

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA COBERTURA VEGETAL A PARTIR DO MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL NO POLO DE DESERTIFICAÇÃO DE JEREMOABO-BA

Lucas Amorim Fernandes ¹
Elane Fiuza Borges ²

INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto tem sido muito utilizado para o monitoramento da fenologia e alterações da cobertura vegetal por meio de imagens de satélite, com sensores de alta resolução temporal, como por exemplo o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), cuja resolução temporal consiste entre 1 a 2 dias, com diversos produtos - destaque para o MOD13Q1 – Índice de Vegetação com resolução temporal de 16 dias - o qual dispõe de índices de vegetação essenciais para análise da cobertura vegetal, como por exemplo o EVI (*Enhanced Vegetation Index*), utilizado para estudar as variações presentes na cobertura vegetal, sendo este mais resistente aos ruídos atmosféricos e aos efeitos do solo.

As imagens de EVI são geradas a partir de bandas espectrais na faixa do azul, vermelho e infravermelho do MODIS, minimizando os efeitos entre o solo e a atmosfera com alta resposta nas variações da fenologia vegetal em um período de 16 dias (JUSTICE *et al.*, 1998). Essas variações podem ser detectadas por meio da análise das imagens-fração (IF) derivadas do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), pois detém informações proporcionais dos componentes puros como sombra/água, solo e vegetação, apresentando poucas variações e interferências dos fatores atmosféricos e luminosidade se comparadas aos índices de vegetação (SHIMABUKURO *et al.*, 1998).

De acordo com Detchmendy e Pace (1972) e Aguiar *et al.*, (1999), o MLME surgiu com o propósito de analisar as variações comportamentais nas assinaturas espectrais dos diferentes tipos de alvos, com a proporção dos *endmembers* presentes em cada pixel da imagem, reduzindo a dimensionalidade dos dados representados em uma imagem (AGUIAR *et al.*, 1999; VERONA *et al.*, 2001).

Portanto, esta pesquisa objetivou analisar o comportamento da cobertura vegetal por meio da comparação das imagens-fração do MLME e EVI, no Polo de Desertificação de

¹Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, Geógrafo, lucas.amorimfernandes@gmail.com;

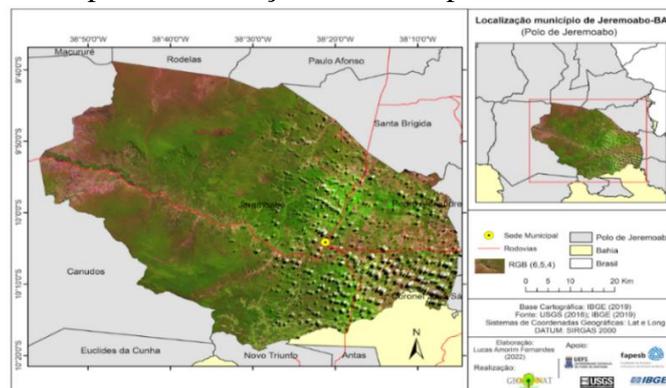
²Professora Titular do curso de Geografia, da Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, elaneborges@gmail.com;

Jeremoabo, na mesorregião do Nordeste da Bahia, a partir da discriminação da cobertura vegetal natural e antrópica.

METODOLOGIA

A área de estudo compreende o município de Jeremoabo (Figura 1), que integra o Polo de Desertificação de Jeremoabo-BA inserido na ASD (Área Susceptível a Desertificação), considerado o segundo maior núcleo de ASD - dispendo de uma área total de 24.560,67 km² e inserido nos pediplanos da Depressão Sertaneja, com destaque para os relevos residuais do Raso da Catarina e Itapicuru, como também a bacia Sedimentar do Tucano - apresenta médias pluviométricas anuais entre 300 e 500 mm concentradas entre três a quatro meses - com a predominância do bioma Caatinga e com pequenas áreas representadas pela Florestal Estacional encontrada na Estação Ecológica do Raso da Catarina e no Parque Estadual de Canudos, e tendo como sua principal rede hidrográfica composta pelos rios Vaza-Barris e São Francisco. (PAE; INEMA, 2014).

Figura 1: Mapa de localização do município de Jeremoabo – BA.



Elaboração: Os autores (2022).

Foram adquiridas 391 imagens para um período compreendido entre os anos de 2001 e 2017, sendo 23 imagens por ano. Esses dados foram recortados no software ENVI segundo os limites da área de estudo, organizados de forma que cada imagem fosse identificada cronologicamente, conforme calendário Juliano, compondo uma lista de arquivos da série temporal. A série temporal foi processada no programa computacional TIMESAT 3.1.1 com testes em três filtros de suavização disponíveis, para verificar o de melhor desempenho: Logística Dupla, *Savitzky-Golay* e Gaussiano Assimétrico.

Para a geração do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e seleção dos *endmembers* para as imagens-fração de vegetação, solo exposto e sombra/água, adquiriram-se cenas do satélite Landsat 8 – OLI (*Operational Land Imager*) com resolução espacial de 30

metros na plataforma da USGS (*United States Geological Survey*), compreendendo os períodos seco e chuvoso da área de estudo – com a realização de composição colorida de falsa cor nas bandas B6 (*SWIR-1*), B5 (*NIR*) e, B4 (*RED*) no *software ArcGis 10.4*, com a conversão dos valores de números digitais (ND) para valores de reflectância (TOA) e correção do topo da atmosfera (SHIMABUKURO, DUTRA E ARAI, 2020), seguindo a equação:

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \cos(\theta SZ) = \rho\lambda' / \sin(\theta SE)$$

Onde: $\rho\lambda$ = reflectância planetária; θSE = ângulo de elevação solar; θSZ = ângulo zenital solar

Foi realizada também a coleta de dados de campo na área de estudo em janeiro de 2020, na qual foram visitados pontos em diferentes regiões da área relacionadas à cobertura vegetal e uso das terras, solos, geologia, geomorfologia e hidrografia. Nesses pontos visitados e nos demais selecionados a partir do software computacional Timesat 3.1.1 e LAF/INPE, foram coletadas as coordenadas geográficas a fim de obter as assinaturas espectro-temporais de EVI nos dados processados no software ENVI 5.0, para identificar as classes de uso e cobertura das terras representativas de cada ponto (Tabela 1).

Tabela 1: Pontos coletados em atividade de campo no município de Jeremoabo, para extração das assinaturas temporais e classes representativas de uso e cobertura vegetal.

Pontos e Classes Naturais/Antrópicas	Coordenadas Geográficas
1 - Agropecuária	9° 55' 36.42'' S / 38° 49' 09.24'' W
2 - Formação Savânica-Estépica	9° 58' 50.4'' S / 38° 39' 34.1'' W
3 - Formação Florestal	9° 47' 39.31'' S / 38° 26' 54.52'' W
4 - Formação Campestre	9° 52' 46.11'' S / 38° 53' 31.39'' W

Fonte: MapBiomias (2024). **Elaboração:** Os autores (2024).

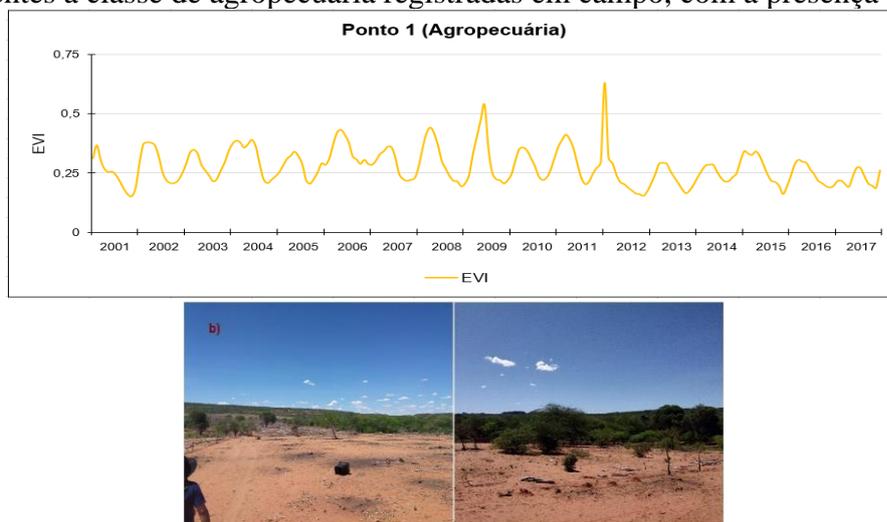
RESULTADOS E DISCUSSÃO

As assinaturas temporais, foram extraídas com base nas coordenadas dos pontos visitados em campo. Os pontos coletados estão inseridos nas classes natural de Formação Savânica-Estépica e antrópica de Agropecuária no município de Jeremoabo-BA, e os pontos escolhidos por meio do LAF/INPE estão inseridos nas classes naturais de Formação Florestal e Formação Campestre.

No primeiro ponto (Figura 2), percebe-se elevados picos de EVI com posterior queda acentuada dos valores, o que pode-se estar relacionado a períodos de cultivos agrícolas e consequentemente a exposição do solo após a colheita. No entanto, a partir do ano de 2012 a assinatura apresentou alteração em seu comportamento espectral nos valores de EVI, o que pode ser explicado, principalmente, pelas interferências sazonais do regime pluviométrico

ocasionados por eventos de seca nesse mesmo ano, com sensibilidade hídrica sazonal devido aos baixos índices de precipitação, ocasionados pelo longo período de estiagem na região (SANTOS *et al.*, 2012; FORTUNATO *et al.*, 2019).

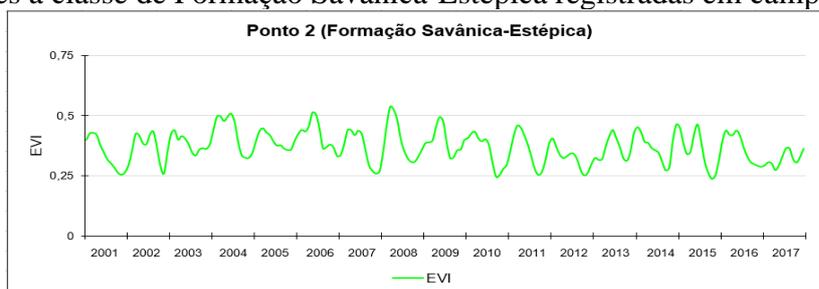
Figura 2: Assinatura espectro-temporal do primeiro ponto visitado em campo; b) Fotografias correspondentes a classe de agropecuária registradas em campo, com a presença de algarobas.



Elaboração: Os autores (2020).

A assinatura espectro-temporal da classe Formação Savânica-Estépica (Figura 3) apresentou os maiores valores de EVI durante o período de grande concentração dos índices pluviométricos, esse de fevereiro a abril, porém com variações nos valores em toda a assinatura espectro-temporal o que pode estar relacionado aos fatores de supressão da vegetação nativa e conversão para área de pastagens e plantio, bem como aos efeitos da sazonalidade com destaque para o ano de 2012, onde o comportamento espectral sofreu interferências sazonais climáticas em sua assinatura, o que também pode estar relacionado aos efeitos da seca ocorrida naquele mesmo ano. Analogamente, as fotografias registradas em campo retratam uma propriedade com a vegetação nativa aparentemente preservada e, no outro registro, à direita, a vegetação nativa foi suprimida e houve conversão da área para área de pastagem.

Figura 3: Assinatura espectro-temporal da Formação Savânica-Estépica; b) Fotografias correspondentes a classe de Formação Savânica-Estépica registradas em campo.

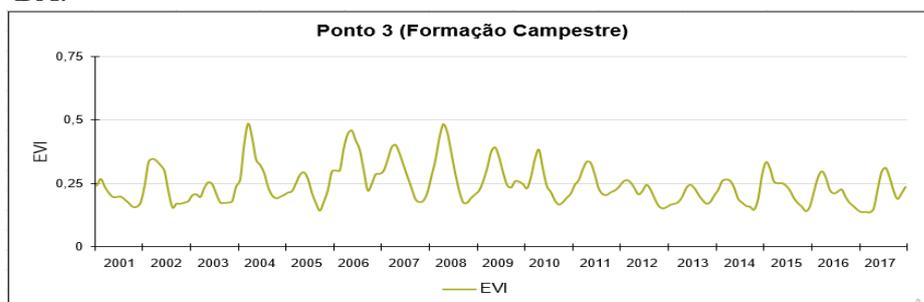




Elaboração: Os autores (2020).

Na assinatura espectro-temporal (Figura 4) da classe da Formação Campestre não apresenta fortes variações em seu comportamento espectral, quando comparada às demais classes analisadas, pois apresenta-se mais adaptável aos efeitos da sazonalidade climática da região.

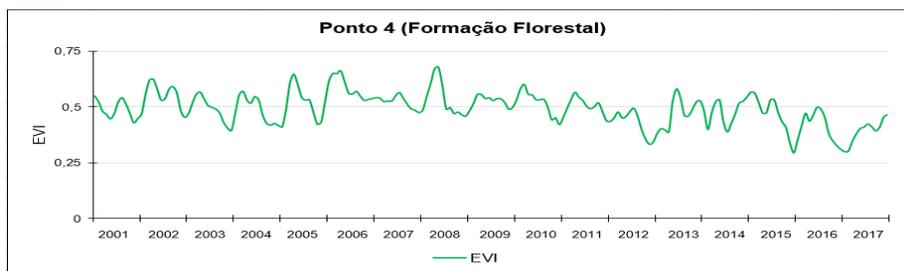
Figura 4: Assinatura espectro-temporal da classe de Formação Campestre para o município de Jeremoabo-BA.



Elaboração: Os autores (2020).

Na assinatura espectro-temporal da classe natural Formação Florestal (Figura 5), observou-se que a mesma apresenta padrões acentuados em seus valores de EVI, diferentemente das demais classes representativas do município de Jeremoabo, alcançando valores superiores a 0,6. Sendo assim, não apresentou significativas variações em sua assinatura, mas oscilações pequenas entre seus ciclos (estação chuvosa e seca) comprovando que a mesma não apresenta um comportamento totalmente decíduo, sendo que durante a maior parte do período analisado, os valores de EVI na assinatura são superiores a 0,5, o que pode ser explicado pela forte presença de atividade fotossintética em todo o período e a característica da densidade vegetacional, típica dessa classe, ainda que exposta ao regime pluviométrico (ARAI *et al.*, 2009).

Figura 5: Assinatura espectro-temporal da classe de Formação Florestal para o município de Jeremoabo - BA.



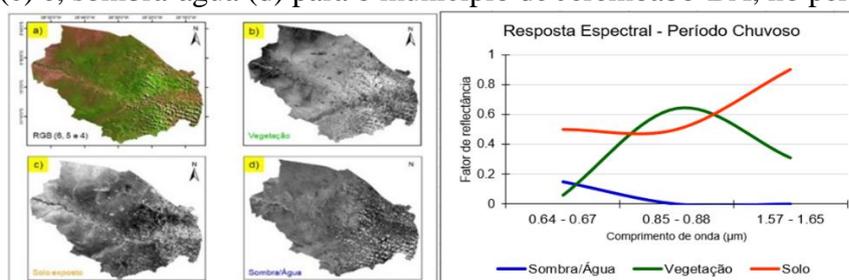
Elaboração: Os autores (2020).

A geração do Modelo de Mistura Espectral para a área de estudo considerou os *endmembers* de vegetação, solo exposto e sombra/água, assim como fez Junior *et al.*, (2015) para o bioma Cerrado, os quais consideraram como membros finais em seu estudo na mata de galeria, solo exposto e sombra/água.

As imagens-fração de vegetação (Figura 6-b e Figura 7-b) dos períodos chuvoso têm-se em tons mais claros maior participação da cobertura vegetal, compreendendo a vegetação natural (Formação Florestal e Savânica-Estépica) com maior reflectância na faixa espectral B5 - NIR) e uma queda acentuada de reflectância na faixa B6 – SWIR-1, caracterizando baixa atividade fotossintética nessa faixa espectral, sendo que no período seco temos às margens do rio Vaza-Barris pixels mais brilhantes correspondentes aos cultivos agrícolas, apresentando uma mistura dos alvos.

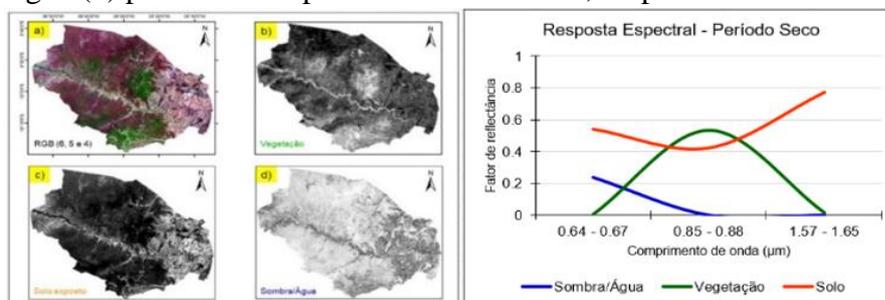
Nas imagens-fração correspondentes a solo exposto (Figura 6-c e Figura 7-c) percebe-se nos dois períodos, pixels mais brilhantes na porção leste da área de estudo com maior reflectância na faixa espectral $1,57 \mu m - 1,65 \mu m$ (SWIR-1), com destaque para o período seco (Figura 7-c) onde é possível notar maior extensão de pixels claros representativos de solo exposto, o que pode ser explicado por áreas degradadas, desmatadas e perímetros agrícolas de cultivos, resultantes das ações antrópicas e condições climáticas (SHIMABUKURO; DUTRA; ARAI, 2020).

Figura 6: Composição colorida RGB (a) do Landsat-8/OLI e imagens-fração de vegetação (b), solo exposto (c) e, sombra-água (d) para o município de Jeremoabo-BA, no período chuvoso.



Elaboração: Os autores (2022).

Figura 7: Composição colorida (a) de falsa cor e imagens-fração de vegetação (b), solo exposto (c) e, sombra/água (d) para o município de Jeremoabo-BA, no período seco.



Elaboração: Os autores (2022).

As imagens-fração derivadas do MLME, vegetação, solo e sombra/água, são comumente utilizadas devido a sua representação em qualquer cena da superfície terrestre (SHIMABUKURO, DUTRA; ARAI, 2020). Sendo que, quando integralizadas, podem fornecer informações essenciais no monitoramento de diferentes classes representativas da cobertura terrestre, sejam essas, naturais e/ou antrópicas, e áreas de queimadas devido a sua dinâmica e comportamento, facilitando a discriminação dos alvos, tendo como exemplo o bioma Caatinga e a sua sazonalidade climática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises das assinaturas espectro-temporais referentes ao período temporal de 17 anos (2001-2017), possibilitaram discriminar e caracterizar as principais classes representativas da cobertura vegetal no município de Jeremoabo, assim como a influência da sazonalidade climática nos valores de EVI associados ao comportamento fenológico nessas classes, diagnosticando a relação direta com o padrão sazonal climático da região.

O MLME se constitui como uma das mais importantes e principais ferramentas para diagnóstico e análise da cobertura terrestre que poderá ser utilizado em futuras pesquisas, principalmente na quantificação em paisagens modificadas pela ação antrópica, como o Polo de Desertificação de Jeremoabo, que se apresenta como um dos mais desertificados da região semiárida do Brasil.

Recomenda-se testar os procedimentos realizados nesta pesquisa em outras regiões do bioma Caatinga, principalmente, o Modelo Linear de Mistura Espectral, pois os procedimentos utilizados mostraram-se muito eficazes, sendo recomendado também a sua utilização, principalmente, em áreas com forte grau de desertificação ou degradação ambiental como se caracteriza a área de estudo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. P. D.; SHIMABUKURO, Y. E.; MASCARENHAS, N. D. A. Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. **International Journal of Remote Sensing**, Londres, V. 20, N. 4, P. 647-657, 1999.
- ARAI, E. et al. Análise de séries temporais MODIS e TRMM nas áreas de caatinga, cerrado e floresta. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. P. 5081-5088.
- DETMENDY, D. M.; PACE, W. H. A model for spectral signature variability for mixtures. In: SHAHROKHI, F. (Ed.). **Remote Sensing of Earth Resources**. Tallahoma: University of Tennessee, V. 1, P. 596-620, 1972.
- FORTUNATO, U. M. C. et al. Discriminação da cobertura vegetal e uso das terras a partir de Séries Temporais do Sensor MODIS no município de Euclides da Cunha-BA. PINHEIRO, L. de S.; GORAYEB, A. (org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. 18 ed. Fortaleza: UFC, 2019. P. 1-12. ISBN 978-85-7282-778-2. *E-book*.
- JUNIOR, A. F. C. et al. Fenologia e estrutura do dossel de fitofisionomias do Cerrado descritas pelo modelo de mistura linear espectral e índices de vegetação. IN: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. P. 1915-1922.
- JUSTICE, C. O. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, V. 36, N. 4, P. 1228-1249, jul. 1998.
- PAE; INEMA. **Plano Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAE/BA - Versão Validada** -. Salvador, 2014. P. 185.
- SANTOS, E. et al. A seca no nordeste no ano de 2012: relato sobre a estiagem na região e o exemplo de prática de convivência com o Semiárido no Distrito de Iguaçú/Canindé-CE. **Revista Geonorte**, Manaus, V. 3, N. 8, P. 819-830, 6 out. 2012.
- SHIMABUKURO, Y. E. et al. Índice de Vegetação e Modelo Linear De Mistura Espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, V. 33, Número Especial, P. 1729-1737, out. 1998.
- SHIMABUKURO, Y. E.; DUTRA, A. C.; ARAI, E. Modelo Linear de Mistura Espectral: conceitos teóricos, algoritmos e aplicações em estudos na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, V. 72, Número Especial, P. 1140-1169, 30 dez. 2020.
- VERONA, J. D. et al. Detecção de mudanças em área sob influência da Floresta Nacional do Tapajós-PA, utilizando o modelo linear de mistura espectral. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. P. 8.