

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA IMAGEM SENTINEL-1 PARA A DETECÇÃO DE MACRÓFITAS – ESTUDO DE CASO: UHE ENGENHEIRO SOUZA DIAS (JUPIÁ)

Andressa Muraro¹, Danielle Drago², Henrique Reisdorfer Leite³, Fabiano Scheer Hainosz⁴ e Ronan Max Prochnow⁵

¹Lactec, BR 116, km 98, 8.813, Cehpar, Jardim das Américas, 81530-180, Curitiba – PR, andressa.muraro@lactec.org.br; ²Lactec, danielle.drago@lactec.org.br; ³Lactec, henrique.leite@lactec.org; ⁴Lactec, fabiano.h@lactec.org.br e ⁵CTG Brasil, Rua Funchal, 418, 3º piso, 04551-060, São Paulo – SP, ronan.max@ctgbr.com.br

RESUMO

As macrófitas são vegetações aquáticas que em desequilíbrio, podem causar grandes efeitos negativos, como o comprometimento na geração de energia elétrica em UHE's. Face ao exposto, a presente pesquisa empregou o classificador Máxima Verossimilhança em uma imagem RADAR do Sentinel-1, com o intuito de avaliar o potencial dessa missão de satélite para a identificação das plantas aquáticas no reservatório da Usina Hidrelétrica de Jupuí, situada entre São Paulo e Mato Grosso do Sul. Os métodos se basearam em técnicas de processamento digital de imagens com o objetivo de mapear três agrupamentos: Água, Ilha e Macrófitas Emersas. A avaliação da classificação se deu pela Matriz Confusão e também através da comparação com o índice espectral GNDVI. Ambos atestaram a potencialidade da imagem Sentinel-1 para a detecção das macrófitas, indicando resultados favoráveis dentro dos parâmetros estudados.

Palavras-chave — RADAR, Sentinel-1, Máxima Verossimilhança, Matriz Confusão, GNDVI, Macrófitas Emersas, Processamento Digital de Imagens.

ABSTRACT

Macrophytes are aquatic plants that, when grown in environmental imbalance, may cause negative effects, such as compromising energy production in hydroelectric power plants. In this sense, the present research employed the maximum likelihood classifier in a Sentinel-1 program RADAR image, in order to evaluate this satellite mission's potential for the identification of aquatic plants in the Jupuí reservoir. The employed methods involved the techniques of digital image processing with the objective of mapping three groups: Water, Island and Emerse Macrophytes. The evaluation of the classification was done through the generation a confusion matrix and comparison with the GNDVI spectral index. Both attested the potentiality of the Sentinel-1 image for the detection of macrophytes, indicating favorable results within the studied parameters.

Key words — RADAR, Sentinel-1, Maximum Likelihood, Confusion Matrix, GNDVI, Emerse Macrophytes, Digital Image Processing.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas *Radio Detection and Ranging* (RADAR) são sensores ativos que emitem energia eletromagnética na faixa de micro-ondas capaz de penetrar em nuvens e poeira, motivo pelo qual podem ser utilizados sob quaisquer condições de tempo, obtendo, inclusive, imagens durante a noite [1]. Essas características conferem às imagens RADAR uma grande vantagem em relação aos sensores ópticos, principalmente para o imageamento de áreas úmidas e alagáveis, pois essas regiões possuem alta frequência de cobertura de nuvens, fato que impossibilita a aplicação de imagens multiespectrais. Os sensores ativos são sensíveis às propriedades do solo e da vegetação, pois as mesmas influenciam na resposta da energia refletida de acordo com o comprimento de onda, tipo de polarização aplicada e parâmetros referentes ao alvo, como a sua estrutura, propriedade dielétrica, tamanho e densidade.

Nesse âmbito, a missão Sentinel-1 promovida pela Agência Espacial Europeia (ESA) e em operação desde 2014 na banda C-SAR, surge como um programa promissor dentro do Sensoriamento Remoto, destacando-se pelas aplicações no levantamento de recursos naturais e no monitoramento ambiental. Essa missão foi projetada para obter imagens em nível global das massas terrestres, nos modos de dupla polarização (HH/HV ou VV/VH). A partir dos dados de polarização, é possível analisar o padrão de espalhamento do alvo. Para a discriminação das superfícies mais homogêneas e horizontais, as polarizações paralelas (VV ou HH) são recomendadas, uma vez que esses elementos não despolarizam a onda incidente.

Diversos estudos ambientais que envolvem dados provenientes de imagens RADAR têm permitido uma investigação mais consolidada sobre o assunto, devido às suas características inerentes e que envolvem a penetrabilidade das micro-ondas na vegetação, a interação do feixe com a estrutura morfológica do alvo e a análise dos fenômenos espaciais de grandes dimensões fornecendo uma visão sinóptica. Destaca-se também a complementação das informações dos sensores passivos, tornando as interpretações mais precisas e acuradas.

Um caso que vem chamando a atenção nas últimas décadas é o crescimento excessivo de macrófitas em reservatórios artificiais. Essas plantas aquáticas podem trazer diversos prejuízos ecológicos e econômicos nesses sistemas aquáticos, tais como a diminuição no potencial de geração de energia elétrica, problemas na captação de água,

interferências estéticas, impactos na pesca, consequências na saúde pública e influências na navegação [2] [3]. A proliferação excessiva ainda pode provocar a interrupção temporária da geração de energia nas usinas hidrelétricas devido à paralisação das turbinas. Ademais, esse processo pode se agravar nos períodos chuvosos, pois o aumento da vazão nos reservatórios certamente provoca a fragmentação dessas plantas. Os fragmentos acabam se deslocando através do corpo d'água e chegam até as grades de proteção das usinas provocando seu entupimento, e, conseqüentemente, a diminuição na captação, seguido de oscilação de potência da turbina [3]. Diante disso, várias pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de mapear e identificar as manifestações por macrófitas utilizando o Sensoriamento Remoto (SR), principalmente com a aplicação de índices espectrais. No entanto, quando empregado imagens multiespectrais, as análises se restringem às condições climáticas e às interpretações da resposta espectral de cada elemento. Portanto, muitos trabalhos têm mostrado a relevância da utilização de dados RADAR para o estudo de plantas aquáticas, no sentido de investigar suas propriedades biofísicas, discriminação de espécies e monitorar a sua distribuição espacial de forma remota [5]. Por meio da interação do feixe eletromagnético com a geometria das macrófitas é possível identificar as mesmas no corpo do reservatório. Segundo Noernberg (1995) [4], devido à arquitetura das plantas aquáticas e ao comprimento de onda, o uso da banda C é o mais indicado para a identificação de espécies de macrófitas.

Para melhorar a interpretação da imagem complexa e multipolarizada proveniente do Sentinel-1, técnicas de processamento de imagens são aplicadas, entre elas a classificação por Máxima Verossimilhança (MaxVer) que gera uma nova imagem mais simples, onde cada pixel está associado a uma classe de interesse. As polarizações VV e VH disponibilizadas nesse programa auxiliam o algoritmo de classificação MaxVer na discriminação de macrófitas e água, uma vez que cada polarização interage de diferentes maneiras com os alvos, gerando espalhamentos com mais riqueza de informações sobre os mesmos.

No tocante ao caráter inovador de estudos com imagens RADAR gratuitas no Brasil e especialmente no domínio da detecção de macrófitas, a presente pesquisa aborda a avaliação do uso de produtos Sentinel-1 a partir da classificação de imagens para a identificação de plantas aquáticas como uma das etapas do projeto PD-10381-0317/2017: *Monitoramento do desenvolvimento e deslocamento de bancos de macrófitas aquáticas em reservatórios empregando geotecnologias e técnicas de sensoriamento remoto*, o qual se trata de um investimento do programa de P&D ANEEL da CTG Brasil. Para tanto, foram exploradas as polarizações que apresentam o melhor desempenho na interação com as plantas e, posteriormente, a aplicação do algoritmo MaxVer na imagem RADAR. A validação dos resultados se deu através da correlação com as fotografias de campo, geração da matriz confusão, análises

estatísticas de exatidão global, índice *Kappa* e, por fim, pela comparação com o índice espectral GNDVI obtido a partir de uma imagem Sentinel-2. Sendo assim, este trabalho se baseia na hipótese de que é possível verificar a ocorrência de macrófitas em Usinas Hidrelétricas por meio do uso de dados provenientes da missão Sentinel-1, oferecendo uma solução otimizada, já que supre a demanda por imagens quando a região de estudo está coberta por nuvens, complementando as informações dos sensores ópticos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo foram utilizados dados do Sentinel-1, nas polarizações em amplitude VV/VH e geometria *Ground Range* (GRD), com data de aquisição em 05/07/2018; Imagem multiespectral da missão Sentinel-2, nível 1C, adquirida para a mesma data do produto RADAR. Os *softwares* empregados nos processamentos das imagens foram o *Sentinel Application Platform* (SNAP), desenvolvido pela ESA e o QGIS. Ambos são livres e oferecem uma série de ferramentas para o tratamento, análise e consulta espacial dos dados. Também foram usadas fotografias coletadas no levantamento de campo realizado no período do dia 26 a 29 de junho de 2018 e uma ortofoto da região gerada em 2017, para suporte na extração dos dados.

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Usina Hidrelétrica (UHE) Engenheiro Souza Dias, também denominada de UHE Jupuí, situada no limite entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (figura 1). Seu reservatório dispõem de um volumoso corpo hídrico formado principalmente pelos rios Paraná, Sucuriú e Tietê, cuja superfície se estende por 330 km² e é marcado por características bastante evidenciadas nos referenciais teóricos [2] [3] a respeito da ocorrência de macrófitas.



Figura 1- Área do reservatório da UHE de Jupuí no limite estadual entre São Paulo e Mato Grosso do Sul.

2.2. Procedimento Metodológico

De posse da imagem Sentinel-1 bruta, realizaram-se uma série de pré-processamentos para extrair informações consistentes do estudo. A primeira etapa versou em

converter os números digitais dos pixels em valores de retrodispersão radiometricamente calibrados, através da calibração radiométrica. A fim de reduzir o efeito do ruído *speckle* da imagem, foi aplicado o filtro de *Lee*, com uma janela de 3 x 3 pixels. Esse tamanho foi escolhido, pois testes realizados com janelas de filtragem maiores causam suavizações excessivas na cena, prejudicando a interpretação para algoritmos de classificação, como MaxVer. Em seguida, a calibração geométrica foi executada para a correção do efeito padrão da antena das imagens SAR, com reamostragem do pixel para 10 metros de resolução. Nessa etapa, utilizou-se o modelo digital de elevação SRTM que possui espaçamento da amostragem de 3 segundos de arco. O atributo extraído das etapas supracitadas foi o sigma zero σ_0 a partir dos dados de polarização em amplitude VV e VH. Por fim, realizou-se o recorte da imagem para a área de estudo.

A partir da imagem delimitada para a região de interesse, o processo de classificação MaxVer do RADAR visa a extração de informações com base na interação da radiação micro-ondas e o tipo de intensidade da resposta polarizada pela estrutura das macrófitas, por meio do reconhecimento de padrões, com a finalidade de mapear áreas da superfície que correspondem aos temas selecionados. A classificação supervisionada MaxVer, minimiza o risco de uma decisão incoerente ser tomada, pois considera a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica, realizando a ponderação das distâncias entre médias dos valores de reflectância (ou retrodispersão) das classes. Neste estudo, definiram-se três classes de interesse: Água, Ilhas e Macrófitas Emersas. Para a seleção das regiões de interesse (ROI's) na imagem, representativas de cada classe, foram utilizados dados de campo (fotografias georreferenciadas e pontos GPS com atributos) realizado no período do dia 26 a 29 de junho, a ortofoto e o dado auxiliar da imagem Sentinel-2. As ROI's ou amostras de treinamento foram coletadas no software SNAP.

Visando o enriquecimento das análises, em paralelo foi realizado o processamento da imagem óptica Sentinel-2 com o intuito de obter o índice de vegetação GNDVI para correlacionar com a classificação do produto Sentinel-1. Esse índice é uma combinação das bandas infravermelho próximo (NIR) e verde (G), por meio de álgebra de bandas (equação 1), com o objetivo de melhorar a relação destes dados com os parâmetros de vegetação.

$$GNDVI = \frac{NIR - G}{NIR + G} \quad (1)$$

O processamento inicial da imagem multiespectral, assim como no RADAR, consiste na conversão de números digitais (ND) para radiância e, posteriormente para reflectância, etapa denominada de calibração radiométrica, a qual utilizou o modelo de calibração para transformar os dados em Reflectância da Superfície (*Bottom of Atmosphere* – BoA). A partir desse procedimento, com a imagem em nível 2A, já é possível realizar a operação matemática entre

os valores de reflectância de cada pixel das bandas envolvidas no índice GNDVI.

A validação do desempenho da imagem RADAR classificada consiste em obter a matriz confusão e os coeficientes de concordância usando como referência as amostras de “verdade terrestre” coletadas na campanha, e com isso atestar a potencialidade da missão Sentinel-1 em identificar as plantas aquáticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das superfícies em análise, a água possui tendência especular, com baixo retorno de sinal para o sensor. Contudo, a ação do vento forma ondas na superfície aquática, fenômeno o qual entra em ressonância com o sinal RADAR ocorrendo interações com esse meio e, conseqüente, provocando ruídos na imagem. Essa ocorrência refere-se ao espalhamento de Bragg [9]. Para o estudo da interação da radiação micro-ondas com a vegetação, a geometria, volume e condições hídricas da planta são fatores que influenciam na profundidade de penetração do feixe emitido pelo RADAR. Em geral, o contraste das macrófitas com a água foi maior na polarização paralela VV do que na polarização cruzada VH, reafirmando-se o embasamento teórico de que as macrófitas não se caracterizam por despolarizar a onda incidente [4]. Espécies emergentes com o crescimento mais verticalizado, como é o caso da *Typha sp.* comumente encontrada nas bordas do corpo hídrico, formam com a superfície aquática um ótimo refletor, garantindo um alto retroespalhamento no σ_{VV} [9]. Apesar desse último apresentar uma melhor resposta quando o alvo de estudo são plantas aquáticas, o σ_{VH} não deve ser descartado, pois, além de aumentar o espaço amostral (n=2) na classificação, auxilia na discriminação quando surgem interpretações dúbias entre ilhas formadas por sedimentos, bancos de macrófitas e água. Constata-se também, que existe maior ruído na água para o dado σ_{VV} do que para o σ_{VH} , fato que acarretou, na classificação MaxVer, erro de 20% de inclusão para os pixels da classe Macrófitas Emersas quando os mesmos deveriam ter sido categorizados como Água. Esse conflito pode ser explicado devido ao efeito do espalhamento de Bragg na polarização VV, pois ao empregar a análise dos parâmetros estatísticos da MaxVer, assume-se que um alto retroespalhamento no σ_{VV} deve ser atribuído à classe Macrófitas Emersas. Entretanto, mesmo com este inconveniente, nota-se que a classificação apresentou parâmetros estatísticos com resultados bastante expressivos, alcançando para o coeficiente *Kappa* 0,51 conceituado como bom e uma acurácia global de 70% de acerto nas amostras de validação. Para a matriz de erros, a classe Ilha com um total de 15.085 pixels das amostras selecionadas obteve 68% de acerto, ocorrendo confusão de 20% dos pixels perante a classe Macrófitas Emersas e 11% para Água, representando aproximadamente 2% da área total do reservatório. Para minimizar esses erros, a solução seria aplicar uma máscara

“Ilha” antes da classificação, tendo em vista que esta feição é estável. A categoria Macrófitas Emersas apresentou 14,28% dos seus pixels omitidos para a classe Água. Essa classe retratou um total de 7,2% da área total, ou seja, aproximadamente 24 km² da UHE de Jupia estava infestada por macrófitas para essa data de imageamento, segundo a classificação MaxVer. Logo, cerca de 91% do reservatório estava abrangido pela classe Água. A figura 2 mostra o resultado da classificação MaxVer da imagem Sentinel-1 em conjunto com algumas das fotografias de referências utilizadas para a avaliação do classificador.

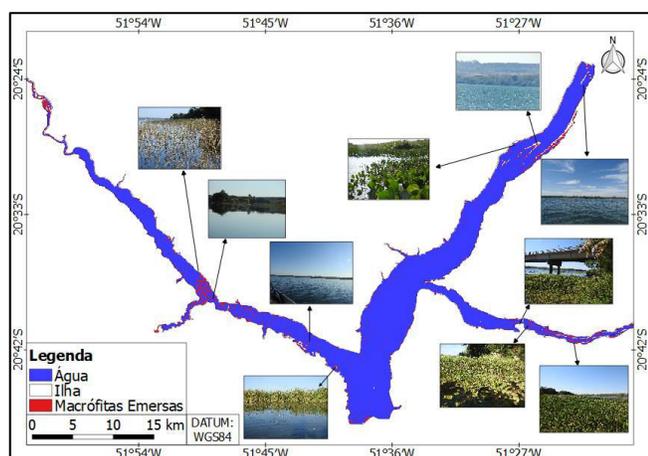


Figura 2- Resultado da classificação MaxVer do RADAR com algumas fotografias empregadas na validação.

No sentido de obter uma análise mais consolidada entre o resultado da classificação da imagem Sentinel-1 e o índice espectral GNDVI, foi gerado um gráfico através de uma máscara que exhibe o perfil de valores do índice para a cada uma das classes: Macrófitas Emersas, Ilhas e Água (gráfico 1).

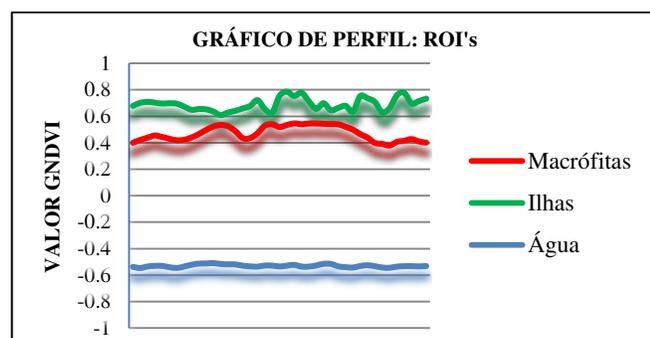


Gráfico 1- Perfil de valores do índice GNDVI para as classes resultantes da imagem RADAR.

Foi possível visualizar que para os mesmos locais que apontam a existência das macrófitas emersas, também ocorre um valor de resposta do GNDVI significativo e possível de correlacionar com a classificação da figura 2. A separabilidade entre as classes Ilha e Macrófitas no índice é baixa se comparada com a classe Água, justificando também

a confusão espacial que houve na classificação MaxVer do RADAR entre essas categorias. Portanto, a comparação gráfica dos resultados da classificação da imagem Sentinel-1 com o índice GNDVI, demonstrou coerência com as respostas do índice espectral para as classes envolvidas.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados da classificação MaxVer comparados com os dados de campo e o índice espectral GNDVI qualificaram à imagem Sentinel-1 um produto satisfatório e eficaz para a detecção das macrófitas emersas. Apesar da confusão espacial entre as classes Água e Macrófitas Emersas, superestimando essa última classe sobre as áreas ocupadas pela água, os parâmetros estatísticos indicaram resultados suficientes, fornecendo uma visão global da problemática sobre o reservatório. A periodicidade de imageamento do Sentinel-1 a cada 6 dias, em latitudes médias, permite um monitoramento adequado dos bancos de macrófitas, além de complementar informações das imagens ópticas quando essas estão indisponíveis. As coletas em campo e a avaliação do índice GNDVI foram fundamentais para balizar a compreensão dos dados Sentinel-1, o que significa que o uso combinado desses dados pode trazer resultados ainda mais significativos para o RADAR, permitindo a compreensão dos processos das plantas aquáticas. Recomenda-se para futuros estudos, a utilização de outros algoritmos de classificação, a inserção de imagem textura (GLCM) e o uso de outras informações de contexto, para obter um resultado ainda melhor na distinção das classes analisadas. As conclusões acerca da potencialidade do Sentinel-1, no caso específico de detecção das macrófitas em reservatórios, poderão servir como base e previsões relacionadas às futuras aplicações ambientais do Sentinel-1 que venham a ser desenvolvidas.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Centeno, J. A. S., “Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais”, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- [2] Batista, L. F. A.; Imai, N. N.; Rotta, L. H. da S.; Watanabe, F. S. Y. “Análise de correlação espacial de variáveis relacionadas à colonização de macrófitas submersas.”, Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto – SBSR, v.16., Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu, 2013.
- [3] Marcondes, D. A. S.; Mustafá, A. L.; Tanaka, R. H. “Estudo para o manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório Jupia.”. In: Thomaz, S.M.; Bini, L.M. (Orgs.) Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Editora da UEM, Maringá, p. 299-317, 2003.
- [4] Noernberg, M. A., “Aplicação de dados de radar para discriminação de espécies de plantas aquáticas”, INPE, São José dos Campos, 1995.
- [5] Carvalho, C. A.; Almeida, T.; Roig, H.L.; Menezes, P.H.B.J.; Meneses, P.R., “Identificação de paliteiros e macrófitas do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães (TO) utilizando imagens R99SAR”, Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, p.8121-8128, 2011.