

ANÁLISE PRELIMINAR DA DINÂMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA REGIÃO DO BAIXO JAGUARIBE A PARTIR DE SÉRIES TEMPORAIS DE RADAR SENTINEL-1

Tomaz Alexandre da Silva Neto ¹, Ana Rita Gonçalves Neves Lopes Salgueiro², Joyce Shantala Fernandes de Oliveira Sousa ³, Luzia Suerlange Araújo dos Santos Mendes ⁴, Eduardo Viana Freires ⁵, Iago Rebouças da Silva ⁶ e Cynthia Romariz Duarte ⁷

^{1,2,3,5,6,7}Universidade Federal do Ceará, Bloco 912-913, Campus do Pici, CEP: 60.060-320, Fortaleza, Ceará, tomaz.neto@alu.ufc.br, ritasalgueiro@ufc.br, joyceshantala@gmail.com, eduardovgeo@gmail.com, iago.reboucas@hotmail.com, cynthia.duarte@ufc.br; ⁴Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC), Rua Professor Rômulo Proença, s/n, Campus do Pici, CEP: 60.440-550, Fortaleza, Ceará, luzia.santos@nutec.ce.gov.br;

RESUMO

O conhecimento da dinâmica sazonal das águas superficiais de uma região pode ser usado como subsídio para um planejamento mais consciente. Esse trabalho tem como objetivo desenvolver um método de identificação de águas superficiais na região da Sub-bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe utilizando séries temporais do satélite Sentinel-1. O método consiste em seis etapas: pré-processamento das imagens; construção do cubo temporal; aplicação da Análise de Componentes de Densidade e Probabilidade (ACDP); utilização da transformação *Minimum Noise Fraction* (MNF); uso da técnica de aprendizado de máquina *Random Forest* e delimitação das águas superficiais no período seco e chuvoso. Observou-se que existe uma diferença entre os períodos seco e chuvoso. Aproximadamente 57,5% da área do rio fica exposta no período seco. A metodologia utilizada mostrou-se bastante eficiente na diferenciação dos corpos hídricos em relação a outros elementos que possuem respostas semelhantes e na melhoria da relação sinal/ruído.

Palavras-chave — Áreas Inundáveis, Banda C, SNAP, Ruído *Speckle*, *Machine Learning*.

ABSTRACT

The knowledge of the seasonal dynamics of surface water in a region can be used as a subsidy for a more conscious planning. This work aims to develop a method to identify surface waters in the Baixo Jaguaribe sub-basin region using time series from the Sentinel-1 satellite. The method consists of six steps: pre-processing of the images; construction of the temporal cube; application of Density and Probability Component Analysis (DCA); use of the Minimum Noise Fraction (MNF) transformation; use of the Random Forest machine learning technique and delimitation of surface waters in the dry and rainy periods. It was observed that there is a difference between the dry and rainy periods. 57,5% of the river area is exposed in the dry period. The methodology used proved to be very efficient in

differentiating the water bodies from other elements that have similar responses and in improving the signal-to-noise ratio.

Key words — *Wetlands, C-Band, SNAP, Speckle Noise, Machine Learning.*

1. INTRODUÇÃO

As áreas inundáveis são de extrema importância para a manutenção da vida terrestre principalmente por se tratar de um ecossistema que tem relação direta com a dinâmica hidrológica, portanto sendo necessária sua preservação [1][2][3][4].

Por serem áreas planas e próximas aos cursos d'água, tornam-se regiões preferenciais para projetos de irrigação, cultivo agrícola, pastagem e construção de acessos viários. Essas atividades podem gerar impactos negativos no ambiente como desmatamento, assoreamento dos rios, ocupação desordenada, inundações, contaminação das águas, etc. Sendo de extrema importância a preservação, uso consciente e planejado desses espaços.

De acordo com a Convenção de Ramsar sobre áreas úmidas [5], do qual o Brasil é signatário desde 2013, as áreas de inundação são consideradas de importância internacional. Apesar de representarem apenas 6% da superfície terrestre, esses ambientes prestam importantes serviços ecossistêmicos, tais como: reciclagem de nutrientes; melhora na qualidade da água e resiliência ambiental frente as mudanças climáticas [6].

O avanço das técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, em conjunto com a evolução das técnicas computacionais de processamento de imagens, abre uma nova possibilidade para a identificação das áreas inundáveis com a aquisição de dados periódicos dos locais mais inacessíveis. Devido a alta dinâmica sazonal muitos estudos estão utilizando dados de radares pela questão de não sofrerem interferência das nuvens.

As principais vantagens do uso de dados oferecidos pelo satélite Sentinel-1 são a alta resolução espacial e a alta frequência de revisita, tornando esses dados úteis para

diversos tipos de aplicações. A missão Sentinel-1 compreende uma constelação de dois satélites em órbita plana sincronizada com o sol (Sentinel-1A e Sentinel-1B), operando dia e noite, realizando imageamento com um radar de abertura sintética, operando na faixa espectral das micro-ondas correspondente a banda C (5.405GHz). Permite a aquisição de imagens independentemente das condições meteorológicas e de iluminação, sendo capaz de atuar em diversas áreas de monitoramento terrestre e aquático.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo explorar a capacidade das imagens de radar Sentinel-1 na identificação e mapeamento da cobertura hídrica que compreende os períodos cheio/seco para o ano de 2001, de uma região da Sub-Bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe - Ceará.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O fluxograma sintetiza as três etapas adotadas para a realização do trabalho: Aquisição das imagens e pré-processamento, processamento das imagens e análise dos resultados (Figura1).

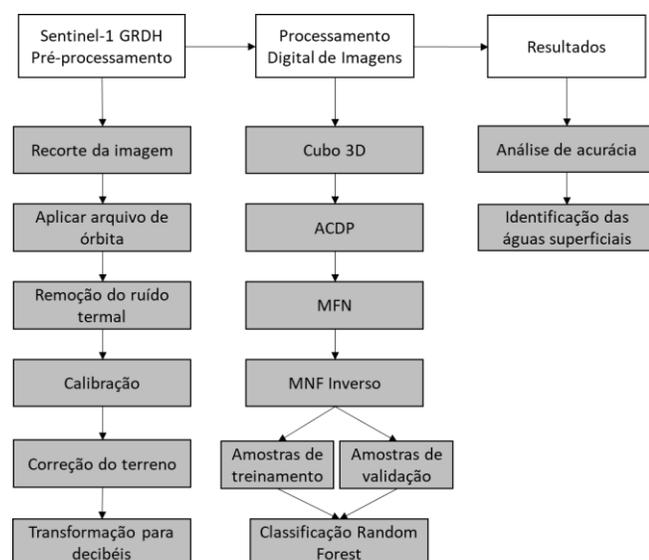


Figura 1. Fluxo de trabalho da pesquisa.

2.1. Área de Estudo

A área de estudo está inserida na região do baixo curso do Rio Jaguaribe (Figura 2). A bacia do Baixo Jaguaribe, situada na porção leste do estado do Ceará, compreende uma área de 6.875 km². É responsável por um escoamento médio anual de 42,89 hm³. Possui aproximadamente 207 açudes, dentre os quais destaca-se o açude Santo Antônio de Russas. O clima da região é classificado como tropical quente semiárido, com pluviosidade média de 870 mm ao ano e temperatura entre 26° C e 28° C. O bioma característico é a caatinga. A área se encontra sobre uma planície com relevo bastante plano na região dos aluviões.

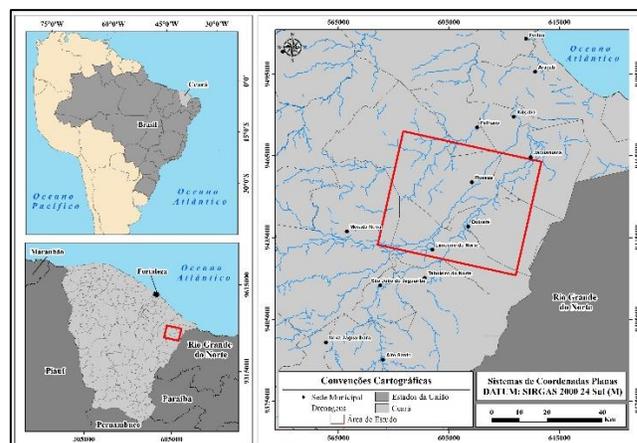


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.

2.2. Aquisição dos dados e Pré-Processamento

Foram adquiridas imagens GRD do Sentinel-1 que contemplam as datas 06/07/2021 e 03/11/2021. Essas datas foram escolhidas por corresponderem a data de maior e menor cota pluviométrica (190 e 86 cm). Esses dados foram adquiridos através da Agência Nacional de Águas (ANA) [7].

Após a aquisição das imagens foram realizados os procedimentos de pré-processamento que consistem em: aplicação de órbita precisa de aquisição, remoção de ruído térmico, calibração radiométrica, correção do terreno e conversão dos dados para decibéis. Todos os procedimentos foram realizados no software SNAP (*Sentinel Applications Platform*). O download da ferramenta pode ser realizado gratuitamente no site da ESA.

2.3. Processamento

A etapa de processamento digital das imagens SAR foi realizada no software Abílius, desenvolvido no Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE) da Universidade de Brasília (UnB) [8].

No processo de filtragem foi aplicado o método Análise de Componentes de Densidade de Probabilidade (ACDP) que combina o histograma de filtragem e frequência. Para o processamento da ACDP foi adotado 16 componentes para o parâmetro níveis de cinza com uma janela móvel igual a 11. As componentes CDP foram unidas formando um cubo temporal com 48 bandas (16 bandas de cada data) isso para cada polarização (VH e VV).

Após a elaboração do cubo foi realizada a transformação *Minimum Noise Fraction* (MNF) que melhora a relação ruído-sinal, concentrando apenas a fração sinal nas primeiras bandas. As demais bandas representam a fração ruído. E por último a imagem é reconstruída sem ruídos pelo método MNF invertido. A classificação do cubo ACDP-MNF foi realizada pelo algoritmo *Random Forest*, que consiste em uma classificação supervisionada. Esse procedimento também foi realizado no software Abílius.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não há uma técnica ou metodologia única para o tratamento e classificação das imagens SAR. Desta forma esta pesquisa adotou a técnica ACPD-MNF que consiste na transformação de uma imagem em diversos componentes permitindo melhorar significativamente a relação sinal-ruído.

O resultado alcançado pelo método ACPD está exemplificado na Figura 3. O comportamento da água ficou bem evidente na primeira componente tornado esse método bastante útil para para extração desses alvos nas imagens de radar.

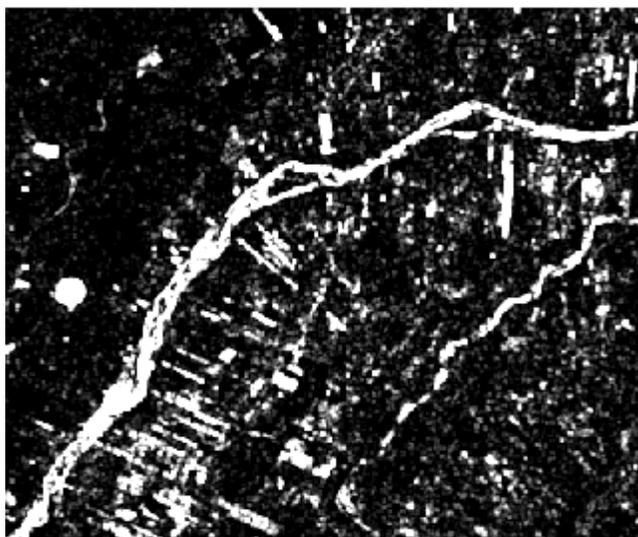


Figura 3. Componente número 1 gerada pelo método ACPD. Destaque para os corpos hídricos em branco.

O método MNF melhorou consideravelmente a imagem SAR proporcionando uma melhor definição dos limites das feições e realçando canais e meandros (Figura 4). Essa filtragem foi testada com ACPD de 8 e 16 níveis de cinza e os resultados mostraram que uma maior quantidade de níveis de cinza proporcionou uma melhor qualidade nos resultados da técnica MNF para os objetivos desta pesquisa.

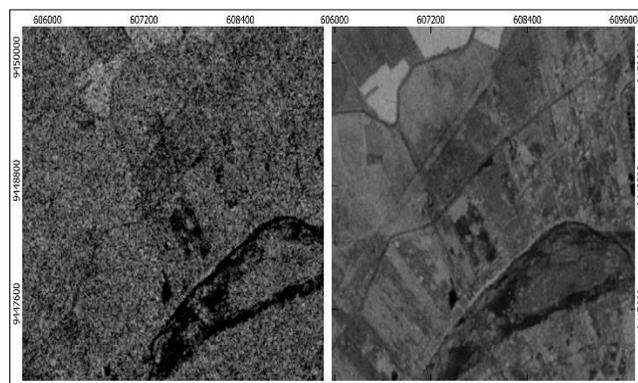


Figura 4. A esquerda imagem sem aplicação do MNF (bastante ruído); A direita imagem após a transformação MNF (redução considerável de ruído).

Para o procedimento de inversão do MNF usou-se as três primeiras componentes, pois a partir da quarta os autovalores de sinal caem bastante concentrando bastante ruído. Esse processo gera uma suavização na assinatura temporal dos pixels. O processamento das imagens foi de grande relevância para a identificação das classes. Após a filtragem é possível diferenciar de forma clara os bancos de areia dos corpos hídricos. Quanto melhor a qualidade dos dados melhores resultados serão obtidos na classificação.

A coleta de amostras de treinamento foi realizada em toda série temporal. As amostras foram divididas em duas classes: água e não água. As amostras que foram classificadas como água nos dois períodos (seco e chuvoso) correspondem as águas superficiais permanentes. As amostras que apresentaram comportamento variado (água e não água) correspondem as águas superficiais temporárias. Essas regiões apresentam comportamento dinâmico dependendo do período do ano.

A Figura 5 apresenta o produto final obtido após a realização de todos os procedimentos. A águas superficiais permanentes correspondem a uma área de aproximadamente 1.7 Km². As águas superficiais temporárias possuem uma área aproximada de 2.1 Km². Essas regiões são consideradas áreas de inundação e se apresentam de maneira bem expressiva, correspondendo a 57,5% do total de área alagada no período de cheia, ficando exposta durante grande parte do ano.

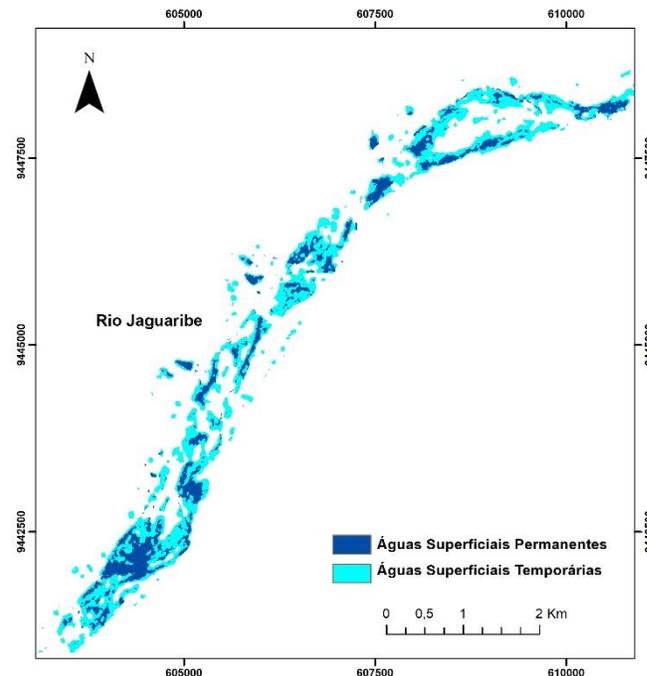


Figura 5. Classificação temporal do Rio Jaguaribe usando *Random Forest* nas imagens de radar. Em azul as águas presentes no período seco e em ciano a diferenças entre os dois períodos.

A classificação *Random Forest* no método ACDP-MNF apresentou um acurácia geral de 72,63%. O aprendizado de máquina mostrou um bom resultado preliminar para o mapeamento de águas superficiais e permitiu avaliar a dinâmica sazonal do Rio Jaguaribe.

Diversos trabalhos comprovam a eficácia do uso de imagens de radar para diversos tipos de uso, dentre eles podemos destacar o mapeamento de mananciais hídricos especialmente em regiões com alta incidência de nuvens [9][10][11].

4. CONCLUSÕES

Esta pesquisa avaliou a utilização do método ACDP-MNF no mapeamento de águas superficiais permanentes e temporárias utilizando séries temporais de imagens de radar. Foram analisadas imagens baseadas nas cotas fluviométricas adquiridas através do site a ANA.

A metodologia utilizada mostrou-se bastante eficiente na melhoria da razão sinal/ruído. Água e solo exposto são dois alvos que possuem superfícies lisas apresentando retrospalhamento especular. Nas imagens de radar aparecem como regiões escuras pois refletem completamente as ondas emitidas pelos sensores. Os resultados obtidos com a metodologia utilizada foram satisfatórios na diferenciação dos alvos que apresentem comportamento semelhante.

Quanto a dinâmica da inundação houve uma diferença entre os períodos seco e chuvoso. Ocorreu um aumento de 57,7% das áreas inundadas entre a imagem com maior e menor cota fluviométrica.

O uso de séries temporais de imagens ajuda na análise do comportamento dos alvos ao longo do tempo. O mapeamento de águas superficiais é de grande importância no monitoramento da dinâmica sazonal e sua relação com os ecossistemas vizinhos. Além de ser uma medida mitigadora permitindo uma gestão e planejamento mais eficiente.

5. REFERÊNCIAS

- [1] A. Bartsch, W. Wagner, K. Scipal, C. Pathe, D. Sabel, and P. Wolski. Global monitoring of wetlands – the value of ENVISAT ASAR Global mode. *J. Environ. Manage*, volume (90):páginas (2226-33), 2009.
- [2] E. M. L. de Moraes Novo. Fundamentos e Aplicações de Radar no Estudo de Áreas Alagáveis. IN: R. B. de Souza. *Oceanografia por satélites*. Ed. Oficina de Textos, 2009.
- [3] Y. Lin, M. Shen, B. Liu, and Q. Ye. Remote Sensing Classification Method of Wetland Based on AN Improved Svm. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, volume. (1):páginas (179-183), 2013.
- [4] L. White, B. Brisco, M. Daboor, A. Schmitt, and A. Pratt. A collection of SAR methodologies for monitoring wetlands. *Remote Sensing*, volume 7(6):páginas (7615-7645), 2015.
- [5] Ramsar Convention. The List of Wetlands of International Importance. Rue Mauverney 28, CH-1196 Gland, Switzerland (accessed on at ramsar.org). 2016.
- [6] K. B. Watson, T. Ricketts, G. Galford, S. Polasky, and J. O. Niel-Dunne. Quantifying flood mitigation services: The economic value of Otter Creek wetlands and floodplains to Middlebury, VT. *Ecological Economics*, volume (130): páginas (16-24), 2016.
- [7] ANA. Dados Fluviométricos e Pluviométricos coletados da estação Passagem Russas do ano de 2021. Disponível em <<http://www.snirh.gov.br>>. Acesso em: 05. Mai. 2022.
- [8] O. Carvalho Junior. Abílius: Software de Processamento Digital de Imagens do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais da Universidade de Brasília. Versão de 03.06.2021. <http://www.posgea.unb.br/software/abilio>. Acesso em: 02. Mar. 2022.
- [9] F. Bioresita, A. Puissant, and A. Stumpf. Fusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 image time series for permanent and temporary surface water mapping. *International Journal of Remote Sensing*, páginas (1–24), 2019.
- [10] C. I. Cîmpianu, A. Mihaela-Pintilie, and C. C. Stoleriu. Managing Flood Hazard in a Complex Cross-Border Region Using Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 Optical Data: A Case Study from Prut River Basin (NE Romania). *Remote Sensing*, volume (13): páginas (4934), 2021.
- [11] F. S. da Silva, and A. L. M. PESTANA. Mapeamento da cobertura hídrica da microrregião da Baixada Maranhense com dados do sensor SAR Sentinel 1A. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, volume (1), n. 2, 2021.