

MANGUEBIT: UMA ANÁLISE ESPECTRAL E ESTRUTURAL DO MANGUE DA VILA RESIDENCIAL, NA ILHA DO FUNDÃO

MANGUEBIT: A SPECTRAL AND STRUCTURAL ANALYSIS OF THE MANGUE OF VILA RESIDENCIAL, IN ILHA DO FUNDÃO

 Danylo Mendonça Magalhães ^A
 Maria Fernanda dos Santos Fialho ^B
 Felipe Gonçalves Amaral ^B
 Carla Madureira Cruz ^B

^A Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil

^B Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Recebido em: 26/05/2023 | 21/07/2023 DOI: 10.12957/tamoios.2023.76500

Correspondência para: Danylo Mendonça Magalhães (magalhaesdanylo@gmail.com)

Resumo

A Ilha do Fundão surgiu em 1949, para acomodar a Cidade Universitária do Rio de Janeiro-RJ, a partir do aterramento de oito ilhas: Fundão, Baiacu, Cabras, Pindaí do Ferreira, Pindaí do França, Catalão, Bom Jesus e Sapucaia; com uma superfície de 5,9 milhões de m². O presente trabalho tem como objetivo diagnosticar as características fisionômicas do mangue da Vila Residencial, na Cidade Universitária, a partir da análise dos respectivos índices espectrais, índices de vegetação e aspectos estruturais da vegetação. Assim, foram selecionadas seis fisionomias diferentes, através de análise visual e, posteriormente, efetuou-se a segmentação das imagens através do software *Spring*, buscando compartimentar em áreas homogêneas as fisionomias indicadas. Foram calculados dois índices de vegetação: o NDVI e o NDWI; bem como, coletadas as informações a respeito dos aspectos estruturais da vegetação, em apoio à geração de mapas através do software *ArcMap*, além de gerados e gráficos de curvas espectrais e de correlação, através da plataforma Google Sheet. Portanto, foram identificados dois tipos de espécie na região, a rizophora majoritariamente localizada nas áreas de mangue replantado e a espécie *avicennia* localizada em áreas naturalmente desenvolvidas, como as áreas de mangue original e as de mangue acrescido naturalmente nas intermediações da Baía de Guanabara.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Mangue, LiDAR, WorldView-3 e Ilha do Fundão.

Abstract

Ilha do Fundão emerged in 1949, to accommodate the University City of Rio de Janeiro-RJ, from the grounding of eight islands: Fundão, Baiacu, Cabras, Pindaí do Ferreira, Pindaí do França, Catalão, Bom Jesus and Sapucaia; with a surface area of 5.9 million m². This work aims to diagnose the physiognomic characteristics of the mangrove in Vila Residencial, in Cidade Universitária, based on the analysis of the respective spectral indices, vegetation indices and isolated aspects of the vegetation. Thus, six different physiognomies were selected through visual analysis and, subsequently, the images were segmented using the *Spring* software, seeking to compartmentalize them into areas practiced according to the indicated physiognomies. Two vegetation indices were calculated: the NDVI and the NDWI; as well as, collected information about the related aspects of the vegetation, in support of the generation of maps through the *ArcMap* software and graphs of spectral and animated curves, through the Google Sheet platform. Therefore, two types of species were identified in the region, the rhizophore mostly located in the replanted mangrove areas and the *avicennia* species located in naturally developed areas, such as the original mangrove areas and those of mangrove naturally added to the surroundings of Guanabara Bay.

Keywords: Remote sensing, Mangrove, LiDAR, WorldView-3 e Ilha do Fundão.

INTRODUÇÃO

O ecossistema manguezal ocorre em zonas costeiras de regiões tropicais e subtropicais do mundo, ocupando, principalmente, as zonas entre marés. A feição de mangue é caracterizada por uma vegetação lenhosa típica, adaptada às condições limitantes de salinidade, com substrato inconsolidado e frequentes submersões dinamizadas pelos regimes de marés (SOARES, 1997 apud SANT'ANNA, 2022). Apresentam diversas funções consideradas de grande relevância ambiental, onde vários organismos, como aves, peixes e crustáceos, têm acesso às condições adequadas de nutrição, reprodução, criadouro e abrigo. Além disso, na atual conjuntura de mudanças climáticas tem ganhado um grande valor sistêmico ligado ao sequestro e estoque de carbono.

O desenvolvimento de modelos de classificação que integre informações caracterizadoras das florestas de mangue, oriundas do campo e de produtos de sensoriamento remoto, passivos e ativos, ainda é alvo de pesquisa por trazer uma diversidade de desafios, como: (i) o excesso de particularidades referentes ao lugar em que o ecossistema se insere e, (ii) a mistura dos elementos medidos em diferentes pontos de vista. A bibliografia (REBELO-MOCHEL e PONZONI, 2007; HALL et al. 2011; KUENZER et al. 2011; HEUMANN, 2011; ALMEIDA et al. 2014; OLIVEIRA et al. 2019; PHAM et al. 2019; XIA et al. 2020 e ALMEIDA et al. 2020) tem mostrado diferentes estratégias ancoradas no uso de dados geoinformacionais para a caracterização das florestas de mangue para o melhoramento de modelos variados de classificação e novas soluções metodológicas de diferentes níveis de complexidade objetivando o mapeamento ou a qualificação deste ecossistema.

Este contexto justifica a importância de construção metodológica de exploração de dados espaciais fazer parte dos resultados gerados no processo de caracterização e classificação do ambiente de manguezal. Dessa forma, ampliar a investigação de soluções baseadas em dados remotos, que trazem benefícios para grandes áreas e de baixa acessibilidade, além de ampliar formas de monitoramento visando a percepção de mudanças variadas se torna cada vez mais importante.

Nesse sentido, considerando uma abordagem que relacione as respostas espectrais, os índices de vegetação e as características de estrutura da floresta de mangue, tem-se o estudo de Satyanarayana et al (2001), em que se analisa essas correlações entre aspectos da vegetação e parâmetros estruturais da floresta. Almeida (2015) relata que os estudos que analisam o ecossistema manguezal, a partir de técnicas de sensoriamento remoto, em sua maioria, utilizam as imagens simplesmente como ferramenta para a determinação de áreas de floresta como um todo; ou seja, mapeando apenas as classes mangue e não mangue, negligenciando as diferentes fisionomias presentes nessas florestas. Assim, os modelos digitais de elevação, voltados à função cartográfica, são parte importante desse processo de análise, o que mostra a necessidade de acompanhar os avanços no desenvolvimento dos mesmos, especialmente no que se refere aos recursos computacionais utilizados e à exatidão possível de ser obtida, que é função do tipo de aplicação previsto (ASPIAZÚ et al, 1990).

O presente trabalho está inserido na abrangência do projeto “Orla Sem Lixo”, financiado

pela COPPETEC/UFRJ, cuja o objetivo final é instalar estruturas de coleta do lixo flutuante na orla da Ilha do Fundão, de modo que a comunidade local seja afetada positivamente com a mitigação desses impactos, além de obter retorno financeiro seja com o manejo desses resíduos ou com a volta da atividade pesqueira produtiva. Dessa forma, o projeto “Orla Sem Lixo” estabelece diversas frentes de atuações terrestres e aquáticas, para diagnosticar, monitorar e analisar as condições ambientais daquela área. Uma dessas frentes, é o monitoramento do mangue, no qual o presente artigo colabora, elaborando diversas informações sobre a vegetação e a topografia, buscando entender as principais características desse mangue, no antes e depois da instalação dessas estruturas de captação de resíduos sólidos.

Assim, o objetivo do trabalho é diagnosticar as características fisionômicas do mangue da Vila Residencial, na Cidade Universitária, a partir da análise de índices espectrais, índices de vegetação e aspectos estruturais da vegetação. Este artigo, justifica-se pela necessidade de monitorar e caracterizar ecossistemas costeiros que são cada vez mais impactados de diversas formas ao longo da costa brasileira e que no caso da Baía de Guanabara, estuário de grande importância para a vida social, ambiental e cultural da região metropolitana do Rio de Janeiro. O trabalho segue também as diretrizes dos ODS 13 (vida aquática) e 14 (vida terrestre) da *Agenda de 2030*, plano de carácter global, que visa através dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) estabelecer novas metas de combate à intensificação das mudanças climáticas no planeta.

METODOLOGIA

A metodologia consiste em duas etapas, sendo uma composta por uma análise e produção em gabinete e a outra composta por duas visitas a campo, a partir do levantamento de dados e informações previamente produzidas. Para o levantamento das informações sobre a área de estudo, foram utilizadas imagens e modelos que contribuíssem para a análise, visando os objetivos elencados no estudo. Assim, utilizou-se (i) **Ortofoto (Truefoto)** - Aquisição aérea no ano 2019, com resolução espacial de 16 cm, compartimentada nas 3 bandas espectrais do visível e infravermelho próximo. Se configuram em produtos de altíssima resolução espacial e alto potencial textural, fatores importantes para a caracterização detalhada da vegetação. Apresenta ajuste perfeito com os dados LiDAR. (ii) **LiDAR através do Modelo Digital do Terreno (MDT) e do Modelo Digital de Copas (MDC)** - Aquisição aérea no ano 2019, com resolução espacial de 16 cm e grande detalhamento altimétrico. Os dois produtos, o MDT e o MDC (gerado através da diferença entre o Modelo Digital de Superfície e o Modelo Digital de Terreno) foram fundamentais para a compreensão das pequenas variações do terreno e para o mapeamento da altura do dossel da floresta, respectivamente. A tecnologia LiDAR, que é uma técnica de varredura, rastreamento e perfilamento a laser, aplicação comum de escaneamento tridimensional (WULDER et al. 2012 apud DA SILVA, DA FONSECA e CHAVES, 2019). (iii) **Imagens WorldView 3** – Imagens do sensor do WorldView 3 com 1,2 m de resolução espacial, em 8 bandas do VNIR (Visível + NIR). Importante na caracterização espectral da floresta de mangue, auxiliando na modelagem e identificação de espécies da floresta. As oito bandas espectrais, são: Coastal Blue (B1), Blue (B2), Green (B3), Yellow (B4), Red (B5), Red Edge (B6), NIR1 (B7) e NIR2 (B8).

A primeira análise consistiu na percepção da dinâmica do mangue da Vila Residencial da Cidade Universitária (Figura 1), área fruto de aterramento, local domiciliar de pescadores e

de marisqueiros que habitam a região tradicionalmente há anos; bem como, de estudantes, que vivem ali por conta de suas demandas para com a universidade.

Reforça-se que entender as dinâmicas do mangue, que se encontra sobre influência direta da Baía de Guanabara, é crucial para se compreender o funcionamento desse ecossistema, em outras áreas da baía, assim como o seu valor econômico e social potencial para os moradores da Ilha do Fundão, esclarecendo os benefícios ecológicos e ambientais desse ecossistema.

Boa parte da área de estudo, o mangue da Vila Residencial, também é fruto de aterramento para fins de replantio. Na figura 2, observa-se que no ano de 2010 há um pequeno remanescente de cobertura florestal desse ecossistema costeiro, entretanto é só a partir do ano de 2014 que a área começa a ser aterrada, dando origem à vegetação que existe atualmente. Desse modo, o mangue da Vila Residencial pode ser entendido em compartimentos de áreas de vegetação original, de vegetação plantada e de vegetação naturalmente acrescida ao longo do tempo.

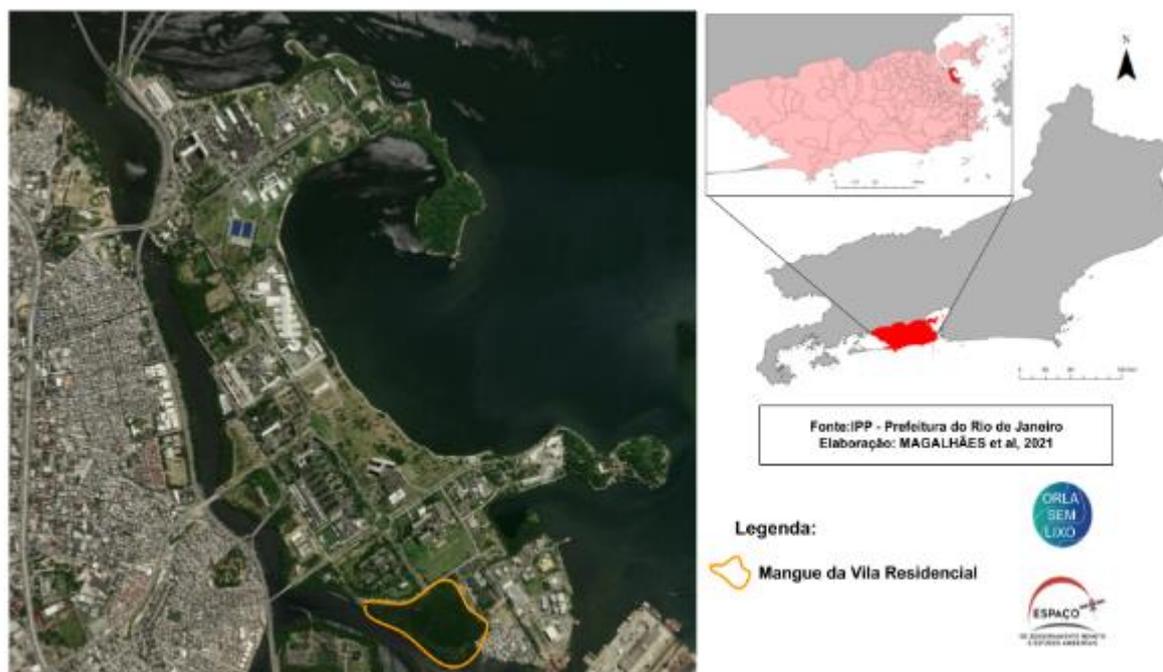


Figura 1 - Mapa da Ilha do Fundão e de localização da área de estudo

A série temporal analisada é a disponibilizada no Google Earth, tendo-se selecionado os anos apresentados na Figura 2 como os mais relevantes para a observação das mudanças ocorridas. Nesta análise é possível perceber a conformação da área antes do aterro e as diferentes fases de plantio e evolução da floresta de mangue. Baseados nesta evolução foi possível definir diferentes idades para a floresta, informação considerada na definição dos pontos a serem visitados em campo.



Figura 2 - Evolução espaço temporal do mangue

Os dados de sensoriamento remoto aéreo e orbital possibilitam a caracterização da floresta de forma abrangente, considerando a percepção do ecossistema em escala de paisagem. Esta caracterização é consubstanciada por modelos aferidos com dados obtidos em campo, de modo a se poder extrapolar a caracterização desejada para toda a área de interesse. A metodologia seguiu a ordem da figura 3.

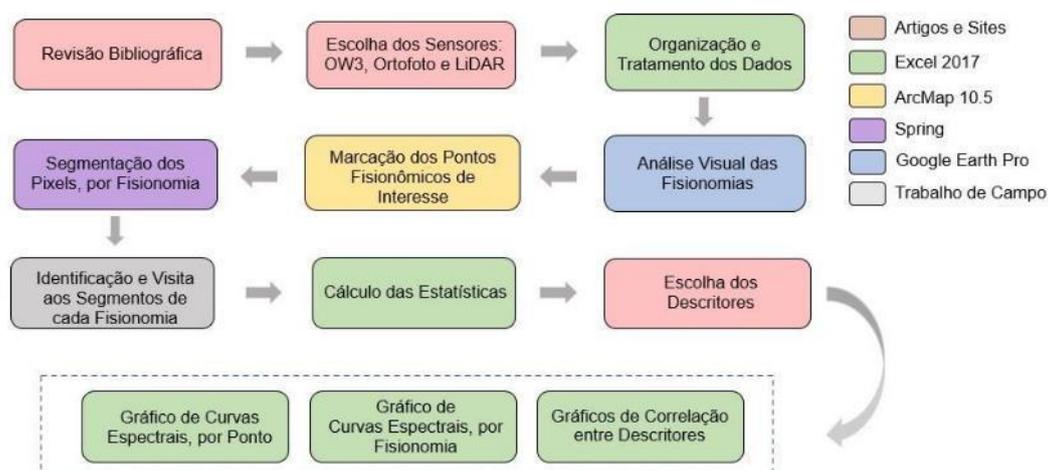


Figura 3 - Fluxograma de metodologia

Com base nas imagens Worldview-3, foram marcados pontos na área de estudo, para que se pudesse identificar fisionomias, que posteriormente seriam analisadas. Os critérios adotados para a marcação dos pontos foram pré-estabelecidos através de interpretação visual das imagens e dos modelos, partindo-se de elementos determinantes na caracterização das feições como as diferenciações de cor, tonalidade, textura e evolução ao longo do tempo.

Posteriormente, essas marcações pré-estabelecidas foram definidas com o auxílio das análises espectrais, temporais, estruturais e de acessibilidade, via campo, para cada ponto (Figura 4).

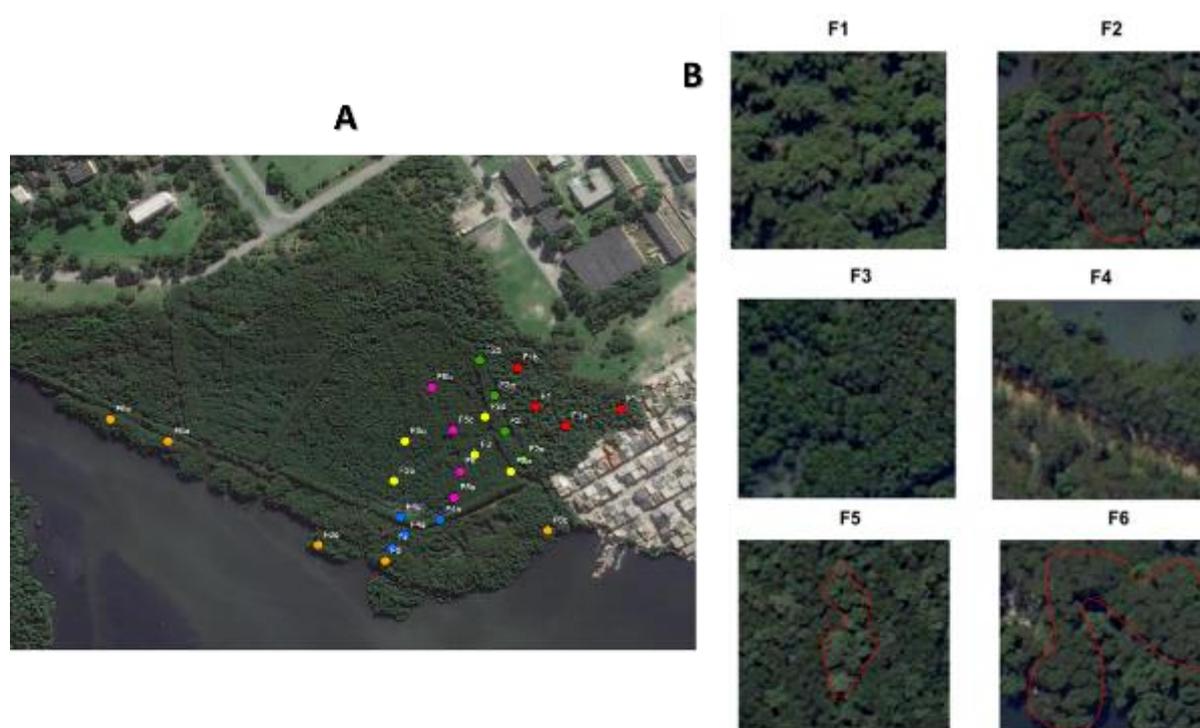


Figura 4 – (A) Pontos de amostragem definidos por análise visual das imagens e (B) Exemplos das fisionomias estudadas.

Com base nesta marcação, foi gerada através do software Spring, uma segmentação da vegetação do mangue, ou seja, um agrupamento de pixels a fim de definir áreas homogêneas baseadas nos critérios de similaridade e área mínima (Figura 5).



Figura 5 - Divisão das imagens em segmentos homogêneos.

Com a extração dos segmentos, através da marcação de pontos das respectivas fisionomias, foram organizados em gráficos, os valores de mediana da resposta espectral de cada ponto referente à uma determinada feição, obtendo assim as curvas espectrais das fisionomias preliminares, identificadas numericamente de 1 a 6.

A escolha dos descritores se deu através do levantamento bibliográfico, cujas recomendações indicavam como os mais adequados para o entendimento da vegetação de mangue os cálculos dos descritores NDVI e NDWI, que correspondem aos índices de vegetação auxiliares nas análises de monitoramento e caracterização de coberturas florestais. O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) é um índice de vegetação amplamente utilizado em utilizado nos estudos ambientais, ele é composto por uma aritmética entre as bandas do vermelho (RED) e do infravermelho próximo (NIR) (VIEGAS. et al, 2019). O NDWI, proposto por McFeeters (1996) é uma razão envolvendo as bandas do verde (GREEN) e do infravermelho próximo (NIR) e é muito utilizado para ressaltar corpos hídricos e minimizar a resposta dos demais alvos (BRENNER e GAUSSELI, 2015; PEREIRA et al., 2018 apud AUGUSTO, 2022).

Outros descritores utilizados nas análises de correlações foram as próprias bandas espectrais das imagens WorldView-3, sendo elas: Red (B1), Blue (B2), Green (B3), NIR1 (B7). Foram ainda usados valores máximos de MDT e MDC para as correlações, a nível de estrutura de terreno e da floresta.

$$NDVI = (RED - NIR1 / RED + NIR1)$$

$$NDWI = (GREEN - NIR1 / GREEN + NIR1)$$

Além disso, foram elaboradas as estatísticas que foram relacionadas aos descritores utilizados na pesquisa, como: mediana dos valores espectrais, média das medianas dos valores espectrais de cada fisionomia, um apanhado dos valores máximos de MDC e dos valores máximos de MDT na área em questão; para analisar o comportamento geral das amostras

fisionômicas.

O planejamento para o trabalho de campo foi orientado a partir das condições de maré do dia 1º de junho de 2022, registradas para a cidade do Rio de Janeiro e da marcação de pontos previamente selecionados, de acordo com as fisionomias. As condições de maré na data selecionada indicavam duas preamares, com a primeira às 3:08 e a seguinte às 15:52 e duas baixa-mares, com a primeira às 10:31 e a seguinte às 23:04 (Figura 6).



Figura 6 - Mapa do trajeto de campo e as condições de maré para o dia 01/06/2022

Foram coletadas informações através da visita à campo acerca de pontos previamente selecionados, registradas em formulários e fichas de observação, que destacam as condições de terreno, o porte das árvores e o predomínio de espécies nas proximidades de cada ponto. As informações e dados levantados ao longo do trabalho, tanto em gabinete, quanto em campo, foram organizados e casados, a fim de que fossem analisados, para que os objetivos da pesquisa fossem alcançados. Posteriormente ao levantamento dos dados de comportamento espectral, dos descritores usados e da estrutura da vegetação, foi feita uma intersecção entre as informações geradas, com a visita à campo, a fim de encontrar os segmentos de fisionomias semelhantes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da pesquisa buscam atingir os objetivos traçados neste artigo, em que a metodologia elaborada foi posta em prática. Nesse sentido, dentre os sensores pré-estabelecidos, analisa-se a partir das imagens WorldView 3, os diferentes traçados das curvas espectrais, dos valores de mediana para cada uma das seis características fisionômicas destacadas. Observa-se também que, para cada fisionomia há uma determinada quantidade de amostras, que a partir da seleção visual, foram consideradas pertencentes ao mesmo grupo, como mostram as Figura 7A.

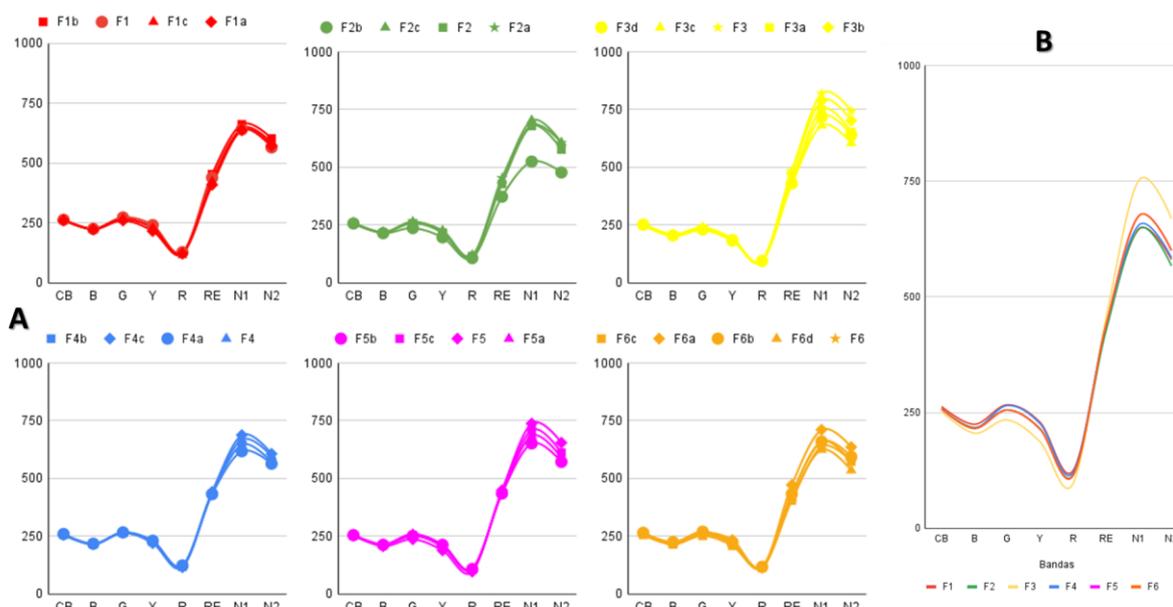


Figura 7 – (A) Comportamento espectral das fisionomias a partir da mediana dos segmentos e (B) Média das Medianas dos valores de cada grupo fisionômico

Jia (et al., 2019 apud BALOLOY, 2020) enfatiza a capacidade do infravermelho próximo e da banda Red Edge, em discriminar alvos entre a vegetação e a água. Assim, dentre as oito bandas analisadas, destaca-se o comportamento das curvas para os valores de NIR1 (N1) e NIR2 (N2), que melhor respondem ao quesito diferenciação da vegetação; e, é justamente nessas bandas que as curvas de cada fisionomia se destacam, gerando uma melhor leitura do comportamento geral das amostras. Dessa maneira, na intenção de determinar uma assinatura espectral específica para cada fisionomia, investiga-se também a dinâmica de comportamento espectral das curvas outliers de cada gráfico, buscando defini-las como parte de outro agrupamento fisionômico, que melhor a represente.

Por conseguinte, analisa-se o gráfico de média dos valores de medianas (Figura 7B) para entender o comportamento geral do conjunto de amostras, por cada grupo fisionômico. Assim, observa-se a assinatura espectral das fisionomias selecionadas visualmente. Apesar de um comportamento semelhante entre as curvas plotadas no gráfico, novamente os valores de NIR1 (N1) e NIR2 (N2), auxiliam na diferenciação das curvas, destacando as respostas espectrais da Fisionomia 3, que gerou valores mais altos nas bandas supracitadas, seguida pela Fisionomias 6 e Fisionomia 4, respectivamente.

Uma outra análise, objetivando a identificação dos melhores descritores para a separação de classes na construção do mapeamento considerou as bandas espectrais das imagens WorldView 3 e índices calculados através dos valores de pixel para cada segmento selecionado. Os descritores selecionados foram analisados em pares e projetados em um espaço de atributos, a fim de que sejam produzidas correlações entre os parâmetros. A Figura 8 mostra os descritores que apresentaram os melhores resultados na análise: bandas Red (R), Blue (B), Green (G), NIR1 (N1) e índices espectrais NDVI e NDWI.

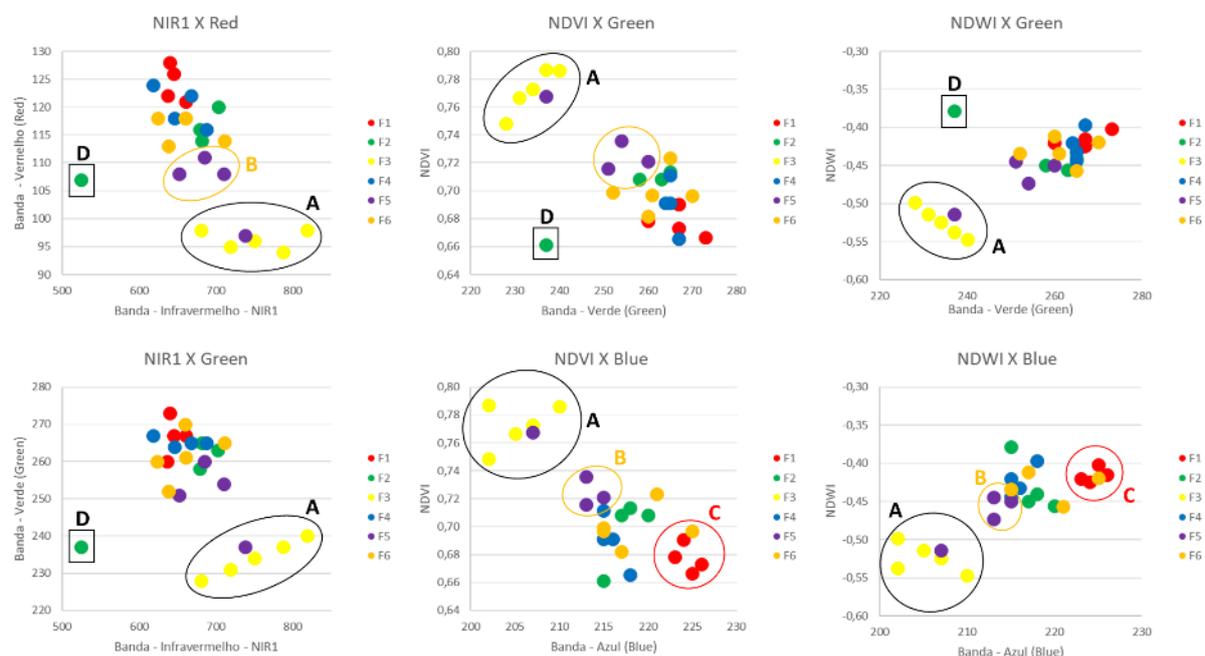


Figura 8 - Espaços de atributos indicando correlações entre descritores

Assim, observou-se o que é indicado por Gupta (et al. 2018) em que os gráficos que se utilizam do NDWI proporcionam uma distribuição mais concentrada dos valores de correlação, pois os manguezais apresentam uma propriedade de alto teor de água em suas folhas, que é em parte explorada por meio desse índice. Já o NDVI, que usa as bandas do vermelho e do NIR, para extrair informações com base no teor de clorofila da planta, é considerado ainda em Gupta (et al. 2018) um índice mais sensível para distinção de espécies em manguezais. Na figura 9, os gráficos que incluem na correlação o índice do NDVI, produzem correlações mais dispersas entre o total de pontos, entretanto, ainda sim é bem avaliado na distinção e agrupamento entre fisionomias.

As fisionomias com maior potencial de identificação para elaboração de modelos de classificação foram a F1, F3 e F5, identificadas pelas cores vermelha, amarela e roxa, respectivamente, por se organizarem melhor em clusters. A delimitação de um círculo, identificado pela letra A, mostra os melhores descritores para caracterização da fisionomia 3. Seguindo a mesma lógica, identifica-se os melhores descritores para as fisionomias 5 (letra B) e fisionomia 1 (letra C). Observou-se que uma amostra da fisionomia 5 apresenta comportamento similar ao da fisionomia 3 e deverá ser revista (letra D). Assim, a Figura 10 apresenta, em destaque, feição fisionômica através da amostra F2b, que sempre aparece destacada do conjunto, e que na Figura 9 é identificada pela letra D; e a amostra F5 que sempre aparece agrupada com a fisionomia F3, identificada pela letra A, também na Figura 9.

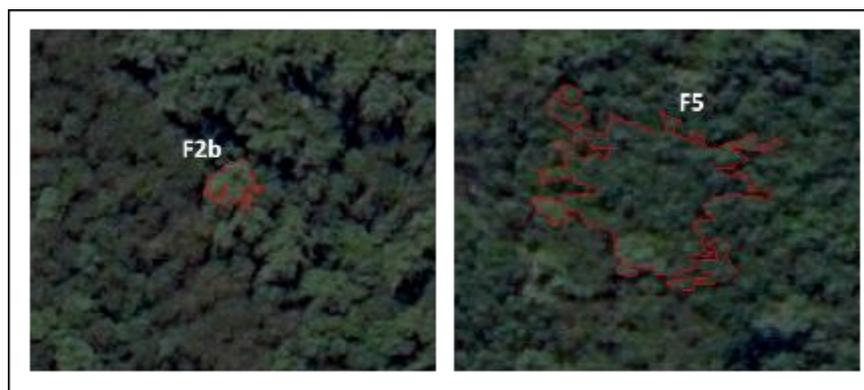


Figura 9 - Feição de amostras das fisionomias 2 e 5

As demais fisionomias (F2, F4 e F6) se misturam em todos os descritores espectrais analisados e estão sendo avaliadas frente à variação de sua estrutura e condições do terreno. A Figura 10, traz uma análise rápida destas 3 fisionomias frente aos valores máximos de MDC (altura de copas) e MDT (variação da topografia). É possível verificar que quanto aos valores máximos de MDC, as fisionomias F2 e F6 apresentam comportamento similar, tendo variação entre 10 e 13m de altura máxima do dossel. Por outro lado, é possível diferenciá-las pelos valores do MDT, dado que F6 se localiza nas porções mais baixas do terreno. Com relação à fisionomia F4, observa-se que apesar de também se localizar preferencialmente nas porções mais elevadas do terreno, da mesma forma que F2, apresenta alturas máximas do dossel inferiores à 10m, detalhes que podem auxiliar na classificação.

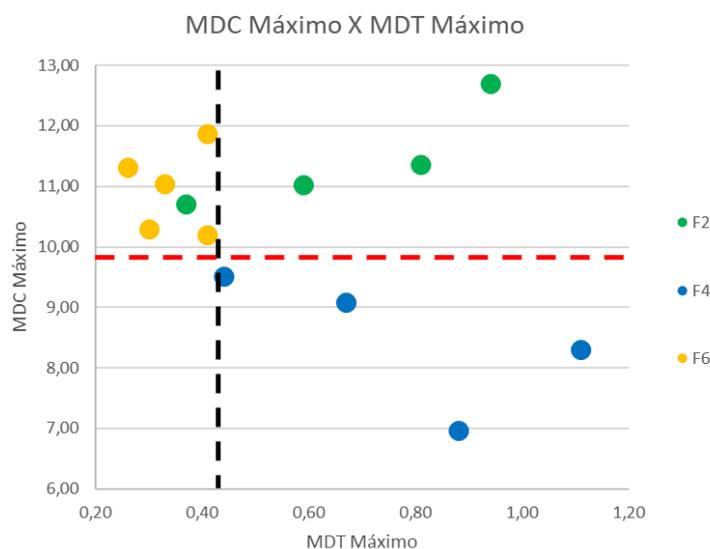


Figura 10 - Correlação entre MDT máximo e MDT mínimo

Por fim, apesar da confusão espectral, é possível diferenciar as fisionomias F2, F4 e F6 pelos valores máximos de MDC e MDT (Figura 11), segundo: F2: floresta com dossel mais alto, com árvores podendo alcançar valores máximos entre 10 e 13m, localizadas em áreas mais altas do terreno, com altitude máxima acima de 40 cm; F4: floresta com dossel mais baixo, com árvores de alturas máximas inferiores a 10 m, igualmente localizadas em áreas mais altas do terreno, com altitude máxima acima de 40 cm; F6: floresta com dossel mais alto, com árvores

podendo alcançar valores máximos entre 10 e 13m, localizadas em áreas mais baixas do terreno, com altitude máxima abaixo de 40 cm.

Com o trabalho de campo, foram sanadas algumas dúvidas sobre o comportamento espectral de cada fisionomia, partindo das amostras que se destoam das outras amostras de mesmo grupo fisionômico, previamente indicado. Dessa forma, com a intersecção de informações levantadas em gabinete com as informações de campo, entende-se que as fisionomias são pertencentes às espécies de mangue *Rizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*, embora seu comportamento espectral e estrutural, de fato varie.

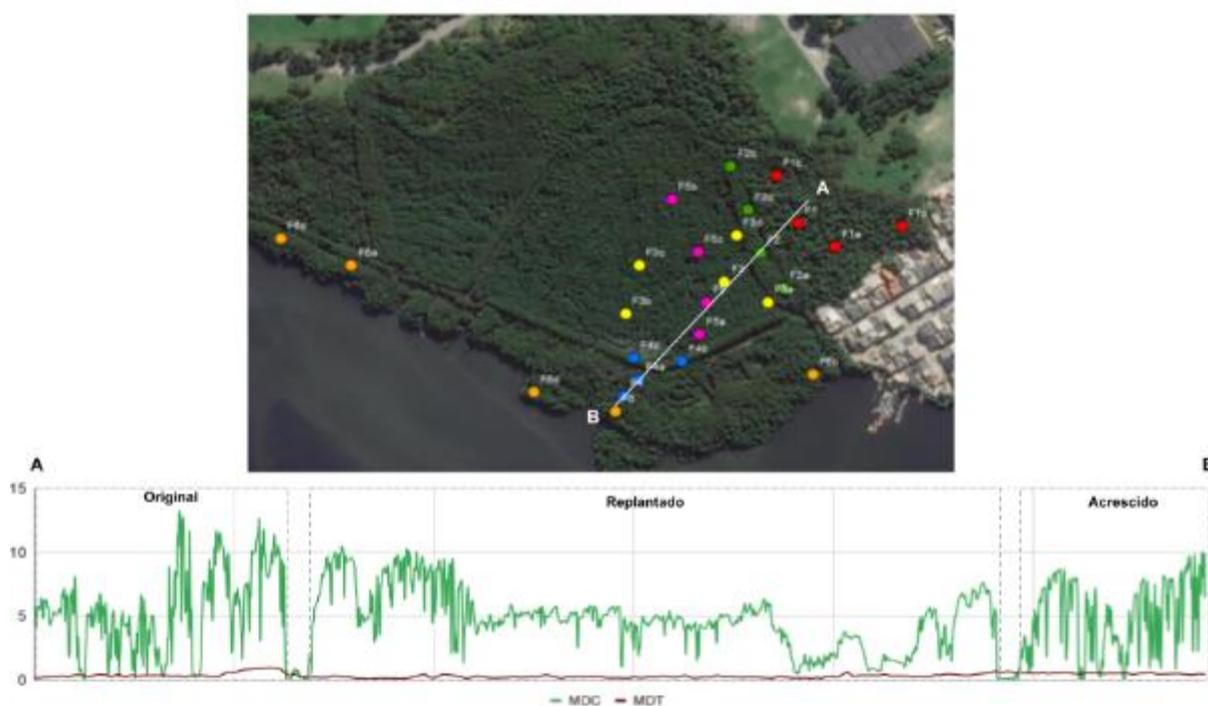


Figura 11 - Disposição das amostras fisionômicas e traçado de perfil da floresta

Com isso, compreende-se que as fisionomias F1, F4 e F6 são características da espécie *Avicennia*; a fisionomia F3 é característica da espécie de *Rizophora* e as fisionomias F2 e F5 foram consideradas espécies desconhecidas, por conta do alto grau de confusão das amostras indicadas, frente às informações extraídas dos gráficos. Assim, como mostra a figura 12, as fisionomias desconhecidas, F2 e F5, apresentaram suas respectivas análises dificultadas por conta das limitações de terreno, como o solo instável e rotineiramente alagado, que impediam o acesso para a melhor análise desses dois grupos fisionômicos na visita de campo. Rebelo-Mochel e Ponzoni (2007 apud ALMEIDA et al, 2020) orienta que a resposta espectral das florestas de espécies *Avicennia* diferem-se de respostas espectral de florestas dominadas pela espécie *Rizophora* principalmente devido à maior reflectância de suas folhas em algumas bandas da faixa visível.

Cabe destacar que, a espécie *Laguncularia* foi encontrada na visita a campo, entretanto com um baixo quantitativo de indivíduos e, conseqüentemente, com uma baixa presença no dossel das árvores, limitando a classificação através de sensoriamento remoto.

Desse modo, como destacado em Almeida (2015), embora já seja sabido que os valores dos pixels registrados nas imagens de satélite apresentam correlação com características estruturais e fisiológicas, poucos são os estudos que tentam interpretar e usar essa informação. Nesse sentido, o presente artigo buscou investigar essas relações, através da análise em gabinete, com a geração de mapas e gráficos que auxiliassem no entendimento das características do mangue, somados às informações extraídas em campo, onde essas correlações puderam ou não serem confirmadas. Tal estudo possibilitou que parte dos objetivos tenham sido alcançados, levantando-se, por outro lado, novas hipóteses de pesquisa.

O comportamento espectral das espécies *Avicennia*, *Laguncularia* e *Rizophora* em folhas verdes e saudáveis apresentam uma certa diferenciação na questão do comportamento espectral. A espécie *Avicennia* apresenta uma maior reflectância na região do infravermelho e menor na banda do infravermelho médio, entretanto, as espécies *Laguncularia* e *Rizophora* apresentam valores semelhantes na região do infravermelho e diferentes no infravermelho próximo, tendo a espécie de *Rizophora* menores valores (WANG e SOUSA, 2009 apud ALMEIDA, 2015; JENSEN, 2009) Sabendo-se, a priori, que o mangue estudado pode ser compartimentado em três tipos: mangue original, mangue replantado e mangue acrescido naturalmente; o comportamento espectral e estrutural de algumas fisionomias pode ser entendido através dessa condicionante.

Por exemplo, é interessante observar que as espécies indicadas como características de *Avicennia*, se diferem no seu comportamento espectral e estrutural por conta do seu tempo de ocorrência e, com isso, a fisionomia F1 não apresenta os mesmos padrões de F4 e F6 por conta da sua maior longevidade na área, estando localizada na área de mangue original. Em contrapartida, a fisionomia F3 é característica de um comportamento de *Rizophora*, que ocupa boa parte da área de plantio de mangue, entendendo que o processo de replantio tenha priorizado a sua inserção no ambiente. Essa hipótese, da fisionomia 3 ser de fato pertencente à espécie de *Rizophora* ganha força sobretudo com a análise dos gráficos de correlação (Figura 9) entre os descritores selecionados, em que as amostras de F3 encontram-se concentradas e próximas umas às outras, além de estarem destacadas dos demais grupos fisionômicos.

Entende-se também que ao menos um indivíduo da fisionomia 5 faça parte do grupo classificado como da espécie *Rizophora*, por conta do seu alto grau de compatibilidade, mostrado nos resultados de correlação da Figura 9. Já as fisionomias F2 e F5, foram definidas como desconhecidas por conta do grau de confusão apresentado no estudo das correlações entre os descritores. No caso da fisionomia 2, o fator limitante da análise foi a dificuldade de acesso a essas áreas no campo, justificada pela grande instabilidade do solo que impedia a retirada de amostras de folhas e coletas de fotos. Embora um indivíduo da fisionomia 5 tenha se associado ao grupo fisionômico F3, observa-se que as demais amostras não obtiveram um padrão claro na disposição de suas correlações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas até o presente momento apontam para a tendência de localização da espécie *Avicennia* em áreas naturalmente desenvolvidas, como as áreas de mangue original

e as áreas de mangue acrescidas naturalmente, o que é um ponto extremamente importante para o entendimento do mangue e das espécies que possuem facilidade de se desenvolverem em um local de altos índices de poluição, nas intermediações da Baía de Guanabara. Dessa forma, uma hipótese que surge para continuidade do estudo é compreender como a presença majoritária da espécie *Avicennia* pode ser um fator agregador nos estudos de contaminantes em ecossistemas de manguezal, podendo ser um potencial bioindicador da saúde do ambiente de mangue.

Outra relação que foi evidenciada com a análise da floresta é a presença da espécie de *Rizophora* majoritariamente nas áreas de mangue replantado, indicando que essa espécie na verdade é fruto de replantio no local. Surgem, assim, outros questionamentos, sobre o potencial de se desenvolver naturalmente nesse ambiente, fator que pode ajudar a explicar a consolidação desses indivíduos. Busca-se ainda entender mais a presença rarefeita da espécie *Laguncularia*, em toda a área de mangue da Vila Residencial.

Como próximos passos da pesquisa, busca-se a confecção de um mapa temático que possibilite a espacialização das espécies de mangue na área. Reforça-se aqui alguns fatores limitantes que se voltam para as etapas de análise em campo, que são, sobretudo, as condições de instabilidade e alagamento do solo, em seu interior, como também a quantidade enorme de lixo acumulado e diversificado, no interior da área. Ademais, espera-se também estender esta metodologia para outras áreas de mangue, em diferentes condições, na Ilha do Fundão, de modo a auxiliar no aprimoramento dos modelos de classificação para mapeamento.

AGRADECIMENTOS

Os presentes autores agradecem à Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos (COPPETEC) pela bolsa concedida para a execução desta pesquisa. Agradecemos ainda toda a equipe do Orla Sem Lixo pela integração para a realização do projeto.

REFERÊNCIAS

ALLAM, M.M. DTM application in topographic mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.44, n.12, p.1513-1520, 1978.

ALMEIDA, Paula Maria. M. de; CRUZ, Carla Bernadete M.; AMARAL, Felipe G.; FURTADO, Luiz Felipe A.; DUARTE, Gabriel dos S.; SILVA, Gabriella Ferreira da; BARROS, Rafael S. de; MARQUES, João Vitor Freitas Pereira A.; BASTOS, Rita Maria C.; ROSÁRIO, Edineuza dos S.; SANTOS, Valdenira F.; ALVES, Alex.; CHAVES, Felipe de O.; SOARES, Mario Luiz G. Mangrove typology: a proposal for mapping based on high spatial resolution orbital remote sensing. *Journal of Coastal Research (JCR)*. Published by Coastal Education and Research Foundation (CERF). v. 95, p. 1-5, 2020.

ALMEIDA, Paula Maria Moura de. Na rede do mapeamento: uma análise da resposta espectral das florestas de mangue e do mapa como actante no espaço científico. 2015. 478 f. Tese (Doutorado em Multidisciplinar) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ALMEIDA, Paula Maria. M. de.; SOARES, Mario Luiz G.; ESTRADA, Gustavo Calderucio D.; CRUZ, Carla Bernadete M.; FERNANDEZ, Viviane. Mapping Physiographic Types of Mangrove Forests through the object-based Classification Method. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*. Aristotle University of Thessaloniki, Greece. vol. 3, 2014.

ASPIAZÚ, C et al. MODELOS DIGITAIS DE TERRENOS CONCEITUAÇÃO E IMPORTÂNCIA. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 21, p.27-36, dez. 1990.

AUGUSTO, R. C.; CRUZ, C. B. M.; SEABRA, V. S.; MARTINS, J. S. Delimitação de zona ripária em planícies através do Índice Normalizado de Diferença da Água (NDWI) e série multitemporal Landsat. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 1, p. 234-249, 2022.

BALOLOY, A. B. et al. Development and application of a new mangrove vegetation index (MVI) for rapid and accurate mangrove mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 166, p. 95-117, 2020.

BRENNER, V.C.; GUASSELLI, L.A., 2015. Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí - RS, Brasil. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa - PB. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 3693- 3699

DA SILVA, G. G. T.; DA FONSECA, L. G.; CHAVES, F. Uma estratégia computacional para a segmentação automática de árvores individuais de mangue a partir de dados de varredura tridimensional a laser. *Principia: Caminhos da Iniciação Científica*, v. 19, n. 1, p. 11-11, 2019.

GUPTA, Kaushik et al. An index for discrimination of mangroves from non-mangroves using LANDSAT 8 OLI imagery. *MethodsX*, v. 5, p. 1129-1139, 2018.

HALL, Forrest G.; BERGEN, Kathleen.; BLAIR, James B.; DUBAYAH, Ralph.; HOUGHTON, Richard.; HURTT, George.; KELLNDORFER, Josef.; LEFSKY, Michael.; RANSON, Jon.; SAATCHI, Sasan.; SHUGART, Herman H.; WICKLAND, Diane. Characterizing 3D vegetation structure from space: Mission requirements. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 11, p. 2753-2775, 2011.

HEUMANN, Benjamin. W. Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, v. 35, n. 1, p. 87-108, 2011.

JENSEN, John R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... [et al.]. 2. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 661 p. ISBN 978-85-60507-06-1.

JIA, M., et al. A new vegetation index to detect periodically submerged Mangrove forest using Single-Tide Sentinel-2 Imagery. *Remote Sens.* 11, 2043. 2019

KUENZER, Claudia; BLUEMEL, Andrea.; GEBHARDT, Steffen.; QUOC, Tuan V.; DECH, Stefan. Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. *Remote Sensing*, v. 3, n. 5, p. 878-928, 2011.

McFEETERS, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 1425-1432

MENEZES, P. M. L, et al. Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina. Universidade de São Paulo, São Paulo-SP 2005.

OLIVEIRA, Ana C.; RUBATINO, Isabela; ALMEIDA, Paula Maria M.; CRUZ, Carla Bernadete M. Mapeamento do uso e cobertura da terra no entorno da baía de Sepetiba em apoio à identificação de pressões sobre os manguezais. *Mares, Revista de Geografia e Etnociências*. v.1, v. 2, p. 93-105, 2019.

PHAM, Tien D.; YOKOYA, Naoto.; BUI, Dieu T.; YOSHINO, Kunihiko.; FRIESS, Daniel A. Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure, and biomass: Opportunities and challenges. *Remote Sensing*, v. 11, n.3, p. 230, 2019.

PEREIRA, L.E., Marques E.A., Grigio, A.M., Paranhos Filho, A.C., 2018. Comparative Analysis of Normalized Difference Water Index (NDWI) Methods in Continental Wetland. *ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS (UFRJ. IMPRESSO)* 41, 654- 662.

REBELO-MOCHEL, Flávia.; PONZONI, Flávio. J. Spectral characterization of mangrove leaves in the Brazilian Amazonian Coast: Turiaçu Bay, Maranhão State. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 79, n. 4, p. 683-692, 2007.

SANT'ANNA, I. T. Utilização do algoritmo LandTrendr para análise da dinâmica dos manguezais de fundo da Baía de Guanabara. 2022. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2022.

SOARES, M. L. G. Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudeste do Brasil - análise de modelos. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 2 vol. 560 p. 1997.

VIEGAS, V. S. et al. Análise da Resposta Espectral dos Diferentes Tipos de Mangue: Estudo de Caso da Baía de Sepetiba. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019.

WANG, L; SOUSA, W. P Distinguishing Mangrove Species with Laboratory Measurements of hyperspectral leaf reflectance. International Journal of Remote Sensing, 30(5), 1267-1281. 2009

WULDER, M. A. et al. Lidar sampling for large-area forest characterization: A review. Remote sensing of environment, v. 121, p. 196–209, 2012.

XIA, Junshia.; YOKOYA, Naoto, PHAM, Tien D. Probabilistic Mangrove Species Mapping with Multiple-Source Remote-Sensing Datasets Using Label Distribution Learning in Xuan Thuy National Park, Vietnam. Remote Sensing, v. 12, n. 22, p. 3834, 2020. DOI:10.3390/rs12223834.

COMO CITAR ESTE TRABALHO

MAGALHÃES, Danylo Mendonça. FIALHO, Maria Fernanda dos Santos. AMARAL, Felipe Gonçalves. CRUZ, Carla Madureira. Manguebit: uma análise espectral e estrutural do mangue da Vila Residencial, na Ilha do Fundão. Revista Tamoios, São Gonçalo, v. 19, n. 2, p. 45-60, Ano. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2023.76500>. Acesso em: DD MMM. AAAA.