2.549	41,33	17,25	41,33	15,00	18,68
3	1.404	40,53	13,68	40,53	12,00	16,89
4	756	43,70	22,00	43,70	19,62	26,21
5	908	44,04	24,24	44,04	21,49	25,23

Tabela 3 - Dados dos perfis topográficos: áreas 6, 7, 8, 9 e 10 da Figura 4B.

Perfil das áreas selecionadas	Afastamento (m)	Altitude B4	Altitude BWB	Maior altitude	Menor altitude	Declividade média (%)
6	306	394,40	393,10	394,40	393,10	1,07
7	216	396,00	386,70	396,00	386,50	1,47
8	347	397,40	389,30	397,90	389,30	2,68
9	713	391,90	389,30	392,90	389,30	1,11
10	444	395,60	393,40	395,60	390,50	1,53

Tabela 4 - Dados dos perfis radiométricos: áreas 6, 7, 8, 9 e 10 da Figura 4B.

Perfil das áreas selecionadas	Afastamento (m)	Reflectância B4	Reflectância BWB	Maior reflectância	Menor reflectância	Reflectância média (%)
6	306,00	170,44	55,10	254,00	55,10	195,24
7	216,00	165,37	83,60	253,59	83,60	204,13
8	347,00	254,00	55,76	254,00	55,76	218,07
9	713,00	219,62	60,18	219,62	59,22	174,81
10	444,00	211,68	107,21	254,00	107,21	226,52

Tabela 5 - Dados dos perfis topográficos: áreas 11, 12, 13, 14 e 15 da Figura 4C.

Perfil das áreas selecionadas	Afastamento (m)	Altitude B4 x BWB	Altitude final	Maior altitude	Menor altitude	Declividade média (%)
11	271,00	397,00	409,90	441,67	395,40	1,07
12	2.793,00	465,56	390,90	479,47	388,16	0,47
13	659,00	398,66	393,66	398,66	388,17	2,77
14	594,00	397,51	388,50	397,51	384,66	1,11
15	1.360,00	417,50	390,00	417,50	378,47	1,70

Tabela 6 - Dados dos perfis radiométricos: áreas 6, 7, 8, 9 e 10 da Figura 4C.

Perfil das áreas selecionadas	Afastamento (m)	Reflectância B4 x BWB	Reflectância final	Maior reflectância	Menor reflectância	Reflectância média (%)
11	271,00	137,63	18,00	247,85	16,01	86,04
12	2.793,00	81,53	12,00	109,18	11,21	50,39
13	659,00	153,16	20,36	254,00	19,70	116,01
14	594,00	125,59	21,99	245,80	13,50	101,88
15	1.360,00	32,39	33,00	162,52	26,56	66,40

Direções e afastamentos entre as bordas B4 e BWB

A Figura 5 apresenta a área selecionada para a medida do afastamento entre as bordas B4 e BWB. Os círculos em vermelho mostram os afastamentos em que a borda B4 é externa à borda BWB. Os círculos em azul representam os afastamentos em que a borda BWB é externa à borda B4.

A presença de reentrâncias nos trechos analisados foi considerada nas análises mediante a contribuição que essas feições poderiam adicionar aos afastamentos obtidos.

O Quadro 1 mostra um resumo sobre os fatores analisados para o afastamento entre as bordas B4 e BWB. Os maiores afastamentos ocorreram em locais em que a borda B4 se localizou externamente à borda BWB. Fato que, possivelmente, deve-se à baixa declividade do terreno nessas regiões pela eficiência do sistema sensor SRTM em captar o retorno pelo retroespalhamento em terrenos desse tipo, ou, ainda, pela possível existência de umidade no solo da região, o que dificulta a demarcação da linha e da borda observadas nos dados provenientes do SWBD.

CONCLUSÕES

Em estudos sobre a qualidade d'água de reservatórios, a detecção de borda é um elemento importante para definir espacialmente a localização das amostragens. Essa feição pode ser extraída a partir de imagens de sensoriamento remoto, bem como de várias outras fontes. Foram realizados vários experimentos de detecção de borda para encontrar a formação que mais se aproximasse espacial, espectral e radiometricamente da banda 4 segmentada do TM LANDSAT-5 do Reservatório de Sobradinho, Bahia, testando as bordas geradas pelo MDE-SRTM, ASTER-GDEM-VNIR, borda SRTM-SWBD.

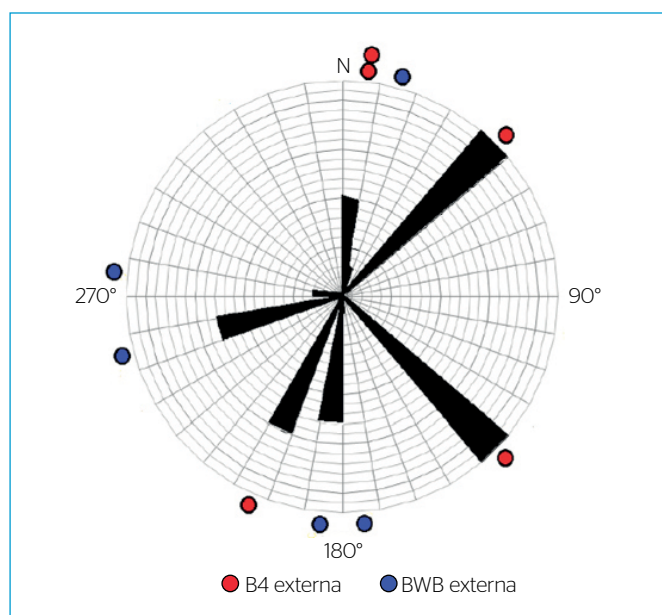


Figura 5 - Comparação de direções e afastamentos entre as bordas obtidas por B4 e por BWB.

Os testes realizados indicaram que a segmentação da banda 4 do TM LANDSAT-5, assumida como referência, é o método mais adequado para detecção de borda de Reservatório de Sobradinho, Bahia, na escala 1:150.000.

Uma conclusão importante é de que os dados ASTER-GDEM-VNIR não são adequados para detecção de borda de reservatórios, porque as imagens são formadas por mosaicos com MDE de diferentes épocas, implicando em diferentes níveis de água do reservatório e gerando bordas descontínuas.

A recomendação de Guth (2006) sobre a sobreposição do ASTER-GDEM-VNIR com os dados SWBD não é adequada para a boa qualidade de produtos cartográficos, visto que as incoerências do SRTM-SWBD tornam esses dados pouco confiáveis na escala 1:150.000. O modelo SRTM-SWBD não mostrou coerência em relação à posição e à orientação da borda B4 segmentada do TM LANDSAT-5. Inclusive, não estão disponíveis os procedimentos e algoritmos usados na metodologia pela NASA/NGA (2003).

Uma recomendação é que nos projetos de novos sistemas sensores InSAR sejam levados em consideração ajustes da geometria de aquisição e da linha de base interferométrica, para aplicações em mapeamento de bordas de corpos d'água interiores ou linhas de costa.

O fato de terem sido observados locais em que a borda BWB apresentava-se ora interna ora externa à borda B4 segmentada demonstra a incoerência do produto SRTM-SWBD, visto que, no caso de bordas diferentes devido a variação do nível da água, as bordas deveriam apresentar-se sempre internas ou sempre externas, com eventuais coincidências entre as bordas em locais em que a declividade é alta.

Quadro 1 - Fatores analisados para o afastamento entre as bordas B4 e BWB.

Perfil	Lado da borda	Reentrâncias	Azimute aproximado (°)	Afastamento (m)
1	Norte	Sim	40	3.348
2	Norte	Sim	134	2.549
3	Norte	Sim	210	1.404
4	Sul	Sim	2	756
5	Sul	Sim	9	908
6	Norte	Não	273	306
7	Sul	Não	172	216
8	Norte	Não	13	347
9	Sul	Sim	187	713
10	Norte	Sim	253	444
11	Norte	Sim	-	0
12	Sul	Sim	-	0
13	Norte	Não	-	0
14	Norte	Não	-	0
15	Sul	Não	-	0

REFERÊNCIAS

- ASTER GLOBAL DEM. (2009) *ASTER Global DEM Validation: Summary Report*. Estados Unidos: NASA. 28 p.
- BRITES, R.S.; BIAS, E.S.; SANTA ROSA, A.N.C. (2012) Classificação por regiões. In: MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. (Orgs.). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: Editora UnB.
- CHAVEZ JR., P.S. (1989) Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Bethesda, v. 55, p. 1285-1294.
- COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF). *Portal*. Disponível em: <http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf_portal/paginas/sistema_chesf/sistema_chesf_geracao/container_geracao?p_name=8A2EEABD3C01D002E0430A803301D002>. Acesso em: set. 2011.
- CORREIA, M.F.; DIAS, M.A.F. (2003) Variação do nível do reservatório de Sobradinho e seu impacto sobre o clima da região. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 1, p. 157-168. DOI: 10.21168/rbrh.v8n1.p157-168
- DANTAS, C.E.O. (2005) *Análise dos efeitos dinâmicos em reservatórios de grande extensão: estudo de caso: reservatório de Sobradinho*. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- EARTH SCIENCES AND RESOURCES INSTITUTE (ESRI). (1998) *ESRI Shapefile Technical Description*. Disponível em: <<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>>. Acesso em: jun. 2012.
- ESPINDOLA, G.M. (2006) *Seleção de Parâmetros em Algoritmos de Segmentação de Imagens por Crescimento de Regiões*. 55 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- FARR, T.; ROSEN, P.A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. (2007) The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, v. 45, 33 p. DOI: 10.1029/2005RG000183
- FRAZIER, P.S.; PAGE, K.J. (2000) Water body detection and delineation with Landsat T M data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 66, n. 12, p. 1461-1467. DOI: 0099-1112/0016612-1461\$3.00/O
- GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. (2010) *Processamento de Imagens Digitais*. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 624 p.
- GUIMARÃES, L.M.; CANDEIAS, A.L.B. (2009) Utilização de técnicas de processamento de imagens digitais para definição de contorno de reservatórios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., Natal. *Anais...* Brasil: INPE. p. 6927-6934.
- GÜRTLER, S.; EPIPHANIO, J.C.N.; LUIZ, A.J.B.; FORMAGGIO, A.R. (2005) Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 57 n. 2, p. 162-167.
- GUTH, P.L. (2006) Geomorphometry from SRTM: Comparison to NED. *Photogramm. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 72, p. 269-277.
- HIRANO, A.; WELCH, R.; LANG, H. (2003) Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 57, p. 356-370. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(02\)00164-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(02)00164-8)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Apostila de Noções Básicas de Cartografia*. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 122 p.
- JENSEN, J.R. (2009) *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres*. São José dos Campos: Parêntese. 672 p.
- LU, S.; WU, B.; YAN, N.; WANG, H. (2011) Water body mapping method with HJ-1A/B satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 13, n. 1, p. 428-434. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.09.006>
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION/ NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY (NASA/NGA). (2003) *SRTM Water Body Data Product Specific Guidance*, version 2.0. 4p. Washington: NASA/NGA.
- NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY (NIMA). (2000) *Performance Specification: Digital Terrain Elevation Data (DTED)*. Maryland: NIMA.
- NOVO, E.M.L. (2008) *Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher. 363 p.
- _____. (2001) Comportamento Espectral da Água. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. (Orgs.). *Sensoriamento Remoto: Reflectância de Alvos Naturais*. Brasília: Editora UnB, Embrapa Cerrados. p. 203-222.
- RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R. (2003) The Shuttle Radar Topography Mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 57, p. 241-262. DOI: 10.1016/S0924-2716(02)00124-7
- RODRÍGUEZ, E.; MORRIS, C.S.; BELZ, J.E. (2006) A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 72, p. 249-260. DOI: 0099-1112/06/7203-0249/\$3.00/O
- RYU, J.; WON, J.; MIN, K.D. (2002) Waterline extraction from landsat TM data in a tidal flat. A case study in Gomsu bay, Korea. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 442-456. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00059-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00059-7)

SANTOS, J.G. (2012) *Investigação metodológica de detecção de bordas de reservatório. Estudo de caso: reservatório de Sobradinho - BA*. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SANTOS, J.G.; TAVARES JR., J.R. (2013) A Methodology for Edge Detection of Sobradinho Reservoir - BA, Brazil with SRTM and Aster Images. *In: INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE*, 26, 2013, Dresden, Alemanha. *Proceedings...* 22 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). (2006) *Mapa de geodiversidade do estado da Bahia*. CPRM.

SLATER, J.A.; GARVEY, G.; JOHNSTON, C.; HAASE, J.; HEADY, B.; KROENUNG, G.; LITTLE, J. (2006) The SRTM Data "Finishing" Process and Products. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 73, n. 3, p. 237-247. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.237>

WATANABE, F.S.Y.; IMAI, N.N.; BARBOSA, C.C.F.; ARAÚJO, A.P. (2010) Avaliação do comportamento espectral da água: estudo

de caso do alto curso do rio paraná (Presidente Epitácio SP). *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLÓGICAS DA GEOINFORMAÇÃO*, 3., 2010, Recife-PE. *A informação geoespacial: inovação tecnológica, ocupação e monitoramento*. p. 1-8.

YAMANO, H.; SHIMAZAKI, H.; MATSUNAGA, T.; ISHODA, A.; MCCLENNEN, C.; YOKOKI, H.; FUJITA, K.; OSAWA, Y.; KAYANNE, H. (2006) Evaluation of various satellite sensors for waterline extraction in a coral reef environment: Majuro Atoll, Marshall Islands. *Geomorphology*, v. 82, p. 398-411. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.003>

YOO, H.; RYU, J.; BAE, I.; AHN, Y. (2004) A study on sedimentary environments by remotely sensed data in the southern tidal of Kangwa island, Korea. *Gayana*, v. 68, n. 2.

ZHOU, X.; CHANG, N.-B.; LI, S. (2009) Applications of SAR interferometry in Earth and environmental science research. *Sensors*, v. 9, p. 1876-1912. DOI: 10.3390/s90301876

