EMPREGO DA ÁLGEBRA DE BANDAS PARA O MONITORAMENTO DOS ESPELHOS D'ÁGUA NO ESTADO DO CEARÁ

Mauro Ricardo Roxo Nóbrega[1], Ticiana Rodrigues de Castro Torres[1], Henrique Noguez da Cunha[2], Manuel Rodrigues de Freitas Filho[1], Margareth Sílvia Benício de Souza Carvalho[1]

[1] Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Caixa Postal D322. CEP 60115-221- Fortaleza/CE. {mauro.nobrega, ticiana.castro, freitas, margareth}@funceme.br

[2] Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima nº 1000, Bairro Camobi - CEP 97105-900 - Santa Maria – RS. henriquencunha@gmail.com

RESUMO

O estado do Ceará está localizado no Nordeste do Brasil, com 98% do seu território situado no ambiente semiárido, sendo caracterizado pela escassez hídrica, chuvas irregulares e secas prolongadas. Os espelhos d'água apresentam uma intensa dinâmica temporal e espacial requerendo um monitoramento constante. O objetivo deste estudo foi testar uma abordagem semiautomática na espacialização de espelhos d'água no Ceará. Foram utilizadas cenas do sensor *Operational Land Image* e foram realizados procedimentos algébricos entre as bandas e isolados os pixels cujas respostas corresponderam à água. Foram quantificados 772 espelhos d'água superiores a 20 hectares, os quais abrangem açudes, lagoas, tanques de aquicultura, rios e mangues. A metodologia proposta mostrou-se satisfatória para agilizar o mapeamento dos espelhos d'água em diferentes escalas. Contudo, o detalhamento do resultado é relativo à escala temporal e espacial dos planos de informações iniciais e o método não elimina à necessidade de procedimentos após a classificação.

Palavras-chave — monitoramento espelhos d'água, classificação digital de imagens, bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The state of Ceará is located in northeastern Brazil, with 98% of its territory located in the semiarid environment, being characterized by water scarcity, irregular rains and prolonged droughts. The water surface present intense temporal and spatial dynamics requiring constant monitoring. The objective of this study was to test a semiautomatic approach in the spatialisation of water surface in Ceará. Scenes from the Operational Land Image sensor were used and algebraic procedures were performed between the bands and isolated pixels whose responses corresponded to water. A total of 772 water mirrors of more than 20 hectares were quantified, including dams, ponds, aquaculture tanks, rivers and mangroves. The proposed methodology proved to be satisfactory in order to expedite the mapping of water surface at different scales. However, the detailing of the result is relative to the temporal and spatial scale of the initial information plans and the method does not eliminate the need for procedures after classification.

Key words — *management of water resource, digital image classification, hydrographic basin.*

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Ceará situa-se na região Nordeste do Brasil e possui uma população estimada de 9.075.649 habitantes [1]. Aproximadamente 98,7% do território cearense ocorre sob clima semiárido [2], caracterizado por precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, Índice de Aridez de Thorntwaite igual ou inferior a 0,50 e/ou percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano [3]. Essa região é marcada pela escassez hídrica, por precipitações comumente distribuídas irregularmente, tanto no tempo como no espaço [4], e pela ocorrência de secas prolongadas, as quais afligem a sua população, resultando complexo o planejamento e a gestão dos recursos hídricos [5]. Nesse contexto, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, através de seu Núcleo de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, tem entre os seus objetivos estratégicos realizar estudos e pesquisas direcionadas ao conhecimento dos recursos naturais renováveis e das condições geoambientais do Estado. Dentre os estudos realizados por este núcleo destaca-se o mapeamento e monitoramento anual dos espelhos d'água, o qual é realizado tendo por base imagens orbitais. Cabe destacar que, ao longo do ano, as nuvens são um fator limitante para a aquisição destas imagens na região. De forma geral, no primeiro semestre a maior presença de nebulosidade está associada aos principais sistemas meteorológicos que atuam na região, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) [6]. Por outro lado, ainda que o segundo semestre seja marcado pela escassez das chuvas, também é comum haver formação de nuvens, estas com padrões mais estáveis, os quais geralmente estão atribuídos a sistemas locais, como as brisas, tornando desafiador este monitoramento.

A metodologia utilizada para essa atividade parte do processo de classificação por interpretação visual de imagens orbitais e vetorização manual dos corpos hídricos superficiais [7] [8] [8] [10]. Essa abordagem tem se mostrado robusta no monitoramento dos espelhos d'água do Estado, no entanto, exige muitos recursos humanos e tempo. Com o avanço do estado da arte, diversos procedimentos têm sido explorados quando se anseia levantar informações relativas às águas superficiais. Dentre estes, citam-se os algoritmos de classificação, supervisionados e não supervisionados, a transformação para espaço de cor percentual, como o HSV (Hue, Saturation, Value) [11] e as operações aritméticas entre bandas [12]. Os índices de água como o Normalized Difference Water Index (NDWI) [13] e o Normalized Difference Water Index Modified (MNDWI) [14], bem como outras versões de índice automatizado de extração de água [15], derivados de operações aritméticas, têm se mostrado favoráveis em virtude de serem práticas e de fácil aplicabilidade. Recentemente, as imagens obtidas no comprimento de onda do aerossol, captadas pelo sensor OLI do satélite Landsat 8 também apresentaram virtual potencialidade em levantamentos dessa natureza [16]. Assim, são oportunas as abordagens que aperfeiçoem a aquisição de informações dos corpos hídricos, sobretudo do ponto de vista de praticidade e da objetividade do mapeamento. O objetivo deste estudo foi testar uma abordagem semiautomática para a identificação e delimitação dos espelhos d'água em uma porção territorial do Estado do Ceará no ano de 2013.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo constitui o Estado do Ceará, localizado na região Nordeste do Brasil. (Figura 1).

Foram utilizadas cenas do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite *Landsat*, correspondente às órbitas/ponto 218/62 a 218/65, 217/62 a 217/65 e 216/63 a 216/65, captadas no período entre março e agosto de 2013, possibilitando a averiguação da acurácia do método proposto. A metodologia proposta consistiu na utilização da técnica de álgebra de bandas. O processamento digital de imagem e o geoprocessamento foram conduzidos com os *softwares* QGis 3.2 e ArcGis 10. Primeiramente foi coletado um conjunto de pixels amostrais de diferentes usos e coberturas da terra, dentre os quais incluiem-se açudes com diferentes condições ambientais, como profundidades, turbidez, aparências na superfície, possibilitando a identificação do padrão espectral de cada alvo. Sequencialmente, foram realizados procedimentos algébricos entre as bandas, onde foram somadas as bandas costal aerossol e azul, caracterizadas pela predominância de respostas espectrais relativas à água. A partir do produto resultante dessa soma, foi subtraída a banda 3 (verde). Após a subtração, na imagem resultante foi subtraída a banda 4 (vermelho) e este mesmo processo foi reproduzido até a banda do infravermelho de ondas curtas. Posteriormente, foram interpretados os alvos água e não água no produto resultante desta álgebra e foi estabelecido um limiar isolar os pixels cujas respostas corresponderam à água. (*thresholding*) [17], produzindo uma imagem binária para isolar os pixels cujas respostas corresponderam à água.

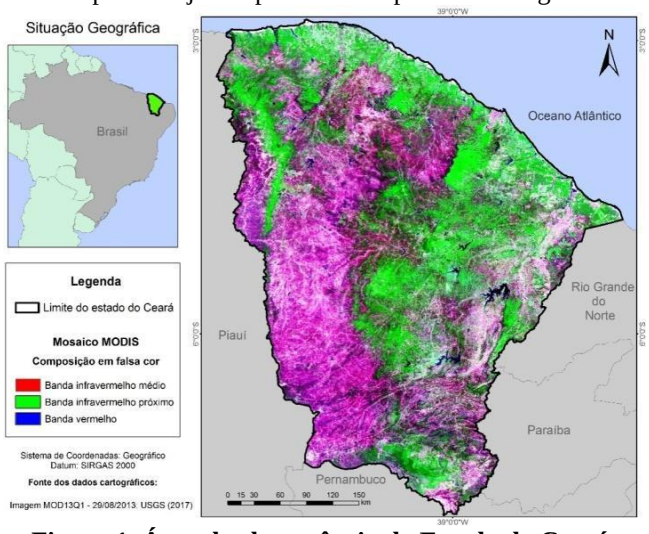

Figura 1. Área de abrangência do Estado do Ceará

Em seguida, estes pixels foram convertidos em formato vetorial e importados para o ambiente SIG, onde foram consideradas as áreas superiores a 20 e 100 hectares, uma vez que neste intervalo de área ocorrem os açudes com maior aporte hídrico do estado. Orientando, deste modo, potenciais locais de reservação, contribuindo com o gerenciamento dos recursos hídricos superficiais. Cabe salientar que este espaço de área é consonante com as características de engenharia do sensor OLI, como a resolução espacial da imagem, também que esta mesma abordagem de espaço foi explorada por Carvalho (2009), ao realizar mapeamento similar em escala entre 1:250.000 e 1:50.000 para o território nacional entre 2004 e 2007, utilizando imagens CCD/CBERS-2. Posteriormente, foram realizados os procedimentos de pós-classificação, em que foram corrigidos os delineamentos de feições. Numa próxima etapa, foram calculadas a distribuição dos corpos hídricos por bacia hidrográfica e comparados com os dados oficiais, disponibilizados pela FUNCEME.

3. RESULTADOS

Foram quantificados 772 espelhos d'água superiores a 20 hectares, distribuídos no território do Estado do Ceará, os quais abrangem açudes, lagoas, tanques de aquicultura, rios e mangues. Na Figura 2 se podem perceber em tom de azul as áreas de espelhos d'água distribuídos por bacia hidrográfica. A Figura 3 ilustra o mapeamento em uma escala de 1:160.000, onde se pode notar em vermelho o delineamento das áreas classificadas como corpos hídricos. Nesta figura, destaca-se o açude Castanhão, o maior reservatório de água do Estado, o qual possui uma

capacidade é de 6.700.000 m³, e contribui grandemente como solução para o problema da escassez de água no sertão cearense. Em destaque é mostrado uma área classificada com um melhor nível de detalhamento, em escala de mapeamento de 1:25.000. Nesta figura é possível perceber os resultados da classificação por ambos os métodos, semiautomático e por interpretação visual, onde podem ser observadas delimitações fidedignas das laminas de espelhos d'água.

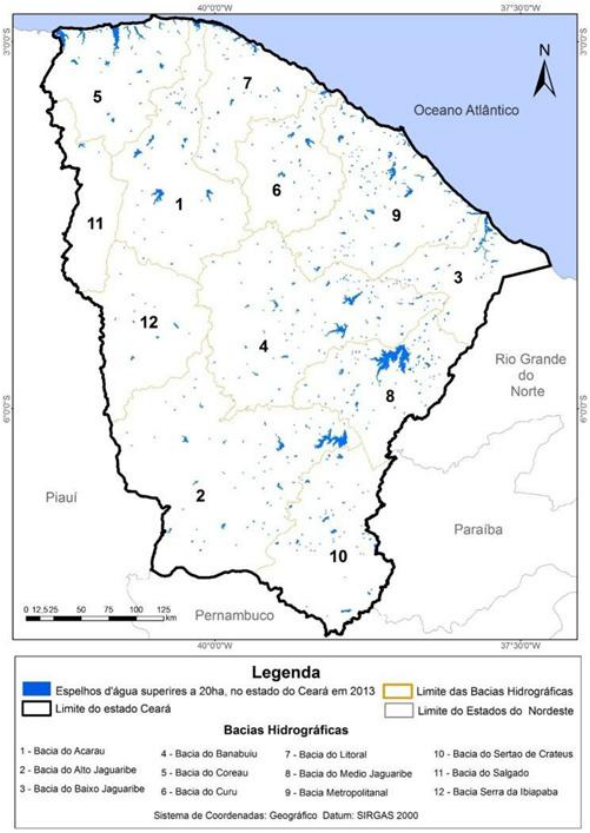

Figura 2. Distribuição dos espelhos d'água superiores a 20ha no estado do Ceará, em 2013.

As bacias hidrográficas que apresentaram os melhores resultados (Tabela 1) foram as bacias do Médio Jaguaribe, Acaraú e Coreaú, caraterizadas pela menor presença de nuvens e menor presença de sombra, dois fatores que interferem na área classificada pelo método proposto. A bacia da Serra da Ibiapaba, também apresentou bons resultados, possivelmente pelo número ínfimo de reservatórios.

As principais fragilidades do método proposto foram identificadas nas bacias litorâneas, em glacis de acumulação pré-litorâneos, sobretudo nas zonas de tabuleiros arenosos e areno-argilosos, e em áreas de foz. Nestas zonas úmidas ocorrem vegetações de mangue e tanques de aquicultura, os quais evidenciaram a necessidade procedimentos de pós-classificação. Foi possível perceber que o método proposto também superestimou em áreas circunjacentes aos açudes, incorporando a estes também áreas úmidas. Todavia, ao se comparar os dois métodos, ocorreram discordâncias em

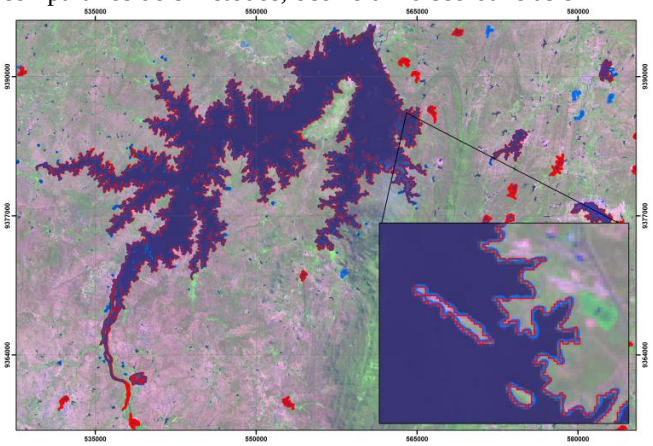

Figura 3. Exemplo de classificação numa área onde ocorre o açude Castanhão em escala 1:160.000, em destaque a classificação semiautomática (vermelha) e por interpretação visual (azul).

número de espelhos d'água, em relação a Carvalho (2017) principalmente nos menores açudes, na região limítrofe dos 20 hectares, o que pode estar associado à subjetividade da interpretação do método convencional e a fragmentação de açudes obtidos pelo método proposto, que foram incorporados a outros intervalos de área. Os dados apresentam uma concordância de 97% em relação ao número de espelhos d'água oficiais [10].

Tabela 1. Representação quantitativa dos espelhos d´água no Estado do Ceará, por bacia hidrográfica.

Bacia hidrográfica	Espelhos d'água			
	> 20 ha e <100 ha		> 100 ha	
	Quantidade	Área ha	Quantidade	Área ha
Acaraú	36	1262	13	12283
Alto Jaguaribe	68	2513	16	19607
Baixo Jaguaribe	74	2872	14	5564
Banabuiú	90	3369	18	10931
Corearú	29	1189	20	22920
Curú	32	1236	11	4797
Litoral	41	1217	17	8006
Médio Jaguaribe	72	3078	12	29523
Metropolitana	99	4136	29	15651
Salgado	54	1841	13	5139
Serra da Ibiapaba	1	47	1	723
Sertão de Crateús	8	361	4	1262
Total	604	23121	168	136406

4. CONCLUSÕES

A metodologia proposta mostrou-se satisfatória para agilizar o mapeamento dos espelhos d'água do Ceará em diferentes escalas. Contudo, cabe ressaltar que o detalhamento do resultado é relativo à escala temporal e espacial dos planos de informações iniciais e que o método não elimina à necessidade de procedimentos de pós-classificação.

Para trabalhos futuros recomenda-se que os padrões espectrais dos alvos, bem como os limiares, sejam explorados e regionalizados por bacias hidrográficas.

5. REFERÊNCIAS

[1] IBGE (Instituto Brasileiro de geografia e Estatística) "IBGE Cidades". Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em 14 set.2017.

[2] IBGE (Instituto Brasileiro de geografia e Estatística) "Malha Municipal 2015". Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas> Acesso em: 24 mai 2018.

[3] BRASIL. Resolução n. 115, de 23 de Nov. de 2017. Aprova a Proposição n^0 113/2017, que acrescenta municípios a relação aprovada pela resolução CONDEL n^0 107, e 27 de julho de 2017.

[4] Teixeira, Raul Fritz Bechtel. "Satélites meteorológicos: imagens, aplicações e curiosidades". / Raul Fritz Bechtel Teixeira. - Fortaleza: tipografia Iris, 2016. 192p.:II.

[5] De Nys, E.; Engle, N.L.; Magalhães, A.R. "Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília, DF". Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- CGEE; Banco Mundial, 2016. 292 p.

[6] Ferreira, A. G., & Da Silva Mello, N. G. (2005). "Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico Atlântico no clima da região". Revista Brasileira de Climatologia, 1(1).

[7] Carvalho, G. M. B. S.; Soares, A. M. L.; Almeida, M. L. B. da C.; Martins, M. L. R. Soares, Z. M. L. "Monitoramento dos espelhos d'água dos açudes do Estado do Ceará". In: V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1988, Natal-RN. Anais V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-Natal-Rn, 1988.

[8] Martins, E. S. P. R.; Menescal, R. De A.; Warren, M. S.; Carvalho, M. S. B. De S.; Melo, M. S. De; Perini, D. S.; Oliveira, F. de A. J. de. "Utilização de imagens CBERS para mapeamento dos espelhos d'água do Brasil". In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2007, Florianópolis. Anais. Disponível em:< http://marte.dpi.inpe. br/col/dpi.inpe.br/sbsr. Acesso em: 14 set. 2017.

[9] Carvalho, M.S.B. De S.; Martins, E. S. P. R.; Soares, A. M. L.; Chaves, L. C. G.; Oliveira, F. De A. J.; Perini, D. S.; Menescal, R. De A.; Scherer-Warren, M. "Levantamento dos espelhos d'água acima de 20ha em todo o território brasileiro através de sensoriamento remoto". Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1967-1974.

[10] Carvalho, M.S.B. De S.; Soares, A. M. L.; Lima, D.B.; Rocha, F. S.; Rocha, I. G.; Filho, M. R. De F.; Medeiros, M. P.; Torres, T. R. De C.; Soares, Z. M. L. "Mapeamento dos espelhos d'água do estado do Ceará no ano de 2013". Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – INPE Santos - SP, Brasil. 28 31Maio 2017.

[11] Namikawa, L. M.; Körting, T. S.; Castejon, E. F. "Water body extraction from rapideye images: na automated methodology based on hue component of color transformation from RGB to HSV Model Brazilian Journal of Cartography", Nº 68/6, Special Issue GEOINFO 2015: 1097-1111, 2016.

[12] Araujo, T. P. & Mello, F. M. "Processamento de imagens digitais – razão entre bandas". São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 1, p. 121-131, 2010.

[13] McFeeters, S. K.. "The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features". International Journal of Remote Sensing 17: 1425–1432, 1996.

[14] Xu, H. "Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery." International Journal of Remote Sensing 27: 3025– 3033, 2006.

[15] Jiang, H.; Feng, M.; Zhu, Y.; Lu, N.; Huang, J.; Xiao, T. "An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery Remote Sens". 5067-5089, 2014.

[16] Zhiqiang Du, Wenbo Li, Dongbo Zhou, Liqiao Tian, Feng Ling, Hailei Wang, Yuanmiao Gui & Bingyu Sun. "Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping", Remote Sensing Letters, 5:7, 672-681, 2014

[17] Solomon, Cris. "Fundamentos de processamento digital de imagens: uma abordagem prática com exemplos em Matlab" tradução José Rodolfo de Souza - 1. Ed. Rio de janeiro: LTC, 2013.