



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 8, n° 2 (2022)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26864>



Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano

Use of spectral indices in the characterization of vegetation cover in the Caatinga region of the Semiarid region of Bahia

Robert Caetano¹; Tâmara Bastos Silva²; Nayanne Silva Benfica³; Darcy Ribeiro de Castro⁴

¹ Universidade do Estado da Bahia, UNEB/Departamento de Ciências Humanas e Tecnologias – DCHT XXIV, Xique-Xique/BA, Brasil. E-mail: robert.esa@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1360-0681>

² Universidade do Estado da Bahia, UNEB/Departamento de Ciências Humanas e Tecnologias – DCHT XXIV, Xique-Xique/BA, Brasil. E-mail: tbsilva@uneb.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9612-4870>

³ Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC/Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Ilhéus/BA, Brasil. E-mail: nayannebenfica@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3099-7652>

⁴ Universidade do Estado da Bahia, UNEB/Departamento de Ciências Humanas e Tecnologias – DCHT XXIV, Xique-Xique/BA, Brasil. E-mail: dcastro@uneb.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8505-6884>

Resumo: Diante da importância de levantar informações que contribuam com a divulgação científica, conservação dos recursos naturais, o monitoramento e o planejamento de políticas ambientais no bioma Caatinga, objetivou-se caracterizar a cobertura vegetal e o fluxo de carbono no município de Central/BA, que apresenta extensa área ocupada por lavouras temporárias. Tal caracterização se deu por meio dos índices espectrais NDVI, SAVI, EVI e CO₂Flux, para um mês seco e um chuvoso de 2020. Foram utilizadas imagens do Sentinel-2, processadas em ambiente SIG. Os resultados demonstraram os maiores valores para os índices no período chuvoso (0,50 – 1) distribuídos por uma maior área (NDVI: ~88%; SAVI: ~90%; EVI: ~81%), e para o período seco os valores entre 0 e 0,50 predominantes (NDVI: ~96,8%; SAVI: ~95%, EVI: ~94,8%), estando valores acima de 0,50 limitados às áreas de mata ciliar e aluviões. O EVI chuvoso apresentou valores menores que o NDVI e SAVI, relacionado à menor saturação. A área urbana foi bem discriminada nas imagens do período chuvoso. Zonas de menor altitude apresentaram maiores valores para os índices e as de maior altitude menores valores. O CO₂Flux demonstrou um sequestro de carbono mais eficiente no período chuvoso e uma correlação bastante forte entre os índices.

Palavras-chave: Índices de vegetação; Sentinel-2; SIG.

Abstract: Given the importance to raise information that contributes to scientific dissemination, conservation of natural resources, and monitoring and planning of environmental policies in the Caatinga biome, this study aims to characterize the vegetation coverage and the carbon flow of the municipality of Central in the State of Bahia, which has an extensive area occupied by temporary crops. The characterization work was accomplished by applying the spectral indices NDVI, SAVI, EVI, and the CO₂Flux during the dry and rainy months of 2020. Images of Sentinel-2, processed in a GIS environment were used. The results showed the highest values based on these indices in the rainy season (0.50 – 1) distributed over a large area (NDVI: ~88%; SAVI: ~90%, EVI: ~81%). In the dry season, the values between 0 and 0.50 prevailed (NDVI: ~96.8%; SAVI: ~95%, EVI: ~94.8%) with values above 0.50 limited to riparian forests and alluvial areas. The rainy EVI presented lower values than the NDVI and SAVI about lower saturation. The urban area has been properly detailed in the rainy season images. Based on the indices, lower altitude zones presented higher values while higher areas had lower values. The CO₂Flux showed that the carbon sequestration was more effective in the rainy period and presented a strong correlation among the indices.

Keywords: Vegetation indices; Sentinel-2; GIS.

Recebido: 07/10/2021; Aceito: 07/04/2022; Publicado: 18/08/2022.

1. Introdução

Os recursos florestais, sobretudo as florestas tropicais, atuam em muitos processos necessários à manutenção da vida, de forma direta e indireta, nos mais variados ecossistemas terrestres. Esses recursos estão diretamente ligados à produtividade primária nos sistemas ecológicos, ciclagem de nutrientes, ciclo hidrológico, sequestro de carbono para fins energéticos, viabilidade agrícola, entre diversos outros fatores bióticos, abióticos e econômicos (SOUZA *et al.*, 2019).

Entre as Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (SDTF, do inglês *Seasonally Dry Tropical Forests*), está a Caatinga – bioma que apresenta um conjunto único de características que o diferencia de outras formações vegetais. A biodiversidade faunística e florística presente no bioma Caatinga merece destaque, além do alto grau de endemismo. Sua dinâmica vegetal é afetada principalmente por fatores edafoclimáticos, como é o caso da disponibilidade hídrica e pedogênese, que têm atuação direta no comportamento da vegetação e na variação das características fenológicas, sendo algo a ser explorado e observado cientificamente em diferentes localidades e contextos, principalmente considerando que o bioma está entre os grupos de ecossistemas menos protegidos e estudados, mesmo com suas particularidades e importância (MMA, 2012; BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017; BARBOSA *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2019).

O bioma Caatinga vêm sofrendo modificações desde o processo de colonização da região nordeste do Brasil, em função das formas de uso e ocupação do solo, decorrentes, especialmente, de atividades antrópicas, direcionando a região a um processo de degradação. Segundo Lopes *et al.* (2020), é estimado que alterações de origem antrópica (extrativismo e agropecuária, principalmente) na vegetação da Caatinga já chegam a aproximadamente 80%, colocando as áreas alteradas em estágio inicial ou intermediário de sucessão ecológica. Atividades como agricultura e pecuária causam impactos no espaço físico em decorrência da abertura de áreas para a introdução e manutenção desses sistemas produtivos, o que vem favorecendo a conversão de áreas de vegetação natural em áreas de atividades antrópicas. Esses fatores de degradação podem levar, ainda, à ocorrência de processos erosivos, mudanças na dinâmica climática em nível local e regional, processos de desertificação (por ser uma região susceptível), entre outros problemas.

Diante disso, as técnicas de Sensoriamento Remoto se destacam devido à possibilidade de mensurar parâmetros físicos associadas, por exemplo, à biomassa, ao desenvolvimento vegetal, à cobertura do solo, à avaliação da vegetação, dentre outras. Isso é possível a partir do uso de sensores em nível terrestre, suborbital e orbital, com diferentes resoluções espaciais e temporais, explorando as propriedades espectrais da vegetação, sobretudo a sua reflectância nas regiões do visível e infravermelho próximo, que são os principais comprimentos de onda que possuem interação com os elementos estruturais microscópicos que compõem as folhas das plantas (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012; LOPES *et al.*, 2020; SILVA JUNIOR *et al.*, 2021).

Por meio do uso dos produtos gerados pelos sensores, é possível produzir modelos matemáticos através da combinação de bandas espectrais, podendo ou não utilizar coeficientes de ajuste, para a quantificação de biomassa ou detecção de modificações fenológicas presentes na vegetação, permitindo a caracterização, mapeamento e a análise do comportamento espacial, temporal e sazonal da degradação da vegetação, dos impactos decorrentes de atividades humanas e/ou naturais etc. (LIMA JÚNIOR, *et al.* 2014; DONG *et al.* 2019; LOPES *et al.*, 2020).

A obtenção desse comportamento espectral da vegetação pode ser realizada através do processamento das imagens de sensores, a partir da utilização de técnicas de processamento de imagens conhecidas como Índices de Vegetação (IV). Tais técnicas têm como objetivo explorar o realce de cenas com diferentes densidades de biomassa vegetal (MENESES; ALMEIDA; BAPTISTA, 2019; SILVA JUNIOR *et al.*, 2021).

Dentre os índices, alguns se destacam, como: 1) o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), utilizado para o monitoramento da biomassa vegetal, na construção de perfis sazonais e temporais que permitem comparações interanuais; 2) *Soil-adjusted Vegetation Index* (SAVI), que tem uma proposta semelhante à do NDVI, porém com a adição de um fator de ajuste para os efeitos do solo nos resultados, considerando as diferentes densidades de vegetação; 3) e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI), que também se propõe a mensurar a biomassa vegetal, buscando reduzir tanto os efeitos do solo quanto da atmosfera nos resultados, sendo esse mais sensível às variações na estrutura da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012; MENESES; ALMEIDA; BAPTISTA, 2019). Por meio dos IV ainda é possível a obtenção de outros índices, como é o caso do *Carbon Forest Sequestration Index* (CO₂Flux), visando analisar a eficiência do sequestro de carbono atmosférico pela comunidade florestal.

Diante do exposto, levando em consideração todos os fatores associados à importância do bioma Caatinga no contexto nacional (e mundial), e de se levantar informações que possam contribuir com a divulgação científica, o monitoramento, a conservação dos recursos naturais e o planejamento de políticas ambientais e tomada de decisão, este trabalho tem como objetivo caracterizar a cobertura vegetal e o fluxo de carbono do município de Central – Bahia, por meio dos índices espectrais NDVI, SAVI, EVI e CO₂Flux. Considera-se, para tal a análise espectral, o comportamento do fluxo de carbono,

as formas de uso e ocupação do solo, o relevo, a dinâmica vegetal e a correlação entre os produtos gerados para um período seco e um chuvoso de 2020.

2. Metodologia

Área de estudo

O município de Central está localizado no Centro-Norte da Bahia, no Semiárido brasileiro (Figura 1), entre as coordenadas geográficas 11°1'19"S-11°15'43"S e 41°55'30"W-42°15'29"W. Ocupa uma área de 566,97km² e tem uma população estimada em 17.280 habitantes (IBGE, 2010). O clima é do tipo BSh, segundo a classificação climática de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013). O município apresenta temperatura média anual de 23,9°C e precipitação média anual de 744,3 mm (SEI, 2014).

A referida cidade faz parte da Ecorregião Depressão Sertaneja Meridional, possuindo vegetação natural predominantemente Savana Estépica, típica do bioma Caatinga e característica do tipo climático BSh. No município, o PIB *per capita* é de R\$9.059,39, sendo a agropecuária uma das principais atividades econômicas, atrás apenas de serviços e indústrias, destacando-se principalmente o plantio de culturas de mamona, milho, palma forrageira e melancia; e a criação de caprinos, ovinos, bovinos e suínos (IBGE, 2017). Embora a agricultura não seja a principal atividade, como observado na Figura 1, as Lavouras Temporárias constituem o uso do solo que ocupa a maior extensão territorial, tornando-se um fator preocupante em termos de conservação das paisagens naturais. A região é conhecida pela presença de inúmeros sítios arqueológicos, havendo cânions e grutas de beleza cênica, a qual é representada por paisagens de campos rupestres com registros de antigas civilizações, muito utilizados para o turismo.

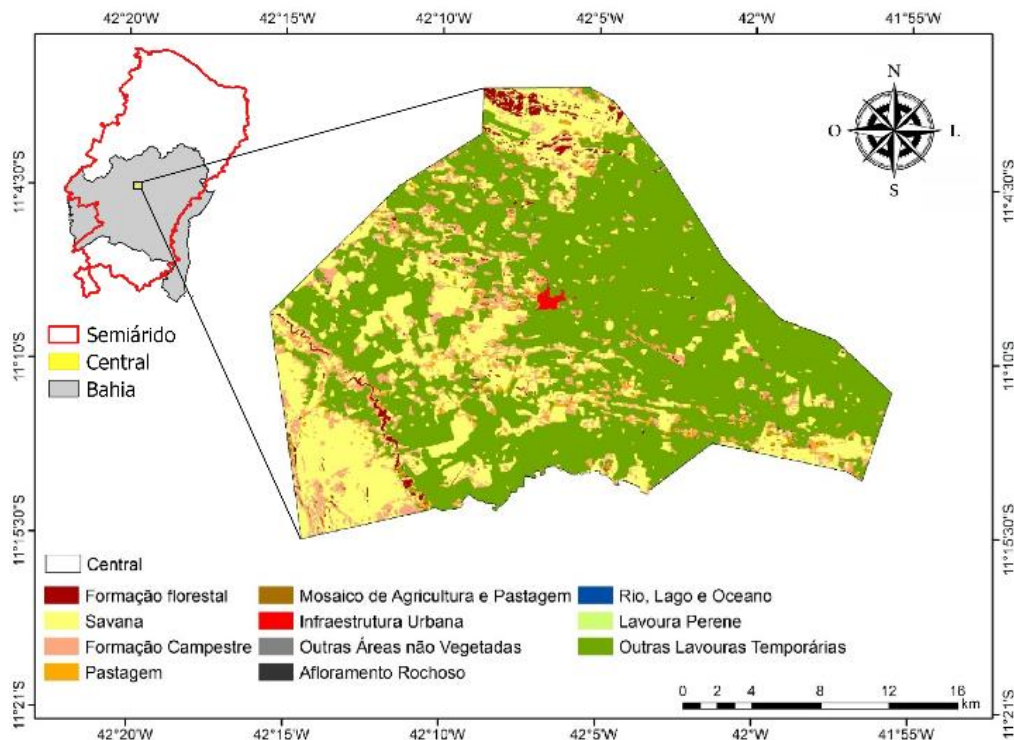


Figura 1 – Mapa de localização do município de Central, no Semiárido baiano.

Fonte: Autores (2021).

Com relação aos tipos de solo encontrados no município, segundo Nepomuceno (2014), a predominância é de Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos, tipologia marcada por um baixo desenvolvimento estrutural, muitas vezes ainda com características da rocha mãe. São encontradas também zonas com presença de Neossolos Litólicos Distróficos no extremo

sudoeste, região de ocorrência de áreas com maiores declividades. Apresentam baixa intensidade dos processos pedogenéticos e um manto de alteração pouco espesso. Em se tratando dos aspectos geomorfológicos, o município está inserido nas Baixadas dos rios Jacaré e Salitre, com relevo composto por tabuleiros e rampas colúvies e graus de declividade de fracos a moderados (CPRM, 2006). O mapa hipsométrico (Figura 2) representa a variação de altitude na área de estudo.

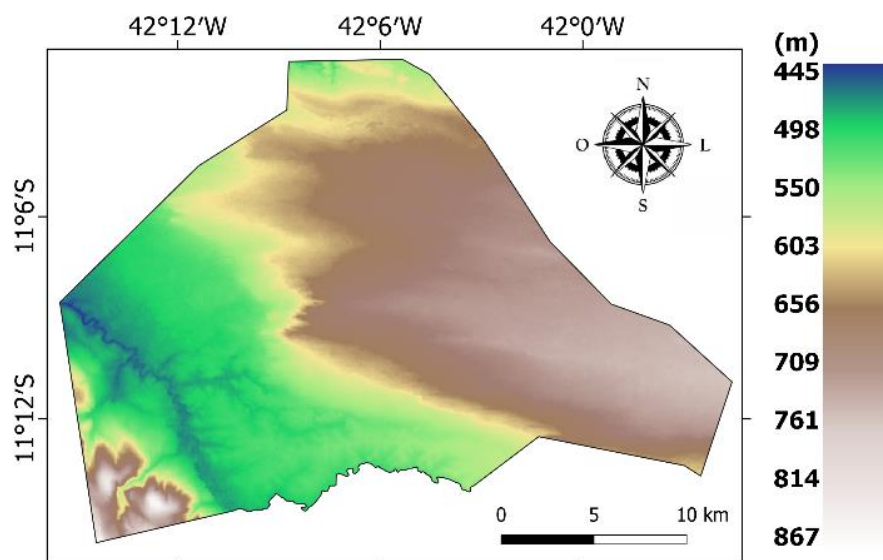


Figura 2 – Mapa hipsométrico do município de Central, no estado da Bahia, Brasil.

Fonte: Autores (2021).

Aquisição e pré-processamento das imagens

Foram selecionadas imagens de satélite do sensor *MultiSpectral Instrument* – MSI level 1C, a bordo do *Copernicus Sentinel-2*, desenvolvido pela Agência Espacial Europeia (ESA) como parte do programa *Copernicus*. Para cálculo dos índices aqui propostos, foram utilizadas as bandas das regiões do visível e do infravermelho próximo, que possuem resolução espacial de 10 metros. As cenas utilizadas foram a T23LRH e a T23LQH para o ano de 2020, considerando dois períodos de estudo, um de maior e outro de menor precipitação pluviométrica (chuvoso e seco, respectivamente), totalizando quatro cenas, duas para cada período. O critério para a escolha das cenas foi baseado naquelas com menor cobertura de nuvens, levando a cenas dos meses de março (27/03/2020) e outubro (03/10/2020).

Os valores mínimos, máximos e médios de precipitação pluviométrica no município de Central – BA para os meses de março e setembro são apresentados na Tabela 1, obtidos pelo *Integrated Multisatellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement* (IMERG) Versão 6, *Final Run*. Estudos realizados por Asong *et al.* (2016), Tan e Duan (2017) e Gadelha (2018), comparando os dados do IMERG com o de estações pluviométricas, demonstraram um bom desempenho do satélite para estimar a precipitação, principalmente em escala de tempo mensal (que foi a utilizada neste estudo) e anual. Como a cena obtida para o período seco é datada do dia 03/10/2020, os valores de precipitação considerados foram os do mês de setembro.

Tabela 1 – Dados mínimos, máximos e médios de precipitação pluviométrica no município de Central – BA para os meses de março e setembro de 2020.

	Precipitação (mm)	
	Março de 2020	Setembro de 2020
Mínima	205	10
Máxima	251	14
Média	235	12

Fonte: Autores (2021).

Após a aquisição, as imagens passaram por um processo de correção radiométrica/atmosférica através da conversão de *Top-Of-Atmosphere* (TOA) *reflectance* para *Bottom-Of-Atmosphere* (BOA) *reflectance*, utilizando o *software* SNAP 8.0 e o algoritmo *Sentinel-2 Atmospheric Correction* (Sen2Cor). Esse é um procedimento necessário para fins de caracterização espectral, neste caso, da vegetação. As cenas foram convertidas de JPEG2000 para GeoTIFF (formato de mais fácil processamento), utilizando a linha de comando do GDAL/OSGeo4W.

Processamento das imagens

Com a correção atmosférica finalizada, foi iniciado o processamento das imagens no *Datum* SIRGAS 2000, Zona 23S, utilizando o *software* QGIS 3.10. As cenas foram mescladas e recortadas a partir da malha municipal, obtida através do IBGE (2020). Com objetivo de gerar os índices espectrais (NDVI, SAVI, EVI e CO₂flux), a “Calculadora Raster” foi utilizada para calcular os IV, conforme as equações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Equações utilizadas para o cálculo dos índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido baiano.

Índice	Equação	Referência
NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (1)	$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})$	Rouse <i>et al.</i> (1973)
SAVI – Soil-adjusted Vegetation Index (2)	$SAVI = ((\rho_{NIR} - \rho_{RED}) \times (1 + L)) / ((\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L))$	Huete (1988)
EVI – Enhanced Vegetation Index (3)	$EVI = 2,5 \times (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + (C1 \times \rho_{RED} - C2 \times \rho_{BLUE}) + L)$	Huete <i>et al.</i> (2002)
PRI – Photochemical Reflectance Index (4)	$PRI = (\rho_{BLUE} - \rho_{GREEN}) / (\rho_{BLUE} + \rho_{GREEN})$	Gamon, Serrano e Surfus (1997)
sPRI – Photochemical Reflectance Index rescheduled for positive values (5)	$sPRI = (PRI + 1) / 2$	Baptista (2003)
CO₂FLUX – Carbon Forest Sequestration Index (6)	$CO_2Flux = sPRI \times NDVI$	Rahman <i>et al.</i> (2000)

Legenda: ρ_{BLUE} corresponde à banda na região do azul; ρ_{GREEN} na região do verde; ρ_{RED} na região do vermelho; ρ_{NIR} na região do infravermelho próximo; $C1$ é o fator de correção atmosférica para a região do vermelho (6); $C2$ é o fator de correção atmosférica para a região do azul (7,5); e L é o fator de ajustamento para o solo, sendo utilizado 0,428, recomendado pela ESA para imagens Sentinel-2.

Fonte: Autores (2021).

Para a área de estudo, apenas as cenas de março e outubro apresentaram cobertura de nuvens que permitiriam o processamento dos IV, não sendo utilizadas cenas de outros meses devido à intensa presença de nuvens. Aplicando-se a metodologia descrita, foram gerados os mapas que representam visualmente a distribuição espacial dos índices e seus comportamentos para esses meses, um mais chuvoso e outro seco.

Para nível de comparação numa mesma escala entre os IV, o intervalo foi reescalado para valores entre 0 e 1, sendo os valores para os índices entre -1 e 0 incluídos numa única categoria (0). As demais categorias correspondem aos próprios valores do intervalo, em que cada um corresponde a uma classe dos IV, iniciando em 0 com Corpos d'água/nuvens, seguindo para Solo Exposto (0 – 0,25), Vegetação esparsa (0,25 – 0,50), Vegetação intermediária (0,50 – 0,75) e Vegetação Densa (0,75 – 1,0). Para o CO₂Flux, os valores também foram reescalados, porém com intervalo variando entre 0 e 0,30, correspondendo ao fluxo de carbono do mais baixo para o mais alto.

Análise de correlação

¹ Símbolo que representa intervalo aberto à esquerda em estatística descritiva.

Para as análises estatísticas, visando somente avaliar o grau de correspondência entre os IV, foram amostrados 200 *pixels* de forma aleatória, utilizando o recurso “criar pontos aleatórios na extensão” do programa QGIS 3.10. Foram extraídos os dados das cenas índice para esses pontos, utilizando o plugin “*Point Sampling Tool*”, sendo tais dados exportados na forma de planilha para cada um dos IV e analisados estatisticamente.

Foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (1965) com as informações extraídas e a análise de correlação entre os IV foi feita utilizando o método de Pearson (*r*), que expressa o grau de relação entre variáveis com distribuição normal através de valores situados no intervalo de -1 a 1 (Quadro 1). Desse modo, quanto mais próximo de 1, mais forte é a correlação (relação linear positiva). Quanto mais se aproxima de -1, a correlação também é forte (relação linear negativa).

Quadro 1 - Classificação de fiabilidade do coeficiente de correlação de Pearson. Fonte: Adaptado de Veiga et al. (2019).

Valor de <i>r</i> (positivo ou negativo)	Interpretação
0	Nula
0,01 a 0,20	Ínfima fraca
0,21 a 0,40	Fraca
0,41 a 0,60	Moderada
0,61 a 0,80	Forte
0,81 a 0,99	Ínfima Forte
1	Perfeita

Fonte: Autores (2021).

3. Resultados e discussão

NDVI, SAVI e EVI

Os resultados apresentados na Figura 3 demonstraram que o período chuvoso apresentou maiores valores para os IV, principalmente para o NDVI e SAVI, com valores superiores a 0,50 e próximos a 1, estando os *pixels* correspondentes a esse intervalo de classe bem distribuídos, principalmente na porção que vai do centro ao oeste. O EVI do período chuvoso apresentou valores menores que os índices mencionados, corroborando com o que foi demonstrado por Nery, Moreira e Fernandes (2014), em que os valores médios anuais (2007 – 2012) do EVI foram sempre menores em relação aos do NDVI. Os IV do período seco apresentaram valores predominantemente abaixo de 0,50, porém, em regiões de mata ciliar, foram observados valores superiores a 0,50.

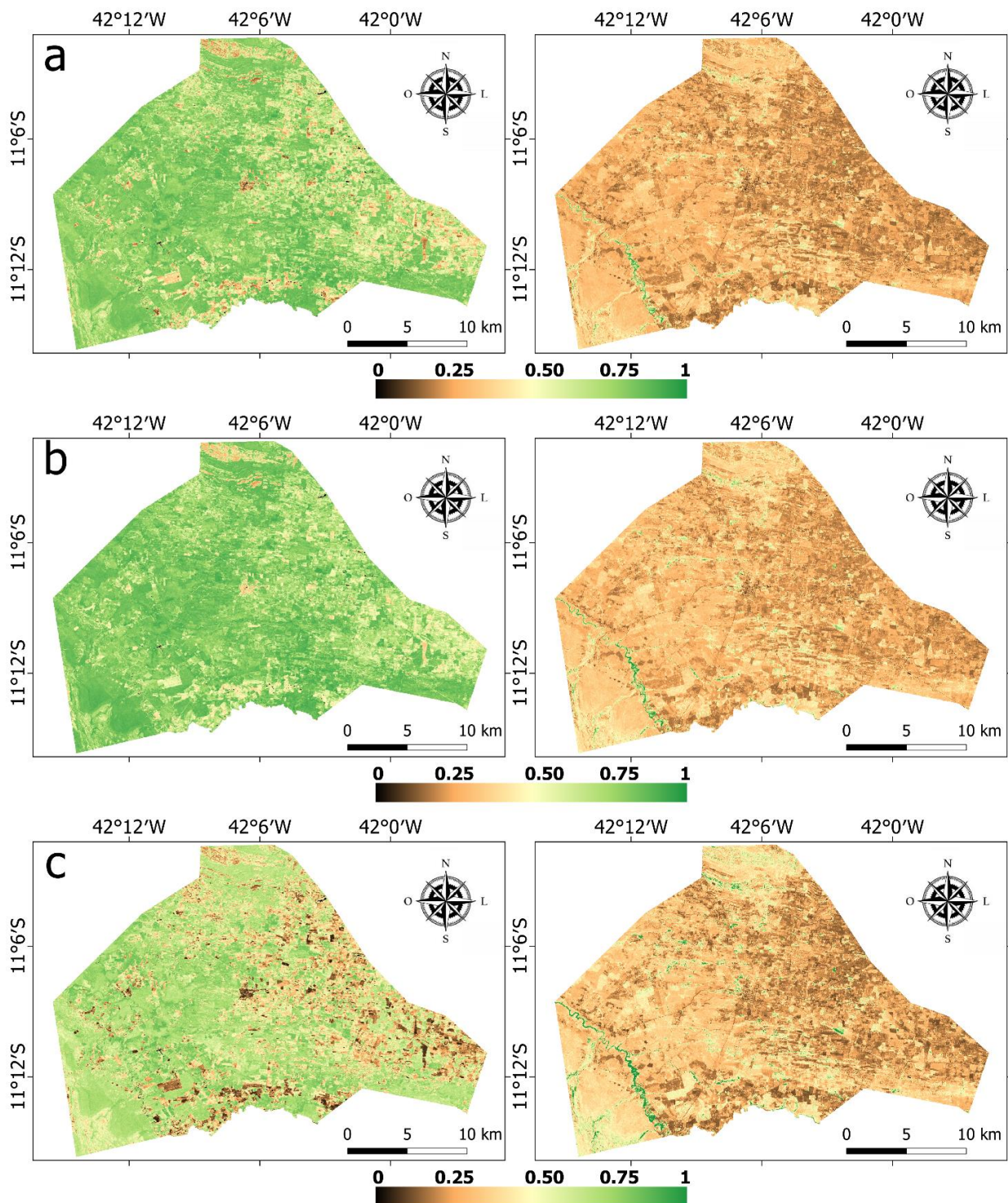


Figura 3 – Mapas das imagens processadas referentes aos cálculos dos IV (a) NDVI período chuvoso e seco; (b) SAVI período chuvoso e seco; e (c) EVI período chuvoso e seco, na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido baiano.

Fonte: Autores (2021)

Na Tabela 3, estão representadas as áreas em percentual correspondentes a cada intervalo dos IV, em relação à área total do município (566,97km²). São evidenciadas na ilustração as divergências na distribuição das áreas com maiores e menores valores para cada índice e período.

Tabela 3 – Áreas percentuais correspondentes a cada intervalo de classes dos índices NDVI, SAVI e EVI na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido baiano.

Intervalos	NDVI (%)		SAVI (%)		EVI (%)	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
0	0,07	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01
0 – 0,25	1,76	43,21	1,52	33,86	3,66	41,37
0,25 – 0,50	9,91	53,62	8,04	61,38	14,86	53,41
0,50 – 0,75	31,28	2,65	20,04	0,81	37,36	4,01
0,75 – 1	56,97	0,52	70,33	3,94	44,04	1,21

Fonte: Autores (2021).

Fica perceptível, observando a figura 3 e a Tabela 3, que, no período chuvoso, os valores mais altos para os índices (0,50 – 1) estão distribuídos por uma maior área (NDVI: ~88%; SAVI: ~90%, EVI: ~81%), devido à presença de zonas com maior densidade vegetal e concentração de biomassa. Para o período seco, o intervalo 0 – 0,50 é predominante, ocupando uma maior área (NDVI: ~96,8%; SAVI: ~95%, EVI: ~94,8%). Analisando os mapas gerados nos trabalhos de Gameiro *et al.* (2016) e Wanderley *et al.* (2018), que possuem áreas de estudo com características similares, a mesma tendência foi observada, corroborando com o que foi observado. Comparativamente aos resultados de Gameiro *et al.* (2016), as classes de vegetação intermediária e densa corresponderam a ~63% da área para o NDVI e ~62% para o SAVI no período chuvoso; e as classes de solo exposto e vegetação escassa a ~87,5% para o NDVI e ~87% para o SAVI no período seco.

Ao analisar os resultados obtidos para os três índices, pode-se observar que as regiões representadas pela coloração preta (0) são correspondentes a áreas sem vegetação, nesse caso corpos d'água, sejam naturais, sejam artificiais, ou mesmo nuvens, caso haja alguma nas cenas utilizadas. Os três índices, no período chuvoso, discriminaram os pequenos cursos d'água (0), sejam intermitentes, sejam perenes, sejam pequenos reservatórios, como barreiros, por exemplo, que são comuns em regiões semiáridas. Esse espaços são utilizados pelos sertanejos para armazenamento de água nos períodos de chuva. Entretanto, observa-se esses “pontos” pretos melhor destacados no NDVI e EVI, no SAVI ficam um pouco menos visíveis.

No gradiente correspondente ao intervalo de 0 – 0,25, tem-se as regiões de coloração com tonalidade variando do marrom ao alaranjado, indicando áreas de solo exposto (com ausência de cobertura vegetal). A distribuição dos *pixels* correspondentes a esse intervalo nas cenas da época seca se dá principalmente nas porções leste e extremo sul, como pode ser visto na Figura 3. Para o período de chuvas, o gradiente correspondente a esse intervalo está distribuído nas mesmas regiões que no seco, porém ocupando uma área menos expressiva, principalmente para o NDVI e o SAVI, fato que pode ser confirmado observando a Tabela 3. Nota-se, ainda, que para o EVI as áreas que correspondem a esse mesmo intervalo estão presentes em maior quantidade.

Também com base na Figura 3, pode-se observar que, para todos os índices avaliados neste estudo, o período chuvoso teve uma maior discriminação da área urbana quando comparado com o período seco. A região da área urbana do município Central está localizada ao centro do mapa e pode ser verificada na Figura 1. Os valores para área urbana encontrados no período chuvoso foram próximos a 0 para NDVI e EVI, enquanto para o SAVI os valores estão próximos de 0,5.

Nesse seguimento, a coloração amarelada, correspondente ao intervalo de 0,25 – 0,50 para os três índices, representa possíveis áreas de vegetação caducifólia, mais rasteira e esparsa, como as de Savana Estépica Gramíneo-Lenhosa, ou mesmo pastagens cultivadas e/ou culturas anuais, que costumam apresentar baixa atividade fotossintética. Para o período seco, a distribuição desse intervalo (0,25 – 0,50) ocupa uma área expressiva (Tabela 3) e, de forma geral, é concentrada nos extremos norte, sudoeste (zona com relevo apresentando maiores altitudes) e sudeste (regiões de Savana pelo que pode ser observado na Figura 1), conforme Figura 3.

Para o comportamento espectral visualizado no período chuvoso, o intervalo de 0,25 – 0,50 é notado com maior frequência à direita (leste) dos mapas, para o NDVI e SAVI, o que pode estar atribuído à presença das lavouras temporárias, como observado no mapa de uso e ocupação do município (Figura 1). O plantio nessas lavouras temporárias é normalmente realizado no período de chuvas, o que explica o leve aumento do vigor vegetativo para as cenas desse período, em relação

às mesmas regiões no período seco que estão em pousio. Entretanto, a resposta espectral ainda é menor que a da vegetação natural, tendo em vista que os cultivos na região em sua maioria são de espécies anuais com hábito arbustivo, herbáceo e/ou gramínoide. Para o EVI chuvoso, esse gradiente está concentrado principalmente no extremo sudoeste (savana) e em algumas regiões dispersas pelo mapa.

Os valores dos índices no período seco, de modo geral, dificilmente ultrapassaram 0,50 para NDVI, SAVI e EVI, sendo um indicativo de que grande parte da região encontra-se em um domínio fitogeográfico que possui uma vegetação de Caatinga Hiperxerófila, com espécies que apresentam adaptações a regiões Semiáridas, como presença de espinhos (Cactaceae), perda total (decídua) ou parcial (semidecídua) da folhagem, além de fatores de senescência e menor atividade fotossintética, que contribuem para que se apresentem como regiões de menor vigor vegetativo. Também indica poucas áreas com presença de culturas irrigadas. Além disso, a resposta espectral da radiação refletida pela cobertura vegetal na estiagem pode se assemelhar com a de outros alvos terrestres, a exemplo de áreas em pousio, área antropizada e afloramentos rochosos (NEPOMUCENO, 2014).

Os resultados apresentados se assemelham aos de Barbosa, Huete e Baethgen (2006), que demonstraram para o mês de outubro um padrão de valores entre $\sim 0,25$ e $\sim 0,5$ ao estudarem os padrões temporais da variabilidade do NDVI na Região Nordeste do Brasil, em um período de 20 anos (1982 – 2001). Chaves *et al.* (2013) destacaram valores baixos de NDVI no período seco ($< 0,4$) como indicativos de respostas da vegetação de Caatinga Hiperxerófila. Wanderley *et al.* (2018) destacam predominância de classes inferiores a 0,50 em área de Caatinga do Semiárido paraibano para valores de NDVI e inferiores a 0,30 para o SAVI. As áreas de estudo desses autores citados possuem características semelhantes a do presente estudo, e os valores para os IV também semelhantes. Quando se compara a trabalhos com áreas apresentando características distintas como os de Becerra, Shimabukuro e Alvalá (2009) (Cerrado da Amazônia Legal) e Nery, Moreira e Fernandes (2014) (Floresta Estacional Decidual), notou-se que, para o primeiro, o comportamento foi diferente, apresentando valores superiores a 0,60 durante todo o ano, tanto para o EVI quanto para o NDVI; e para o segundo, apresentou comportamento parecido, com valores inferiores a 0,50 nos meses mais secos e superiores nos mais chuvosos.

As demais áreas das cenas corresponderam a valores $> 0,50$ para os IV, que apresentam maior densidade vegetal e atividade fotossintética, indicando que neles encontram-se distribuídas áreas com remanescentes de vegetação. Apontam, assim, regiões fitoecológicas de Savana Estépica, com fitofisionomias de Savana Estépica Parque a Arborizada para os valores do intervalo mais próximos a 0,75 e de Savana Estépica Florestada para os valores mais elevados, mais próximos a 1. Pode indicar também áreas com presença de lavouras permanentes/irrigadas.

O intervalo de valores correspondentes ao intervalo $0,50 - 1$ para a época chuvosa estão bem distribuídos pela extensão territorial para NDVI ($\sim 88\%$), SAVI ($\sim 90\%$) e EVI ($\sim 81\%$). Nesse sentido, a apresentação dos remanescentes de vegetação se deu de uma forma mais densa na região, como consequência da disponibilidade hídrica no perfil do solo, proporcionado pela precipitação pluviométrica, que acarreta melhores condições no desenvolvimento da vegetação nativa. Assim, a cobertura vegetal, com característica decídua e semidecídua, que havia perdido suas folhas, tem a retomada da folhagem com o aumento da umidade do solo, o que resulta em uma atividade fotossintética mais ativa que é mais bem captada pelos sensores, facilitando a identificação dessas feições nas cenas (NEPOMUCENO, 2014). Além disso, as áreas de cultivo de determinadas culturas, as quais têm um maior porte e melhor desenvolvimento, podem assumir valores mais elevados de reflectância e estarem presentes nesse intervalo de classe.

Esses resultados corroboram com os de Barbosa *et al.* (2019), que encontraram uma forte correlação para a estação chuvosa ao relacionar o NDVI com a precipitação, mostrando os meses com maior precipitação correspondendo àqueles em que o índice atingiu valores mais elevados. Os resultados de Nery, Moreira e Fernandes (2014) e Brito, Santos e Morais (2020) também evidenciaram essa sensibilidade. Chaves *et al.* (2013) observaram que os valores de NDVI para praticamente todas as classes aumentaram significativamente nesse período estacional, quando comparado ao seco, assim como Barbosa, Huete e Baethgen (2006), que observaram um padrão de valores variando entre $\sim 0,45$ e $\sim 0,7$.

Foi percebido para o período seco que os valores mais altos para os três índices ($0,50 - 1$) se concentraram em poucas áreas (NDVI: $\sim 3\%$; SAVI: $4,75\%$, EVI: $\sim 5\%$) e, comparativamente aos resultados de Gameiro *et al.* (2016), as classes de vegetação correspondentes a esse intervalo e período foram de $\sim 11\%$ da área para o NDVI e $\sim 12\%$ para o SAVI. As áreas corresponderam a locais em que há presença de cursos d'água, sejam intermitentes, sejam perenes, como na região a oeste, local que abriga o Riacho Baixão do Gabriel. Nesses locais, as características do solo contribuem para o armazenamento de umidade (presença de aluviões), favorecendo que a flora presente no ambiente não perca sua folhagem, apresentando um perfil perenifólio.

Resultados semelhantes referentes à presença de vegetação mais densa próxima a cursos d'água no período mais seco foram observados por Boratto e Gomide (2013) ao caracterizar a cobertura vegetal do norte de Minas Gerais, apresentando valores mais altos de NDVI e SAVI nessas regiões (entre 0,48 e 0,81). Silva Junior *et al.* (2021), ao analisar

o NDVI e EVI, encontraram menores valores para possíveis áreas de vegetação rasteira e os maiores concentrados em áreas de mata ciliar para a estação de menor precipitação em região de Caatinga, semelhante ao comportamento verificado no presente estudo, conforme observado na Figura 3.

Um fator também importante é a relação dos IV com a hipsometria da área. A análise dos resultados referentes à distribuição geoespacial das classes dos índices permitiu observar a ocorrência de padrões na disposição da cobertura vegetal ao longo do espaço geográfico que é influenciada, em termos fitogeográficos, pelas variáveis ecológicas (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017).

Os resultados demonstraram, para o período seco e chuvoso, que na região ao redor do Riacho Baixão do Gabriel, a oeste, que tem aproximadamente 500 metros de altitude (Figura 2), os valores para os IV são maiores. Isso pode estar relacionado à existência de zonas climáticas por altitude, que apresentam gradientes altitudinais influenciados por características microclimáticas, em que há a ocorrência de diferentes tipos de vegetação relacionadas à altitude, assim como gradientes ambientais, influenciados, por exemplo, pela altura do lençol freático e pela presença de umidade no solo nas regiões circundantes aos cursos d'água (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017). Nos locais de altitude superior a 700 metros, a leste, foram observados os menores IV. Essa região abriga a maior concentração de lavouras temporárias e apresenta relevo característico de planalto, sendo a região pertencente ao Platô de Irecê.

Somente por meio da observação visual dos mapas dos IV ficou perceptível a influência da dinâmica fenológica para as fitofisionomias de Caatinga presentes na área de estudo e dos métodos de cultivo agrícola em que o plantio é feito na época chuvosa. Na época de estiagem, o comportamento espectral dos alvos tem uma variação diferente do que é observado na de maiores índices pluviométricos (conforme Tabela 1), além da dinâmica ambiental que também é modificada conforme as características climáticas se alteram.

CO₂FLUX

O fluxo de carbono no município, para ambas as estações, tem sua distribuição representada através dos mapas ilustrados na Figura 4.

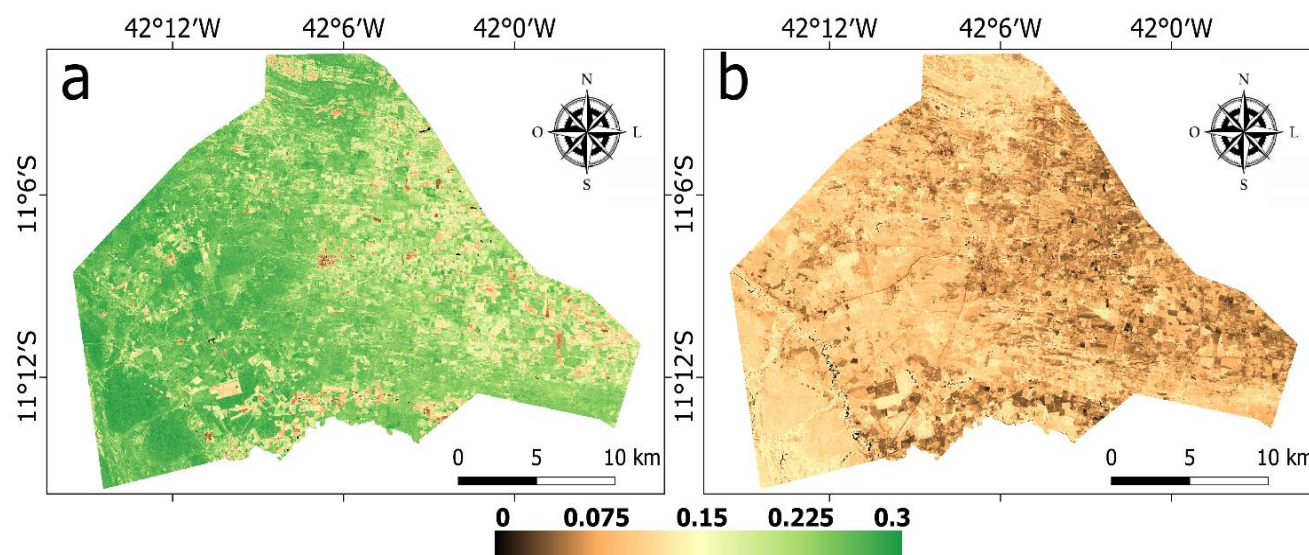


Figura 4 – Mapas das imagens processadas referente ao cálculo do CO₂FLUX para os dois períodos estudados (a) chuvoso e (b) seco na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido baiano.

Fonte: Autores (2021).

A Tabela 4 apresenta os valores correspondentes à área em percentual ocupada por cada intervalo de classe para o CO₂FLUX em relação à área total do município (566,97km²).

Tabela 4 – Áreas percentuais correspondentes a cada intervalo de classes do CO₂FLUX na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido baiano.

CO ₂ FLUX (%)		
Intervalos	Chuvoso	Seco
0	0,074	0,007
0 0,075	1,293	31,025
0,075 0,15	8,918	67,411
0,15 0,225	35,975	1,556
0,225 0,30	53,740	0,002

Fonte: Autores (2021).

A partir da análise do perfil espectral, pode-se notar, para a estação chuvosa (Figura 4a), que as áreas que possuem maior atividade vegetativa e, conseqüentemente, fotossintética (na fase clara do processo), apresentaram valores mais elevados para o fluxo de carbono, variando para boa parte da área de 0,15 a 0,30, indicando que o sequestro de carbono realizado pela vegetação é mais eficiente neste período. Como observado no NDVI, SAVI e EVI, essas zonas correspondem àquelas com valores >0,50, ou seja, os remanescentes de vegetação e possíveis áreas de cultivo irrigado.

A estação chuvosa apresenta os maiores valores, por ser uma época em que a vegetação está mais vigorosa, apresentando maior biomassa e área foliar. Com isto, a atividade fotossintética atinge níveis elevados e, por ser um processo diretamente relacionado ao uso de carbono atmosférico, sendo uma das portas de entrada desse elemento nos ecossistemas terrestres, há um aumento nas taxas de sequestro de CO₂. Os menores valores são observados em regiões em que se concentram as áreas de lavouras temporárias, indicando que o sequestro florestal de carbono é mais eficiente do que aquele realizado pelas espécies de cultivo agrícola utilizadas no município.

Conforme a estação seca se aproxima, o CO₂FLUX tende a sofrer decréscimos devido às condições climáticas. O mapa demonstrado na Figura 4b, correspondente ao CO₂FLUX, apresenta valores abaixo de 0,15 em predominantemente toda a área no período seco, como observado na Tabela 4, em que as maiores áreas correspondem às classes de >0 a 0,15.

O estresse hídrico gerado pela baixa pluviosidade da estação seca leva as espécies não perenifólias a perderem sua folhagem, como já apontado, e isso acarreta uma redução na biomassa vegetal, na sua área foliar e na sua atividade fotossintética. Esses fatores levam a uma queda nas taxas de sequestro florestal de carbono. Além disso, assim como observado no período chuvoso, as regiões com lavouras temporárias apresentaram os menores valores também no período seco. Nas regiões com presença de campos rupestres a norte e sudoeste, que apresentam maiores altitudes (Figura 2), há uma tendência à retenção de mais umidade, levando essas zonas a apresentar uma vegetação natural de savana (Figura 1) com características de desenvolvimento vegetal diferentes das demais regiões, elevando os valores do índice em tais áreas.

Os valores mais baixos, para ambos os períodos, se concentram nas zonas de lavoura, em que a maioria está em pousio, apresentando características espectrais de solo exposto. Nas áreas descritas anteriormente como campos rupestres, zonas distribuídas nos extremos norte e sudoeste de forma principal, são onde os valores mais se aproximam de 0,15 no período estacional seco.

Na literatura foi possível observar coincidências em relação ao CO₂Flux. Os resultados para o fluxo de carbono se assemelham com os de Grilo *et al.* (2011), que mapearam o fluxo de CO₂ em ambientes de Caatinga e de sistemas agropecuários utilizando imagens orbitais. Esses autores encontraram, nos setores compostos por Caatinga preservada e antropizada, valores de CO₂Flux variando de 0,186 a 0,305, e áreas com menor fluxo de CO₂ com intervalos de -0,175 a 0,158. Os valores aqui apresentados também corroboram com os de Santos (2017) que, modelando o fluxo de carbono em áreas de Caatinga preservada e em regeneração, demonstrou o padrão do índice CO₂Flux para o período seco e chuvoso e observou essa tendência de decréscimo nos valores, sendo maiores na estação chuvosa, quando a vegetação se mantém como um sumidouro de carbono e reduzindo com a aproximação da estação seca.

Análise de correlação

A Tabela 5 e a Tabela 6 apresentam os coeficientes de correlação de Pearson encontrados para ambos os períodos de estudo.

Tabela 5 – Matriz de correlação de Pearson entre os índices apresentados para o período chuvoso na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido baiano.

	NDVI	SAVI	EVI	CO ₂ Flux
NDVI	1			
SAVI	0,971	1		
EVI	0,925	0,838	1	
CO ₂ Flux	0,915	0,880	0,906	1

Fonte: Autores (2021).

Tabela 6 – Matriz de correlação de Pearson entre os índices apresentados para o período seco na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido baiano.

	NDVI	SAVI	EVI	CO ₂ Flux
NDVI	1			
SAVI	1	1		
EVI	0,973	0,973	1	
CO ₂ Flux	0,753	0,753	0,786	1

Fonte: Autores (2021).

Os resultados dos índices, observando-se os perfis espectrais apresentados por cada um, expressaram similaridades entre si. Os resultados obtidos com a determinação do coeficiente de Pearson, para os dois meses em estudo, levaram a valores que atestam essa similaridade. Os índices, em grande maioria, apresentaram correlações positivas ínfimas fortes para ambos os períodos, o que significa dizer que seus valores apresentaram uma taxa de proporcionalidade direta, crescendo a uma taxa muito semelhante. Os índices NDVI e SAVI apresentaram coeficiente de correlação mais elevado, com $r = 0,971$ no período chuvoso e chegando a $r = 1$ no período seco, classificada como perfeita, podendo-se considerar ambos os índices equivalentes.

O EVI apresentou uma correlação ínfima forte com o NDVI e o SAVI no mês seco ($r = 0,973$), como pode ser visto na Tabela 6, e com os três índices (NDVI, SAVI e CO₂Flux) no chuvoso ($r = 0,925$, $r = 0,838$ e $r = 0,915$, respectivamente) apresentado na Tabela 5. Nesse seguimento, os resultados indicaram que a correlação do CO₂Flux com os demais índices para o período de estiagem assumiu valores mais baixos, com $r = 0,753$ quando relacionado com o NDVI e o SAVI e $r = 0,786$ com o EVI, sendo essa correlação classificada como forte. No úmido, volta a assumir valores mais elevados (ínfima forte) para o coeficiente, sendo $r = 0,915$ para o NDVI, $r = 0,880$ para o SAVI e $r = 0,906$ para o EVI.

Esses resultados corroboram com os de Silva Junior *et al.* (2021), que obtiveram um coeficiente de Pearson ínfimo forte (0,93), ao correlacionar o NDVI e EVI na época seca utilizando o sensor MSI do Sentinel-2. Também se assemelham aos de Espig, Soares e Santos (2006), e Nery, Moreira e Fernandes (2014), que observaram que os valores dos índices EVI e NDVI se comportam de forma similar, apresentando boa correlação.

De modo geral, comparando os índices entre si, tanto para a época de estiagem quanto para a úmida, percebeu-se semelhanças. Contudo, o EVI apresentou menor saturação nas áreas de maior densidade vegetativa para ambos os períodos, sendo uma característica inerente a esse IV. A saturação de valores mais elevados de biomassa é apresentada como um dos pontos negativos do NDVI, segundo Meneses, Almeida e Baptista (2019).

Ainda segundo Meneses, Almeida e Baptista (2019, p. 213), o EVI possui uma maior sensibilidade “[...] às variações na estrutura da vegetação, ou seja, possui alta correlação com valores de reflectância na faixa do NIR.”, podendo apresentar uma melhor distinção dos alvos, como apontam Silva Junior *et al.* (2021). Esse fator pode justificar o porquê a correlação entre o EVI e o NDVI e SAVI apresentou valores menores que a correlação entre NDVI e SAVI, por exemplo. Observando a Tabela 5 e a Tabela 6, pode-se destacar que no período chuvoso a correlação entre o EVI e os demais índices é menor que no seco, podendo indicar relação com a saturação apresentada pelos outros índices nessa época para as regiões de maiores densidades de vegetação.

Espig, Soares e Santos (2006), e Nery, Moreira e Fernandes (2014) destacaram, em seus estudos utilizando o NDVI e o EVI, uma maior possibilidade de áreas com vegetação densa apresentar saturação para os valores do NDVI, de modo que são observados valores de reflectância superiores aos exibidos pelo EVI. De fato, essa grande quantidade de valores próximos a 1 distribuídos de forma relativamente homogênea na área de estudo não representa bem as características das fitofisionomias de Caatinga. Como abordado neste estudo, diferentes tipologias de Caatinga foram indicadas por diferentes respostas espectrais, como fisionomias mais arbóreas representadas por intervalos mais elevados dos IV, próximos a 1, e

regiões com presença de fisionomias mais rasteiras ou esparsas, dentro de um intervalo mais intermediário, entre 0,50 e 0,75. Essa relação entre a presença de diferentes fitofisionomias em um ambiente e as diferentes respostas espectrais atribuídas a elas, é mais bem representada no EVI (Figura 3c).

4. Considerações finais

As cenas das imagens processadas para os quatro índices estudados (NDVI, SAVI, EVI e CO₂FLUX) permitiram observar a distribuição dos diferentes intervalos de classes de cobertura vegetal e de sequestro de carbono, permitindo a caracterização desses fatores na região estudada. As informações obtidas da cobertura vegetal, baseadas na espacialização dos valores dos IV em ambos os períodos de estudo (chuvoso e seco), mostraram as variações do comportamento espectral da vegetação nas diferentes áreas da região, considerando fatores edafoclimáticos (como precipitação e altitude) e da cobertura vegetal (fitofisionomias presentes, deciduidade, semi-deciduidade, perenifolia, senescência etc.). Os valores obtidos para os IV mensurados estão diretamente ligados à disponibilidade hídrica do perfil do solo. Em razão disso, as cenas do período chuvoso apresentaram maior homogeneidade e não indicaram visualmente áreas com valores muito baixos, que caracterizariam áreas de solo exposto e/ou degradadas, as quais puderam ser visualizadas com mais nitidez na porção leste das imagens do período seco.

Entre os IV, o EVI discriminou melhor a biomassa vegetal de uma forma mais condizente com a realidade, ao não saturar os valores como o NDVI e SAVI, apresentando-se mais sensível às características da vegetação, do solo e da atmosfera. Entretanto, todos os índices utilizados para o estudo (NDVI, SAVI e EVI) podem ser considerados importantes ferramentas para o manejo e caracterização da cobertura do solo, já que todos possuem uma relação de semelhança próxima, como demonstrado com os coeficientes de Pearson.

A análise do sequestro de carbono (CO₂FLUX) permitiu o mapeamento de áreas com baixos níveis de sequestro e, portanto, altos níveis de CO₂ na baixa atmosfera no período seco. No período chuvoso foi observado o contrário. Com a biomassa vegetal revigorada e fotossíntese em alta, o sequestro de carbono atmosférico passou a ser realizado com maior eficiência, reduzindo os níveis de CO₂ na baixa atmosfera.

O mapeamento da configuração espacial da cobertura vegetal para ambos os períodos, de maneira geral, constitui um elemento de grande contribuição científica e ambiental diante da possibilidade dessas informações serem utilizadas em iniciativas de proteção dos recursos florestais nativos dos remanescentes florestais da Caatinga no município de Central, BA. Esse mapeamento pode auxiliar o poder público local no âmbito do planejamento de políticas ambientais voltadas para o estímulo à tomada de decisão pelos atores sociais, bem como para a sensibilização da população sobre a necessidade de conservação dos recursos naturais.

Visando à continuidade e ao refinamento da pesquisa por meio de futuros estudos, pode ser interessante considerar uma investigação mais aprofundada e longa. Dess modo, seria/será possível incluir investigações em campo, em junção ao uso das imagens de satélite, o uso de outros índices que possam trazer resultados ainda mais confiáveis, a utilização de diferentes sensores, buscando adquirir imagens de melhor resolução, tanto espacial quanto temporal, podendo até considerar a utilização de Veículos aéreos não tripulados (VANT) ou outros meios de obtenção de imagens, buscando-se obter uma classificação da cobertura vegetal que permita sua caracterização o mais precisa possível.

Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ASONG, Z. E., RAZAVI, S., WHEATHER, H. S., & WONG, J. S. Evaluation of Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) over Southern Canada against Ground Precipitation Observations: A Preliminary Assessment. *Journal of hydrometeorology*, v. 18, n. 4, p. 1033-1050, 2017. DOI. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0187.1>.
- BAPTISTA, G. M. M. Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de Cerrado, por meio de Dados AVIRIS e HYPERION. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, XI, 2003. Belo Horizonte - MG. *Anais...* São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, p. 1037-1044.
- BARBOSA, A. H. da S.; CARVALHO, R. G. de; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. *Revista do*

Departamento de Geografia USP, v. 33, p. 128-143, 2017.

- BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 67, p. 288-307, oct 2006. Elsevier BV. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022>.
- BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L.; PAREDES, F.; ELLIOTT, S.; AYUGA, J.G. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008-2016). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, [s.l.], v. 148, p. 235-252, 2019. Elsevier BV. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>.
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. dos S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 2, p. 125-134, 2009. DOI. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200002>.
- BORATTO, I. M. de P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, XVI, 2013. Foz do Iguaçu - PR. *Anais...* São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, p. 7345-7352.
- BRITO, P.V.S.; SANTOS, T.O.; MORAIS, Y.C.B. Análise da sazonalidade da vegetação de Caatinga do município de Petrolina (Pernambuco) a partir de imagens do satélite Landsat 8 – OLI. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 1, n. 1, p. 29-37, 2020.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA; BRANDAO, Z. N.; CHAVES, L. H. G. Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da Caatinga da Bacia do Rio Taperoá-PB. Embrapa Algodão. Relatório Técnico. 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/977328/indices-espectrais-diagnostico-da-vegetacao-e-da-degradacao-da-caatinga-da-bacia-do-rio-taperoa-pb>. Acesso em: 21/05/2021.
- ESPIG, S. A; SOARES, J. V; SANTOS, J. R. dos. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semi-árido brasileiro. In: Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicadas à Engenharia Florestal, VII, 2006. Curitiba – PR, Brasil. *Anais...* Curitiba: FPPF, p. 219-226.
- GADELHA, A. N. Análise da missão GMP (global precipitation measurement) na estimativa da precipitação sobre território brasileiro. 2018. 82 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2018.
- 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. *Terræ*, v. 13 n. 1-2, p. 15-22, 2016.
- GAMON, J. A.; SERRANO, L.; SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: a optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, v. 112, p. 492-501, 1997.
- GRILO, D. C.; FRANCA-ROCHA, W. de J. S.; BORGES, E. F.; PETRERE, V. G.; ARAÚJO, D. M. de. Mapeamento do fluxo de CO₂ em ambientes de Caatinga e de sistemas agropecuário por meio de imagens orbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XV, 2011. Curitiba - PR. *Anais...* São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, p. 1682-1689.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, p. 295-309, 1988.
- 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, p. 195-213, 2002.
- IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. Dados Estimados do Censo para 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/central/panorama>. Acesso em: 19/03/2021.

- IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. Resultado Definitivo do Censo Agropecuário – 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/central/pesquisa/24/76693>. Acesso em: 29/03/2021.
- LIMA JÚNIOR, C.; ACCIOLY, L. J. O.; GIONGO, V.; LIMA, R. L. F. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. Estimativa de biomassa lenhosa da Caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. *Scientia Forestalis*, v. 42, n. 102, p. 289-298, 2014.
- LOPES, R. J. de C.; SANTOS, A. M. dos; ZLATAR, T.; LIMA JÚNIOR, C. de. Uso de índices de vegetação por sensoriamento remoto para estudos da Caatinga: uma revisão sistemática. *Gaia Scientia*, v. 14, n. 1, p. 104-116, 2020.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de.; BAPTISTA, G. M. de M. *Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação*. 1ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA. Caatinga. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>. Acesso em: 19/03/2021.
- NEPOMUCENO, M. Q. *Análise geossistêmica da região de Irecê-BA*. 2014. 295 f. Dissertação, Monografia (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Instituição, Salvador – BA, 2014.
- NERY, C. V. M.; MOREIRA, A. A.; FERNANDES, F. H. S. Análise do comportamento espectral da floresta estacional decidual no Parque Estadual Lapa Grande. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 2, p. 417-433, 2014.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPPLICH, T. M. *Sensoriamento remoto da vegetação*. 2. ed. atual. ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p. il.
- RAHMAN, A.F.; GAMON, J.A.; FUENTES, D.A.; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. (2000). Modeling CO₂ flux of boreal forest using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In: AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia, 2000.
- ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite – 1 Symposium. Volume I: *Technical Presentations*, NASA SP-351. Washington, D.C., p. 309-317, 1973.
- SANTOS, C. V. B. dos. *Modelagem espectral para determinação de fluxo de CO₂ em áreas de Caatinga preservada e em regeneração*. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Departamento de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana – BA, 2017.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/plgb/jacobina/jacobina_introducao.pdf. Acesso em: 19/05/2021.
- SILVA JUNIOR, U. J. da; GONÇALVES, R. M.; OLIVEIRA, L. M. M. de; SILVA JUNIOR, J. A. da. Sensibilidade espectral dos índices de vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na mata ciliar do reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, vol. 73, n. 1, p. 17-35, 2021. DOI. <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv73n1-55252>.
- SOUZA, D.; SFAIR, J.; PAULA, A.; BARROS, M.; RITO, K.; TABARELLI, M. Multiple drivers of aboveground biomass in a human modified landscapes of the Caatinga dry forest. *Forest Ecology And Management*, v. 435 p. 57-65, 2019. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.042>.
- SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. Estatísticas dos municípios baianos. Salvador – BA, v. 4, n. 2, p. 111-128, 2014. Disponível em: https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2441&Itemid=284. Acesso em: 07/06/2021.
- TAN, M. L.; DUAN, Z. Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products over Singapore. *Remote Sensing*, v. 9, n. 720, 16 p., 2017. DOI. <https://doi.org/10.3390/rs9070720>.
- VEIGA, L. D. S.; FABRICIO, A.; LOPESS, L. F. D.; ROTILLI, L. B.; ZALUSKI, F. C. Comprometimento organizacional no terceiro Setor: o caso de uma organização tradicionalista gaúcha. *Revista de Carreiras e Pessoas - Recape*, v. 9, n.

1, p. 63-83, 2019. DOI. <https://doi.org/10.20503/recape.v9i1.37666>.

WANDERLEY, L. S. de A.; NÓBREGA, R. S.; MOREIRA, E. B.; LUCENA, J. de A. Variação dos índices de vegetação da Caatinga no alto curso da bacia hidrográfica do rio Taperoá. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia, XVII, 2017. Fortaleza – CE. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*. Campinas – SP, Instituto de Geociências – UNICAMP: EBOOK, 2018. p. 4988-5000. DOI. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2207>.

ZHANG, J.; LI, S.; DONG, R.; JIANG, C.; NI, M. Influences of land use metrics at multi-spatial scales on seasonal water quality: A case study of river systems in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v.206, n.1, p.76-85, Jan 2019. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.179>.