

Análise espaço-temporal da área de vegetação de manguezal da RESEX Marinha Baía do Iguape (BA) no período de 1993 a 2021 *Space-time analysis of the mangrove vegetation area of the RESEX Marinha Baía from Iguape (BA) from 1993 to 2021, Brazil*

Tailan Silva Sousa¹, Neilon Duarte da Silva², Luiz Carlos de Souza Junior¹, Taíze da Silva Sousa³,
Márcio Leandro da Silveira Fonseca¹

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA, Brasil

² UFC Engenharia, Lauro de Freitas - BA, Brasil

³ Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana -BA, Brasil

Contato: tailansousa@outlook.com

Palavras-Chave

classificação supervisionada
landsat
sensoriamento remoto
unidade de conservação

RESUMO

O manguezal é um ecossistema costeiro, característico de regiões tropicais e subtropicais, sujeito ao regime das marés. Os objetivos deste trabalho foram aplicar técnicas de sensoriamento remoto para um diagnóstico e análise espaço-temporal das mudanças ocorridas no quantitativo de área do manguezal localizado RESEX Marinha Baía do Iguape. Foram utilizadas imagens de satélite Landsat (5 e 8), com o auxílio do ArcMap realizou as composições das bandas. A partir das áreas de treinamento (Classificação Supervisionada), foram identificadas as classes, realizando o cálculo da área de cada classe. Ao longo do período em estudo, 83,13% da área da RESEX é ocupada pela Vegetação de Manguezal. Foi verificado um aumento linear na ordem de 104,6 ha ano⁻¹ da área de manguezal entre os anos de 1993 (2.141 ha) e 2021 (3.643 ha). Recomenda-se realizar análise multiespectral na região do infravermelho para identificação de áreas de manguezal. Nesse contexto, estrutura, densidade e zonação das espécies são fatores que podem contribuir para boa identificação via técnicas de sensoriamento remoto. Existe um aumento linear da vegetação de manguezal ao longo dos anos, indicando que a manutenção das atividades e práticas de restauração/preservação realizadas atualmente após a criação (anos 2000) da Unidade de Conservação podem contribuir para a manutenção do ecossistema. As técnicas de sensoriamento remoto permitem gerar um diagnóstico espaço-temporal da vegetação de manguezal da RESEX Marinha Bahia do Iguape, evidenciando a importância de metodologias de baixo custo no diagnóstico e preservação dos biomas brasileiros

Key-word

supervised classification
landsat
remote sensing
conservation unit

ABSTRACT

The mangrove is a coastal ecosystem, characteristic of tropical and subtropical regions. The objectives of this work were technically applied to remote sensing for a diagnosis and spatio-temporal analysis of the changes that have not been published in the mangrove area located RESEX Marinha Baía do Iguape. Landsat satellite images (5 and 8) were obtained with the aid of ArcMap, taken as images of the bands. From the training areas (Supervised Class), the areas of each class were identified, performing the class calculation. During the study period, 83.13% of the RESEX area is occupied by Mangrove Vegetation. There was a linear increase in the order of 104.6 ha year⁻¹ of the mangrove area between 1993 (2,141 ha) and 2021 (3,643 ha). It is recommended to carry out multispectral analysis in the infrared region for the identification of areas of mangrove. In this context, species structure, density and zone are factors that can contribute to good identification via remote sensing techniques. There is a linear increase along the mangrove creation in the years, indicating the maintenance of the activities and practices of restoration/preservation carried out (2000s) of the Conservation Unit (2000s) of the Conservation Unit can contribute to the maintenance of the environment. As remote sensing techniques allow generating an area-temporal diagnosis of the importance of mangroves in the RESEX Marinha Bahia do Iguape, evidencing the low-cost methodology in the diagnosis and preservation of Brazilian biomes.

Informações do artigo

Recebido: 15 de setembro, 2021

Aceito: 04 de julho, 2022

Publicado: 30 de agosto, 2022

Introdução

Ao longo das últimas cinco décadas com o aumento do crescimento demográfico, o desejo de melhorar a qualidade de vida e o crescimento econômico, o ser humano vem causando grandes alterações no meio ambiente, produzindo perdas irreversíveis e sensíveis alterações aos recursos naturais. Essas ameaças constituem um efetivo problema sobre o manguezal, que por se tratar de um ecossistema aberto o seu funcionamento depende da saúde dos ecossistemas adjacentes (ICMbio, 2018).

O manguezal é um ecossistema costeiro, de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, ocorrendo em regiões tropicais e subtropicais, sujeito ao regime das marés, caracterizado por uma vegetação típica de plantas halófitas facultativas (ALONGI, 2016; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016). É um dos principais ecossistemas mais produtivos do planeta, e sua importância para a manutenção de bens e serviços ecossistêmicos é enorme. Ele é um importante sequestrador e estocador de carbono na biomassa e no solo, contribui com a redução da vulnerabilidade da zona costeira às mudanças climáticas, e promove recursos às muitas comunidades tradicionais que dependem dele para sobreviver (ICMbio, 2018).

Apesar da sua grande importância, os manguezais no Brasil são muito vulneráveis. Estima-se que 25% dos manguezais no país tenham sido destruídos desde o começo do século 20. As regiões do Nordeste e Sudeste do Brasil apresentam um grande nível de fragmentação, no qual, segundo estimativas recentes, cerca de 40% do que um dia foi uma extensão contínua de mangue, foi suprimida (ICMbio, 2018).

Por outro lado, tem-se aumentado o esforço para a conservação desses ecossistemas. Atualmente no Brasil, existe 120 Unidades de Conservação com a presença de manguezais no seu interior, dessas 83% são de uso sustentável e 17% de proteção integral, que cobrem uma área de 1.211.444 hectares, o que representa 87% do ecossistema em todo o país (ICMbio, 2018).

Segundo o artigo 18º da lei 9.985, de 18 de julho de 2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), uma Reserva Extrativista é “uma área utilizada por populações extrativistas tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, complementarmente, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte, e tem como objetivos básicos proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade”.

A Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape foi criada no mesmo ano de criação do (SNUC) 2000. Localizada no Recôncavo Baiano, encontra-se a 110 km² de Salvador - BA, ligando-se à Baía de Todos os Santos através do canal de São Roque. A criação da RESEX encontra-se articulada ao processo de luta pela permanência no território ocupado há gerações com espaço de vida. Inicialmente, compreendia águas

internas e manguezais, sendo as comunidades do entorno da Reserva, cerca de 20, definidas como beneficiárias da política implantada (ZAGATTO, 2011).

As comunidades locais que foram se consolidando desenvolveram modos de vidas extremamente articulados aos ecossistemas locais, fundamentais não só para a reprodução material, mas também para a construção da identidade dos grupos. A desestruturação do sistema fluvial provocou o isolamento e precariedade das vias terrestres. Desse modo, as atividades produtivas desenvolvidas pelas comunidades, contribuíram para a manutenção das especificidades culturais tornando a Baía do Iguape uma das porções mais preservadas da Baía de Todos os Santos (ZAGATTO, 2011).

O uso das geotecnologias através das técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) têm ganhado destaque nos últimos anos, pois possibilitam resultados com alta confiabilidade, agilidade, precisão e detalhamento de toda uma área em estudo, tudo isso em curto espaço de tempo, o que acaba diminuindo custos (MAGALHÃES et al., 2017).

A degradação do meio ambiente quando associada a mudança do clima causada pelo homem, tem modificado nos últimos anos (desde 1900) a interação superfície/atmosfera ao ponto de agredir os recursos naturais. Isso é uma preocupação recorrente de vários cientistas no mundo inteiro (IPCC, 2022).

Os temas acima, de grande abrangência e complexidade, necessitam cada vez mais da adoção de metodologias de monitoramento sistemático e sinóptico. Destaca-se, assim, o sensoriamento remoto na análise e monitoramento de áreas de risco, viabilizando o controle de furacões, erosões e inundações por meio de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento, realizando o monitoramento meteorológico da terra a fim de acompanhar os eventos naturais. Através de imagens aéreas, também é possível determinar e avaliar os impactos dos desastres naturais e permitindo estratégias para prevenção, combate e resgate.

Segundo Celis-Hernandez et al. (2021), a grande disponibilidade de dados gratuitos de produtos de satélites multiespectrais passivos de média a alta resolução permitem avaliar espacialmente os possíveis impactos que eventos de perturbação ambiental podem causar em ecossistemas de mangue. Perea-Ardila et al. (2021) destacam que as imagens capturadas por meio dos satélites da série Landsat representam um importante recurso para o meio científico em estudos de monitoramento de manguezais, uma vez que, permitem sua identificação através da resposta espectral e a possibilidade de análise espaço-temporal por uma longa série temporal.

Diversos autores têm desenvolvido pesquisas aplicando o uso de sensoriamento remoto para estudar mudanças em áreas de manguezais, entre eles: Dan et al. (2016) constataram uma perda de área de manguezal na Ásia Ocidental e África Central de cerca de 16,9%

entre os anos de 1988 e 2014; Ávila et al. (2020) determinaram a variação espaço-temporal de um ecossistema de manguezal em Cuba usando dados Landsat em uma série temporal de 35 anos (1984 - 2019) para fins de conservação; ROY et al. (2019) observaram que no mangue ao longo da costa de Odisha, na Índia, o total da área aumentou de 18.573,49 ha (1990) para 23.871,49 ha (2015).

Oliveira (2019) utiliza no seu trabalho “Mapeamento do uso e cobertura da terra no entorno da Baía de Sepetiba em apoiar a identificação de pressões sobre o manguezal” imagens de satélites provenientes do sensoriamento remoto, a fim de determinar classes de mapeamento do mangue, fornecendo índices de transformação antrópica. As imagens proporcionadas por este trabalho foram capazes de determinar quais locais possuíam maiores concentrações de vegetação de manguezal, e assim catalogar como essas pressões antrópicas estariam relacionadas com a concentração ou não de parcelas de manguezal em uma determinada área.

Dessa forma, este estudo tem os seguintes objetivos: (a) aplicar técnicas de sensoriamento remoto para diagnóstico ambiental da RESEX Marinha Baía do Iguape; (b) realizar uma análise espaço-temporal das mudanças ocorridas no quantitativo de área do manguezal localizado na RESEX Marinha Baía do Iguape, a partir de técnicas de sensoriamento remoto em imagens de satélite Landsat (5 e 8) dos anos de 1993 a 2021.

Material e Métodos

Área de estudo

A Reserva Extrativista (RESEX) Marinha Baía do Iguape apresenta uma área de 10.082,45 ha (ICMBIO, 2022), no qual, segundo seu decreto de criação, 2.831,24 ha são em terrenos de manguezais (BRASIL, 2000). Situada nos municípios de Maragogipe e Cachoeira no estado da Bahia dentro do bioma Mata Atlântica (Figura 1).

Caracterização Climática

O clima da região é de transição entre Af (tropical sem estação seca) e Am (tropical de monção) de acordo com o sistema de classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). Segundo dados históricos da Agência Nacional de Águas (ANA) a precipitação média na região de estudo pode variar entre 1500 a 1900 mm anuais (Figura 2).

Figura 1. Mapa da localização da Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape (BA) e cobertura da cena de Landsat utilizada nesta pesquisa

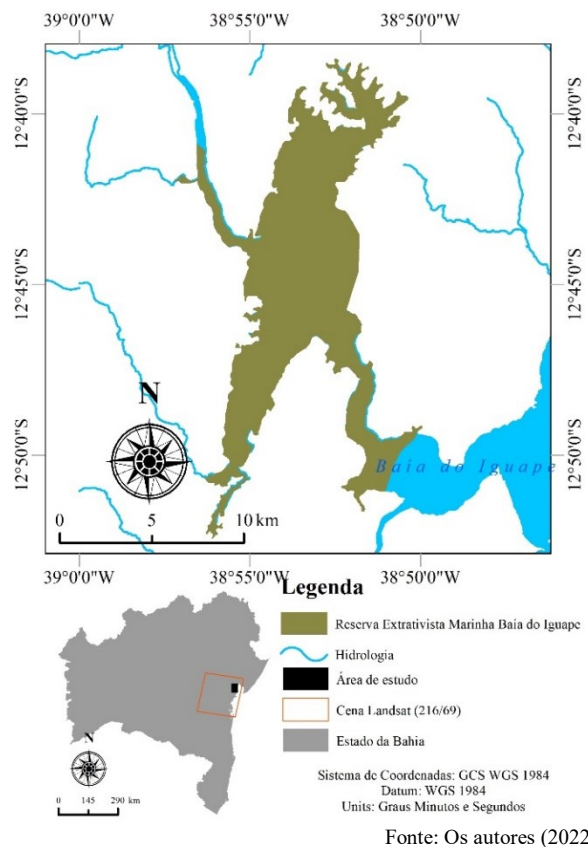


Figura 2. Isoietas da precipitação média anual da série de 1977 a 2006 da Agência Nacional de Águas (ANA) entorno e na área da RESEX Marinha Baía do Iguape



Levantamento de dados

Imagens de satélite da série Landsat foram utilizadas nesse trabalho. Atualmente, somente o satélite Landsat 8 está na ativa coletando dados da superfície terrestre. Por se tratar de um estudo espaço-temporal, foram utilizadas também imagens do Landsat 5, estes, fora de operação, coletaram imagens nas décadas de 90 e nos anos 2000, e isso possibilitou uma variação de anos maior para o estudo.

A região de estudo conforme observado na Figura 2, possui alto regime pluviométrico, bem como alta nebulosidade. Foi realizada uma triagem nos dados do Landsat disponíveis de 1990 a 2021, dessas, apenas 6 imagens (uma para cada ano) foram consideradas (a partir da própria classificação do Landsat) aptas para realizar o estudo (Tabela 1). Com esses critérios procurou-se ainda ter uma cena para cada década, como base para tornar o estudo viável. Assim, tem-se as 6 cenas distribuídas ao longo do ano entre os seguintes meses: janeiro, maio, junho, agosto e dezembro.

Dados Meteorológicos obtidos a partir do Banco de Dados Meteorológicos (BDMET) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram usados para caracterizar o dia da aquisição da imagem. Para tal caracterização, foi utilizada a estação de Cruz das Almas - BA a 225,87 m de altitude, com coordenadas geográficas de 12°40'39" S e 39°06'23" W, sendo considerada representativa para a região de estudo.

Tabela 1. Datas das imagens de satélite e caracterização climática da região.

Caracterização das imagens			Caracterização climática da região de estudo (dados do INMET)		
Satélite	Data da passagem do satélite	Neb	P mm dia ⁻¹	T _{med} °C dia ⁻¹	UR _{med} %
Landsat 5	04/08/1993	Boa	9,30	26,37	86,25
	08/05/1996	Boa	0,00	24,51	80,78
	28/01/2000	Boa	0,00	26,54	82,34
	31/05/2010	Boa	0,00	24,23	78,65
Landsat 8	02/12/2019	Boa	1,80	27,45	81,45
	30/06/2021	Boa	0,00	24,47	86,45

P – Precipitação; T_{med} – Temperatura do ar média; UR_{med} – Umidade Relativa do ar média.

Fonte: Os autores (2022)

Os dados utilizados neste trabalho se encontram disponíveis gratuitamente, por download através do catálogo de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do *EarthExplorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) (data do último acesso: 20/12/2021). Entre os anos de 1993 e 2000, foram utilizadas imagens de satélite Landsat 5. A partir do ano de 2000, utilizou-se imagens de satélite Landsat 8.

Processamento dos dados

A primeira etapa realizada no processamento dos dados foi a calibração radiométrica (Equação 1) proposta por Allen et al. (2010), ela representa a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX - LMIN}{QCALMAX - QCALMIN} \right) (DN - QCALMIN) + LMIN \quad (Eq. 1)$$

Onde:

DN – número digital de cada pixel;
 LMAX e LMIN – constantes de calibração;
 QCALMAX e QCALMIN – valores máximos e mínimos para radiancia em função de DN.
 Lλ - radiancia espectral (W/m²/sr/μm)

A reflectância (Equação 2) é definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletida pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, podendo ser obtida através da equação proposta por Allen et al. (2010).

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \cos \theta \, dr} \quad (Eq. 2)$$

Onde:

Lλ – radiancia espectral de cada banda (W m⁻²/sr/μm);
 ESUN – irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera (W m⁻² dia⁻¹);
 Z – ângulo zenital solar (radianos);
 dr – quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (adimensional).

A (Figura 3) apresenta o fluxograma das etapas de processamento das imagens de satélite e obtenção dos resultados.

Figura 3. Fluxograma das etapas de processamento dos dados



Fonte: Os autores (2022)

Composição das bandas e correção de imagem

Ao se realizar uma classificação de imagens de satélite primeiramente são selecionadas as bandas específicas com base principalmente no tipo de superfície em estudo, neste caso específico, a vegetação de manguezal. Por meio do software *ArcMap 10.2*, que é uma extensão do pacote de software *ArcGIS*, foram feitas a composição de bandas, 4-5-3 nas imagens de Landsat 5 e 6-5-4 nas imagens de Landsat 8. Uma boa escolha das bandas para criar a composição colorida é destacado por Meneses et al (2012) e Ferreira et al (2013) como primordiais para destacar os alvos na superfície bem como realizar o processo de vetorização.

As imagens foram selecionadas sobre o critério de mínima percentagem de cobertura de nuvens, submetidas ao contraste 40% para destacar elementos de vegetação/alvos na superfície.

Classificação Supervisionada

Na classificação supervisionada os seus métodos são fundamentados em classificadores que utilizam funções estatísticas para analisar e comparar as características das reflectâncias espectrais dos pixels com as características de uma determinada classe de padrão para assim, classificar e delinear as classes das imagens digitais (LIU, 2006).

O software *ArcGIS* realiza a classificação supervisionada a partir do método de Análise de Componentes Principais (*Principal Component analysis - PCA*) uma técnica estatística que aplica a análise das estruturas de variância e desvio-padrão das variáveis, tais como as reflectâncias espectrais das bandas de uma imagem adquirida.

Um conjunto de várias reflectâncias de imagens digitais obtidas pelas várias bandas espectrais é geralmente direcionado para resumir e melhorar a interpretação, gerando combinações ortogonais lineares das imagens espectrais originais. Essas imagens ortogonais são referidas como componentes principais (JOHNSON; WICHEN, 1992). Para obter os componentes principais de um conjunto de dados x , a matriz de variância S^2 é calculada pela Equação 3.

$$S^2 = \left[\frac{1}{N-1} \right] \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\bar{x} = \left[\frac{1}{N} \right] \sum_{i=1}^n x_i$$

(Eq. 3)

Onde:

S^2 – matriz da variância das amostras N ;

N – amostras de $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$;

\bar{x} – valor médio das amostras

Para a realização da classificação supervisionada, inicialmente foi selecionado áreas de treinamento, no qual foi desenhado polígonos, identificado as seguintes classes:

Vegetação de Mangue (VM): O conjunto de espécies de árvores e arbustos que, embora pertençam a famílias botânicas sem qualquer relação taxonômica entre si, compartilham características fisiológicas similares. Essas espécies possuem adaptações que permitem crescerem em ambientes banhados por águas salobras, com baixa disponibilidade de oxigênio e substrato inconsolidado (ICMbio, 2018).

Corpo Hídrico (CH): Áreas banhadas pela hidrografia local (rios) e o mar (oceano atlântico).

Nuvens (Nv): Regiões na imagem, que pelo formato e assinatura espectral representem nuvens e sua projeção sobre o solo (sombra).

Vegetação de Porte Baixo (VPB): Áreas com arbustos de pequeno porte, além de ervas e gramíneas (pastagem) e brotos.

Vegetação Natural (VN): Áreas com espécies de árvores mais altas, com suas copas mais próximas umas das outras, formando um dossel que controla a quantidade de luz que irá atingir as árvores e as vegetações mais baixas, sendo assim um ambiente mais úmido.

Após a classificação supervisionada, o arquivo foi convertido de raster para vetor, e por último realizou-se o cálculo da área de vegetação de manguezal na RESEX em hectares.

Salienta-se que o método utilizado neste estudo apresenta limitações como: a ocorrência de nuvens nas imagens utilizadas, que por conseguinte ocasiona sombreamento na área estudada influenciando no resultado; mudança de vazão do rio, provocando limitação na delimitação do manguezal; e erros referentes a captação de reflectância que pode ocorrer nesse tipo de análise. Os procedimentos do processamento foram realizados de forma a contornar as adversidades supracitadas.

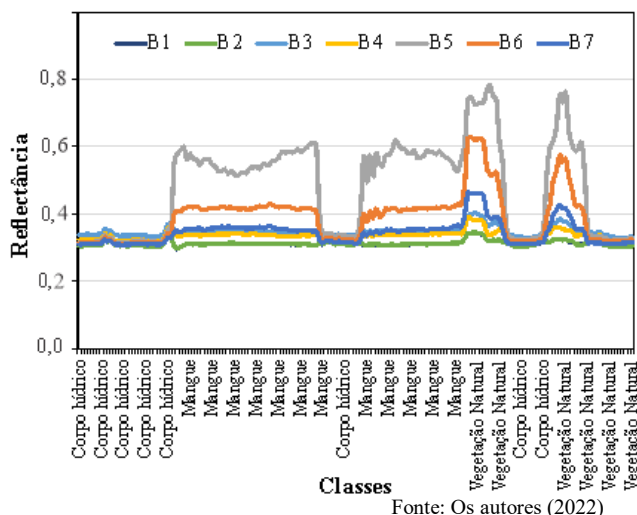
Resultados e discussão

A assinatura espectral das reflectâncias para 7 bandas do landsat 8 datadas de 2 de dezembro de 2019, (por se tratar de um produto com maior resolução radiométrica) está representada pela Figura 4. Levando em consideração a região do Infravermelho Próximo (NIR) com a banda 5 e do Infravermelho Distante (SWIR) com a banda 6, foi evidenciado grande poder reflector das áreas de manguezal nessa faixa de comprimento de onda.

A estrutura, densidade e zonação das espécies são fatores que podem contribuir para boa identificação via técnicas de sensoriamento remoto. Tal ideia é encontrada a partir do trabalho de Silva (2012), que ao analisar a resposta espectral das espécies *R. mangle*, *L. racemosa* e *A. schaueriana* no manguezal do estuário de Pernambuco (BR) encontraram os valores médios de

reflectância na ordem de 0,78 a 0,9. Esses valores são condizentes com aqueles encontrados neste trabalho.

Figura 4. Resposta espectral para 7 bandas do satélite Landsat 8 datadas de 2 de dezembro de 2019.



Essas respostas espectrais a nível de reflectância sendo expressas fortemente pelas bandas 5 e 6 do Landsat 8, podem ser explicadas através das características pedológicas, uma vez que os manguezais estão associados a solos siltosos e argilosos com características hidromórficas (Sousa et al. 2017).

Costa et al. (2018) apontam que a densidade do dossel da vegetação de manguezal em função do retroespalhamento da radiação solar nesse ambiente é influenciada pela arquitetura foliar do bioma, diferenciando-o dos diversos componentes vegetativos das demais espécies circunvizinhas, isso assim, facilita a diferenciação por meio de análise da reflectância.

A Tabela 2 apresenta a validação dos pixels classificados a partir de 5 pontos amostrais médios coletados dentro de cada classe (com 10 repetições por classe). Dessas cinco amostras, a amostra 01 foi coletada dentro da classe CH, a 02 para classe VM, a 03 para classe Nv, a 04 para a classe VPB e a 05 na classe VN.

Os percentuais apresentados na tabela se referem ao quanto os pixels classificados representam em suas respectivas classes, no qual se observa que o percentual de acerto referente aos pixels foi relativamente alto, sendo evidenciado nas cinco classes.

Algumas amostras apresentaram concordância entre 62 e 73,5%, sendo observada mistura de classes na mesma amostra. Isso é justificado por Shanmugam et al. (2006), pois quando são utilizados métodos tradicionais de classificação baseadas em seleção de pixels, existe uma limitação dos sensores em diferenciar assinaturas espectrais muito próximas, e isso está basicamente associada também a resolução espacial (no caso dos satélites usados neste trabalho eram de 30m) e da resolução radiométrica, diferentes para as missões do Landsat 5 (8 bits), e Landsat 8 (16 bits).

A Tabela 3 mostra os percentuais das classes definidas após a classificação supervisionada para cada ano. Em média, ao longo do período em estudo 83,13% da área da RESEX é ocupada pela Vegetação de Manguezal.

Tabela 2. Matriz de confusão

Classes	Pontos amostrais				
	01	02	03	04	05
CH	62,5%	0,2%	4,4%	0,4%	8,5%
VM	5,0%	91,3%	11,1%	4,5%	3,4%
Nv	1,0%	1,7%	68,9%	3,6%	4,3%
VPB	8,5%	3,4%	4,4%	66,1%	10,3%
VN	23,0%	3,5%	11,1%	25,4%	73,5%

Fonte: Os autores (2022)

Tabela 3. Percentual das classes dentro da área de estudo: Vegetação de Manguezal (VM), Corpo Hídrico (CH), Nuvens (Nv), Vegetação de Porte Baixo (VPB) e Vegetação Natural (VN)

Ano	CH	VM	Nv	VPB	VN
1993	85,45%	10,34%	0%	1,59%	2,62%
1996	81,97%	12,35%	0%	1,68%	4,00%
2000	82,46%	13,46%	0%	0,94%	3,14%
2010	82,91%	14,25%	0%	0,92%	1,93%
2021	82,87%	14,79%	0%	0,92%	1,42%
Média	83,13%	13,04%	0,00%	1,21%	2,62%

Fonte: Os autores (2022)

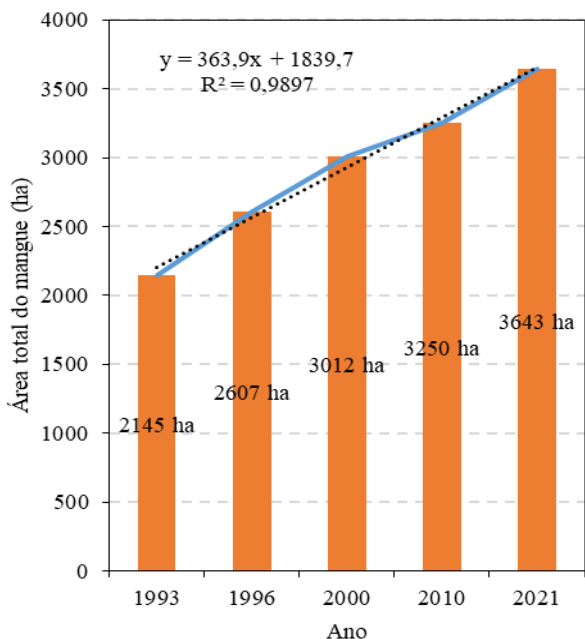
Os percentuais da classe do manguezal apresentaram leve crescimento. As demais, se mantiveram constantes, isso se deve ao fato de que a vegetação de manguezal dentre as estudadas é que menos apresenta variabilidade espacial, pouco susceptível a variação de precipitação e temperatura tal como a vegetação natural ou a vegetação de porte baixo, que por sua vez quando há menor variação do conteúdo de água no solo, respondem menos ao nível de reflectância.

De certa forma, os erros associados ao método de classificação são influenciados pela identificação das seleções dos pixels.

De acordo com as análises utilizadas nesta pesquisa, pode-se observar através da quantificação da vegetação do manguezal na RESEX (Figura 5), um progressivo aumento entre os anos de 1993 (2.141 ha) e 2021 (3.643 ha). Em média esse aumento representou um acréscimo de 104,6 ha ano⁻¹. A regressão linear com alto valor de R² (0,9897) indica que esse crescimento da área de manguezal dentro da RESEX é linear, aumentando a cada ano.

É importante salientar que esse estudo apresenta elementos temporais em função da qualidade (número de imagens bem distribuído ao longo dos meses do ano) e condição climática da região (nebulosidade) e que os resultados se limitam ao método utilizado, servindo de ferramenta importante para avaliação do bioma em estudo.

Figura 5. Área de vegetação de mangue na RESEX Marinha Baía do Iguape, nos anos de 1993 a 2021



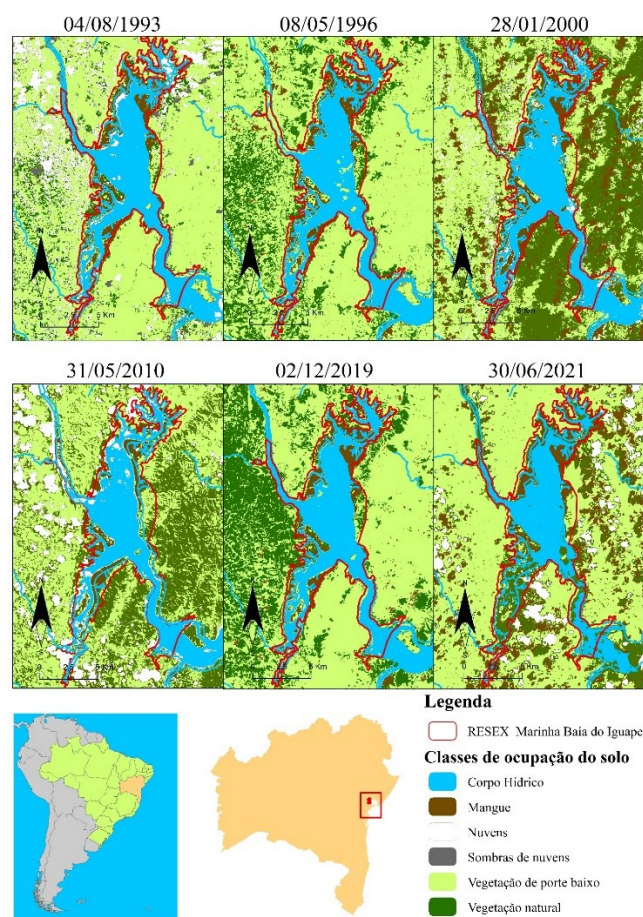
Fonte: Os autores (2022)

A Figura 6 apresenta a classificação supervisionada na RESEX Marinha Baía do Iguape, e nela foram identificadas as classes: vegetação de mangue (VM), corpo hídrico (CH), nuvens (Nv), vegetação de porte baixo (VPB) e vegetação natural (VN) no período de 1993 a 2021.

A área de estudo está delimitada em vermelha, e a vegetação de mangue encontra-se com coloração amarronzada. Conforme apresentado por Florenzano (2011), os ambientes ocupados por mangue possuem algumas características peculiares que facilitam sua identificação, apresentando cor mais escura, formas irregulares, tudo isso, devido à forte influência da água existente nesse bioma.

Diversos autores ao realizar uma análise espaço-temporal encontraram um aumento na área de vegetação de manguezal. Com destaque para o trabalho de Barbosa et al. (2016), que trabalharam no estuário do Rio Pacoti, uma importante Área de Proteção Ambiental (APA) no Ceará. Os autores reportam que a área do estuário cresceu gradualmente entre os anos de 2004 (3,8 km²) e 2015 (4,3 km²), os autores ainda atribuem esse aumento a criação da APA no ano de 2000.

Figura 6. Classificação supervisionada na RESEX Marinha Baía do Iguape – BA, nos anos de 1993 a 2021.



Fonte: Os autores (2022)

Melo et al. (2013) fizeram um estudo de área de manguezal no rio Capibaribe no estado do Pernambuco, situado no Polígono das Secas. Os autores atribuíram as mudanças à expansão urbana, terraplanagem, aterros, corte do mangue, e principalmente a deposição de lixo, despejo de efluentes domésticos/industriais o que havendo de certa forma o desvio do curso do rio. Ainda no estado do Pernambuco, especificamente em área de mangue urbano no estuário do Pina, Silva et al. (2018) observaram que na década de 80 o Índice de Área Foliar (IAF) apresentou redução, especialmente em áreas onde predomina vegetação de mangue. No entanto, no ano de 2011, houve aumento das áreas de manguezal. Os autores atribuem esse aumento a dinâmica de crescimento da vegetação característica.

Mathias e Silva (2019) fizeram um estudo no litoral do estado de Alagoas. Verificaram que em um intervalo de 12 anos, o acréscimo das áreas de mangue foi na ordem de 1,12 km² dada principalmente pelo surgimento de “novas áreas” de mangue. Os autores também fazem atribuição a criação de APAs como fator preponderante para aumento das áreas de manguezal nos municípios de Roteiro, Jequiá da Praia e Piaçabuçu do estado de Alagoas.

Conclusão

Em estudos de sensoriamento remoto recomenda-se realizar análise multiespectral a partir da região do infravermelho para identificação de áreas de manguezal.

O diagnóstico espaço temporal da RESEX nesse estudo indica que há um aumento linear da vegetação de manguezal ao longo dos anos indicando que a manutenção das atividades e práticas de preservação/restauração realizadas atualmente após a criação (anos 2000) da Unidade de Conservação podem contribuir para a manutenção do equilíbrio do bioma.

As técnicas de sensoriamento remoto permitem gerar um diagnóstico espaço temporal da vegetação de mangue da RESEX Marinha Bahia do Iguape, evidenciando a importância de metodologias de baixo custo no diagnóstico e preservação dos biomas brasileiros.

Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

Referências

- ALLEN, R. G. et al. METRIC™ Applications manual v. 2.0.6. University of Idaho, Kimberly, Idaho, USA. 110p. 2010.
- ALONGI, D. M. Climate Regulation by Capturing Carbon in Mangroves. **The Wetland Book**, p. 1-7, 2016. Springer Netherlands. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-6172-8_236-5.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ÁVILA, D. D.; CURBELO, E. A.; MADRIGAL-ROCA, L. J.; PÉREZ-LANYAU, R. D. Variación espacio-temporal de la respuesta espectral en manglares de La Habana, Cuba, a través de sensores remotos. **Revista de Biología Tropical**, v. 68, n. 1, p. 321-335, 3 fev. 2020. Universidad de Costa Rica. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i1.39134>.
- BARBOSA, L. N.; LIMA, V. G. F.; FARIAS, J. F.; DA SILVA, E. V. Evolução Espaço-Temporal da vegetação de mangue no estuário do rio PACOTI/Ceará. **Revista Geonorte**, Edição Especial 5, V.7, N.26, p.144-159, 2016.
- BRASIL. Decreto s/nº de 11 de agosto de 2000. Cria a Reserva Extrativista Marinha da Baía do Iguape, nos Municípios de Maragogipe e Cachoeira, Estado da Bahia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 11 ago. 2000.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 jun. 2000.
- CELIS-HERNANDEZ, O.; VILLOSLADA-PECIÑA, M.; WARD, R. D.; BERGAMO, T.F.; PEREZ-CEBALLOS, R.; GIRÓN-GARCÍA, M. P. Impacts of environmental pollution on mangrove phenology: combining remotely sensed data and generalized additive models. **Science Of the Total Environment**, v. 810, p. 152309, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152309>.
- COSTA, B.; AMARO, V.; FERREIRA, A. Classification of Mangrove Species in the Northeastern of Brazil Based on Hybrid Images of Remote Sensing. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. 40. 135-149, 2018.
- DAN, T. T.; CHEN, C. F.; CHIANG, S. H.; OGAWA, S. Mapping and change analysis in mangrove forest by using landsat I. **ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. -8, p. 109-116, 7 jun. 2016. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-iii-8-109-2016>.
- FLORENZANO, T. G et al. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 123 p.
- ICMbio, Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade. Resex Marinha da Baía do Iguape. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/resex-marinha-da-baia-do-iguape>. Acesso em: 26 dez.2022.
- ICMbio. Atlas dos Manguezais do Brasil / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. – Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176 p. 5-15, 57-65.
- IPCC. Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. Disponível em: https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_Full_Report_small.pdf Acesso em: 09 mar 2022.
- FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, P. S.; MORAIS, Y. C. B.; GOMES, V. P.; FRANÇA, L. M. A.; GALVÍNCIO, J. D. Use of Techniques of Remote Sensing of Temporary Space Change Detection in Areas of Mangrove in Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 1-18, 2013. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20130043>.
- JOHNSON, R. A.; WICHEN, D. W., 1992. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Prentice-Hall Press, London, UK. 314p.
- LIU, W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 908, p.22.
- MAGALHÃES, I. A. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, A. R. Análise comparativa entre técnicas de Sensoriamento Remoto para mensuração da vegetação urbana no município de Alegre, ES. **Revista Cerrados**, v. 15, n. 01, p. 156-177, 17 mar. 2020. Universidade Estadual de Montes Claros (UNIIMONTES). <http://dx.doi.org/10.22238/rc24482692v15n12017p156a177>.

MATIAS, L; SILVA, M. D. Monitoramento e análise da vegetação de manguezal no litoral sul de Alagoas. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, v. 2, n. 3, p. 312-319, 31 jul. 2017. Journal of Environmental Analysis and Progress - JEAP. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1447.312-319>.

MELO, J. G. S.; SILVA, E. R.A. C.; FERNANDES, A; TORRES, M. F. A. Mangrove vegetation structure of the Capibaribe River, Recife - PE: monitoring and conservation. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.3, n.4, p. 81-91. 2013.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, TATI. (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB/CNPQ, 1ª ed, 266 p. 2012.

OLIVEIRA, A. C; RUBATINO, A. C; ALMEIDA, P. M; CRUZ, C. M. Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra no Entorno da Baía de Sepertiba em apoio à Identificação de Pressões sobre os Manguezais. Mares: **Revista de Geografia e Etnociências**, v. 1, n. 2, p. 93-105, 2019.

PEREA-ARDILA, M. A. P; VILLAMIL, J. L; BARRERO, F. O. Caracterización espectral y monitoreo de bosques de manglar con Teledetección en el litoral Pacífico colombiano: bajo baudó, chocó. **La Granja**, v. 34, n. 2, p. 27-44, 27 ago. 2021. Salesian Polytechnic University of Ecuador. <http://dx.doi.org/10.17163/Agr.n34.2021.02>.

REIS NETO, A. S. d. Análise Espaço-temporal da vegetação do Manguezal no Rio Ceará, Ceará, Brasil. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

ROY, S; MAHAPATRA, M; CHAKRABORTY, A. Mapping and monitoring of mangrove along the Odisha coast based on remote sensing and GIS techniques. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 5, n. 1, p. 217-226, 16 out. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-018-0529-7>.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y; SORIANO-SIERRA, E. J; VALE, C. C; BERNINI, E; ROVAL, A. S; PINHEIRO, M. A. A; SCHMIDT, A. J; ALMEIDA, R; COELHO JÚNIOR, C; MENGHINI, R. P. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 2, p. 37-52, 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-875920160919064sp2>.

SHANMUGAM, P; AHN, Y. H; SANJEEVI, S. A comparison of the classification of wetland characteristics by linear spectral mixture modelling and traditional hard classifiers on multispectral remotely sensed imagery in southern India. **Ecological Modelling**, v. 194, n. 4, p. 379-394, abr. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.10.033>.

SILVA, E. D. Evolução espaço-temporal do manguezal do estuário do rio são mateus empregando técnicas de sensoriamento remoto, 2010, tese (mestrado), UFES, Programa de pós-graduação em geografia.

SILVA, E. R. A; ASSIS, D. R. S; SILVA, J. F; MELO, J. G. S; GALVÍNCIO, D et al. Análise espaço-temporal das características do mangue urbano no estuário do Pina (Pernambuco). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**. v.1, n.1. 030-038 ,2018.

SILVA, J. B. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do ecossistema manguezal em Pernambuco, Recife, 2012, 183 f, Tese (doutorado) - UFPE, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia, Recife, 2012.

SOUZA, B. B; MELO, J. D; CORREA, M; MOURA, A. O; SANTOS, F. F; GUIMARÃES, M. C; BARROS NETO, H. M. C. Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento e Quantificação de Áreas de Manguezal no Estado de Sergipe. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 17, n. 57, p. 126-134, 11 mar. 2016. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg175708>.

ZAGATTO, B. P. Eu sou marisqueira, lavradora e quilombola: uma análise do processo de construção da identidade nas comunidades rurais do Guai, Maragogipe, Bahia. 2011. Nº 176. (Dissertação de mestrado- Programa de pós-graduação em antropologia) Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador (BA), 2011.