

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ÍNDICES ESPECTRAIS POR SENSORIAMENTO REMOTO NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE PARA CONFIGURAÇÕES HÍDRICA E VEGETAL

*Carlo Henrique da Silva Malinconico*¹; *Ubiratan Joaquim Silva Junior*²; *Antônio Juarez da Silva Junior*³; *Suzana Maria Gico Lima Montenegro*⁴ & *Leidjane Maria Maciel de Oliveira*⁵

RESUMO – O uso de técnicas de Sensoriamento Remoto em apoio aos estudos hidrológicos se tornou comum nos últimos anos, por meio da aplicação das imagens orbitais para mapeamento e delineamento de corpos hídricos. O objetivo deste estudo foi analisar as configurações hídrica e vegetal presentes em parte da Bacia Hidrográfica do Capibaribe, por meio da sensibilidade espectral do índice de vegetação NDVI e de água NDWI, considerando uma análise espaço temporal (2015 a 2019), no período de baixa incidência pluviométrica. Para isso, foram utilizadas imagens do satélite OLI - Landsat 8, em que foram produzidas cartas imagem com a distribuição espacial dos *pixels* para os índices. A utilização dos índices NDWI e NDVI mostrou-se uma ferramenta importante para a gestão das bacias hidrográficas por permitir monitorar os recursos hídricos e vegetais a partir de uma dinâmica espacial e temporal, com aplicações para fins de análises da influência de fatores antrópicos nos ecossistemas e mapeamento do mosaico terrestre.

ABSTRACT– The use of Remote Sensing techniques in support of hydrological studies has become common in recent years, through the application of orbital images for mapping and delineating water bodies. The objective of this study was to analyze the water and vegetation configurations present in part of the Capibaribe Hydrographic Basin, through the spectral sensitivity of the NDVI vegetation index and NDWI water, considering a time-space analysis (2015 to 2019), in the low period rainfall. For this, images from the OLI - Landsat 8 satellite were used, in which image cards were produced with the spatial distribution of pixels for the indices. The use of the NDWI and NDVI indices proved to be an important tool for the management of hydrographic basins, as it allows monitoring water and plant resources from a spatial and temporal dynamics, with applications for the purpose of analyzing the influence of anthropic factors in ecosystems and mapping of the terrestrial mosaic.

Palavras-Chave – Bacia Hidrográfica, NDWI, NDVI.

¹) 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

²) 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

³) 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

⁴) 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

⁵) 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

A aplicação do Sensoriamento Remoto (SR) contribui para estudos voltados para gestão e monitoramento ambiental. As técnicas utilizadas em imagens orbitais permitem análises detalhadas sobre o dinamismo dos recursos naturais detectados na superfície terrestre. (Almeida *et al.*, 2017).

O Sensoriamento Remoto, permite a longa distância da superfície terrestre descrever, com qualidade e agilidade econômica, as configurações hídrica e vegetal. Outro relevante aspecto que deve ser considerado é que suas ferramentas possibilitam o estudo dos dosséis, observando os índices espectrais e parâmetros biofísicos da paisagem. Diversos índices espectrais têm sido desenvolvidos com o objetivo de explorar as propriedades de regiões visíveis e do infravermelho próximo. Ponzoni e Shimabukuro (2010).

As águas superficiais são uma parte importante na dinâmica dos ecossistemas Terrestre (Vorosmarty *et al.*, 2000). Sendo essencial para a sobrevivência dos seres vivos e um indicador da mudança ambiental no cenário da paisagem (Acharya *et al.*, 2018). O mapeamento da dinâmica de fenômenos hidrológicos através de técnicas produtos de Sensoriamento Remoto é um método importante para avaliar a área da superfície, coberta por lâmina de água, com isso é possível propor o delineamento de áreas inundadas e não inundadas (Baig *et al.*, 2013).

Estudos em grandes áreas, a exemplo de bacias hidrográficas, utilizando índices espectrais como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) são importantes para ações de gerenciamento de recursos hídricos e vegetais.

Complementando ainda a importância do SR em estudos de configurações da superfície terrestre, ressalta-se o NDWI desenvolvido por McFeeters (1996) para análises hidrológicas e ambientais. Bem como, os índices de vegetação têm também sido utilizados para extrair características da água (Rokni *et al.*, 2014; Acharya *et al.* (2018), como NDVI proposto por Rouse *et al.* (1973). Ainda no foco de recursos hídrico e vegetação, Leite *et al.* (2017) analisaram a potencialidade do índice espectral NDWI, extraído a partir da imagem do sensor TM Landsat5 e obtiveram melhor identificação e mapeamento na área do Perímetro Irrigado Nilo Coelho, bem como de trecho do rio São Francisco entre Petrolina – PE e Juazeiro – BA.

O objetivo deste trabalho foi processar índices espectrais utilizando imagens do satélite OLI – Landsat 8, pela técnica de sensoriamento remoto na bacia do rio Capibaribe para configurações hídrica e vegetal.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo compreende um polígono inserido na Bacia Hidrográfica do Capibaribe em Pernambuco, entre os municípios de Santa Cruz do Capibaribe, Taquaritinga do Norte, Toritama e Brejo da Madre de Deus, entre as coordenadas geográficas (08°S) e (36° W) (Figura 1). A vegetação predominante da região é a Caatinga. O clima é semiárido, quente, com chuvas no outono e inverno, apresentando um dos índices pluviométricos mais baixos do Agreste (Aragão e Gomes, 2019).

A região é formada por três estradas importantes que cruzam a região: PE-160, PE-090 e BR-104, o que proporcionou uma expansão urbana e fluxo turístico ao longo dos anos, nesta área que é formada pelo e Polo Têxtil do Estado de Pernambuco.

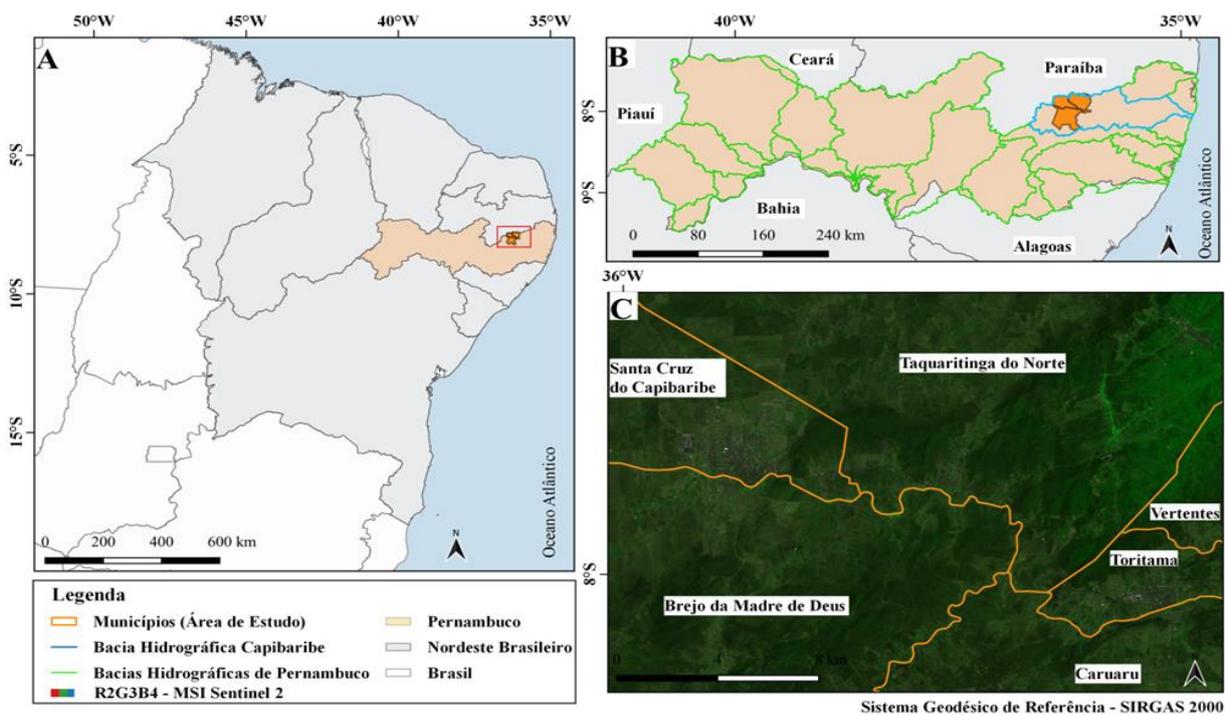


Figura 1 - Área de Estudo. (A) Área de Estudo no mapa do Brasil. (B) Localização da área de estudo e bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco, Nordeste brasileiro. (C) Cena do Satélite MSI - Sentinel de 02/11/2019. Fonte: Os autores (2020).

Foram utilizadas cenas de imagens orbitais dos satélites (*Operational Land Imager*) OLI – Landsat 8, órbita ponto 214/66, datadas de 07/11/2015, 12/11/2017 e 02/11/2019. Com recobrimento espectral entre 0,443 a 12,005 (μm), tempo de revisita de 16 dias e resolução espacial de 30 (m) para as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 10. Obtidas gratuitamente através do portal eletrônico *Earth Explore*, de domínio da USGS (*United States Geological Survey*).

Os dados de precipitação (Figura 2) foram obtidos através da estação de monitoramento PCD – Toritama (70) do banco de dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

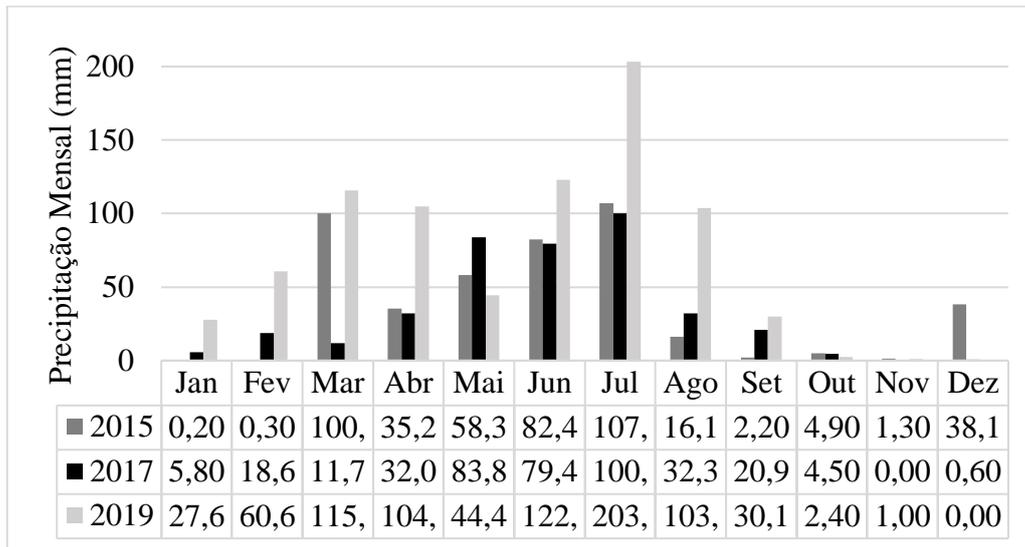


Figura 2- Dados hidrológicos mensais para área de estudo. Fonte: APAC (2020).

A metodologia descrita na Figura 3 pelo fluxograma metodológico compreendeu (1) aquisição de dados com a seleção das cenas, em que, consideraram-se fatores como: ampla cobertura, ausência de nuvens e períodos com baixa incidência pluviométrica; (2) processamento digital das imagens com a reprojeção cartográfica (SIRGAS 2000) e o recorte da área de estudo e; (3) processamentos dos índices espectrais que possuem como resultados as cartas imagem para cada ano investigado.

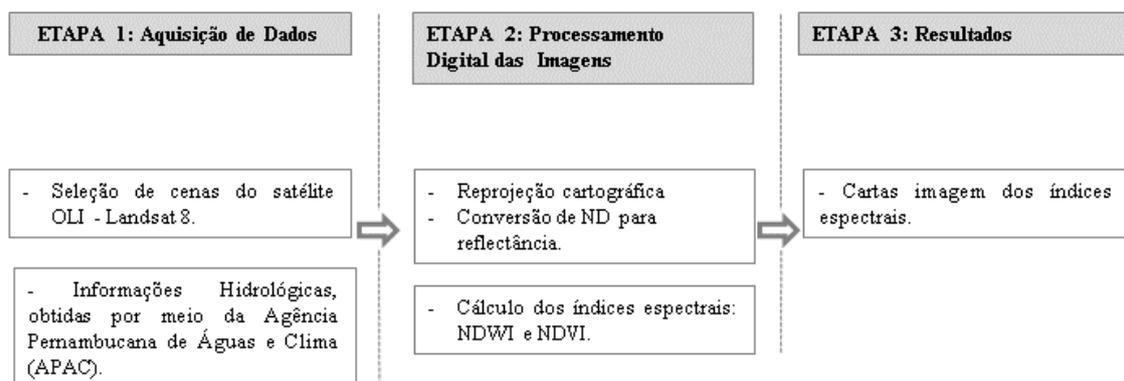


Figura 3 – Fluxograma Metodológico. Fonte: Autores (2020).

O processamento das imagens se deu em conformidade com Silva *et al.* (2016). Para a conversão dos valores em nível de cinza (ND) do sistema sensor OLI Landsat 8 para reflectância

espectral, utilizou-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens USGS (2018). Para tanto, os números digitais de cada pixel e banda foram convertidos para reflectância planetária a partir dos fatores aditivo e multiplicativo, reportados no ficheiro de metadados da imagem. No entanto, é necessário corrigir a refletância de acordo com o ângulo zenital solar - Z e o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol na data da obtenção da imagem - d_r (obtido com base na distância Terra-Sol - d_{TS} , disponível no arquivo metadados da imagem, em unidade astronômica), conforme:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{(A_{\rho_i} + M_{\rho_i} \cdot ND_i)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (1)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{TS}} \right)^2 \quad (2)$$

onde: ρ_{λ_i} (adimensional) é a reflectância planetária no topo da atmosfera de cada banda i ; A_{ρ_i} é o fator aditivo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadados da imagem); M_{ρ_i} é o fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadados da imagem); ND_i é o número digital correspondente a intensidade do pixel de cada banda; Z é o ângulo zenital solar obtido com base no ângulo de elevação do Sol - E (disponível no arquivo metadados da imagem), uma vez que $Z = 90 - E$.

O Índice de Água por Diferença Normalizada ($NDWI_{GAO}$) foi proposto por Gao (1996) e permite detectar melhor a mudança da biomassa vegetal no que concerne a quantidade de água em culturas agrícolas, pela configuração do estresse hídrico no ambiente, através da relação entre as bandas do infravermelho próximo (ρ_{IV_P}) e do infravermelho médio (ρ_{IV_M}), conforme Equação 3:

$$NDWI_{GAO} = \frac{\rho_{IV_P} - \rho_{IV_M}}{\rho_{IV_P} + \rho_{IV_M}} \quad (3)$$

O Índice de Água por Diferença Normalizada ($NDWI$) pode ser obtido a partir de McFeeters (1996), conforme ilustrado na Equação 3. A obtenção do $NDWI$ parte dos valores de reflectância da banda do verde e da banda do infravermelho próximo. Os valores para o índice variam entre -1 e 1. Assim, para $NDWI \geq 0$ tem-se áreas com presença de água e para $NDWI \leq 0$ não ocorre a presença de água na superfície do terreno (Pereira e Morais, 2015).

$$NDWI_{MCF} = \frac{\rho_{verde} - \rho_{IVp}}{\rho_{verde} + \rho_{IVp}} \quad (4)$$

As respostas dos índices $NDWI_{GAO}$ e $NDWI_{MCF}$ foram analisadas a partir da classificação descrita por Leite *et al.* (2017), como mostra a Tabela 2:

Tabela 2 – Valores de classes dos *pixels* do NDWI.

Classe	$NDWI_{GAO}$	$NDWI_{MCF}$
Muito Baixo	-0,42 a -0,18	-0,71 a -0,18
Baixo	-0,18 a -0,05	-0,18 a -0,05
Médio	-0,05 a 0,13	-0,05 a 0,13
Alto	0,13 a 0,34	0,13 a 0,34
Muito Alto	> 0,34	> 0,34

Fonte: Leite *et al.* (2017).

Rouse *et al.* (1973) desenvolveram o Índice NDVI, que varia entre -1 e 1, utilizado para realçar o vigor vegetativo de determinada região, através da razão entre a diferença do valor da reflectância monocromática do infravermelho próximo (ρ_{IVp}) e do vermelho (ρ_v), e a soma das mesmas, conforme Equação 5:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVp} - \rho_v}{\rho_{IVp} + \rho_v} \quad (5)$$

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram geradas as cartas imagens para os índices: $NDWI_{GAO}$ (Figura 4), $NDWI_{MCF}$ (Figura 5) e NDVI (Figura 6) contendo a distribuição espacial da variabilidade dos *pixels* classificados para: água, vegetação, solo exposto e área urbana presentes na área de estudo. De acordo com Leite *et al.* (2017), os Índices Espectrais, $NDWI_{GAO}$ e $NDWI_{MCF}$, podem ser definidos em níveis caracterizados de acordo com valores pré-definidos (Tabela 1), em que através de uma interpolação dos *pixels*, tem-se a formação de clusters indicando o grau de umidade da área.

Ao analisar as cartas georreferenciadas $NDWI_{GAO}$ (Figura 4) e a partir da classificação proposta por Leite *et al.* (2017) conforme Tabela 1, observaram-se que os *pixels* classificados com valores menores que zero (Muito Baixo), indicaram áreas de solo exposto e urbanização em que a vegetação existente apresenta baixa umidade, ou seja, trata-se de uma vegetação rasteira ou em baixa densidade arbórea, característica dos períodos de baixa incidência pluviométrica.

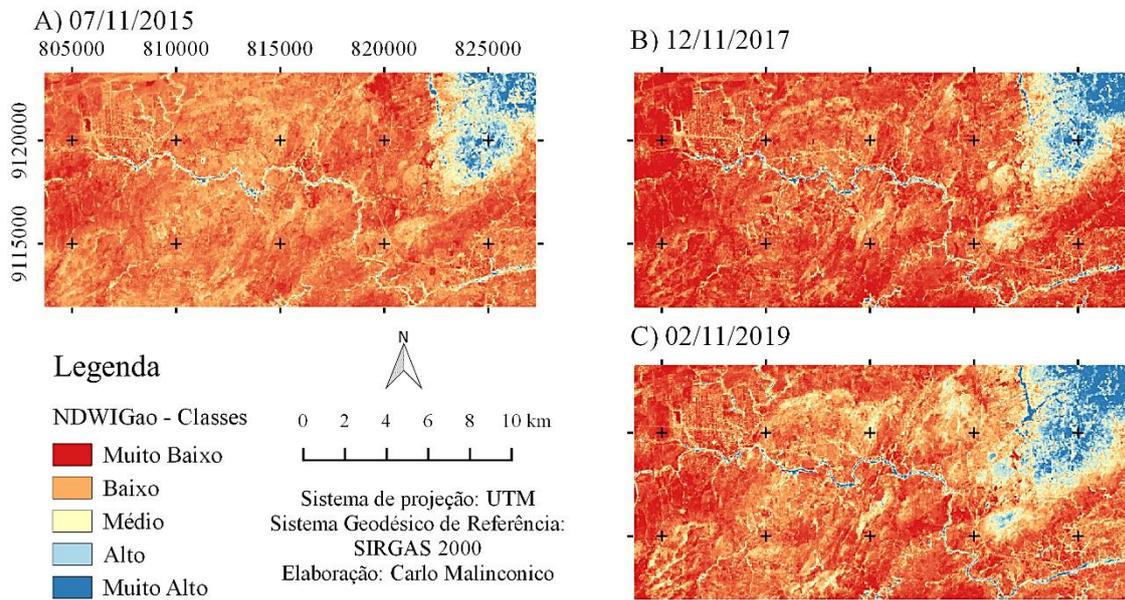


Figura 4 - NDWI_{GAO}. Fonte: Autores (2020).

Além disso, o índice apresentou uma maior concentração de *pixels* com valores inferiores a zero (-0,2 a -0,6), que condizem com a realidade da área que se trata de uma região com alta densidade de urbanização. Segundo Aragão e Gomes (2019) em Santa Cruz do Capibaribe a população corresponde a 99.232 sendo 97,73% urbana, habitando nas áreas próximas ao Rio Capibaribe, que se estendem aos demais municípios vizinhos. De acordo com Oliveira *et al.* (2013), valores de *pixel* acima de 0,34 para NDWI_{GAO}, são mensurados para uma boa visualização dos corpos de água e vegetação fotossintética, comprovando os resultados desta pesquisa visualizando o lado superior direito da Figura 4A, B e C com a localização do município Taquaritinga do Norte, considerado um microclima pernambucano decorrente da precipitações orográficas na região.

A Figura 5 apresentou as cartas geradas para o NDWI_{MCF}, em que, os valores obtidos, foram coerentes com a sazonalidade dos dados de precipitação característicos da região, em que para período analisado tem-se elevada escassez hídrica. Com isso houve uma redução de *pixels* classificados para alta densidade de umidade, é perceptível, no entanto, pontos com média concentração de umidade, que se trata de locais da presença da massa d'água existentes. Segundo Gao (1996) e Xu (2007), o índice não remove completamente os efeitos da reflectância de fundo do solo, existindo a possibilidade de mistura espectral de *pixels* entre as classes água e áreas construídas.

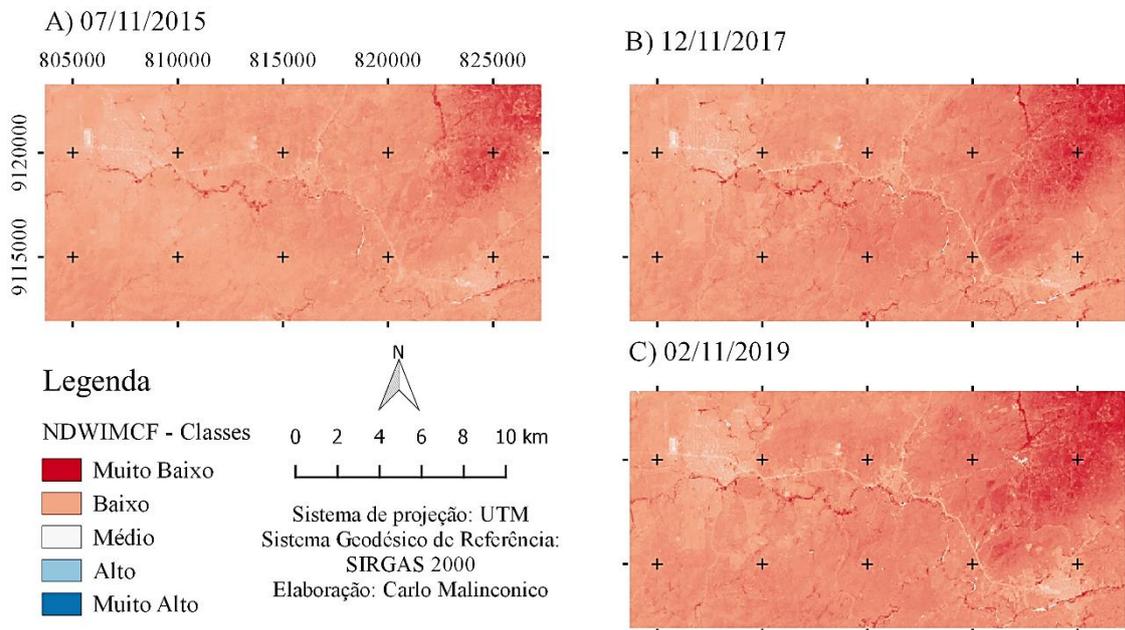


Figura 5 – Carta Imagem NDWIMCF. Fonte: Os autores (2020).

A Figura 6 apresentou a carta imagem obtida com o NDVI, em que, as zonas com comportamento negativo são bem reconhecíveis (entre branco e vermelho) e, as de comportamento positivo em que áreas onde a vegetação está com maior densidade (em verde).

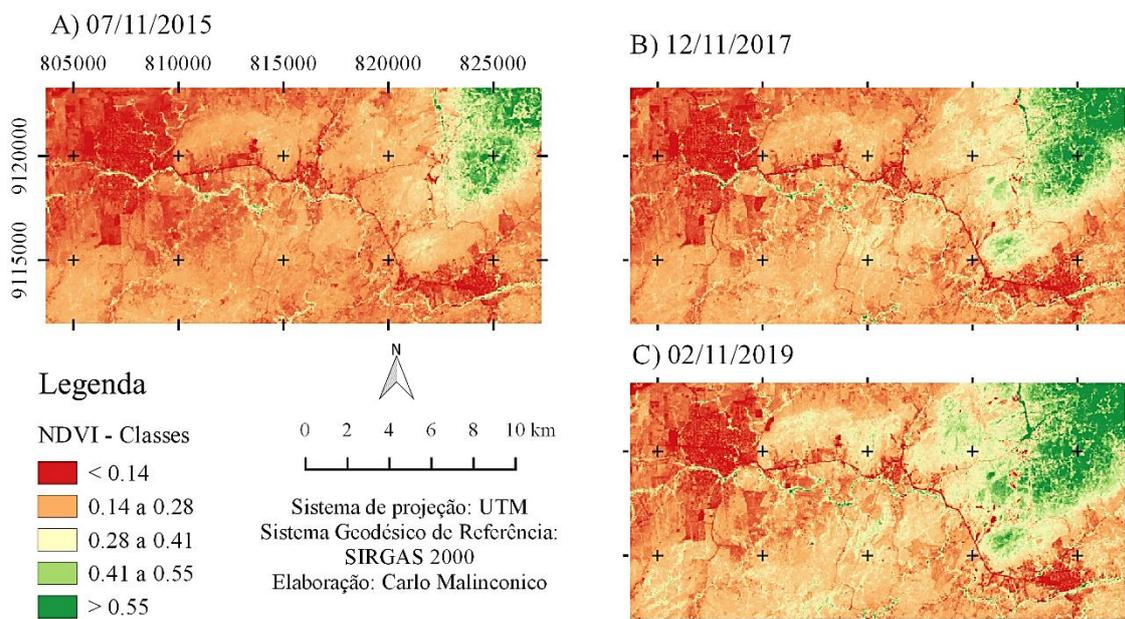


Figura 6 – Carta Imagem NDVI. Fonte: Os autores (2020).

Ao analisar a resposta espectral dos pixels para o NDVI percebe-se uma concentração de alto valor para as regiões com densidade de massa d'água, o que caracteriza a presença de mata ciliar presente ao longo do Rio Capibaribe, que apesar da presença de ações antrópicas ainda é uma constante. Além disso, o índice classificou com precisão as áreas urbanas e água presentes com os menores valores de NDVI.

4 - CONCLUSÃO

O $NDWI_{GAO}$ foi mais sensível em identificar o grau de umidade, enquanto o $NDWI_{MCF}$ foi mais sensível em identificar o delineamento do leito do Rio Capibaribe. O uso do NDVI ampliou visualização dos elementos hídricos a partir do comportamento da vegetação. Contudo, os índices espectrais contribuíram como uma ferramenta de análise de variabilidade espaço-temporal auxiliando análises de uso e ocupação do solo, gerando subsídios para gestão dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic/UFPE/CNPq) pelo PIBIC voluntário ID 190314281 do primeiro autor; FACEPE pela bolsa de iniciação científica do terceiro autor processo nº BIC-1791-3.07/19 e o Projeto Universitas - processo APQ 0300-5.03/17; 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) pela imagem de satélite e; a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) pelo banco de dados hidrológicos.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, T.; LEE, D.; YANG, I.; LEE, J. (2016). "Identification of Water Bodies in a Landsat 8 OLI Image Using a J48 Decision Tree". *Sensors*, (16 – 7), pp. 1075-1092.
- ALMEIDA, D.N.O.; OLIVEIRA, L.M.M.; SILVA, C.B.; BEZERRA, U.A.; FARIAS, M.O. E CANDEIAS, A.L.B., "Análise das Bacias Hidrográficas do Rio Brígida, Rio Terra Nova e Grupo De Bacias De Pequenos Rios Interiores 9 (Gi9) de Pernambuco usando Índices de Vegetação e de Umidade", In: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, RJ, 2017, p. 711- 715.

- ARAGÃO, V. G.P.J.; GOMES, A. T.E. (2019). “*Vulnerabilidades em manchas urbanas ao longo das margens fluviais do Capibaribe-Pernambuco / Brasil*”. Soc. Nat., (31), pp. 1 - 28.
- BAIG, M.H.A.; ZHANG, L.; WANG, S.; JIANG, G.; LU, S.; TONG, Q. (2013). “*Comparison of MNDWI and DFI for water mapping inflooding season*”. In: Anais... IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM-IGARSS, IEEE, 2013, p. 2876-2879.
- BEZERRA. H.N; BEZERRA J.M. MATTOS. A., “*Aplicação de produtos de sensoriamento remoto associados ao NDVI em sistemas de monitoramento ambiental e de recursos hídricos*”. (2013). in: Anais. XX Simp. Bras. Rec. Hídricos, Bento Gonçalves – RS, 2013, 1, pp. 135-142.
- CHAVEZ JR., P.S. “*An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data*” (1988). Remote Sensing of Environment, (.24 – 3), pp. 459- 479.
- GAO, B.C. “*NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space*”. (1996). Remote sensing of Environment, (58), pp. 257 - 266.
- LEITE. A.C.S; DE OLIVEIRA, M.M.L.; BEZERRA, A.U.; OLIVEIRA, A.N.D.; CANDEIAS, A.L.B.; TAVARES JUNIOR, J.R. (2017). “*Comparison of methods of Humidity Index processing in the Irrigated Perimeter Nilo Coelho, Northeast of Brazil*”. (2017). Journal of Hyperspectral Remote Sensing. (7 – 6), pp. 1 – 9.
- MCFEETERS, S.K. “*The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*”. (1996). Intern. Journal of Remote Sensing, (17 – 7), pp.1425- 1432.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. (2010) “*Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*”. S. J. Campos, 135 p.
- ROKNI, K.; AHMAD, A.; SELAMAT, A.; HAZINI, S. (2014). “*Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery*”. Remote Sensing, (6), pp.4173–4189.
- SILVA, B.B.; BRAGA, A.C.; OLIVEIRA, L.M.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; BARBOSA JUNIOR, B. (2016). “*Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid*”. AGRIAMBI, pp. 3–8.
- VOROSMARTY, C.J.; GREEN, P.; SALISBURY, J.; LAMMERS, R.B. “*Global water resources: Vulnerability from climatechange and population growth*”. (2000). Science, (289), pp.284–288.
- XU, H. “*Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic-oriented Index Combination Technique*” . (2007) Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (73 – 12), pp. 1381–1391.