

## **XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **EXTRAÇÃO DE ÁREA SUPERFICIAL POR MLME E COMPONENTE MATRIZ DO RESERVATÓRIO BARRA DO JUÁ – PE -BRASIL**

*Ubiratan Joaquim da Silva Junior<sup>1</sup> ; Juarez A. da Silva Junior<sup>2</sup>; Carlo Henrique da Silva Malinconico<sup>3</sup>; Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>5</sup> & Leidjane Maria Maciel de Oliveira<sup>5</sup>*

**RESUMO** – O regime hidrológico de um sistema aquático pode ser representado pela variação do seu nível de água ao longo do ano, influenciando todos os seus afluentes, com isso, a espacialização de espelhos d’água são essenciais à gestão dos recursos hídricos. O objetivo deste estudo foi a espacialização do espelho d’água do reservatório Barra do Juá-PE, através de uma classificação binária da fração do alvo água no Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e do componente matriz da transformação RGB/IHS, utilizando imagens OLI–Landsat 8 e MSI–Sentinel 2. Como resultado, o MLME foi mais indicado quando a extração requer maior grau de qualidade e a componente matriz para imagens de pixels com mesmo tamanho. Além disso, a resolução espacial foi identificada com elemento de influência direta nos resultados de extração, correlacionada de forma direta com a qualidade da extração. O monitoramento do espelho d’água de reservatórios é tarefa primordial, pois proporciona a predição de possíveis eventos e mudanças no ciclo hidrológico.

**ABSTRACT**– The hydrological regime of an aquatic system can be represented by the variation of its water level throughout the year, influencing all its tributaries, with this, the spatialization of water mirrors are essential to the management of water resources. The objective of this study was to spatialize the water mirror of the Barra do Juá-PE reservoir, through a binary classification of the fraction of the water target in the Linear Spectral Mixing Model (MLME) and the matrix component of the RGB / IHS transformation, using OLI – Landsat 8 and MSI – Sentinel 2 images. As a result, MLME was most suitable when extraction requires a higher degree of quality and the matrix component for pixel images with the same size. In addition, the spatial resolution was identified as having an element of direct influence on the extraction results, directly correlated with the quality of the extraction. Monitoring the reservoir’s water mirror is a primary task, as it provides for the prediction of possible events and changes in the hydrological cycle.

**Palavras-Chave** – Modelo Linear de Mistura Espectral, Componente Matriz, Reservatório.

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG da UFPE. Av. da Arquitetura, s/n, CDU, Recife-PE, CEP 50.740-550, Fone: 81-2126.7764, e-mail: ubiratan.joaquim@ufpe.br

<sup>2</sup> Graduando de Engenharia Cartográfica e Agrimensura - Departamento de Engenharia Cartográfica e Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Av. da Arquitetura, s/n, CDU, Recife-PE, CEP 50.740-550, Fone: 81-2126.7764, e-mail: juarez.silvajunior@ufpe.br.

<sup>3</sup> Graduando de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Av. da Arquitetura, s/n, CDU, Recife-PE, CEP 50.740-550, Fone: 81-2126.7764, e-mail: carlo.malinconico@ufpe.br

<sup>4</sup> Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Av. da Arquitetura, s/n, CDU, Recife-PE, CEP 50.740-550, Fone: 81-2126.7764, e-mail: suzana.montenegro@ufpe.br

<sup>5</sup> Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e do PPGCGTG da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Av. da Arquitetura, s/n, CDU, Recife-PE, CEP 50.740-550, Fone: 81-2126.7764, e-mail: leidjane.oliveira@ufpe.br

## 1 - INTRODUÇÃO

O monitoramento dos corpos hídricos por Sensoriamento Remoto possui diversas aplicações como: a gestão consciente de uso água, controle da qualidade da água e recebimento de efluentes, monitoramento do volume de abastecimento, dentre outras (Acharya *et al.*, 2018).

Neste aspecto, informações a partir de sensores remotos tornam-se ferramentas que possibilitam periodicidade, precisão e capacidade prática de compartilhamento em nuvem de dados de alvos sob a superfície terrestre, em variáveis condições climáticas e litosféricas, em escala regional e global (Melesse *et al.*, 2007).

Corpos hídricos são caracterizados por baixa refletância, ou seja, a absorção de luz pelas moléculas de água ocorre de forma seletiva em relação ao comprimento de onda (Barbosa *et al.*, 2019). Dada esta complexidade há dificuldades metodológicas relacionadas a modelagens, e metodologias empregadas para permitir o estudo de feições características hídricas (Dos Santos *et al.*, 2018). Dentre os métodos existentes para extrair a superfície dos corpos d'água com base em limiar simples, tem-se o método de um limiar de banda única e o uso do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) (Shimabukuro e Ponzoni, 2019). Como em estudo desenvolvidos por Fitzgerald *et al.* (2019), Acharya *et al.* (2018) e Freitas *et al.* (2008).

Portanto, objetivos desta pesquisa foram: i) extração da área superficial do reservatório Barra do Juá - PE através da binarização da Fração água do MLME e Componente Matriz, ii) análise comparativa da variação da área superficial do reservatório entre dois pares de valores conhecidos.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 - ÁREA DE ESTUDO

A Barragem Barra do Juá está localiza-se entre os municípios de Floresta e Betânia, na Bacia do Rio Pajeú, no estado de Pernambuco, entre as Coordenadas Geográficas (08° 00' 00"S, 38° 00' 00"W). O reservatório (Figura 1) barra o curso do Riacho do Navio, e tem como finalidade principal fornecer água para irrigação na região.

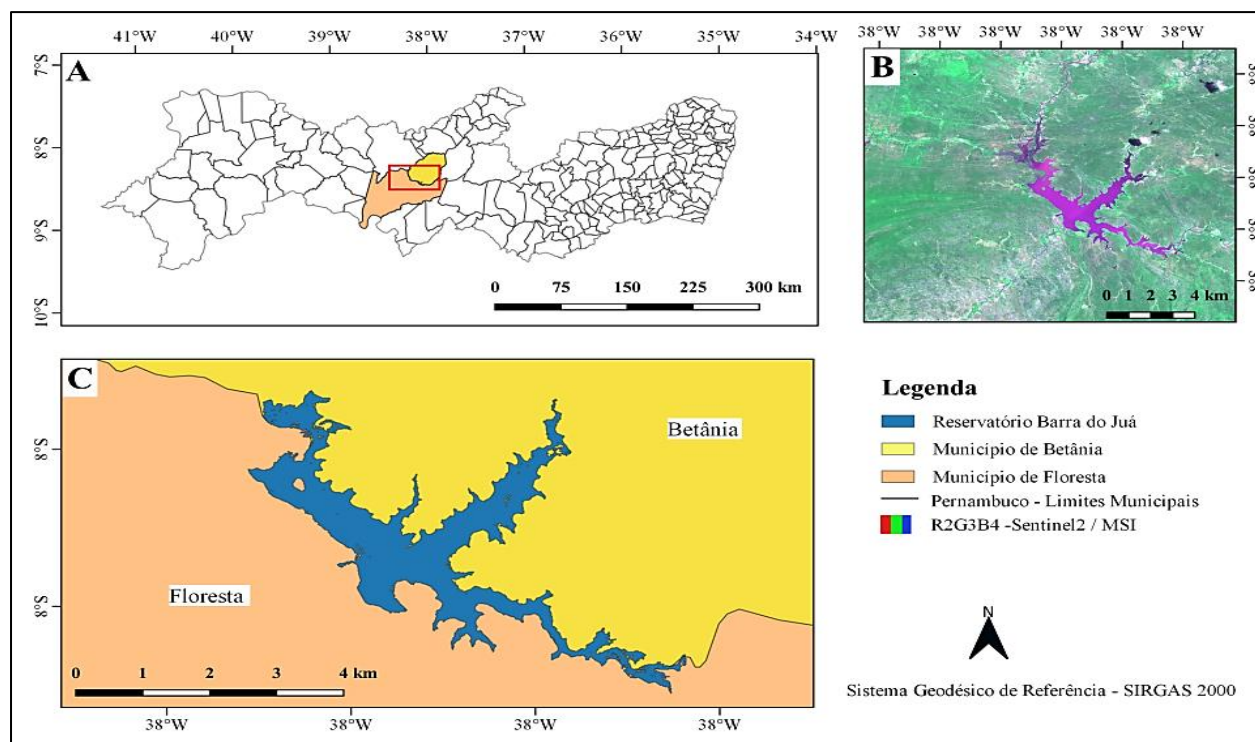


Figura 1 - Área de Estudo. (A) Área de Estudo inserida no Estado de Pernambuco, Brasil. (B) Cena do Satélite MSI - Sentinel 2A de 13 de Setembro de 2019. (C) Localização do Reservatório. Fonte: Os autores (2020).

O clima segundo a classificação *Köppen* é do tipo BSh', o período chuvoso com precipitação média anual é de 431,8mm, a vegetação predominante é a Caatinga (Montenegro e Montenegro, 2006).

## 2.2 – MATERIAL

Foram utilizadas imagens datadas de 13/09/2019, do satélite OLI - Landsat 8, corresponde a órbita 216 e ponto 66, com 30 (m) de resolução espacial, adquirida através do portal eletrônico *Earth Explore* da USGS (*United States Geological Survey*) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) e do satélite MSI – Sentinel 2A, com 10 (m) de resolução espacial, adquirida através portal digital *Copernicus* da *Earth Observation Data* (ESA) (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), com nível de processamento 1C.

## 2.3 MÉTODOS

A metodologia deste estudo tem como proposta investigar a partir do método desenvolvido por Shimabukuro e Smith (1991) o processo de extração da área superficial de um corpo hídrico ao utilizar o limiar da componente matriz na conversão do sistema de cores de *Red-Green-Blue* (RGB) para *Hue-Saturation-Value* (HSV) como uma melhor resposta, quando comparado ao uso de um limiar de banda única e o uso do MLME.

### 2.3.1 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS

As imagens adquiridas foram Re projetadas ao Sistema de Referência Geodésico Brasileiro SIRGAS 2000. Em seguida, foi realizado um recorte das cenas para área de interesse e então as bandas 4, 3 e 2 dos sensores foram dispostas em Cores Naturais (R4G3B2).

### 2.3.2 MLME (MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL)

Uma vez processadas as imagens aplicou-se então o MLME, que se trata de uma ferramenta de processamento digital de imagens que permite separar as contribuições espectrais de cada objeto dentro de um *pixel*, a partir de um conjunto de componentes puros, gerando, novas imagens ausentes de mistura, conhecidas por imagens-fração (Shimabukuro e Ponzoni, 2019).

A mistura espectral ocorre sempre quando um mesmo *pixel* inclui duas ou mais classes espectrais, denominadas de membros de referência. Em que, a resposta espectral resultante torna-se uma combinação das respostas espectrais destes membros de referência (Freitas *et al.*, 2008). No MLME, uma relação linear é utilizada para representar a mistura espectral dos alvos em cada *pixel*. Ou seja, a resposta espectral dos *pixels* em qualquer comprimento de onda pode ser considerada como uma combinação linear de cada componente da mistura (Quintano *et al.*, 2011).

Através do modelo de Shimabukuro e Smith (1991), foram então consideradas as componentes de um *pixel* puro da imagem, sendo assim possível, decompor cada *pixel* nas proporções de imagens fração: água, vegetação e solo. Em que, quanto mais próxima ao valor 1 maior a pureza da proporção de cada componente. O MLME pode ser escrito conforme, Equação 1:

$$\begin{cases} r_i = a \cdot \text{veg}_i + b \cdot \text{solo}_i + c \cdot \text{agua}_i + e_i \\ 0 \leq i \leq 1. \end{cases} \quad (1)$$

onde,  $r_i$  = resposta do *pixel* na banda  $i$ ;  $a$  = proporção de vegetação;  $b$  = proporção de solo;  $c$  = proporção de água;  $\text{veg}_i$  = resposta espectral do componente vegetação na banda  $i$ ;  $\text{solo}_i$  = resposta espectral do componente solo na banda  $i$ ;  $\text{agua}_i$  = resposta espectral do componente sombra ou água na banda  $i$ ;  $e_i$  = erro quadrático médio da raiz (RMS) na banda  $i$ ;  $e_i$  = bandas espectrais.

O processo de binarização da imagem fração água seguiu o critério da Equação (2):

$$f(i) = \begin{cases} 0, & i \geq 0 \\ 255, & i \geq 0,9 \end{cases} \quad (2)$$

e com isso os *pixels* de valores acima de 0,9 (correspondente á 90% de fração água) foi substituído por 255.

Foram então geradas imagens referentes às componentes puras identificadas pelo modelo, utilizando apenas a imagem fração de cada sensor. Em seguida, foram transformadas de RGB para IHS a fim de utilizar a imagem Matriz (H) comumente utilizado na literatura para extração de corpos hídricos (NAMIKAWA *et. al*, 2016), conforme Equação 3:

$$M = \begin{cases} 60 \left( \frac{G' - B'}{\text{Max} - \text{Min}} \right), \text{Max} = R' \\ 60 \left( \frac{B' - R'}{\text{Max} - \text{Min}} \right), \text{Max} = G' \\ 60 \left( \frac{R' - G'}{\text{Max} - \text{Min}} \right), \text{Max} = B' \end{cases} \quad (3)$$

onde,  $M$  = matriz de transformação,  $\text{Max}$  = valores máximos ( $R', G', B'$ ),  $\text{Min}$  = valores mínimos ( $R', G', B'$ ),  $R'$  = banda do vermelho em IHS,  $G'$  = banda do verde em IHS e  $B'$  = banda do azul em IHS.

Como resultado, foi obtida uma imagem em tonalidade Matriz. Para esta imagem, o critério de binarização, partiu do método proposto por Namikawa *et al.* (2016), conforme Equação 4:

$$f(i) = \begin{cases} 0, & i \geq 0 \\ 255, & i < 35 \end{cases} \quad (4)$$

Uma vez classificada, a imagem foi vetorizada possibilitando a extração da área superficial em km<sup>2</sup> da lâmina d'água do reservatório para cada sensor, que foram comparadas aos dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), através do sistema SAR (Sistema de Acompanhamento de Reservatórios).

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram então geradas cartas imagem contendo a distribuição espacial de *pixels* da imagem fração água e da imagem Matriz para os sensores OLI e MSI, como é visto nas Figuras 2 e 3. As bandas do OLI – Landsat 8 e MSI – Sentinel 2A usadas para criar a combinação RGB foram 4 (*Red*) 3 (*Green*) e 2 (*Blue*), porém é ressaltado que, outras combinações de bandas podem também criar componentes matriz semelhantes.

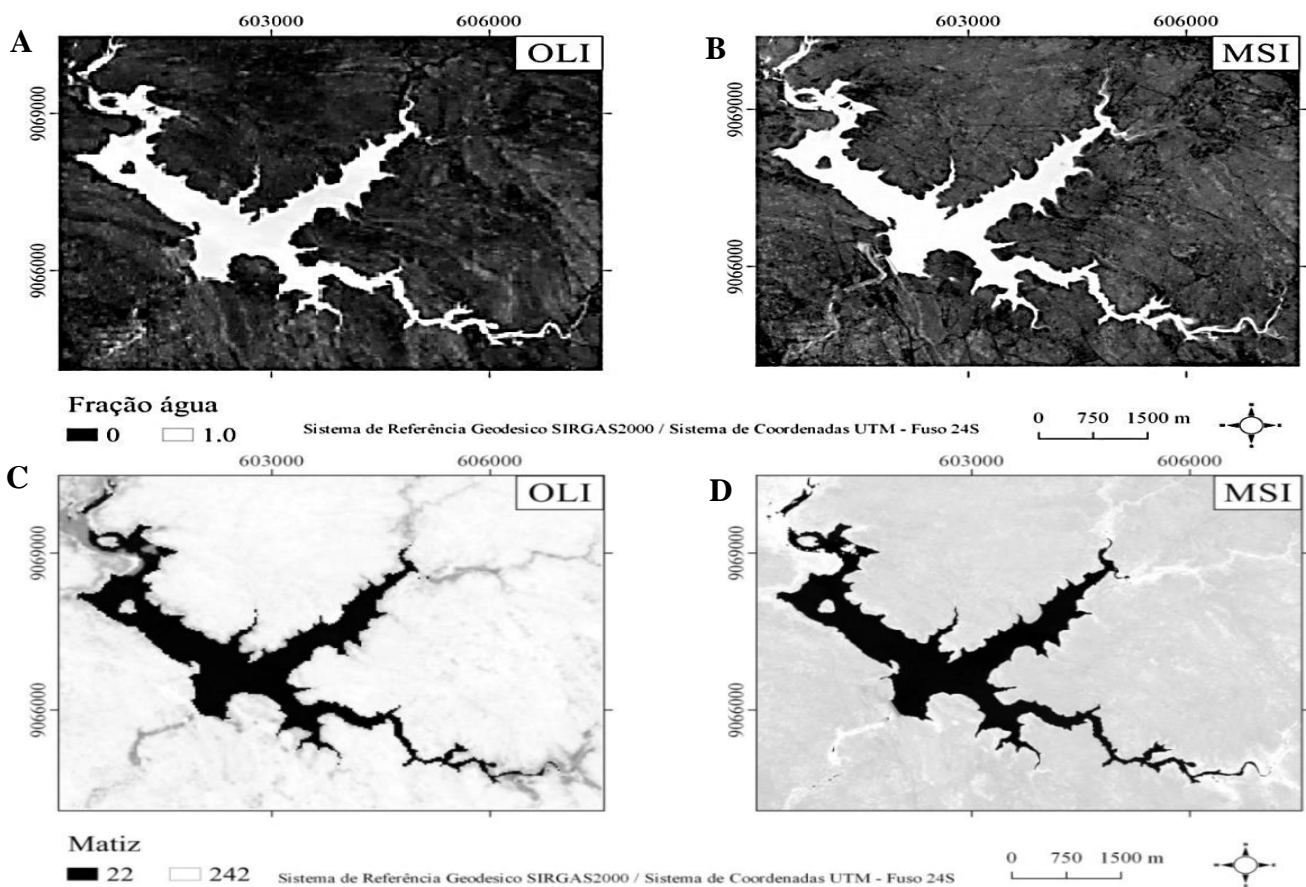


Figura 2 – Distribuição espacial de *pixels* de fração água para imagens: A - OLI e B - MSI.

Componente matriz para as imagens: C - OLI e D - MSI. Fonte: Autores (2020).

A fração água gerada pelo modelo conseguiu separar diretamente as feições de água e “não água”, com maior evidência na fração água do sensor OLI (Figura 2A), com bordas de pixels “serrilhados” apesar da diferença de resolução espectral entre as imagens, resultado da resolução espacial dos sensores. As imagens matrizes (Figura 2C e 2D) permitiram classificar e distinguir superfícies diferentes, através dos atributos de cores das bandas do vermelho, verde, azul utilizada. Entretanto, assim como a fração água, *pixels* serrilhados estiveram presentes na imagem OLI – Landsat 8.

Para a imagem fração água, os valores mais altos (*pixel* claro) são referentes às feições de corpo hídrico do reservatório, já no mapa da imagem matriz mostrado na Figura 3, os valores mais baixos (*pixel* escuro) são referentes às feições de corpo hídrico.

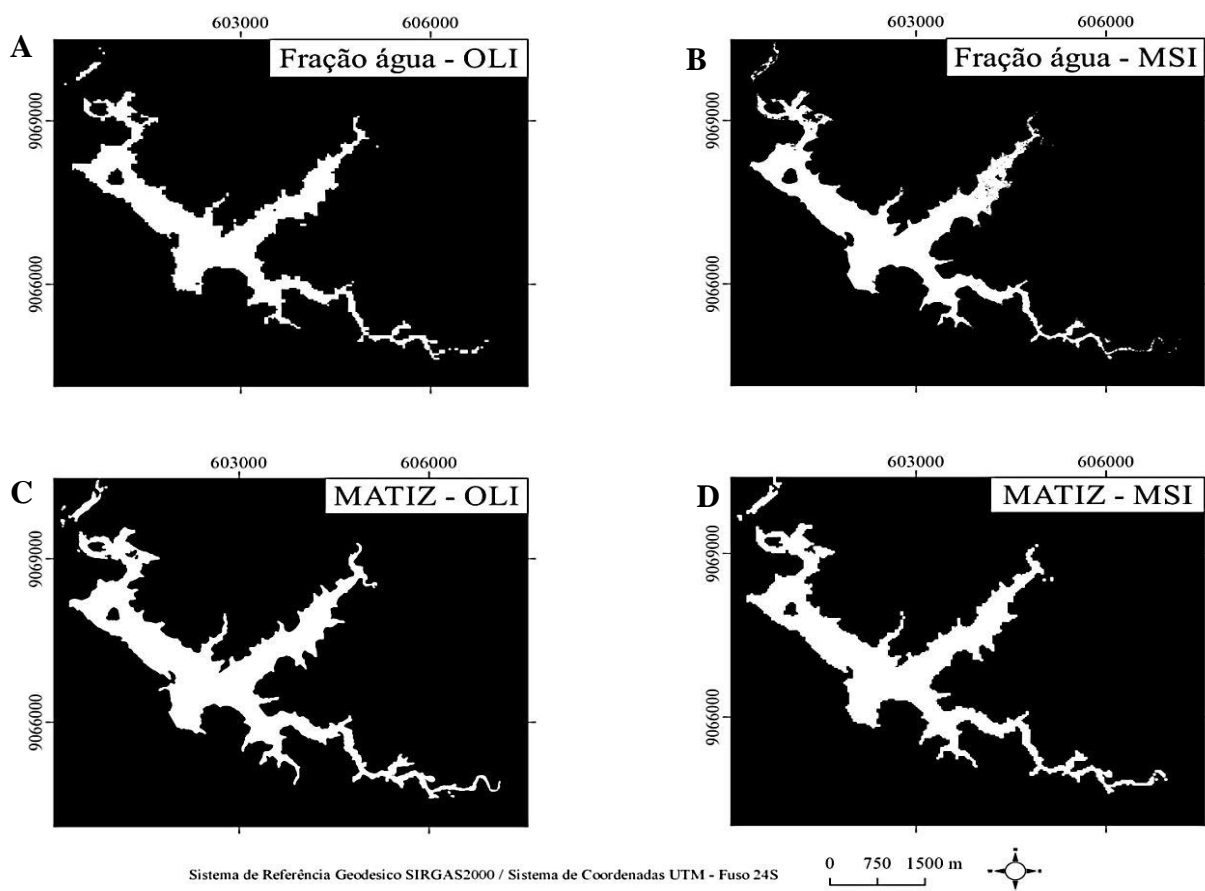


Figura 3 - Mapas de binarizações para as imagens da fração água: A - OLI B - MSI.  
Para imagens matriz: C - OLI e D - MSI. Fonte: Autores (2020).

Na Figura 3, têm-se os mapas de binarizações para as imagens geradas por fração água (Figura 3 A) para o sensor OLI e (Figura 3 A) para o sensor MSI e por imagens matriz para o sensor OLI (Figura 3 C) e para o sensor MSI (Figura 3 D).

O corpo hídrico extraído do componente matriz do sensor OLI apresentou pequena variação em relação á fração água resultante da imagem do sensor MSI. Este resultado pode ter ocorrido, pois, o método MLME por levar em consideração a fração espectral da água, tende a possibilitar que substâncias química ou compostos orgânicos no reservatório possam alterar a refletividade da água por terem semelhanças espectrais de corpos não aquáticos (Zhai *et al.*, 2020). Quanto à aplicabilidade da fração água, o algoritmo foi tendencioso a resultar em *pixels* com considerável grau de mistura, com uma redução do limiar de binarização, ou seja, classificando *pixels* que não se referiam ao alvo água.

Os resultados também indicaram divergências no processo de combinação linear (relação energia de cada alvo/fração dos *pixels*) para o método, possivelmente associada, ao processamento digital das imagens, realizado em *pixels* em escala de números digitais (ND), e não em valores de refletância. Produzindo ruídos nas imagens fração e que pode ter afetado diretamente da extração de corpos hídricos.

O método por transformação RGB/IHS através da componente matriz resultou em boa precisão, sem intervenção manual e extração rápida. Porém, apresentou valores relativamente próximos a fração água. A imagem matriz por possui histograma mais suave corroborou com a redução de erros acidentais e melhorou a imunidade a ruídos.

A resolução espacial foi o elemento que apresentou maior influência na dinâmica dos resultados, ou seja, sendo diretamente proporcional a qualidade do resultado de extração de corpos d'água. Porém, para imagens com mesmo tamanho de *pixel*, a componente matriz é o algoritmo mais indicado para a extração. Segundo Zhao (2020) a componente matriz de um corpo d'água pode ser bem aplicada às imagens do MSI - Sentinel 2A, resultando em precisão de reconhecimento adequada. A Tabela 1 apresenta os valores das áreas da lâmina d'água em km<sup>2</sup> pós a classificação binária:

Tabela 1 - Valores das áreas em (km<sup>2</sup>) estimado pela fração água e componente matriz.

Satélite	Fração água (km <sup>2</sup> )	Componente Matriz (km <sup>2</sup> )	ANA - SAR (km <sup>2</sup> )
OLI - Landsat 8	4,38	4,56	5,03
MSI - Sentinel 2A	4,60	4,77	5,03



O espelho d'água obtido pelo sensor OLI apresentou maior disparidade em relação aos dados da ANA com diferença percentual de 12,92% na fração água. Já o sensor MSI apresentou dados mais próximos aos de referência com diferença percentual de 5,17% na fração água e no componente matriz foi de 8,55%.

#### **4 – CONCLUSÃO**

Os métodos de extração de borda por MLME e componente matriz, apresentaram resultados satisfatórios, aos objetivos propostos. O método de extração por MLME foi considerado o mais indicado, quando se requer maior qualidade de extração da cobertura aquática, considerando a complexidade de mistura espectral de *pixels* e a componente matriz para imagens com mesmo tamanho de *pixel*. Destaca-se que o Sensoriamento Remoto e os dados hidrológicos, quando integrados contribuem para análises de elementos correlatos, para a representação de sistemas aquáticos e o comportamento real do alvo água.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a FACEPE pela bolsa de iniciação científica do segundo autor processo nº BIC-1791-3.07/19 e o Projeto Universitas - processo APQ 0300-5.03/17; ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic/UFPE/CNPq) pelo PIBIC voluntário ID 190314281 do terceiro autor; ao CNPq pela bolsa de produtividade da quarta autora; ao projeto aprovado na Chamada Universal MCTIC/CNPq 2018, processo nº 431980/2018-7 da quarta autora; ao Projeto aprovado na Chamada Universal MCTIC/CNPq 2018, processo nº 433914/2018-1 da quinta autora; ao United States Geological Survey (USGS) e *Copernicus* da *Earth Observation Data* (ESA) pelas imagens de satélites.

#### **REFERÊNCIAS**

ACHARYA, T.; SUBEDI, A.; LEE, D. (2018). “*Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal*”. *Sensors*, 18 – 8, pp. 2580-2593.

- BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.; MARTINS, V.S. (2019). *Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos*. INPE São José dos Campos - SP, 178 p.
- DOS SANTOS, P. E., DOS SANTOS, A. R.; CARNEIRO, R. S. A.; DE JESUS, B. T.(2018). “*Sensoriamento remoto hiperespectral no estudo do corpo hídrico do baixo curso do rio Subaé, Bahia, Brasil*”. Revista Brasileira de Geografia Física , (11-06), pp. 2018-2028.
- FITZGERALD, G.J.; PERRY, E.M.; FLOWER, K.C.; CALLOW, J.N.; BORUFF, B.; DELAHUNTY, A.; WALLACE, A.; NUTTALL, J. “*Frost Damage Assessment in Wheat Using Spectral Mixture Analysis*”. Remote Sensing. pp.2476-2481.
- FREITAS; HAERTEL, V; SHIMABUKURO, Y, E; (2008). “*Modelo Linear De Mistura Espectral Em Imagem De Moderada Resolução Espacial*”. Bol. Ciênc. Geod, (14-1), pp.55-71.
- MELESSE, A.M.; WENG, Q.; THENKABAIL, P.S.; SENAY, G.B. (2007). “*Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modelling*”. Sensors, 7, pp.3209–3241.
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. (2006). “*Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, (10 – 1), pp. 30-37.
- NAMIKAWA, L.; KÖRTING, T.; CASTEJON, E. (2016). “*Water body extraction from RapidEye images: An automated methodology based on Hue component of color transformation from RGB to HSV model*”. Brazilian Journal of Cartography. 68, pp.1097-1111.
- QUINTANO, C.; FÉRNANDEZ-MANSO, A.; SHIMABUKURO, E. Y.; PEREIRA, G. (2011). “*Aplicação do modelo linear de mistura espectral para o mapeamento de queimadas no Parque Nacional das Emas*”. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7911
- SHIMABUKURO, E. Y.; PONZONI, J. F. (2019). *Spectral Mixture for Remote Sensing. Linear Model and Applications*. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. 90p.
- SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. (1991). “*The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data*”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, (29 – 1), pp.16-20.
- ZHAI, HUAN; HUANG, FANG; QI, HANG. (2020). “*Generating High Resolution LAI Based on a Modified FSDAF Model*”. Remote Sensing, (12 – 1), pp. 150-165.
- ZHAO, Y.; SHEN, Q.; WANG, Q.; YANG, F.; WANG, S.; LI, J.; ZHANG, F.; YAO, Y. (2020). “*Recognition of Water Colour Anomaly by Using Hue Angle and Sentinel 2 Image*”. Remote Sensing. 12, pp.716.