

## **Study of reservoir edge extraction using multiple image fusion techniques**

Laízy de S. Azevedo<sup>\*</sup>, Evely F. Nascimento<sup>\*\*</sup>, Ana Lúcia B. Candeias<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Graduanda em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE. E-mail: laizy\_azevedo@hotmail.com

<sup>\*\*</sup>Graduanda em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE. E-mail: evelyfnascimento@hotmail.com

<sup>\*\*\*</sup>Professora Associada III, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE. E-mail: analucia@ufpe.br

Received 24 September 2018; accepted 20 November 2018

### **Abstract**

The diverse techniques of remote sensing support the monitoring of water reservoirs and especially in the extraction of its edges. Among them, highlight techniques known as image fusion and digital filtering. The application of this methodology consists of combining different spectral and spatial characteristics to generate an image with better spatial resolution and then apply a directional filter. There are several types of image fusion and digital filtering and among them will be highlighted in this research the IHS (intensity, hue and saturation), Principal Components (CP), Brovey and Gram-Schmidt fusions and the Sobel directional filter. The present study developed a comparison between these techniques for the extraction of reservoir contour with greater detail. The study was done in images of CBERS - 4 satellite, MUX and Panchromatic 5 meters for the reservoir Engenheiro Francisco Saboia - Ibimirim, PE - Brazil. The comparison between the results showed that, although similar, CP, Brovey and Gram-Schmidt present more consistent results when compared to the IHS. We also performed a study based on the Euclidean distance calculation, comparing the edge generated by the segmentation by regions growth with the edges generated from the Sobel filter application

Keywords: remote sensing, image fusion, contour extraction.

### **Estudo da extração de bordas de reservatório utilizando múltiplas técnicas de fusão de imagens**

#### **Resumo**

As diversas técnicas de sensoriamento remoto dão suporte ao monitoramento de reservatórios de água e em especial na extração das suas bordas. Dentre elas destacam-se técnicas de realce conhecidas como fusão de imagens e filtragem digital. A aplicação desta metodologia consiste em combinar diferentes características espectrais e espaciais para gerar uma imagem com melhor resolução espacial e em seguida aplicar um filtro direcional. Existem vários tipos de fusão de imagens e filtragem digital e dentre eles serão destacados nesta pesquisa as fusões IHS (intensidade, matiz e saturação), Componentes Principais (CP), Brovey e Gram-Schmidt e o filtro direcional de Sobel. O presente estudo desenvolveu uma comparação entre essas técnicas citadas para extração de contorno de reservatório com maior detalhamento. O estudo foi feito em imagens do satélite CBERS – 4, sensores MUX e Pancromática de 5 metros para o reservatório Engenheiro Francisco Saboia- Ibimirim, PE-Brasil. A comparação entre os resultados mostrou que apesar de similares, a CP, Brovey e Gram-Schmidt apresentam resultados mais coerentes entre si quando comparadas com a IHS. Também foi realizado um estudo com base no cálculo da distância Euclidiana, comparando a borda gerada pela segmentação por crescimento de regiões com as bordas geradas a partir da aplicação do filtro de Sobel.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, fusão de imagens, extração de contorno.

#### **1. Introdução**

Em imagens de sensoriamento remoto, a definição de limites entre alvos como água e solo em um reservatório de água, por exemplo, não é um processo simples e requer o uso de algumas técnicas de processamento de imagens. A definição da linha de separação entre esses alvos é complexa,

principalmente quando a área de estudo é desconhecida, ou de difícil acesso.

Constatar a verdade terrestre em corpos d'água que possuem dimensões grades, não é uma tarefa simples. Sendo assim, torna-se imprescindível o uso de imagens de Sensoriamento Remoto para o mapeamento das bordas.

Os avanços tecnológicos permitiram grandes mudanças na área de sensoriamento remoto. Hoje em dia já é possível obter gratuitamente imagens de alta resolução espacial para facilitar a resolução de problemas como os citados acima.

Para melhorar o aproveitamento de informações produzidas por sensores distintos, empregam-se métodos de processamento de imagens. Segundo Menezes e Almeida (2012) as principais técnicas de processamento de imagens segundo um modelo geral de divisão dos tipos de processamento são: realce e classificação.

As técnicas de realce são subdivididas em transformações espectrais e espaciais. Podemos destacar dentre as técnicas de transformações espectrais a fusão de imagens e dentre as técnicas de transformações espaciais a filtragem.

A análise da detecção de bordas das margens de grandes reservatórios de água utilizando imagens constitui um problema complexo que requer o uso adequado de técnicas de processamento de imagens, a exemplo dos filtros de bordas e fusão de imagens (Guillou, 2016).

Schneider (2001) define fusão de imagens como uma técnica de processamento que combina dois conjuntos de imagens, formando uma imagem final melhorada. Sendo assim, a técnica consiste em combinar imagens de diferentes características espectrais e espaciais para sintetizar uma nova imagem com melhor resolução espacial do que a imagem multiespectral original.

Existem diversas técnicas distintas para a realização da fusão de imagem e elas podem ser divididas em três grupos: as que utilizam um modelo de domínio espacial, as de domínio espectral e as que trabalham com operações algébricas (Pinho et al., 2005).

De acordo com Schowengerdt (1997), no modelo de domínio espacial, a informação espacial de alta frequência proveniente da imagem de alta resolução é isolada e combinada com a imagem multiespectral. São exemplos desta categoria, as fusões que utilizam transformadas Wavelets e a técnica HPF (High-Pass Filter).

A categoria do modelo de domínio espectral consiste na transformação da imagem multiespectral, gerando um novo conjunto de bandas onde uma delas é correlacionada com a imagem pancromática. Como exemplo temos a fusão por Componentes Principais, IHS (Intensidade, matiz e saturação) e Gram-Schmidt.

O grupo dos modelos algébricos trabalham com funções aritméticas pixel-a-pixel. As técnicas

Brovey e Multiplicativa podem ser citadas como exemplo deste grupo.

Ao permitir uma melhora na resolução espacial da imagem, a fusão pode apresentar uma grande contribuição para melhor definição e visualização de contorno de alvos.

O Sensoriamento Remoto quando aliado a técnicas de Processamento Digital de Imagens apresenta grande importância para o monitoramento de reservatórios de água e em especial na extração das suas bordas. Gonzalez e Woods (2010) afirmam que o processo de detecção de contornos de alvos consiste em identificar descontinuidades significativas nos níveis de cinza. Neste estudo, o objetivo é detectar bordas do reservatório delimitando onde é água e onde não é água.

Para esse fim, podem ser aplicados filtros, normalmente filtros direcionais, que são um tipo espacial de filtro passa alta e possuem a característica de realçar bordas em direções pré-determinadas (Crósta, 1992). Neste trabalho foi utilizado o filtro direcional de Sobel que é um filtro por derivada de primeira ordem. Ele é aplicado utilizando uma máscara de convolução para calcular o gradiente no ponto central de uma máscara 3x3 (três linhas e três colunas).

Obtendo-se o limite água/solo, pode-se gerar o contorno das margens que podem auxiliar na escolha de métodos mais precisos, bem como na definição de buffers para proteção das águas do reservatório e de suas margens, ajudando na proteção do manancial e da gestão local (Guillou, 2016).

Neste contexto, o presente trabalho visa comparar quatro técnicas de fusão de imagens analisando os diferentes resultados na extração de contornos do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia em Ibimirim - Pernambuco, Brasil.

## 2. Material e métodos

### *Caracterização da área de estudo*

A área de estudo compreende ao reservatório Engenheiro Francisco Saboia, localizado no município de Ibimirim, Pernambuco-Brasil. Este reservatório, popularmente conhecido como Poço da cruz, está localizado na Bacia do Moxotó, e é considerado o maior Reservatório do Estado de Pernambuco (Figura 1).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), ele tem capacidade de 504 milhões de metros cúbicos e suas principais funções são: abastecimento rural, irrigação e aquicultura.

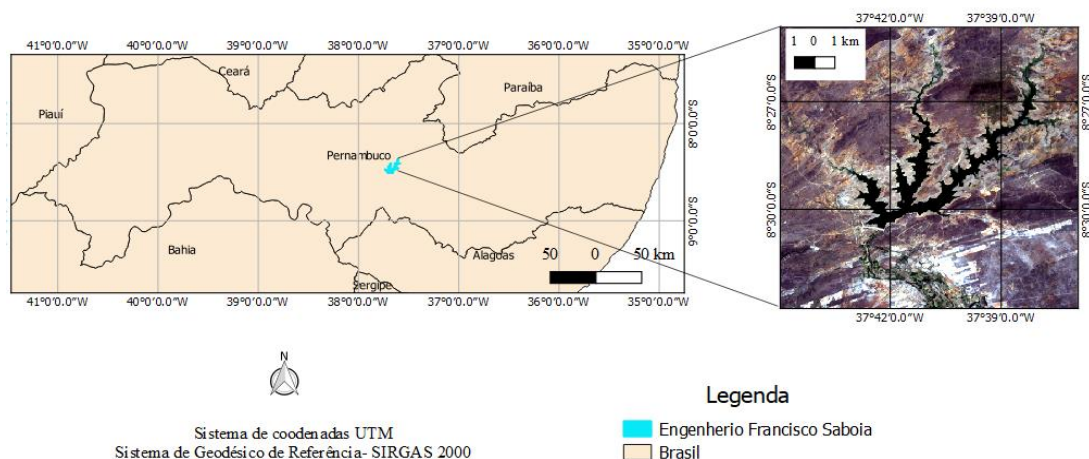


Figura 1- Localização do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia (área de estudo).

### Processamento das imagens

Para este trabalho o procedimento metodológico envolvido no processamento dos dados

pode ser visto através do fluxograma apresentado na Figura 2.

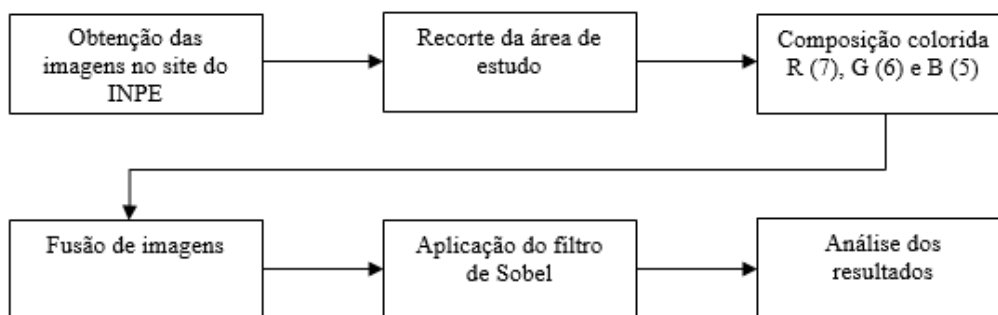


Figura 2 – Fluxograma com as etapas do processamento dos dados.

As imagens do satélite CBERS 4, MUX e a pancromática, que contém a área de estudo foram adquiridas através do catálogo de imagens no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da órbita 149, ponto 109, e data 14 de abril de 2015. As bandas utilizadas foram: azul (banda 5), verde (banda 6) e vermelho (banda 7) do sensor MUX com 20 m de resolução espacial e a banda pancromática de 5 m de resolução espacial (Tabela 1). Para a escolha das imagens foi levado em consideração fatores como: imagens gratuitas e sem cobertura de nuvem sobre o reservatório.

Tabela 1 – Características dos sensores MUX e pancromática de 5 m do CBERS-4.

Sensor	Spatial Resolution (m)	Bands
MUX	20	B05: 0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$
		B06: 0,52 - 0,59 $\mu\text{m}$
		B07: 0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$
		B08: 0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$
PAN	5	0,51-0,85 $\mu\text{m}$ (Pan)

Os softwares utilizados para o processamento das imagens foram ArcGIS 10.2.2, Envi 5.3 e Spring 5.3. Após a obtenção das imagens, foi feito um recorte da área de estudo visto que a banda pancromática abrange uma área menor quando comparada as imagens multiespectrais do MUX.

Inicialmente antes da realização do processo de fusão de imagens, é necessário fazer a composição colorida das bandas multiespectrais do MUX. Neste caso a composição foi: banda 7 no canal do vermelho, banda 6 no canal do verde e banda 5 no canal do azul.

Após isso, foram feitas as fusões por IHS, Brovey e Gram-Schmidt no ArcGIS através da ferramenta “Create Pan-Sharpned Raster Dataset”. Já a fusão por Componentes Principais foi feita no Envi, através da ferramenta “Pan-Sharpned” pois o ArcGIS não disponibiliza este recurso.

Com as imagens já fusionadas, aplicou-se o filtro não linear de Sobel para detecção de bordas no software Spring, através dos comandos `imagem>filtragem>não-linear>detecção de bordas>Sobel`. Este é um filtro por derivada que utiliza uma

máscara 3x3 para calcular o gradiente no ponto  $Z_5$  (Equação 1).

$$\begin{pmatrix} Z_1 & Z_2 & Z_3 \\ Z_4 & Z_5 & Z_6 \\ Z_7 & Z_8 & Z_9 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Para Gonzalez e Woods (2010), a vantagem dos operadores de Sobel é que eles fornecem, simultaneamente, os efeitos de diferenciação e de suavização. Uma vez que a derivação aumenta o ruído, o efeito de suavização é uma característica particularmente atrativa dos operadores de Sobel, pois nesse caso há uma melhor supressão de ruído.

Neste filtro são utilizadas duas máscaras para encontrar o gradiente vertical ( $G_x$ ) e o gradiente horizontal ( $G_y$ ) (Equações 2 e 3).

$$\begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3) \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7) \quad (3)$$

Após a aplicação do filtro em cada imagem resultante dos quatro tipos de fusão realizadas, foi feita uma comparação dos resultados obtidos.

Também foi feita a análise espacial a partir do cálculo da distância euclidiana entre a imagem pancromática segmentada com similaridade 30 e área 5 e os resultados das bordas das imagens fusionadas. Tanto a segmentação como o cálculo da distância euclidiana foram realizados no software Spring.

### 3. Resultados e discussão

A Figura 3 apresenta a composição colorida e os resultados da fusão de imagens das quatro técnicas estudadas: IHS, Componentes Principais, Brovey e Gram-Schmidt.

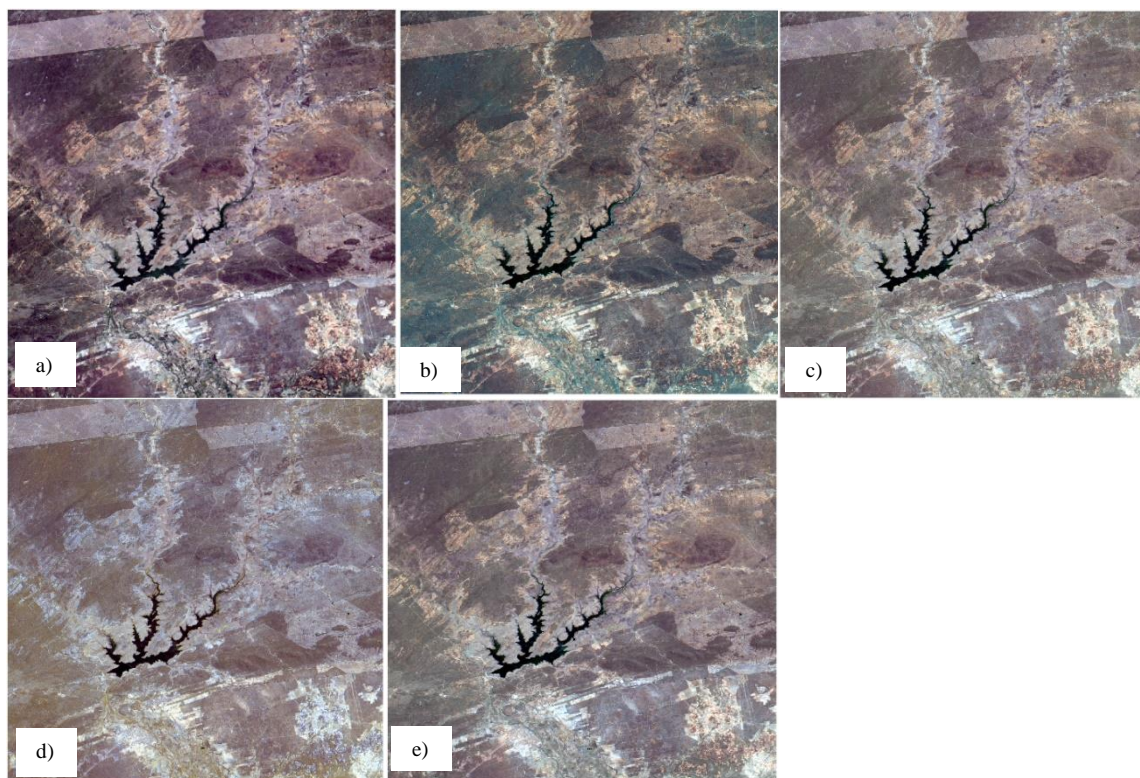


Figura 3 – Imagem multiespectral na composição colorida e fusões aplicadas. a) Composição 7(R), 6(G) e 5(B); b) IHS; c) Componentes Principais; d) Brovey; e) Gram-Schmidt

Neste processo, as imagens que antes possuíam resolução espacial de 20 m passaram a apresentar a resolução de 5 m da banda pancromática. Por meio de análise visual é possível perceber uma diferença na cor das imagens, principalmente na imagem resultante da fusão IHS.

Com a aplicação do filtro de Sobel nas imagens, observou-se que na imagem multiespectral original as bordas se apresentaram mais espessas, já

as imagens fusionadas geraram uma borda mais fina (Figura 4). Isso ocorreu devido ao fato das imagens possuírem diferentes tamanhos de pixel, tendo em vista que, a imagem original tem resolução espacial de 20 m enquanto que as imagens fusionadas têm 5 m. Com a borda mais fina nota-se uma quantidade maior de detalhes que não são visíveis na imagem original devido a espessura da borda.

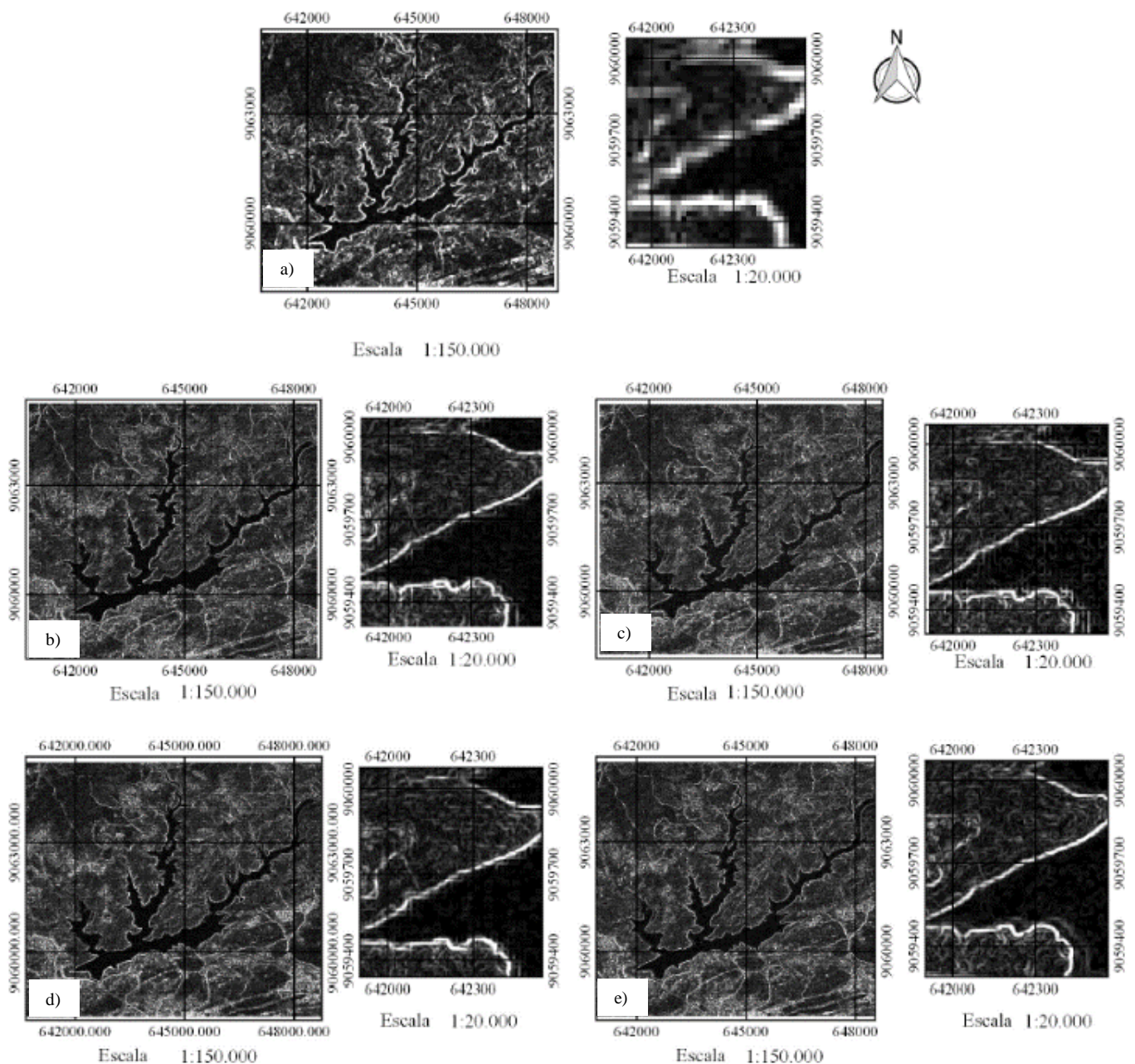


Figura 4 – Resultado da aplicação do filtro de Sobel. a) imagem multiespectral original; b) IHS, c) Componentes Principais, d) Brovey, e) Gram Schmidt.

Apesar de serem feitas por processos distintos e pertencerem a grupos de domínios diferentes, os resultados encontrados para todas as imagens com o filtro de Sobel foram coerentes e similares entre si não sendo possível encontrar diferenças visuais significativas entre eles.

Porém através da geração de perfis (Figura 5) nota-se que há uma diferença entre as regiões de contorno principalmente na fusão por IHS. Também é possível perceber o nível de detalhes maior para o contorno das imagens fusionadas quando comparado a imagem original.

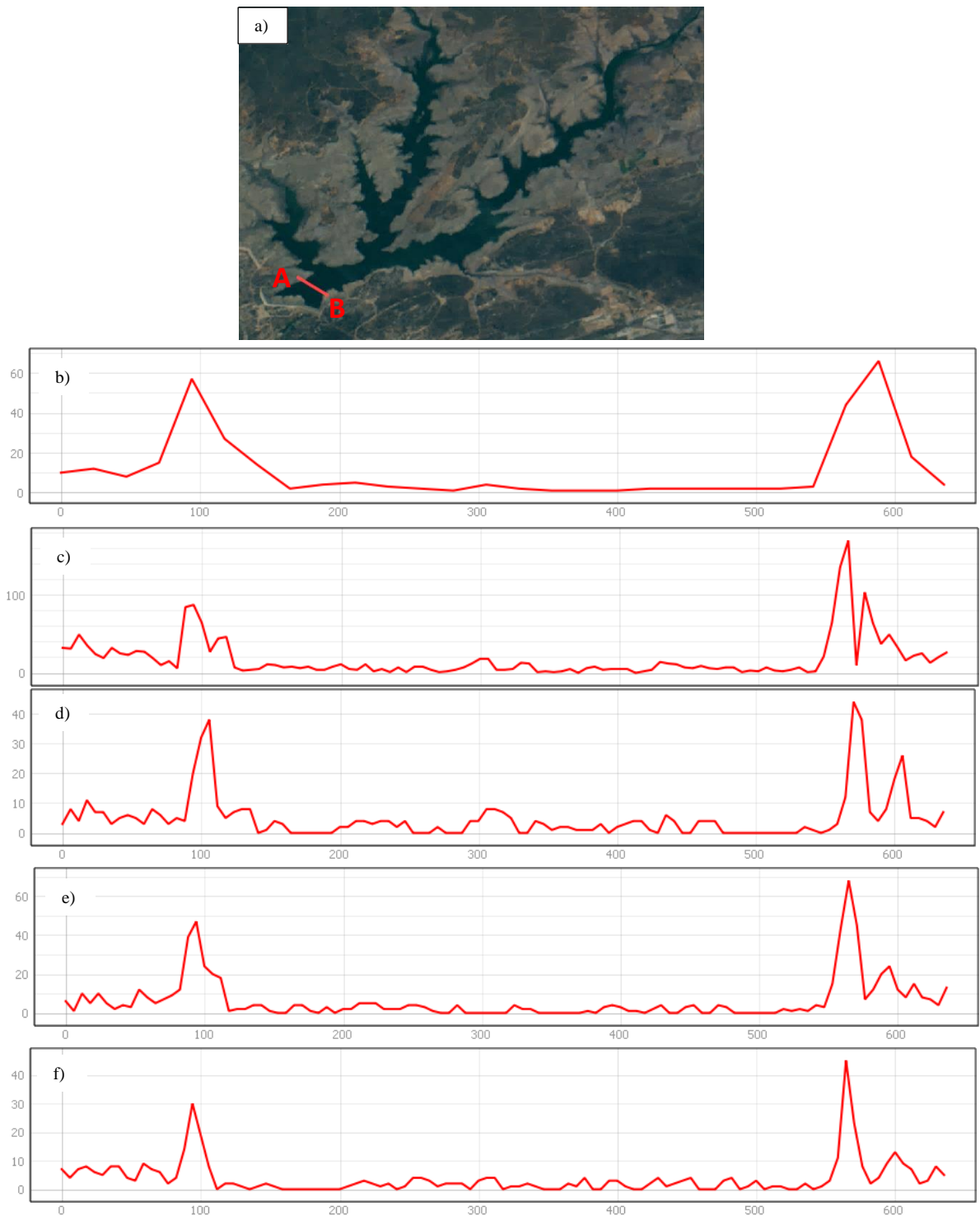


Figura 5 – Perfil em que em x tem-se a distância em metros e em y número digital a) Localização do perfil AB, b) imagem multiespectral original, c) IHS, d) Componentes Principais, e) Brovey, f) Gram Schmidt

Para a etapa da análise espacial foi aplicada a técnica da segmentação por crescimento de regiões para a imagem original com similaridade 30 e área 5 em que esta imagem foi utilizada como referência.

As imagens com o filtro de Sobel foram comparadas com a borda segmentada. Em seguida foi feito o cálculo da distância Euclidiana onde utilizou-se a borda segmentação como referência e pode-se

calcular as discrepâncias em Norte e Este com as bordas geradas das aplicações dos filtros.

Para cada comparação foram retiradas duas amostras do entorno do reservatório e calculadas as discrepâncias em Norte e Este para cada amostra.

Nas figuras abaixo é possível visualizar nas ilustrações, onde a linha branca representa a borda gerada pela aplicação do filtro de Sobel, a linha rosa

representa a borda gerada pela segmentação por crescimento de regiões, o “X” em vermelho representa o ponto que foi coletado e o traço em vermelho representa a distância Euclidiana entre os dois pontos.

- Distância euclidiana IHS

Analisando visualmente as Figuras 6 e 7, é possível perceber que a aplicação do filtro de Sobel na imagem resultante da fusão IHS gerou resultados próximos ao da segmentação da banda pancromática. A borda do reservatório na aplicação desse filtro, coincidiu com a borda da segmentação na maioria dos trechos. Diante disso, na Tabela 2 tem-se as discrepâncias em  $\Delta E$  e  $\Delta N$  e a distância Euclidiana e nesse caso não houve discrepância na coordenada N.

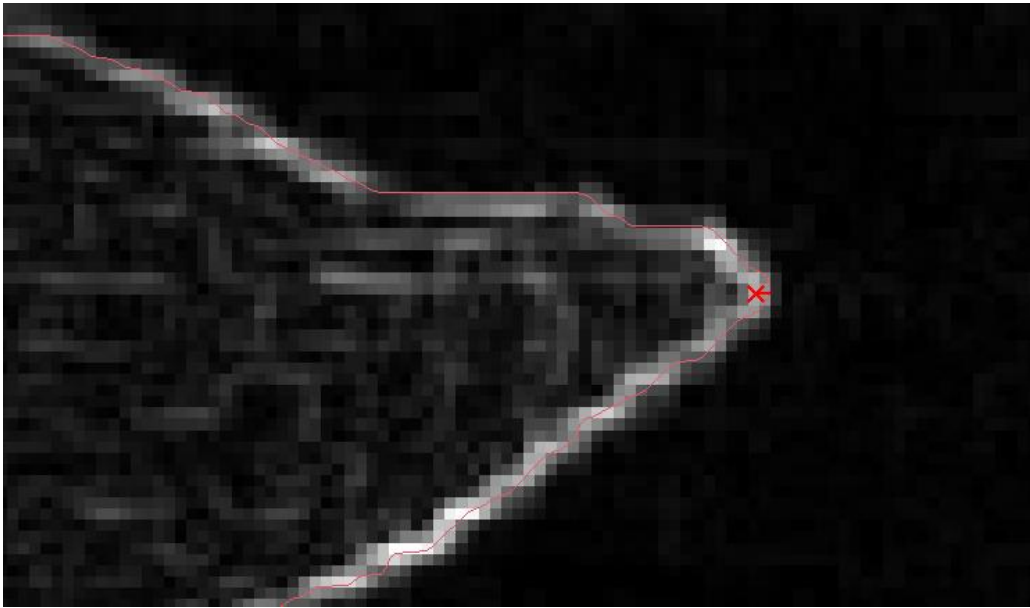


Figura 6 – Ponto 1 (imagem fusionada IHS)

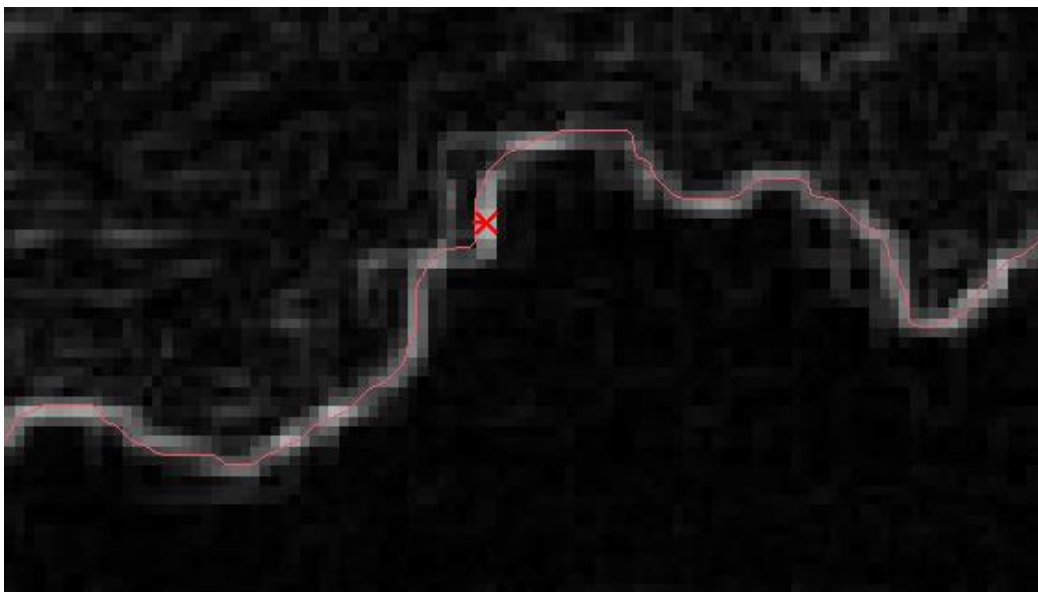


Figura 7 – Ponto 2 (imagem fusionada IHS).

Tabela 2 – Coordenadas, discrepâncias e distância euclidiana para a fusão IHS

Pontos	Fusão IHS						Distância euclidiana
	Coordenadas da segmentação		Coordenadas da imagem fusionada IHS		$\Delta E$	$\Delta N$	
	E	N	E	N			
1	642663,00000	9059895,00000	642657,37500	9059895,00000	-5,6250	0,0000	5,565050
2	644454,18750	9060493,00000	644459,87500	9060493,00000	5,6875	0,0000	5,658953

- Distância euclidiana Componentes Principais

Neste caso a borda do reservatório extraída pela fusão por Componentes Principais e a borda extraída por segmentação também ficaram próximas (Figuras

8 e 9) porém em relação a fusão por IHS, as discrepâncias foram maiores conforme mostrado na Tabela 3. Em relação a distância euclidiana, está técnica foi a que apresentou piores resultados, ou seja, maiores distâncias entre as bordas.



Figura 8 – Ponto 1 (imagem fusionada Componentes Principais)

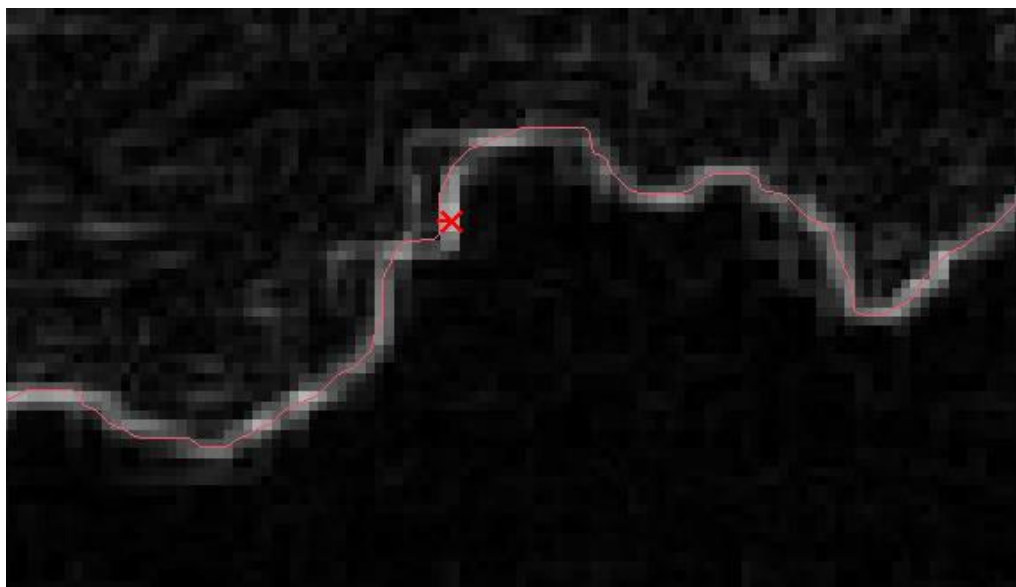


Figura 9 – Ponto 2 (imagem fusionada Componentes Principais)

Tabela 3 – Coordenadas, discrepâncias e distância euclidiana fusão Componentes Principais

Fusão Componentes Principais							
Pontos	Coordenadas da segmentação		Coordenadas da imagem fusionada IHS		$\Delta E$	$\Delta N$	Distância euclidiana
	E	N	E	N			
1	642662,375	9059894,000	642653,687	9059894,000	-9,312	-1,000	8,678
2	644454,187	9060490,000	644460,812	9060490,000	6,625	-3,000	6,602

- Distância euclidiana Brovey

Para a fusão Brovey, os resultados gerados foram bons (Figuras 10 e 11) com maiores discrepâncias para a coordenada E. A coordenada

N apresentou discrepância zero em um dos pontos. Em relação a distância euclidiana, este método apresentou resultados melhores quando comparado a IHS e Componentes Principais (Tabela 4).

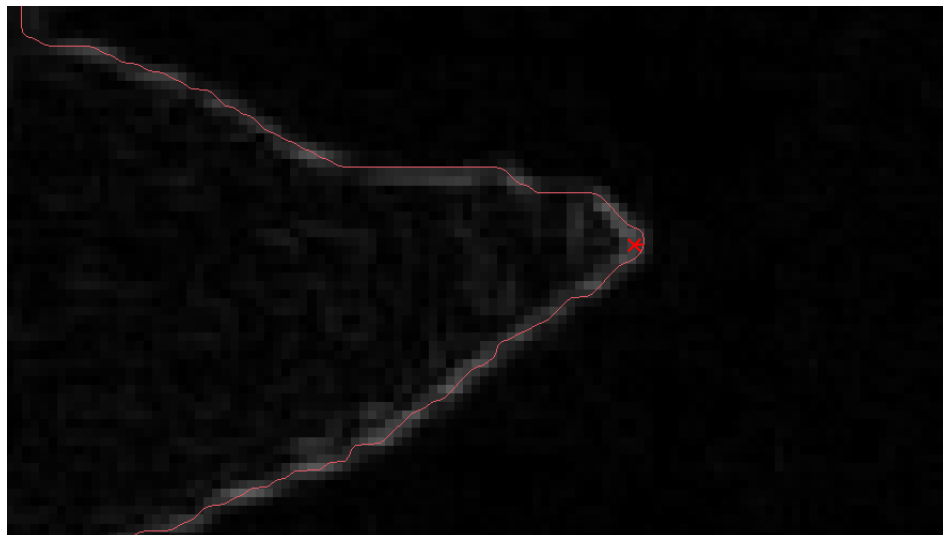


Figura 10 – Ponto 1 (imagem fusionada Brovey)

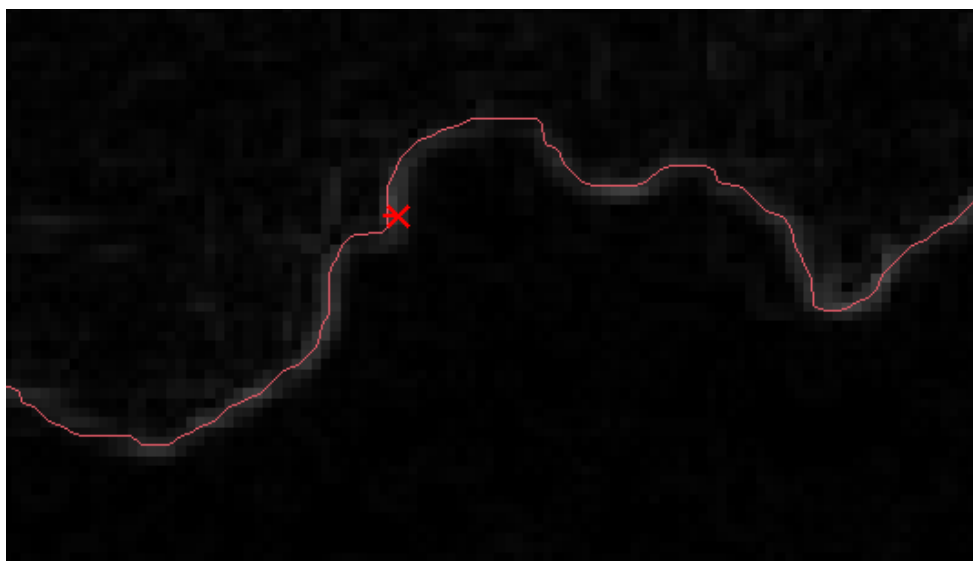


Figura 11 – Ponto 2 (imagem fusionada Brovey)

Tabela 4 – Coordenadas, discrepâncias e distância euclidiana fusão Brovey

Pontos	Fusão Brovey						Distância euclidiana
	Coordenadas da segmentação		Coordenadas da imagem fusionada IHS		$\Delta E$	$\Delta N$	
	E	N	E	N			
1	642662,375	9059895,000	642658,000	9059895,000	-5,000	0,000	4,328
2	644453,250	9060489,000	644459,875	9060489,000	5,687	-4,000	6,602

- Distância euclidiana Gram- Schmidt

Para a fusão Gram-Schmidt, a borda extraída foi a mais difícil de se identificar visualmente (Figura 12

e 13), porém, foi a que apresentou menor distância euclidiana (Tabela 5). Já em relação as discrepâncias nas coordenadas E e N, os resultados foram semelhantes a fusão Brovey.

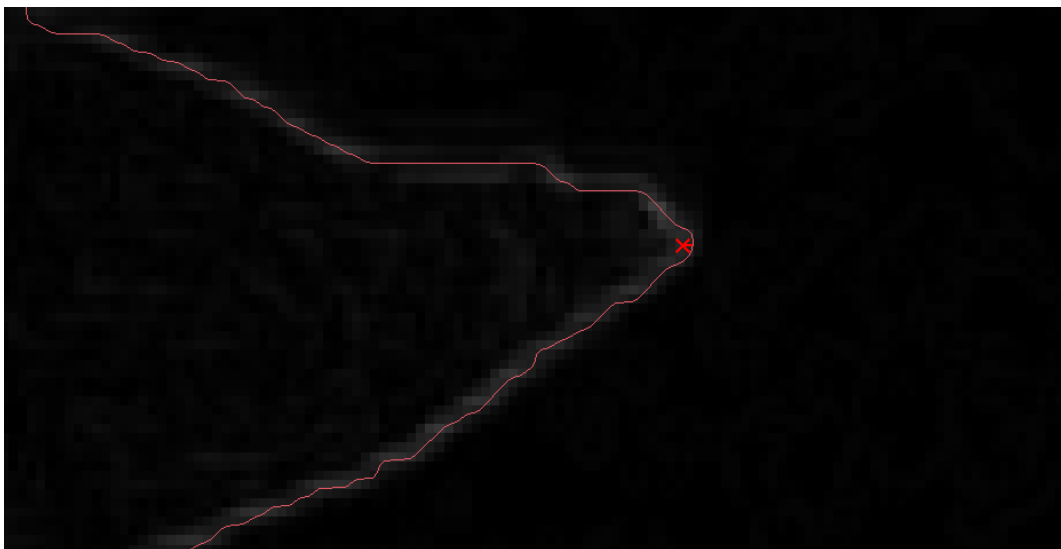


Figura 12 – Ponto 1 (imagem fusionada Gram-Schmidt)



Figura 13 – Ponto 2 (imagem fusionada Gram-Schmidt)

Tabela 5 – Coordenadas, discrepâncias e distância euclidiana fusão Gram-Schmidt

Fusão Gram- Schmidt							
Pontos	Coordenadas da segmentação		Coordenadas da imagem fusionada IHS		$\Delta E$	$\Delta N$	Distância euclidiana
	E	N	E	N			
1	642662,375	9059896,000	642658,000	9059896,000	-5,000	1,000	4,328
2	644454,187	9060489,000	644459,875	9060489,000	5,687	-4,000	5,658

#### 4. Conclusões

A extração de bordas em imagens obtidas por Sensoriamento Remoto representa um processo de grande relevância pois auxilia na segmentação de alvos e na extração de feições, além de ajudar na escolha de métodos mais precisos, bem como na definição de buffers para proteção das águas do reservatório e de suas margens, ajudando na proteção do manancial e da gestão local.

A análise dos quatro tipos de fusão: IHS, Componentes Principais, Brovey e Gram-Schmidt na área que abrange o Reservatório Engenheiro Francisco Saboia permitiu identificar as diferenças entre as funcionalidades das técnicas.

Todas as técnicas de fusão utilizadas neste trabalho apresentaram ganho na qualidade da imagem devido à melhora em sua resolução espacial, proporcionando uma maior distinção entre os objetos.

É possível perceber que após a aplicação do filtro nas imagens da fusão, foi gerada uma borda menos espessa que a imagem original. Isso se deve ao fato de que os pixels da imagem original (30 m) e das fusionadas (15 m) apresentam tamanhos diferentes.

As comparações realizadas entre as fusões, não apresentaram discrepâncias muito grandes em  $\Delta E$  e  $\Delta N$ , mostrando mais detalhamento da borda e distâncias Euclidianas de poucos metros. Observou-se que a fusão IHS, analisando o conjunto das discrepâncias das coordenadas E e N e a distância euclidiana, foi a que apresentou melhores resultados quando comparada as demais técnicas.

Apesar de pertencerem a diferentes domínios os resultados visuais para os contornos extraídos foram similares. Por meio de uma análise mais detalhada coma geração de perfis, nota-se uma coerência maior entre Componentes Principais, Brovey e Gram-Schmidt.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo à pesquisa e concessão de bolsa ao segundo autor e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela disponibilização gratuita das imagens utilizadas na pesquisa.

#### Referencias

- ANA. Agência Nacional de Águas, 2018. Boletim de Acompanhamento dos Reservatórios contemplados pelo projeto de integração do Rio São Francisco.
- Crósta, A.P., 1992. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- Guillou, A.N., 2016. Análise de bordas de reservatório utilizando múltiplos sensores: estudo de caso: reservatório de Itaparica-PE. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE.
- Gonzalez, R.F., Woods, R.E., 2010. Processamento de Imagens digitais. 3. ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Catálogo de imagens INPE.
- Meneses, P.R., Almeida, T., 2012. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. UNB, Brasília.
- Pinho, C.M.D., Rennó, C.D., Kux, H.J.H., 2005. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia.
- Schneider, M.J., 2001. Processamento digital de imagens e a evolução tecnológica na resolução em Sensoriamento Remoto: o caso da fusão de imagens de diferentes resoluções espaciais. Dissertação (Mestrado). Curitiba, UFPR.
- Schowengerdt, R.A., 1997. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. 3. ed. Academic Press, Cambridge.