

Avaliação dos índices espectrais na análise do uso e cobertura da terra do Parque Estadual da Serra da Tiririca, Niterói/RJ

RESUMO

Natalia Batista da Costa

nataliac@id.uff.br

orcid.org/0009-0000-1007-3770

Universidade Federal Fluminense (UFF),
Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

Mateus Costa Corrêa

Mateus.correa@ppe.uff.br

orcid.org/0009-0007-8986-3660

Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,
Brasil.

Paulo Roberto Alves dos Santos

paulo_alves@id.uff.br

orcid.org/0000-0002-5686-9085

Universidade Federal Fluminense (UFF),
Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

A ascensão de diferentes índices, cada um com propósitos específicos e sensibilidades variadas, abriu possibilidades e resultados distintos na avaliação e análise de áreas de estudo onde o monitoramento da cobertura vegetal é de suma importância. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar o desempenho dos índices espectrais NDVI, SAVI e EVI, quanto a sua sensibilidade na identificação de áreas florestadas e não florestais. O índice NDBI, por sua vez, foi utilizado na detecção de áreas construídas, na identificação de regiões urbanizadas e sob pressão antrópica. A área de estudo é o Parque Estadual da Serra da Tiririca, uma Unidade de Conservação da Natureza inserida na Mata Atlântica, no estado do Rio de Janeiro. A metodologia empregada consistiu no tratamento das imagens selecionadas e no mapeamento de forma automática e supervisionada do uso e cobertura da terra, sendo os resultados do mapeamento produzidos validados em campo. A graduação de cada índice para as classes foi adaptada por meio de levantamento bibliográfico e a sua acurácia foi testada de acordo com os pontos verificados em campo, sendo estes reclassificados em 0 para erros e 1 para acertos. Os resultados mostraram que o SAVI apresentou maior acurácia em comparação ao NDVI e ao EVI. Adicionalmente, a combinação dos índices, EVI e NDBI, também representaram boa possibilidade para análise da cobertura vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: Mata Atlântica. Índices Espectrais. Sensoriamento Remoto. Unidade de Conservação.

INTRODUÇÃO

A análise espacial por meio do Sensoriamento Remoto (SR), em conjunto com o Processamento Digital de Imagens (PDI), é de extrema importância para o monitoramento da cobertura vegetal de grandes áreas, especialmente aquelas onde não é possível obter informações em campo, devido às áreas de difícil acesso. Gameiro *et al.* (2016) destacam que o uso de imagens orbitais oferece uma visão sinóptica e multitemporal da superfície, tornando o SR capaz de fornecer informações fundamentais sobre os alvos de forma contínua. Além disso, suas ferramentas e processos ajudam em seu realce e na obtenção de informações espectrais, possibilitando a mensuração de impactos naturais e antrópicos em diferentes escalas.

O mapeamento do uso e cobertura do solo é fundamental para caracterizar os recursos naturais e as ocupações urbanas e rurais (INEA, 2015). Esse processo envolve o monitoramento da cobertura vegetal, o acompanhamento dos recursos naturais e o planejamento territorial, utilizando imagens de satélite obtidas por SR e dados de Índices de Vegetação (IVs). Os IVs desempenham um papel crucial ao traduzir informações sobre a dinâmica natural, combinando parâmetros biofísicos da vegetação com ondas eletromagnéticas.

Para o desenvolvimento de estudos sobre cobertura vegetal, os índices de vegetação são construídos com base na combinação de dados provenientes de diferentes bandas espectrais, como destaca Moreira (2011). O termo “banda espectral” refere-se à região específica do espectro eletromagnético, onde os sensores a bordo dos satélites são projetados para adquirir as imagens (NASA, 2013). As principais bandas utilizadas para estudos de vegetação são a do vermelho (RED) e a do infravermelho próximo (NIR) por apresentarem, respectivamente, baixos valores de reflectância devidos à absorção da radiação eletromagnética pela clorofila e altos valores de reflectância devidos à estrutura interna das folhas (MENESES; ALMEIDA; BAPTISTA, 2019). Através da razão entre essas bandas é possível realçar as suas diferenças espectrais e caracterizar, assim, a sua curva de assinatura espectral.

Partindo da hipótese levantada por Santos, Monteiro e Nascimento (2022) de que os índices espectrais, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI); Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI); e Índice de Vegetação Melhorado (EVI); podem ser eficientes no fornecimento de informações sobre a quantidade e qualidade da cobertura vegetal, através de técnicas que envolvem baixo custo e dados orbitais gratuitos, este estudo também se propõe a analisar a eficiência destes mesmos índices na análise da cobertura vegetal do Parque Estadual da Serra da Tiririca (PESET) e da pressão antrópica em seu entorno.

Ademais, dada a estreiteza do Parque, a ocupação em seus limites aumenta os riscos de sua deterioração e/ou redução da sua cobertura vegetal, conforme observado em Inea (2015) e Rodrigues, Lopes e Lourenço (2019). Nesse sentido, pensou-se na aplicação do índice NDBI, isto é, índice de área construída. Espera-se que com a aplicação deste índice seja possível observar o avanço da antropização limítrofe ao parque, principalmente na região da Zona de Amortecimento (ZA).

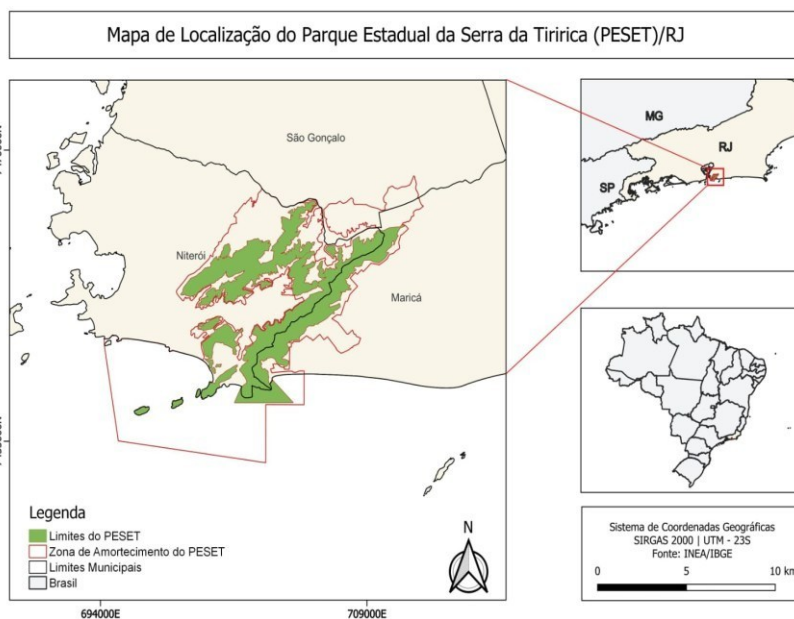
MATERIAIS E MÉTODOS

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Conforme publicação no site do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o mapa de biomas lançado em 2019 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), constatou que o bioma da Mata Atlântica ocupa 1,1 milhões de km² em 17 estados do território brasileiro, estendendo-se por grande parte da costa do país (BRASIL, 2022).

Criado pela Lei Estadual nº 1.901, de 29 de novembro de 1991 e ampliado pelo Decreto Estadual nº 43.913, de 29 de outubro de 2012, o Parque Estadual da Serra da Tiririca é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (UC) composta por 3.493 hectares de Mata Atlântica. Situado na região litorânea do Estado do Rio de Janeiro, seus limites, juntamente com os limites de sua ZA, englobam os municípios de Niterói, Maricá e São Gonçalo, conforme o mapa de localização (Figura 1). É considerada a primeira unidade de conservação criada pela vontade popular no estado, de acordo com o plano de manejo do Parque.

Figura 1 – Mapa de Localização do Parque Estadual da Serra da Tiririca (PESET) – RJ



Fonte: Autoria própria (2025).

Quanto aos remanescentes da cobertura vegetal original do bioma Mata Atlântica, o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, publicado em 2024, mas com os anos de referências de 2022 e 2023, reuniu iniciativas de estimativas da cobertura vegetal nativa: pela iniciativa PRODES Mata Atlântica, foram estimados 27,7% de cobertura de vegetação nativa, referente ao ano de 2022; pelo MapBiomias, foram calculados 24% de cobertura florestal, de forma que se soma todos os fragmentos jovens e maduros acima de meio hectare, independente do seu estado de conservação; já pela lente do Atlas dos Remanescente Florestais, restaram apenas 12,4% da cobertura florestal original do bioma, composta por todos os fragmentos maduros acima de três hectares

com dossel fechado ou sem degradação detectável por imagens de satélite (SOSMA, 2024; INPE, 2024). Nota-se que as particularidades dos parâmetros das estimativas possuem um significativo impacto entre os resultados obtidos.

MATERIAIS E SOFTWARES

Aquisição das Imagens *Sentinel-2* e Dados Vetoriais

As cenas escolhidas para o desenvolvimento deste trabalho foram obtidas gratuitamente no catálogo de imagens do satélite *Sentinel-2L1C* sensor multiespectral MSI, fornecido pela plataforma do programa *Copernicus*, em consulta realizada no mês de novembro de 2022.

Optou-se por duas cenas com uma mínima ocorrência de cobertura de nuvens, cujos dados foram: cena 1 T23KPQ e cena 2 T23KQQ, datadas em 01/08/2022, período seco. Dentre as suas características estão a resolução temporal de 10 dias e a resolução espacial de 10 metros para as bandas do visível e do infravermelho próximo.

Os dados vetoriais dos perímetros municipais e estaduais no formato *shapefile* foram adquiridos a partir da base de dados geográficos do IBGE na parte de Malha Territorial. Já os dados auxiliares vetoriais, como os limites do PESET e sua ZA, foram obtidos diretamente do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), órgão responsável pela gestão do Parque.

O *software* utilizado para realizar todos os procedimentos que serão descritos neste artigo foi o *QGIS*, um Sistema de Informação Geográfica livre e de código aberto, na versão 3.22.16-*Białowieża*. Ainda no *software*, foi utilizada a ferramenta chamada *plugin Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP).

MÉTODOS

Tratamento dos Dados

Antes da elaboração do mapa de uso e cobertura da terra e da aplicação dos índices foi necessário realizar a correção das interferências atmosféricas presentes nas imagens. Essa conversão pode ser feita a partir do complemento SCP, no *QGIS*, o qual converte o Número Digital (ND) dos pixels para Radiância, e, posteriormente, para valores de reflectância. Realizada a conversão da reflectância do topo da superfície (ToA) para valores da base da superfície (BoA), aplicou-se o *DOS1 atmospheric correction*.

O método escolhido para a correção atmosférica foi o *DOS*, *Dark Object Subtraction*, proposto por Chavez (1988). Através do *DOS*, a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos NDs da imagem de satélite, ignorando-se a absorção atmosférica e considerando apenas o seu espalhamento (SANCHES *et al*, 2011). Com as imagens em valores de reflectância convertidos, foi necessário realizar a sua reprojeção, adotando-se um sistema de referência adequado à área de estudo: o Datum do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, SIRGAS2000, projeção cartográfica UTM com fuso 23 sul.

Para a realização do mosaico, ou seja, do recorte da área com os limites do Parque, assim como de sua ZA, foi feito inicialmente o *stack* com as imagens corrigidas e reprojetadas. Com o *stack* realizado, o mosaico pôde ser construído com o processo de mesclagem das imagens.

Uso e Cobertura

A produção do mapa de uso e cobertura da terra se deu por meio do mosaico realizado anteriormente, que serviu como base para o mapa. Um recorte do mosaico foi feito, delimitando a Zona de Amortecimento do PESET e, posteriormente, os limites do mesmo. Em um primeiro momento, a composição do uso e cobertura foi automática e supervisionada, o SCP foi empregado para a classificação cujo algoritmo escolhido foi o de Máxima Probabilidade (*MaxLike*). As classes escolhidas para a composição foram: possível mineração; vegetação densa; área urbana; campos; areia; corpos hídricos; afloramento rochoso; solo exposto.

A última etapa realizada foi a vetorização dos dados de uso e cobertura gerados pela classificação automática, que estão em formato *raster*. Após a vetorização, os polígonos cujas feições apresentaram um valor de classe fora do padrão/range, estabelecido pelo processo de classificação supervisionada, foram selecionados e, por meio da modificação do valor do pixel que representa cada classe de uso e cobertura, corrigidos. A escala escolhida para a composição do uso e cobertura e edição pós vetorização foi de 1:15000.

Validação dos Dados do Uso e Cobertura

Foi criado um *shapefile* original contendo aproximadamente 56 pontos escolhidos no mapa de uso e cobertura da terra, de forma que fossem representativos das várias classes mapeadas. A tabela 1 apresenta a distribuição desses pontos, com suas respectivas coordenadas geográficas, associadas a cada classe de uso e cobertura considerada no estudo. Os pontos de ação antrópica do entorno do Parque foram os únicos acessíveis para checagem visual em campo. Já os outros pontos, de difícil acesso, foram conferidos com o auxílio da gestão do Parque, através do mapa de uso e cobertura e do *Google Earth*, para confirmar a classificação.

Tabela 1 – Pontos selecionados para verificação em campo

Pontos	Veg. Densa	Veg. Esparsa	Área Urbana	Pressão Antrópica	Solo Exposto	Corpo Hídrico
1	43°00'05"W; 22°57'00"S	42°57'00"W; 22°54'10"S	42°58'34"W; 22°54'39"S	43°02'26"W; 22°55'48"S	42°58'29"W; 22°57'16"S	42°59'04"W; 22°55'26"S
2	43°01'49"W; 22°54'18"S	42°58'34"W; 22°55'15"S	42°58'49"W; 22°54'52"S	43°02'56"W; 22°55'13"S	43°01'50"W; 22°55'24"S	42°59'51"W; 22°54'52"S
3	42°57'57"W;2 2°53'36"S	42°59'09"W; 22°55'26"S	43°00'19"W; 22°56'28"S	43°02'57"W; 22°55'53"S	43°00'39"W; 22°54'34"S	43°00'18"W; 22°57'25"S
4	42°57'21"W; 22°54'43"S	43°01'58"W; 22°54'54"S	43°00'18"W; 22°57'55"S	43°02'41"W; 22°56'38"S	42°59'41"W; 22°54'50"S	43°02'12"W; 22°57'12" S
5	42°58'32"W; 22°55'45"S	43°02'28"W; 22°55'41"S	43°01'57"W; 22°57'57"S	43°00'35"W; 22°57'55"S	42°59'28"W; 22°54'41"S	43°02'34"W; 22°57'37"S
6	43°03'09"W; 22°55'36"S	43°00'16"W; 22°54'42"S	43°02'32"W; 22°58'18"S	43°01'23"W; 22°57'16"S	42°59'02"W; 22°55'19"S	42°59'42"W; 22°55'28"S
7	43°02'17"W; 22°58'15"S	42°59'47"W; 22°55'28"S	43°00'05"W; 22°55'50"S	43°02'51"W; 22°56'12"S	42°56'49"W; 22°54'50"S	----
8	43°03'00"W; 22°58'46"S	42°57'34"W; 22°54'27"S	42°59'46"W; 22°55'31"S	43°02'13"W; 22°56'09"S	43°03'00"W; 22°57'32"S	----
9	43°00'58"W; 22°57'26"S	42°57'07"W; 22°54'49"S	43°00'14"W; 22°54'52"S	43°01'05"W; 22°56'50"S	43°02'35"W; 22°56'58"S	----
10	43°00'20"W;2 2°54'13"S	43°03'01"W; 22°57'22"S	43°02'26"W; 22°54'59"S	43°00'40"W; 22°55'10"S	43°02'41"W; 22°54'56"S	----

Fonte: Autoria própria (2025).

Aplicação dos Índices

Esta etapa resume-se em gerar os índices propostos a fim de verificar sua acurácia de acordo com os pontos selecionados verificados em campo e o mapa de uso e cobertura do solo. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) se baseia na diferença da resposta espectral da vegetação quanto aos comprimentos correspondentes ao Vermelho (RED, 650 µm) e ao Infravermelho Próximo (NIR, 760-900 µm). A primeira com domínio da absorção e a segunda da reflexão. Calcula-se o NDVI, por meio da Equação 1, de acordo com Rouse *et al.* (1973):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Os valores computados variam de -1 a +1. O NDVI tende a ser linearmente mais proporcional à biomassa e é mais apropriado quando se pretende fazer comparações ao longo do tempo de uma mesma área, pois é esperado que seja menos influenciado pelas variações das condições atmosféricas.

Desenvolvido por Huete (1988), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é uma derivação do NVDI que apresenta uma maior sensibilidade aos efeitos do solo nas respostas espectrais da vegetação. Huete (1988) sugeriu um fator de correção (L) para melhor representação da influência do solo com os seguintes valores em relação à cobertura vegetal: muito baixa (1,0), intermediária (0,5), e densidades de vegetação alta (0,25). Sua formulação é aplicada da seguinte forma pela Equação 2, em que L é a variável de ajuste do solo.

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})) * (1 + L) \quad (2)$$

Segundo Jensen (2008) o Índice de Vegetação Melhorado (EVI) é considerado um NDVI modificado, contendo um fator de ajuste para solos (L), e dois coeficientes (C1 e C2), que descrevem o uso da banda azul para a correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis, diferentemente do NDVI e do SAVI ele não é normalizado. Huete *et al.* (2002) explicam que a redução da influência do substrato do dossel e dos agentes atmosféricos permite uma melhor detecção das respostas espectrais da vegetação aumentando a sensibilidade para regiões de altas biomassas.

A Equação 3 descreve o cálculo do EVI, em que: *RED* = banda do vermelho, *NIR* = banda do infravermelho próximo, *BLUE* = banda do azul. Com os coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera C1 e C2. No caso do C1 para a banda do vermelho, utilizando-se do valor 6; C2 para a banda do azul, sendo comumente utilizado o valor de 7,5; O fator L de correção para a interferência do solo, adotou-se o mesmo valor 0,5 utilizado no SAVI. G é o fator de ganho, geralmente adotando-se valor de 2,5 (SANTOS; MOREIRA; NASCIMENTO, 2022, p. 215).

$$\text{EVI} = 2,5 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + (\text{C1} * \text{RED}) - (\text{C2} * \text{BLUE}) + L)) \quad (3)$$

O Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas (NDBI) é um método eficiente que distingue o solo exposto e a área construída, facilitando a classificação de padrões urbanos. São utilizadas as bandas do Infravermelho Próximo (NIR, 760 – 900 µm) e do Infravermelho Médio (MIR, 1,55 – 1,75 µm). O mesmo é calculado por Zha, Gao e Ni (2003) e sua equação é expressa da seguinte forma pela Equação 4.

$$\text{NDBI} = (\text{NIR} - \text{MIR}) / (\text{NIR} + \text{MIR}) \quad (4)$$

Validação dos Índices (Estatística Kappa)

O Índice Kappa, proposto por Cohen (1960), é um coeficiente comumente utilizado para avaliar a concordância entre dois ou mais observadores em uma classificação ou categorização de dados. Ele varia de -1 a 1, onde quanto mais próximo do valor 1, maior será a concordância entre os mapas comparados. Dessa forma, o valor -1 indica uma discordância completa entre os observadores, enquanto o valor 0 indica uma concordância esperada por acaso e o valor 1 indica uma concordância perfeita. Tal índice foi empregado no estudo por meio do cálculo de acertos e erros de cada índice em relação a pontos retirados aleatoriamente de cada classe.

A classificação dos pontos como acertos e erros foi realizada de acordo com o valor de cada índice e a classe de uso e cobertura correspondente. A graduação de cada índice para as classes de uso e cobertura da terra foi adaptada por meio de levantamento bibliográfico e, em seguida, os valores dos pontos retirados aleatoriamente foram reclassificados em 0 para erros e 1 para acertos, a fim de tornar mais prático o cálculo de percentual de acertos gerais de cada índice.

A partir do cálculo de percentual de acertos de cada índice, se obterá a maior efetividade geral entre os índices, bem como quais foram mais efetivas para

classes específicas, como vegetação densa e áreas urbanas, por exemplo. A Tabela 2 exibe os intervalos dos valores do índice EVI para as classes de uso e cobertura.

Tabela 2 – Classificação dos valores EVI para cada classe de uso e cobertura da terra

EVI	Intervalo
Vegetação densa	0,39 - 1,0
Vegetação esparsa	0,3 - 0,39
Área urbana	0,16 - 0,22
Corpo hídrico	-0,1 - 0,9
Solo exposto	0,1 - 0,15
Pressão antrópica	0,16 - 0,22

Fonte: Autoria própria (2025).

Os intervalos de valores de EVI para as classes de uso e cobertura foram adaptados de estudos de monitoramento do índice em pelo menos 1 ano. As classes florestais foram adaptadas de Santana *et al.* (2016) e são valores referentes à Mata Atlântica. Já as demais classes foram adaptadas de Mengue *et al.* (2019), cujo monitoramento foi realizado sobre o bioma Pampa, contudo, apenas os valores das classes não florestais foram adaptados. Quanto ao índice SAVI, a Tabela 3 exibe os seguintes intervalos de valores.

Tabela 3 – Classificação dos valores SAVI para cada classe de uso e cobertura da terra

SAVI	Intervalo
Vegetação densa	0,37 - 1,0
Vegetação esparsa	0,32 - 0,37
Área urbana	0,1 - 0,3
Corpo hídrico	-1,0 - 0,9
Solo exposto	0,1 - 0,3
Pressão antrópica	0,1 - 0,3

Fonte: Autoria própria (2025).

De acordo com Paz *et al.* (2023), o intervalo de valores do SAVI encontrado para as classes referentes às ruas, áreas degradadas, solo exposto e mesmo represas foi adaptado para as classes deste estudo de solo exposto, áreas urbanas e pressão antrópica, além disso, o intervalo das classes florestais foram adaptados do mesmo estudo, que compreende uma área de estudo de transição entre Mata Atlântica e Caatinga.

Em paralelo, o índice NDBI obteve seus intervalos adaptados de forma binária, de acordo com Madrid Filho (2021), que também aponta a indiscriminação do índice entre as áreas urbanas, solo exposto e areia. Os intervalos podem ser conferidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos valores NDBI para cada classe de uso e cobertura da terra

NDBI	Intervalo
Vegetação densa	
Vegetação esparsa	-0,1 - (-0,1)
Corpo hídrico	
Área urbana	
Solo exposto	-0,1 - 1,0
Pressão antrópica	

Fonte: Autoria própria (2025).

Ademais, os intervalos de valores do NDVI para as classes de vegetação densa, vegetação esparsa, solo exposto e corpo hídrico foram adaptados de estudos envolvendo os municípios de Macaé, Rio das Ostras e Casimiro de Abreu, pelos autores Eduardo e Silva (2013), assim como o estudo dos autores Penha e Farias (2016) que adaptaram os mesmos valores para o município de Teresópolis nos anos de 2007 e 2011. Os valores das classes da área urbana e, paralelamente, da pressão antrópica não foram adaptadas dos estudos mencionados anteriormente. Os intervalos mencionados podem ser conferidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação dos valores NDVI para cada classe de uso e cobertura da terra

NDVI	Intervalo
Vegetação densa	0,5 - 1,0
Vegetação esparsa	0,2 - 0,5
Área urbana	0,1 - 0,3
Corpo hídrico	-1,0 - 0,0
Solo exposto	0,1 - 0,2
Pressão antrópica	0,1 - 0,3

Fonte: Autoria própria (2025).

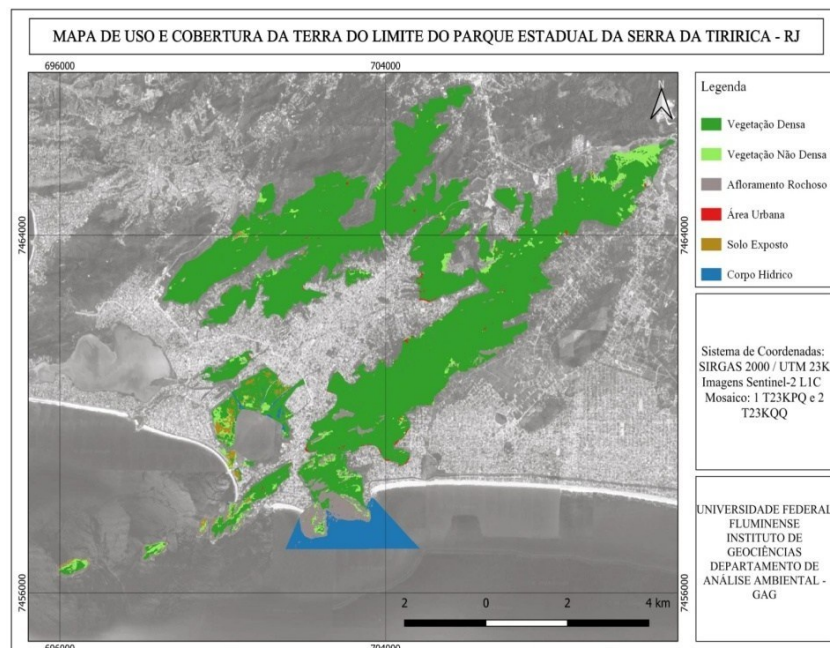
RESULTADOS E DISCUSSÃO

AVALIAÇÃO DOS MAPAS DE USO E COBERTURA

Para a avaliação da cobertura vegetal dos limites do PESET e de sua ZA foram elaborados dois mapas das áreas de estudo, cada um desses mapas mediante a uma classificação automática e supervisionada e a uma edição. Para o primeiro mapa dos limites do Parque (Figura 2) foram definidas 6 classes temáticas nomeadas como vegetação densa, vegetação não densa (esparsa), afloramento rochoso, área urbana, solo exposto e corpo hídrico.

Todas as classes foram representadas no mapa em maior ou menor proporção. Alguns dos erros mais significativos encontrados após a classificação automática foi o reconhecimento de areia ao invés de água na Lagoa de Itaipu, bem como a confusão entre áreas urbanas e possíveis locais de mineração em extensas áreas da Zona de Amortecimento.

Figura 2 – Mapa de Uso e Cobertura da terra do limite do Parque Estadual da Serra da Tiririca – RJ



Fonte: Autoria própria (2025).

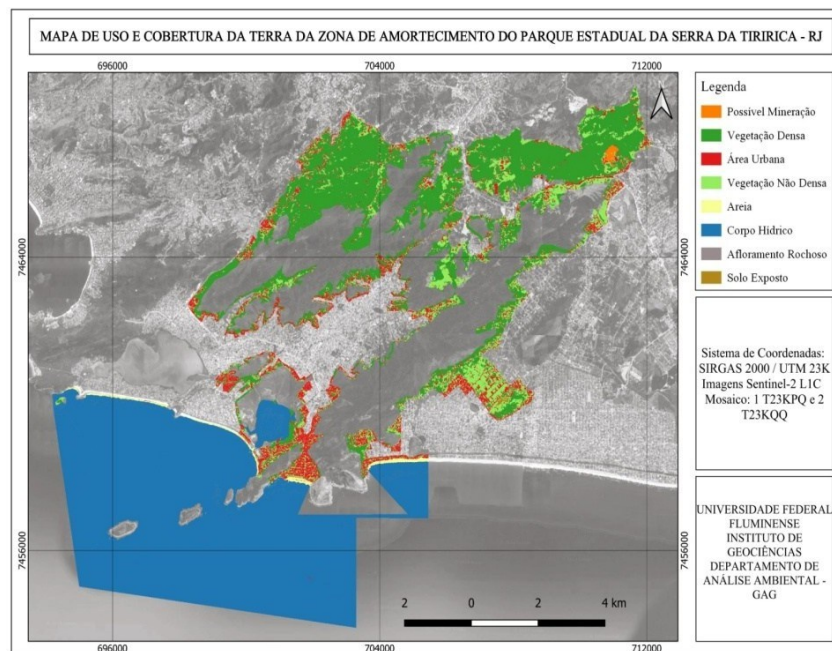
Por outro lado, a distinção entre as vegetações densas e vegetações não densas (esparsas) ou campos apresentou resultados muito satisfatórios. Além disso, as áreas urbanas que não foram confundidas com possíveis locais de mineração demonstraram uma exatidão acima da média, que pôde ser atestada comparando o mapa com imagens de satélite de resoluções espaciais menores.

No mapa da Figura 3 é possível observar a distribuição espacial de cada uma das classes propostas, destacando 3 classes com maior ocupação. A vegetação densa apresentou 79,2%, seguido do corpo hídrico com 5,1% e por último a vegetação esparsa com 4,9%. Para o mapa da Zona de Amortecimento (Figura 3) foram selecionadas 8 classes nomeadas como possível mineração, vegetação densa, área urbana, vegetação não densa (esparsa), areia, corpo hídrico, afloramento rochoso e solo exposto.

Nesse segundo caso é possível observar a distribuição espacial de cada uma das classes propostas, destacando 4 classes com maiores ocupações. O corpo hídrico apresentou 73,8%, seguido da vegetação densa com 26,1%, vegetação esparsa com 9,9% e por último a área urbana com 9,0%.

Quanto às outras classes, estas foram checadas junto a um funcionário do PESET. O trabalho de campo permitiu a visualização dos efeitos da ação antrópica, como residências e condomínios irregulares na borda e nos limites do Parque, confirmando o adensamento urbano existente.

Figura 3 – Mapa de Uso e Cobertura da terra da zona de amortecimento do Parque Estadual da Serra da Tiririca – RJ



Fonte: Autoria própria (2025).

Estudos abrangendo outras UCs na Mata Atlântica também revelaram diferentes níveis de pressão antrópica. As pesquisas conduzidas por Iwama, Lima e Pellin (2014) no Parque Estadual da Pedra Branca, no município do Rio de Janeiro, e por Welerson *et al.* (2021) no Parque Nacional da Serra da Bocaina, em Paraty/RJ, constataram um crescimento difuso na ocupação humana em direção aos parques, muitas vezes em desacordo com o Plano Diretor das municipalidades, diminuindo a cobertura vegetal nativa.

AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ÍNDICE KAPPA

Os valores médios no índice NDVI nas classes de vegetação densa condizem com Eduardo e Silva (2013) e Penha e Farias (2016), que encontraram valores médios de 0,5 a 1 para a Mata Atlântica, nos municípios de Macaé, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu e Teresópolis. No entanto, a precisão dos intervalos para outras classes, como vegetação esparsa, área urbana, solo exposto e corpo d'água, não foram tão consistentes. Apenas 12 dos 25 pontos validados foram classificados corretamente (Tabela 6).

De acordo com a Tabela 7, verifica-se que o SAVI foi o índice que gerou o maior número de acertos para todas as classes, apresentando uma boa separação entre pressão antrópica, solo exposto e área urbana.

Tabela 6 – Comparação entre classe e valor de NDVI, com valores tabulados usados como referência

Classe	Mapa de Uso (pontos)	NDVI (faixa)	Classificação
Veg. Densa	26	0,83	1
	27	0,8	1
	28	0,8	1
	29	0,82	1
	30	0,8	1
Veg. Não Densa (esparsa)	47	0,62	1
	48	0,77	0
	51	0,56	1
	54	0,67	0
	56	0,75	0
Área Urbana	13	0,82	0
	16	0,73	0
	17	0,44	0
	19	0,17	1
	20	0,43	0
Corpo Hídrico	41	0,41	0
	43	0,75	0
	45	0,01	1
Solo Exposto	31	0,2	1
	36	0,51	0
Pressão Antrópica	1	0,47	0
	2	0,28	1
	3	0,49	0
	4	0,3	1
	7	0,56	0
TOTAL acerto/erro (em %)			48%

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 7 – Comparação entre classe e valor de SAVI, com valores tabulados usados como referência (continua)

Classe	Mapa de Uso (pontos)	SAVI (faixa)	Classificação
Veg. Densa	26	0,42	1
	27	0,36	0
	28	0,39	1
	29	0,34	0
	30	0,38	1

Tabela 7 – Comparação entre classe e valor de SAVI, com valores tabulados usados como referência (continuação)

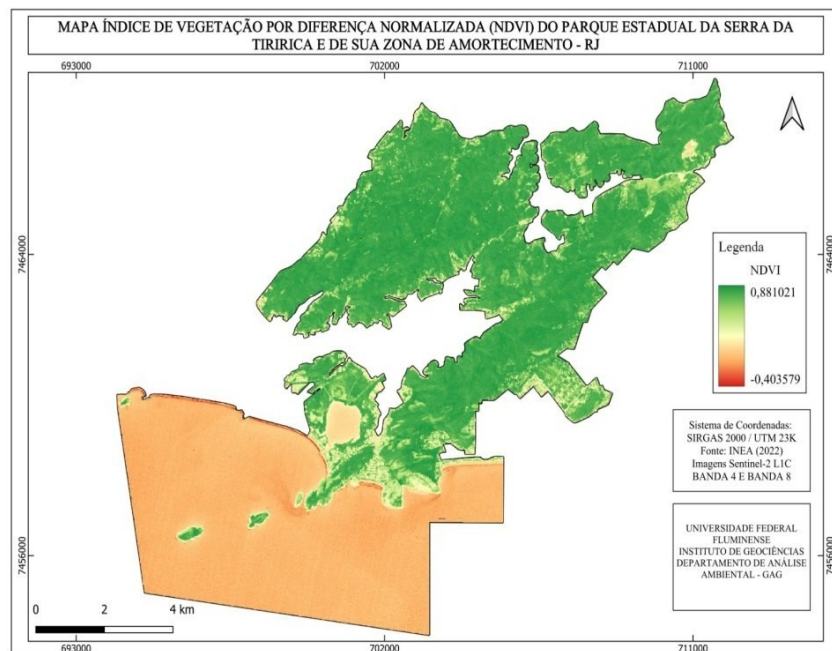
Classe	Mapa de Uso (pontos)	SAVI (faixa)	Classificação
Veg. Não Densa (esparsa)	47	0,33	1
	48	0,47	0
	51	0,32	1
	54	0,45	0
	56	0,41	0
Área Urbana	13	0,29	1
	16	0,39	0
	17	0,23	1
	19	0,1	1
	20	0,26	1
Corpo Hídrico	41	0,09	1
	43	0,33	0
	45	0,01	1
Solo Exposto	31	0,13	1
	36	0,28	1
Pressão Antrópica	1	0,17	1
	2	0,17	1
	3	0,27	1
	4	0,15	1
	7	0,15	1
TOTAL acerto/erro (em %)			72%

Fonte: Autoria própria (2025).

Nas figuras 4 e 5 são apresentados os mapas das imagens processadas utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Os maiores valores de NDVI, compreendidos no intervalo de 0,66 a 0,88, estão relacionados às áreas de vegetação com maior vigor, representados pelas áreas de vegetação mais densa. Os valores positivos próximos a 0 indicam uma reflectância semelhante na região do visível e do infravermelho, comportamento espectral esperado para áreas de solo exposto e a área urbana. Quanto aos negativos, estes representam uma maior reflectância do visível, sendo observado comumente no comportamento espectral dos corpos hídricos.

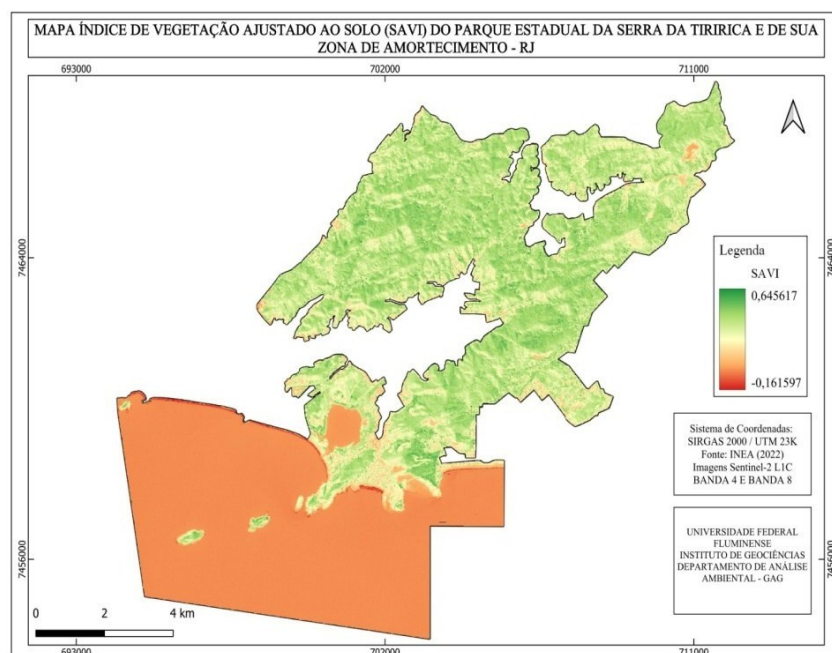
É importante ressaltar que em uma região de clima tropical tais valores podem ser afetados por uma variedade de fatores sazonais, incluindo a disponibilidade de água, os padrões de chuva e os tipos de vegetação presentes na área. Em relação ao mês de agosto, que muitas vezes marca o fim do verão ou o início da transição para o outono em muitas regiões tropicais, essas condições sazonais podem desempenhar um papel significativo na determinação do estado da vegetação.

Figura 4 – Mapa NDVI do Parque Estadual da Serra da Tiririca e de sua Zona de Amortecimento – RJ



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 5 – Mapa SAVI do Parque Estadual da Serra da Tiririca e de sua Zona de Amortecimento – RJ



Fonte: Autoria própria (2025).

Seguindo o mesmo padrão de agrupamento do NDVI, o SAVI alcançou valores entre -0,16 e 0,64 (Figura 5). Os resultados apresentaram maior presença na distinção das classes de vegetação e solo exposto, isto porque está associado à constante "L" que diminui a influência da resposta espectral do solo no cálculo do SAVI, buscando corrigir a interferência na reflectância do solo sob as plantas. A constante "L" (aqui usada 0,5) foi de grande influência no cálculo, apresentando

uma significativa mudança dos resultados do NDVI para o SAVI não só nas classes de vegetação e solo exposto, como sendo nítido também nas classes de área urbana e pressão antrópica.

A classificação dos pontos de classes de uso e cobertura pelo índice EVI, embora não rendendo tão bem na classe de vegetação não densa quanto na vegetação densa, conseguiu uma melhor sensibilidade em classes não florestais como corpos hídricos, área urbana e pressão antrópica em relação ao NDVI, o que lhe garantiu um maior percentual de acertos, como observado na Tabela 8. A distinção entre as classes obtidas pelo SAVI foi superior à do EVI. No entanto, o EVI se mostrou eficiente para distinção de vegetação densa, o qual tem sido recomendado para regiões com biomassa elevada (NUNES; DRESCHER; TYSZKA, 2016; DANIELICHEN *et al.*, 2016).

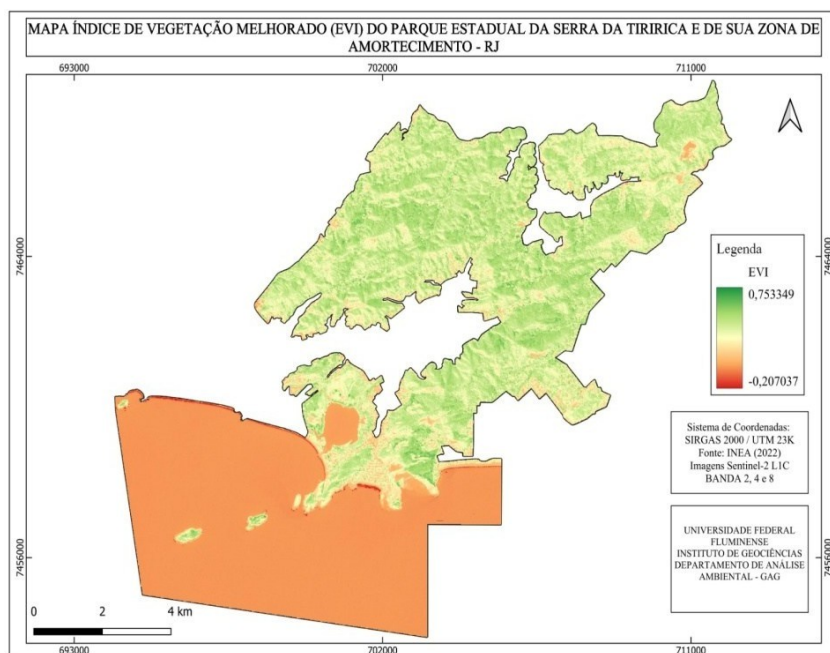
Tabela 8 – Comparação entre classe e valor de EVI, com valores tabulados usados como referência

Classe	Mapa de Uso (pontos)	EVI (faixa)	Classificação
Veg. Densa	26	0,51	1
	27	0,37	0
	28	0,4	1
	29	0,39	1
	30	0,39	1
Veg. Não Densa (esparsa)	47	0,34	1
	48	0,51	0
	51	0,33	1
	54	0,47	0
	56	0,43	0
Área Urbana	13	0,5	0
	16	0,38	0
	17	0,21	1
	19	0,11	0
	20	0,18	1
Corpo Hídrico	41	0,08	1
	43	0,33	0
	45	0,01	1
Solo Exposto	31	0,11	1
	36	0,27	0
Pressão Antrópica	1	0,19	1
	2	0,16	1
	3	0,26	0
	4	0,22	1
	7	0,14	0
TOTAL acerto/erro (em %)			56%

Fonte: Autoria própria (2025).

Ademais, a classificação do EVI não conseguiu superar o índice SAVI, o qual apresentou o melhor rendimento na taxa de acertos para todas as classes florestais e não florestais. É possível que a baixa taxa de acerto para a classe de vegetação não densa tenha se dado pela presença de solo exposto e afloramentos rochosos junto às gramíneas, prejudicando a classificação. A figura 6 confirma a sensibilidade do EVI em identificar diferentes graus de cobertura vegetal, embora apresente dificuldade para diferenciar vegetação não densa de solo exposto.

Figura 6 – Mapa EVI do Parque Estadual da Serra da Tiririca e de sua Zona de Amortecimento – RJ



Fonte: Autoria própria (2025).

O NDBI foi o único índice em que todos os estágios diferiram significativamente entre si, pois apresentaram uma taxa de acertos de 70%. Os dados podem ser observados na Tabela 9, que apresenta a comparação entre as classes de uso e os valores do índice, indicando a faixa de NDBI associada a cada classe e o desempenho na classificação. Contudo, é importante pontuar que o NDBI é, usualmente, retratado de forma que a classificação dos alvos se dá em uma dualidade, devido à menor sensibilidade do índice em diferenciar classes de uso como vegetação densa daquelas de vegetação não densa e corpos hídricos de áreas urbanas.

Esta dificuldade também é ressaltada por Madrid Filho (2021), que evidencia a falta de sensibilidade do índice na diferenciação de solos expostos das áreas urbanas e também coberturas arenosas, como dunas e praias. Além disso, o autor utiliza um limite de -0,1 para cima como os valores aceitáveis para uma classificação abrangente que envolva as classes mencionadas, este limite também foi adotado para o estudo.

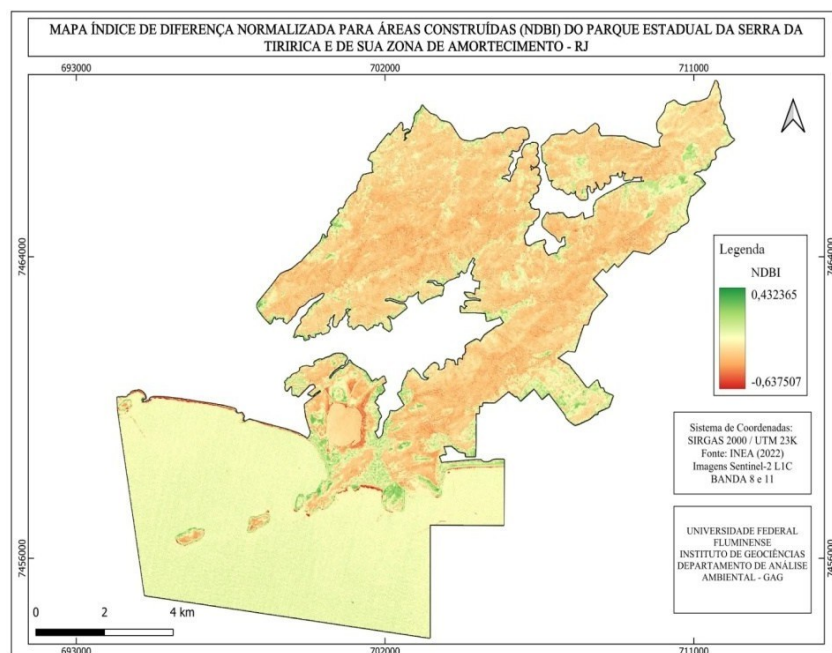
Tabela 9 – Comparação entre classe e valor de NDBI, com valores tabulados usados como referência

Classe	Mapa de Uso (pontos)	NDBI (faixa)	Classificação
Área Urbana	13	–0,29	0
	16	–0,17	0
	17	–0,21	0
	19	0,129	1
	20	–0,12	1
Pressão Antrópica	1	0,024	1
	2	0,017	1
	3	–0,06	1
	4	0,08	1
	7	0,018	1
TOTAL acerto/erro (em %)			70%

Fonte: Autoria própria (2025).

Dessa forma, apenas os pontos referentes às classes de uso e cobertura relacionadas a áreas urbanas foram consideradas na avaliação deste índice. Portanto, a comparação entre as taxas de acerto com outros índices é possível, mas deve-se levar em consideração esta limitação que a sensibilidade do índice impõe (ZHA; GAO; NI, 2003). A Figura 7 ilustra o comportamento do índice NDBI, evidenciando as áreas com maior concentração de alvos construídos.

Figura 7 – Mapa NDBI do Parque Estadual da Serra da Tiririca e de sua Zona de Amortecimento – RJ



Fonte: Autoria própria (2025).

É importante salientar também que as classes pressão antrópica e área urbana possuem a mesma resposta espectral, visto que os alvos são os mesmos,

a diferença entre elas é o posicionamento dos alvos que, caso estejam dentro dos limites do Parque, são classificados como área urbana e, caso estejam localizados na ZA, são denominados como pressão antrópica.

CONCLUSÃO

A importância do monitoramento e mapeamento da vegetação, no contexto da Mata Atlântica e sua preservação, são cruciais e sua execução reflete os esforços para a conservação de suas espécies e da qualidade ambiental do meio no qual está inserida. Os índices de vegetação, por sua vez, possuem um papel relevante neste cenário como ferramentas para auxiliar a identificação dos diferentes usos e coberturas, em especial, as diferentes nuances da vegetação, seja em relação a sua saúde, densidade ou classificação.

O presente estudo evidenciou como o sensoriamento remoto, aliado ao uso de índices espectrais, pode ser eficiente no monitoramento e mapeamento da cobertura vegetal. A metodologia aplicada envolveu desde a correção atmosférica das imagens *Sentinel-2*, com o uso do método *Dark Object Subtraction* (CHAVEZ, 1988), até a classificação supervisionada com o algoritmo de Máxima Verossimilhança (*MaxLike*) no *QGIS*, resultando em mapas temáticos para os limites do parque e sua zona de amortecimento. A comparação dos valores dos índices com as classes foi baseada em diferentes estudos de referência.

Os resultados obtidos indicam que o SAVI apresentou maior acurácia (72%) em relação ao NDVI e ao EVI. Isso se deve à tendência do NDVI de gerar valores exagerados, o que pode comprometer decisões em regiões onde a cobertura vegetal é fragmentada ou sofre pressões antrópicas constantes, como é o caso da Mata Atlântica. Sua tendência a superestimar a vegetação densa — com valores médios acima de 0,7 mesmo em áreas com pressão antrópica ou vegetação esparsa — dificultou a separação de algumas classes. Já o SAVI e o EVI suavizam essas distorções, pois são índices mais recentes e incorporam variáveis adicionais, ao contrário do NDVI, que utiliza apenas as bandas do vermelho e infravermelho.

Quanto à diferença de precisão entre EVI e SAVI, destaca-se a sensibilidade do SAVI à influência do solo, evidenciada pela maior taxa de erros do EVI em classes não florestais, como áreas antropizadas e solo exposto. Isso evidencia uma limitação importante: sua baixa sensibilidade a superfícies com baixa densidade vegetal, como pastagens degradadas ou solos expostos. Embora a sensibilidade do SAVI seja vantajosa para estas classes, uma abordagem multiespectral e combinada com o uso de índices como EVI e NDBI também é válida. A presença de poucos corpos hídricos na área de estudo pode suscitar estudos futuros que analisem a sensibilidade dos índices ou os comparem com outros específicos para observar o comportamento espectral da água.

Além dos resultados numéricos, a análise dos mapas finais permitiu identificar que a vegetação densa ainda ocupa uma porção preponderante dentro dos limites do PESET, com 79,2% da área, enquanto dá sinais de fragmentação na Zona de Amortecimento, onde a ocupação urbana alcança 9% e a vegetação esparsa soma 9,9%.

Por fim, a resolução espacial dos pixels das imagens adquiridas limita a obtenção de resultados mais precisos na identificação de classes que possuam

áreas menores que 30 metros. Uma limitação assim impede a obtenção de resultados que poderiam alterar a exatidão dos índices, como a melhor definição da presença de elementos da área urbana, construções residenciais, por exemplo, na área do Parque.

Evaluation of the NDVI, SAVI, EVI, and NDBI indices in the analysis of land use and cover in the Parque Estadual Serra da Tiririca, Niterói, Rio de Janeiro, Brazil

ABSTRACT

Different vegetation indices, each designed for specific purposes and exhibiting varied sensitivities, have introduced new possibilities and distinct results in the evaluation and analysis of areas where monitoring vegetation cover is crucial. This study analyzes the performance of several spectral indices (NDVI, SAVI and EVI) and their sensitivity in identifying forested and non-forested areas in Parque Estadual da Serra da Tiririca, a protected conservation unit located within the Atlantic Forest in Niterói and other cities in the state of Rio de Janeiro, Brazil. The NDBI index, in turn, was used to detect built-up areas and to identify urbanized regions under anthropogenic pressure. The methodology involved processing selected images, followed by automated and supervised mapping of land use and cover, with field validation of the mapping results. The grading of each index applied to the land use and cover classes was based on a literature review, and its accuracy was evaluated using points verified during a field trip, which were classified as 0 for errors and 1 for correct identifications. The results indicated that SAVI provided better accuracy compared to NDVI and EVI. Additionally, the combination of the EVI and NDBI indices represents a good alternative for analyzing vegetation cover.

KEYWORDS: Atlantic Forest. Spectral Indices. Remote Sensing. Protected Area.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Mata Atlântica**. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/ecossistemas/biomas/mata-atlantica>. Acesso em: 10 jul. 2024.

CHAVEZ, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p.459-479, abr. 1988. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3).

COHEN, J. Coefficient of agreement for nominal scales. **Journal of Educational and Measurement**, v. 20, n. 1, p.37-46, 1960. DOI: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>.

COPERNICUS. Copernicus Data Space Ecosystem. Disponível em: <https://dataspace.copernicus.eu/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

DANELICHEN, V. H. M.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; VELASQUE, M. C. S.; SILVA, B. B.; NOGUEIRA, J. S. Uso do Sensoriamento Remoto na Estimativa do Índice de Área Foliar em Floresta Tropical. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 3, p.1352-1360, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X19917>.

EDUARDO, B. F. S.; SILVA, A. J. F. M. Avaliação da influência da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação NDVI em imagens Landsat 5 e RapidEye. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., Foz do Iguaçu. **Anais [...]**, Foz do Iguaçu: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. p. 1442-1449. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.33.54/doc/p0525.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2024.

GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C. P. B.; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M. F. L.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terrae**, v. 13, n. 1-2, p.15-22, 2016. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/terrae/V13/PDFv13/TE067-2.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2023.

HUETE, A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, ago. 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS

vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p.195-213, nov. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). **Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra da Tiririca - PESET**. Rio de Janeiro: INEA, 2015. Disponível em: <https://urbanismo.niteroi.rj.gov.br/anexos/legislacoes/Meio%20Ambiente/Plano%20de%20Manejo%20-%20Serra%20da%20Tiririca.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

IWAMA, A.Y; LIMA, F.B.; PELLIN, A. Questão fundiária em áreas protegidas: uma experiência no parque estadual da pedra branca (PEPB), Rio de Janeiro, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 1, p. 77-93, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-451320140106>.

JENSEN, R. J. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2008.

MADRID FILHO, C. A. P. **Análise Temporal da Ocupação Urbana do Distrito do Campeche entre os anos 2016 e 2020 com Base nos Índices NDVI e NDBI**. 2021. 34 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/235029>. Acesso em: 29 out. 2023.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. **Reflectância dos Materiais Terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 334 p.

MENGUE, V. P.; FONTANA, D. C.; SILVA, T. S.; ZANOTTA, D.; SCOTTÁ, F. C. Methodology for classification of land use and vegetation cover using MODIS-EVI data. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 11, p.812-818, nov. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n11p812-818>.

MOREIRA, A. M. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 422p.

NASA. **Landsat 7 Science Data User's Handbook**. 2013. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-7-data-users-handbook>. Acesso em: 15 jul. 2025.

NUNES, G. M.; DRESCHER, R.; TYSZKA, D. Sensoriamento remoto na análise e caracterização de recursos florestais em ecossistemas tropicais. **Multitemas**, n. 39, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.20435/multi.v0i39.358>.

PAZ, M. A. F.; MENEZES, G. C.; FONTGALLAND, I. L.; SOUZA, E. P.; FARIAS, S. A. R.; RÊGO, V. G. S. Normalized Difference Vegetation Index Analysis Using NDVI and SAVI Indices in The Conservation unit Serra da Borborema Municipal Nature Park, Campina Grande, Paraíba, Brazil. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 1, p.1-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-009>.

PENHA, T. V.; FARIAS, V. V. L. Mapeamento da Dinâmica da Vegetação de Mata Atlântica no Município de Teresópolis-RJ utilizando NDVI. In: Simpósio de Geografia Física e Aplicada, 16, Teresina. **Anais [...]**. Teresina, PI: Geografia da UFPI e UESPI, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3147.3685>.

RODRIGUES, F. R.; LOPES, E. R. do N.; LOURENÇO, R. W. ANÁLISE INTEGRAL DOS IMPACTOS URBANOS EM ÁREAS VERDES: UMA ABORDAGEM EM SOROCABA, BRASIL. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 135–151, 2019. DOI: [10.5380/raega.v46i2.61224](https://doi.org/10.5380/raega.v46i2.61224). Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/61224>. Acesso em: 15 jul. 2025.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium: The Proceedings of a Symposium Held by Goddard Space Flight Center at Washington, D.C. on December 10-14, 1973. **Anais [...]**. Washington DC: Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration, 1974. p.309-317. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=cl42FB2_UEcC&oi=fnd&pg=PA309&dq=Monitoring+Vegetation+Systems+in+the+Great+Plains+with+Ert&ots=vtbNMzhMZB&sig=1xSCvmK9sCn3UXIQmFLtwhD3dNg#v=onepage&q=Monitoring%20Vegetation%20Systems%20in%20the%20Great%20Plains%20with%20Ert&f=false. Acesso em: 19 dez. 2022.

SANCHES, I.; ANDRADE, R.; QUARTAROLI, C.; RODRIGUES, C. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5–TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p.7564-7571. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251452155_Analise_comparativa_de_tres_metodos_de_correcao_atmosferica_de_imagens_Landsat_5-TM_para_obtencao_de_reflectancia_de_superficie_e_NDVI. Acesso em: 2 mar. 2023.

SANTANA, M. F.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; TEODORO, P. E. Variabilidade da Mata Atlântica baseado no índice EVI e variáveis climáticas em Cunha-SP, Brasil. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 14, n. 1, p.37-44, 2016. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/1264>. Acesso em: 20 ago. 2022.

SANTOS, J. E. B.; MONTEIRO, K. A.; NASCIMENTO, M. C. Avaliação do desempenho dos índices de NDVI, SAVI e EVI na análise da cobertura de uso do solo em um setor do município de Jequiá da Praia, Alagoas. **Revista GeoNordeste**, v. 33, n. 1, p. 208-226, jun. 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufs.br/geonordeste/article/view/16413/12859>. Acesso em: 17 nov. 2023.

WELERSON, C. C.; BARÃO, W. N.; QUIRELI, B. A.; FARIA, V. L.; PONS, N. A. D.; RIONDET-COSTA, D.R. T.; MARCONDES, A.L.S. Anthropie expansion of Paraty in Serra da Bocaina National Park, Mata Atlântica Biome. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, p.1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200023r1vu2021L2AO>.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p.583-594, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160304987>.

Recebido: 12 nov. 2024

Aprovado: 26 mai. 2025

DOI: 10.3895/rbgeo.v13n1.19467

Como citar: COSTA, N. B.; CORRÊA, M. C.; SANTOS, P. R. A.. Avaliação dos índices espectrais na análise do uso e cobertura da terra do Parque Estadual da Serra da Tiririca, Niterói/RJ. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 144-167, jan./jun. 2025. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Natalia Batista da Costa

R. Passo da Pátria, 152-470, CEP 24210-240, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

