

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE NDVI E SAVI PARA A COMPREENSÃO DA ASSINATURA ESPECTRAL DA CAATINGA, NO MUNICÍPIO DE EUCLIDES DA CUNHA-BAHIA.

Edcassio Nivaldo Avelino ¹

INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, os estudos sobre a Caatinga foram negligenciados por parte da comunidade científica e dos agentes que financiam a produção de pesquisas no Brasil (VELLOSO et al., 2002 apud GANEM, 2020). Em junho de 2020, o estudo realizado por Ganem (2020), nos bancos de dados da plataforma *Web of Science*, constatou que a Caatinga é 73% menos estudada que a Amazônia; 68% menos que o Cerrado; e 65% menos que a Mata Atlântica. Estas informações reforçam o entendimento de que o domínio da Caatinga constitui uma área regularmente preterida, especialmente no que refere-se à sua biodiversidade.

No domínio da Caatinga (AB'SÁBER, 2003), a precipitação média anual está entre 268-800 mm, distribuída desigualmente sobre a área; além disso, predomina o sistema hidrográfico de caráter intermitente; estrutura geológico-litológica que formam os “altos pelados” (AB'SÁBER, 2003); possui relevo constituído por chapada, depressão e formas residuais do tipo *inselberg*. Atualmente abriga 28 milhões de habitantes (IBGE, 2022), sendo a região de clima semiárido mais povoada do mundo; e com a mais alta taxa de fertilidade humana das Américas (AB'SÁBER, 2003).

Apesar de sua importância, a pesquisa realizada por Rocha *et al.* (2024) aponta que a expansão de terras agrícolas, o desmatamento e outras práticas de uso da terra, causaram danos significativos à cobertura florestal da Caatinga, tais como o aumento da evaporação da água e a aceleração da desertificação. Este processo foi constatado por meio do aparecimento de uma área definida como árida no norte do Estado da Bahia, um fato nunca observado no país em estudos feitos em décadas anteriores (ORSINI, 2023).

¹ Professor de Geografia do IFBA campus Euclides da Cunha. Possui Mestrado em Geografia pela Universidade Federal da Bahia – UFBA, edcassio.avelino@ifba.edu.br.

A descaracterização florestal da Caatinga, feita a partir da intervenção humana, ocorre territorialmente de maneira desigual, causando prejuízos ambientais de caráter irreversíveis. Nesse sentido, o conceito de Geografia Socioambiental (MENDONÇA, 2001) oferece suporte teórico para a decodificação do avanço das diferentes práticas de uso da terra sobre a Caatinga, uma vez que,

O termo “sócio” aparece, então, atrelado ao termo “ambiental” para enfatizar o necessário envolvimento da sociedade enquanto sujeito, elemento, parte fundamental dos processos relativos à problemática ambiental contemporânea. (MENDONÇA, 2001, p. 117).

O conceito de Geografia Socioambiental aponta a necessidade de identificar quais são as práticas de uso da terra que avançam sobre a Caatinga, e quem são os agentes responsáveis por tais práticas. Nesse sentido, a problemática ambiental tangencia a questão da atuação dos agentes do poder econômico no município, que agem por meio da apropriação privada dos benefícios das matérias-primas (água, solo e produção) extraídas da natureza; e da socialização dos prejuízos oriundos da extração de tais matérias-primas da natureza. Os prejuízos são socializados em diferentes recortes espaciais, no entanto, os prejuízos locais são os que mais interferem diretamente na vida das pessoas.

Nesse sentido, entende-se que as imagens oriundas do Sensoriamento Remoto constituem um recurso tecnológico relevante, uma vez que mostram os ambientes e as suas transformações causadas a partir das intervenções humanas. O Sensoriamento Remoto abriga diferentes técnicas voltadas para o estudo de cobertura florestal, entre as quais, existem os índices de vegetação. Os índices de vegetação são modelos resultantes da combinação dos níveis de reflectância em imagens de satélites nas bandas do vermelho e no infravermelho próximo (PONZONI, 2012).

As pesquisas sobre cobertura florestal fazem uso mais frequente do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI; e do Índice de Vegetação Ajustado para o Solo – SAVI. Tais índices estão susceptíveis às variações causadas pela posição da folhagem, da arquitetura do dossel, presença de água e valor da reflectância em relação ao solo e outros alvos da superfície terrestre (PONZONI, 2012).

Diante do exposto, o presente estudo foca a sua atenção no recorte espacial do município de Euclides da Cunha, estado da Bahia. Esta área possui uma extensão territorial de 2.025 km² e abriga uma população composta por 61.456 habitantes (IBGE, 2022). A escolha do município de Euclides da Cunha (figura1) enquanto área de estudo

considerou a importância que a escala municipal exerce no contexto da gestão pública, bem como a escassez de informações sobre a cobertura florestal da Caatinga, no âmbito de sua realidade geográfica. Portanto, este estudo tem o objetivo de aplicar o NDVI e o SAVI para identificar a assinatura espectral mais adequada para o padrão de ocupação da Caatinga.

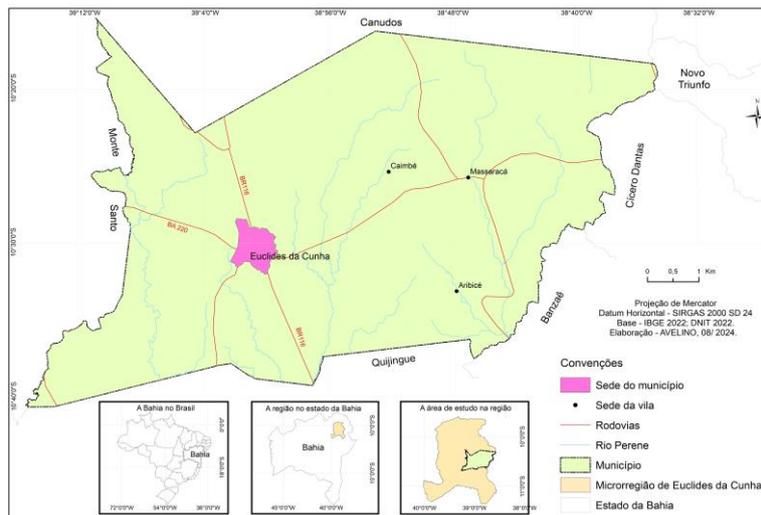


Figura 1: Localização do Município de Euclides da Cunha, estado da Bahia.
Elaboração: Avelino, 2024.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo está fundamentado nas concepções teóricas de domínio da Caatinga (AB'SÁBER, 2003); Geografia Socioambiental (MENDONÇA, 2001); e Sensoriamento Remoto da Vegetação (PONZONI, 2012). Além disso, fez uso da base cartográfica do estado da Bahia, em especial do município de Euclides da Cunha, no formato vetorial, escala 1:100.000 disponibilizada pelo IBGE (2022) e DNIT (2022).

Na sequência, pesquisou-se os dados de precipitação e temperatura para a identificação do ciclo de seca e de chuva da área de estudo. Estes dados deram subsídios para a aquisição das imagens de satélite, ou seja, selecionou-se duas imagens, uma para cada ciclo ora mencionado. Assim, foram baixadas e processadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 do satélite Landsat 8 (data de 26/10/2023) e Landsat 9 (data de 30/06/2024), sensor OLI, resolução de 30 m, órbita 216, ponto 67.

Em seguida, aplicou-se a técnica de correção atmosférica, por meio do algoritmo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)*, sobre as cenas Landsat 8 (26/10/2023) e Landsat 9 (30/06/2024). Na operacionalização do

algoritmo *FLAASH* para a calibração radiométrica e de reflectância de superfície foram usadas as bandas (1 até 7), das duas cenas do satélite Landsat 8 e Landsat 9, por meio do arquivo de metadados (MTL).

O processo de correção atmosférica foi realizado em duas etapas. No primeiro momento, efetuou-se a conversão nas imagens dos valores de *digital number (DN)* para radiância espectral, conforme equação (1) proposta por Markham & Baker (1986 apud PONZONI, 2012) apresentada abaixo.

$$L_0(\lambda) = \alpha_i + \frac{b_i - \alpha_i}{255} \cdot DN \quad (1)$$

Sendo que a e b constituem as radiâncias máximas e mínimas ($Wm^{-2}sr^{-1}m^{-1}$) identificado pelo sensor OLI; os números digitais (ND) variam de 0 até 255; i diz respeito às bandas (4 e 5) das imagens do Landsat 8 e Landsat 9.

No segundo momento, com base nos valores de radiância espectral, gerou-se os dados ligados à reflectância de superfície, conforme equação (2) abaixo.

$$\rho_i = \frac{\pi \cdot L_0(\lambda) \cdot d^2}{E_{sun}(\lambda) \cdot \cos \theta} \quad (2)$$

Sendo ρ_i é a reflectância bidirecional aparente de cada banda; $L_0(\lambda)$ consiste na radiância bidirecional aparente ($mW\ cm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), d se relaciona com a distância Sol-Terra em unidades astronômicas; $E_{sun}(\lambda)$ é a irradiância média do sol no topo da atmosfera ($mW\ cm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) e θ consiste no ângulo zenital solar.

No que refere-se aos índices de vegetação, inicialmente, foram aplicadas as técnicas para obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – *NDVI*. Este método proposto Rouse *et al* (1973) que normalizaram a razão para o intervalo de +1 a -1, sendo que as áreas com vegetação densa aproximam-se de +1; as áreas sem vegetação aproximam-se de 0 e os corpos aquáticos aproximam-se de -1. A normalização é feita a partir da equação (3) mencionada abaixo.

$$NDVI = \frac{\rho_{ivp} - \rho_v}{\rho_{ivp} + \rho_v} \quad (3)$$

Em que,

ρ_{ivp} = à reflectância no infravermelho próximo.

ρ_v = absortância no vermelho.

Posteriormente, aplicou-se as técnicas para obtenção do Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), de acordo com Ponzoni (2012), as características do solo exercem influência considerável na radiação dos dosséis vegetais esparsos, com repercussões sobre o cálculo do índice de vegetação. Por conta disso, segundo Huete *et al* (1988 apud PONZONI, 2012) insere-se no SAVI uma constante L que tem a função de minimizar o efeito solo sobre o resultado final do índice. Os valores da constante L são: 1 para densidade baixa de vegetação; 0,5 para densidade média e 0,25 para densidades altas. A equação (4) referente ao índice SAVI é apresentada abaixo.

$$SAVI = \left[\frac{\rho_{IVP} - \rho_v}{\rho_{IVP} + \rho_v + L} \right] \cdot (1 + L) \quad (4)$$

Em que,

ρ_{IVP} = reflectância no infravermelho próximo.

ρ_v = absorvância no vermelho.

L = vegetação: 1 (densidade baixa); 0,5 (densidade média) e 0,25 (densidades altas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das cenas Landsat 8 e Landsat 9, referente à área de estudo, e das técnicas de fotoleitura e fotointerpretação, inicialmente, identificou-se as classes de uso da terra e, em seguida, o comportamento espectral das seguintes feições: Caatinga florestal, Caatinga savânica, Agricultura, Pastagem, Solo exposto e Corpos aquáticos (figura 2).

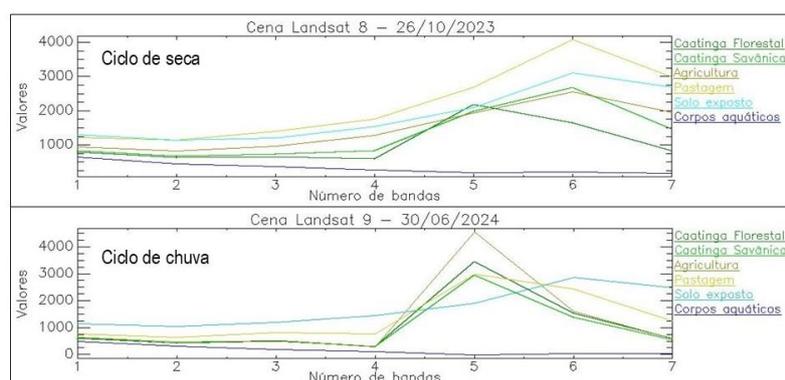


Figura 2: Comportamento espectral dos usos da terra, Município de Euclides da Cunha, estado da Bahia.
Elaboração: Avelino, 2024.

A análise da assinatura espectral da Caatinga florestal (figura 2) e da savânica expressa que essas formações florestais possuem comportamento distintos quanto ao ciclo de seca (26/10/2023) ao ciclo de chuva (30/06/2024). A Caatinga florestal possui

maior absorvância de energia na banda 4 (vermelho: 0.64 - 0.67 μ m) e reflete mais energia eletromagnética na banda 5 (infravermelho próximo: 0.85 - 0.88 μ m), no entanto, em função da escassez de umidade sobre o terreno durante o ciclo de seca, a reflectância na banda 5 ocorre em menor proporção quando comparado ao dado do ciclo de chuva. Neste, a umidade do terreno repercute em maior vigor para a Caatinga florestal, fato observado por meio da curva mais acentuada da assinatura espectral na banda 4 e na banda 5 (dado de 30/06/2024).

Quanto à Caatinga savânica, observa-se que no ciclo de seca, essa formação florestal tem maior absorção de energia na banda 4 (vermelho: 0.64 - 0.67 μ m) e reflete mais energia na banda 6 (infravermelho médio: 1.57 - 1.65 μ m), causada pela escassez de umidade sobre o terreno. O menor vigor dessa formação florestal submerge frente à predominância das características geológicas do terreno. Por sua vez, no ciclo de chuva o terreno ganha umidade, a Caatinga savânica adquire vigor, sendo que a banda 4 (vermelho: 0.64 - 0.67 μ m) permanece como a de maior absorvância; e a banda 5 (infravermelho próximo: 0.85 - 0.88 μ m) de maior reflectância como pode ser constatado por meio da curva da assinatura espectral do dado de 30/06/2024.

Os resultados obtidos com a aplicação do *NDVI* e *SAVI* sobre a cena orbital acerca da área de estudo possibilitou aquisição de parâmetros estatísticos (tabela 1) ligados à assinatura espectral de cada técnica, considerando cada ciclo (seca e chuva). Os parâmetros estatísticos calculados foram: mínimo, máximo, média e desvio padrão.

Tabela 1: Parâmetros estatísticos da assinatura espectral do *NDVI*, *SAVI*.

Índices	Mínimo	Máximo	Média	D. Padrão
<i>NDVI</i> ciclo de seca	- 0.8909	0.9098	0.0138	0.0729
<i>NDVI</i> ciclo de chuva	0.2386	0.8569	0.0613	0.1997
<i>SAVI</i> ciclo de seca	0.3089	0.9384	0.0207	0.1094
<i>SAVI</i> ciclo de chuva	0.4725	0.9306	0.5927	0.5409

Elaboração: Avelino, 2024.

Os parâmetros estatísticos expressam resultados distintos em relação ao *NDVI* e ao *SAVI*, bem como em relação ao ciclo de seca e o ciclo de chuva. Estes dados chamam a atenção para a complexidade do domínio da Caatinga, especialmente no que refere-se a sazonalidade da precipitação que repercute diretamente na estrutura da sua cobertura florestal.

A distinção da assinatura espectral entre o *NDVI* e o *SAVI* para a compreensão do padrão de ocupação da Caatinga ficou mais evidente, especificamente, quando se observa as amostras extraídas das cenas Landsat 9 (30/06/2024) e Landsat 8 (26/10/2023) para visualização do comportamento espectral da Caatinga florestal e Caatinga savânica (figura 3).

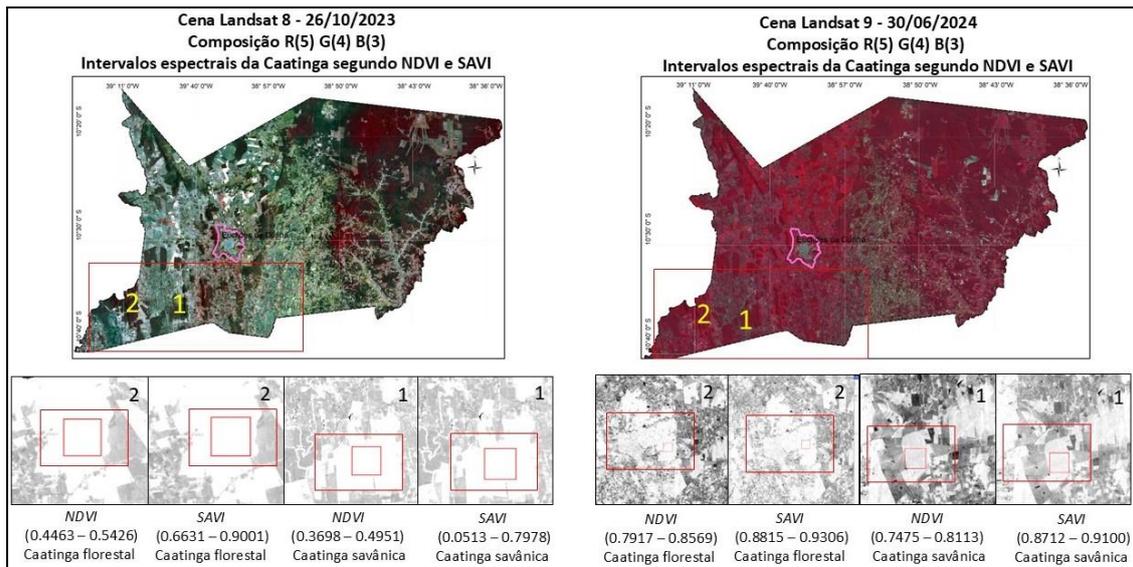


Figura 3: Amostras espectrais para a Caatinga florestal e Caatinga savânica.

Elaboração: Avelino, 2024.

O *NDVI* apresentou assinaturas espectrais muito distintas, na mesma cena e para cada uma das classes. Este fato chama a atenção especialmente porque as cenas do satélite Landsat (8 e 9) possuem a mesma resolução espacial, as bandas 4 e 5 têm o mesmo intervalo espectral. Sendo assim, a sazonalidade da precipitação e suas repercussões sobre o comportamento florestal da Caatinga, possivelmente favorece o efeito de saturação do *NDVI*, que por sua vez, interfere na assinatura espectral da Caatinga florestal e savânica.

Portanto, o *SAVI* apresentou dados mais refinados, em relação à assinatura espectrais para a Caatinga florestal e Caatinga savânica. Provavelmente, o melhor desempenho do *SAVI* esteja relacionado à constante *L*, que tem a função de minimizar o efeito do solo sobre a cobertura florestal, sem comprometer a pureza do pixel, quanto à assinatura espectral do padrão de ocupação da Caatinga, no âmbito da área de estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As concepções de domínio da Caatinga (AB'SÁBER, 2003); Geografia Socioambiental (MENDONÇA, 2001); e Sensoriamento Remoto da Vegetação (PONZONI, 2012) deram subsídios teóricos para compreender a relação entre o sensoriamento remoto e o padrão de ocupação da Caatinga (florestal e savânica), no contexto do município de Euclides da Cunha, Bahia.

As técnicas de fotoleitura, fotointerpretação e a visualização do comportamento espectral dos diferentes padrões de ocupação ajudaram a identificar os usos da terra praticados na área de estudo. Ademais, constatou-se que a sazonalidade da precipitação e sua relação com a cobertura florestal influencia nas bandas de maior absorvância e refletância de energia eletromagnética.

O *NDVI* gerou dados com assinaturas espectrais muito distintas, considerando o ciclo (seca e chuva) e a Caatinga (florestal e savânica). Nesse sentido, constatou-se que possivelmente a sazonalidade da precipitação e a sua influência sobre a Caatinga favorece o efeito de saturação do *NDVI*. Diante do exposto, constatou-se que o *SAVI* apresentou dados mais refinados, em relação à assinatura espectrais. O melhor desempenho do *SAVI*, provavelmente, esteja relacionado à constante *L*, que possibilitou um dado com maior acurácia para a Caatinga (florestal e savânica), na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os Domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- FRANCA ROCHA et al. Towards Uncovering Three Decades of LULC in the Brazilian Drylands: Caatinga Biome Dynamics (1985–2019). **Land** 2024, 13, 1250.
- GANEM, Khalil Ali et al. Mapeamento da Vegetação da Caatinga a partir de Dados Ópticos de Observação da Terra - Oportunidades e Desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 72, n. Especial 50 anos, p. 829-854, 2020.
- IBGE. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- MENDONÇA, F. Geografia Socioambiental. **Terra Livre**, São Paulo, n 16, p. 139-158, 2001.
- ORSINI, José Antônio Marengo. Mudanças Climáticas: processos, consequências, mitigação e adaptação. **Bahia Análise e Dados**. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI, Salvador-BA. v. 33, n. 2, p. 9-17, 2023.
- PONZONI, F. J.; Shimabukuro, Yosio Edemir. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2012.