

---

# Avaliação de fragmentos de cerrado com base em índices de vegetação do sensor msi/sentinel 2-a na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho no estado de Goiás, Brasil

*Evaluation of cerrado fragments based on vegetation indexes of the msi/sentinel 2-a sensor in the Rio Vermelho Watershed in Goiás State, Brazil*

*Evaluación de los fragmentos del cerrado basado en índices de vegetación del sensor msi / sentinel 2-a en la Cuenca Hidrográfica de Río Vermelho en Goiás, Brasil*

## **Eliane Soares Ribeiro**

Universidade Estadual de Goiás  
[elianemanu12@gmail.com](mailto:elianemanu12@gmail.com)

## **Paula Regina Leite de Brito**

Universidade Estadual de Goiás  
[paulapaollalucas3@gmail.com](mailto:paulapaollalucas3@gmail.com)

## **Carolina Gomes de Jesus**

Universidade Estadual de Goiás  
[carolinagdi@hotmail.com](mailto:carolinagdi@hotmail.com)

## **José Carlos de Souza**

Universidade Estadual de Goiás  
[jose.souza@ueg.br](mailto:jose.souza@ueg.br)

## **Resumo**

*Este artigo tem como objetivo avaliar as características espectrais dos fragmentos de formação florestal e savânica de Cerrado, da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, por meio do índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI). A bacia*

hidrográfica do Rio Vermelho possui uma área aproximada de 10.800 Km<sup>2</sup> e compõe o sistema de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Araguaia. A definição dos fragmentos de cobertura vegetal e o cálculo dos índices foram feitos utilizando imagens do sensor MSI/Sentinel 2-A, bandas RGB e infravermelho próximo. O resultado dos índices NDVI e SAVI para os fragmentos evidenciou uma importante diferença nas características da cobertura vegetal, indicando as formações florestais com maior vigor, densidade e produção fotossintética do que as formações savânicas. Os valores médios, máximos e o pico de frequência dos índices foram maiores para as formações florestais e menores para as formações savânicas, reflexo da diferença da densidade vegetal e da variação das espécies nestes tipos de fitofisionomias. As imagens do sensor MSI/Sentinel 2-A apresentaram aplicabilidade satisfatória na distinção das fitofisionomias analisadas e no cálculo dos índices, por possuírem a melhor resolução espacial dentre as imagens gratuitas.

**Palavras-chave:** Índices de vegetação. Formação florestal. Formação savânica. Sentinel 2-A.

### Abstract

This article aims to evaluate the spectral characteristics of the fragments of forest and savanna formation in Cerrado, of the Rio Vermelho watershed, through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). The Rio Vermelho watershed has an area of approximately 10,800 km<sup>2</sup> and is part of the drainage system of the Araguaia River watershed. The definition of the vegetation cover fragments and the calculation of the indexes were made using images of sensor MSI/Sentinel 2-A, RGB bands and near infrared. The result of the NDVI and SAVI indexes for the fragments showed an important difference in the characteristics of the vegetation cover, indicating the forest formations with greater vigor, density and photosynthetic production than the savanna formations. The average, maximum values and the peak frequency of the indexes were higher for forest formations and lower for savanna formations, reflection of the difference in vegetation density and variation of species in these types of phytophysiognomies. The Sentinel 2-A images showed applicability in distinguishing the analyzed phytophysiognomies and calculating the indexes, for having the best spatial resolution among the free images.

**Keywords:** Vegetation index. Forest formation. Savanna formation. Sentinel 2-A.

### Resumen

Este artículo tiene como objetivo evaluar las características espectrales de los fragmentos de formación de cubierta forestal y sabanas del Cerrado, en la cuenca hidrográfica del Río Vermelho, por medio del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Vegetación Ajustado del Suelo (SAVI). La cuenca hidrográfica del río Vermelho tiene una superficie de aproximadamente 10.800 km<sup>2</sup> y forma parte del sistema de drenaje de la cuenca hidrográfica del río Araguaia. La definición de los fragmentos de cobertura vegetal y el cálculo de los índices se realizaron utilizando imágenes del sensor MSI/Sentinel 2A, bandas RGB e infrarrojo cercano. El resultado de los índices NDVI y SAVI para los fragmentos mostró una diferencia importante en las características de la cubierta vegetal, indicando las formaciones forestales con mayor vigor, densidad y producción fotosintética que las formaciones de sabana. El promedio, los valores máximos y la frecuencia máxima de los índices fueron más altos para las formaciones forestales y más bajos para las formaciones de sabana, lo que refleja la diferencia en la densidad vegetativa y la variación de especies en este tipo de tipos de vegetación. Las imágenes satelitales

*del sensor MSI/Sentinel 2-A mostró una aplicabilidad para distinguir las fitofisiognomías analizadas y calcular los índices, ya que tienen la mejor resolución espacial entre las imágenes libres.*

**Palabras clave:** Índice de vegetación. Formación forestal. Formación de sabana. Sentinel 2-A.

## Introdução

O acelerado processo de alteração das paisagens naturais tem incentivado o desenvolvimento de estudos geoambientais, com vistas ao monitoramento e análise da estrutura e dinâmica dos fragmentos de remanescentes de ecossistemas naturais. O uso de imagens orbitais tem contribuído substancialmente nestes estudos, dando suporte ao levantamento e tratamento das informações espaciais e gerando produtos voltados à gestão, manejo e planejamento ambiental.

Dentre as inúmeras aplicações e uso de imagens orbitais, temos a estimativa de índices espectrais, conhecidos como índices de vegetação. Os índices são apontados como indicadores que podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos, incluindo o índice de área foliar, biomassa, atividade fotossintética, estresse hídrico, dentre outros, bem como sua classificação em relação às fisionomias, contribuindo na modelagem dos processos naturais e antrópicos da superfície (JENSEN, 2009; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) está entre os índices mais utilizados. Foi desenvolvido por Rouse *et al.* (1973), e é gerado a partir de bandas das regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. Bandas espectrais são imagens capturadas por sensores, em diferentes comprimentos de ondas e, o nome da banda espectral, se refere à região do espectro onde a mesma está localizada (TÔSTO *et al.*, 2014). Os valores do NDVI variam de -1 a 1, sendo que os valores positivos indicam a presença de cobertura vegetal e produção fotossintética (PAU; GILLESPIE; WOLKOVICH, 2012; RAFIQUE *et al.*, 2016).

O Índice de Vegetação Ajustado para a Correção dos Efeitos do Solo - SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) foi desenvolvido por Huete (1988) e, assim como o NDVI, envolve a razão entre bandas nas regiões

espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, mas assume uma constante de ajuste para reduzir os efeitos do solo, melhorando a resposta espectral da vegetação. Os valores do SAVI variam entre -1,5 a 1,5, sendo que os valores negativos e próximos de zero indicam nuvens, rochas expostas, corpos hídricos e solo sem vegetação e, quanto mais próximo de 1,5, maior a produção fotossinteticamente ativa da cobertura vegetal (BARET; GUYOT, 1991; MENESES; ALMEIDA, 2012).

Estudos de monitoramento do Cerrado, utilizando índices de vegetação, tem demonstrado o potencial desta técnica na análise das alterações sazonais da estrutura da vegetação e dinâmica fenológica; detecção de processos de regeneração natural da vegetação; caracterização e distinção de fitofisionomias; monitoramento das alterações climáticas, que são resultado das mudanças na cobertura do solo e que altera as propriedades biofísicas da superfície; identificação de áreas queimadas dentre outras. E, os produtos destes monitoramentos tem subsidiado a definição de áreas prioritárias para a implementação de políticas e projetos de conservação da biodiversidade (BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2009; FERREIRA; FERREIRA; FERREIRA, 2008; PEREIRA *et al.*, 2016; RESENDE *et al.*, 2015)

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupa 21% do território nacional e é considerado a última fronteira agrícola do planeta, com intenso processo de fragmentação de habitats. Em função destas condições, este domínio tornou-se uma área prioritária para conservação da biodiversidade, sendo enquadrada como um dos hotspots mundiais de biodiversidade (KLINK; MACHADO, 2005; MYERS *et al.*, 2000).

O Cerrado brasileiro compreende um conjunto de ecossistemas, que engloba formações florestais, savânicas e campestres. As formações florestais englobam tipos de vegetação com predominância de espécies de árvores e formação de dossel, podendo se subdividir nas fitofisionomias Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e o Cerradão. As formações savânicas são constituídas por Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda. O Cerrado sentido restrito, cobertura mais comum neste domínio, tem por

particularidade árvores baixas, tortuosas, irregulares, não apresentando dossel contínuo (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo avaliar as características espectrais dos fragmentos de formação florestal e savânica de Cerrado, da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, por meio dos índices NDVI e SAVI.

## Materiais e métodos

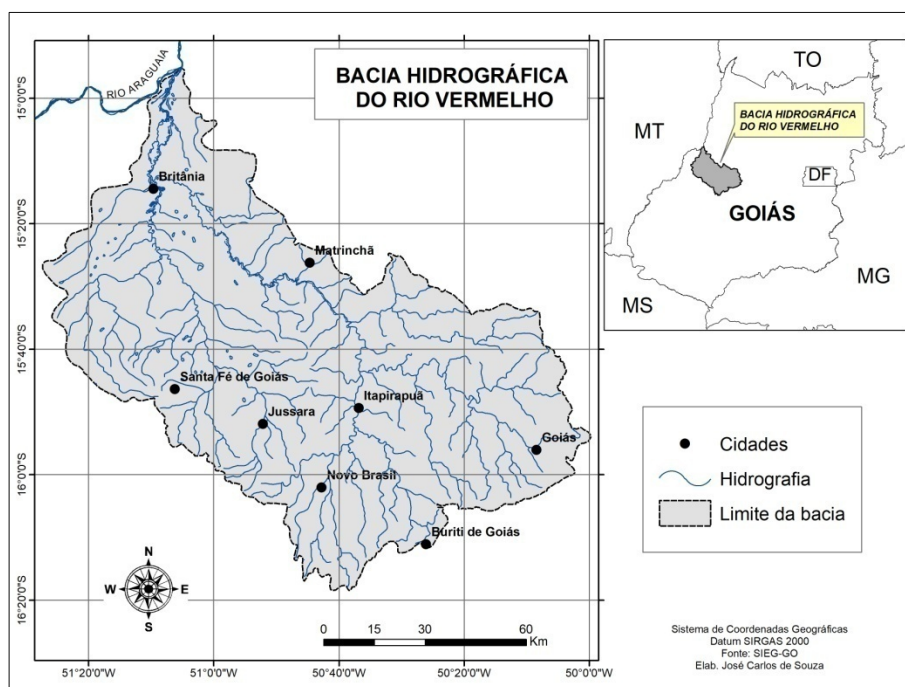


Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV), Goiás.

A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) compõe o sistema de drenagem da Bacia do Rio Araguaia, localizada na porção Oeste do estado de Goiás entre as coordenadas  $14^{\circ}55'00''/16^{\circ}20'00''$  Sul e  $50^{\circ}00'00''/51^{\circ}30'00''$  Oeste. A bacia ocupa uma área de  $10.800 \text{ km}^2$  e seu território é composto pelos municípios de Goiás, Aruanã, Matrinchã,

Britânia, Jussara, Santa Fé de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás, Faina e Itapirapuã (Figura 1).

O período chuvoso ocorre de outubro a março e, de maio a setembro, compreende o período de estiagem. Os totais anuais de chuva variam de 1500mm a 1800mm e as temperaturas médias variam de 24°C a 26°C, com mínimas entre 18°C a 21°C e máximas entre 28°C a 34°C (IBGE, 1999; MACHADO, LIMA, 2011).

Os índices foram calculados utilizando imagens do sensor MSI/Sentinel 2A, datadas de julho de 2019, obtidas na plataforma online Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). As bandas foram adquiridas com a correção geométrica e radiométrica e foram posteriormente corrigidas para reflectância na base da atmosfera (BOA), utilizando a extensão Sen2Cor do software SNAP 6.0 (ESA, 2019).

Os fragmentos de formações florestais e savânicas foram mapeadas por classificação supervisionada, da composição colorida R4G3B2, do sensor MSI/Sentinel 2-A, utilizando o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), no software QGIS versão 3.10.3. Na classificação foram definidas formações florestais, formações savânicas, pastagens/campos, áreas agrícolas, áreas urbanas, corpos hídricos e solo/rocha expostos.

Após a classificação da imagem foram separados somente os fragmentos de floresta e savana iguais ou superiores a 1 Km<sup>2</sup> para avaliação dos índices. Na Tabela 1 são apresentadas as características técnicas das bandas utilizadas.

<b>Bandas</b>	<b>Comprimento de onda (nanômetro)</b>	<b>Resolução espacial (metros)</b>
<b>Banda 02 – Blue (azul)</b>	490	10
<b>Banda 03 – Green (verde)</b>	560	10
<b>Banda 04 – Red (vermelho)</b>	665	10
<b>Banda 08 – Near Infrared (infra-vermelho próximo)</b>	842	10

Os índices foram calculados por meio das equações 1 e 2 a seguir, propostas por Rouse *et al.* (1973) e Huete (1988), respectivamente:

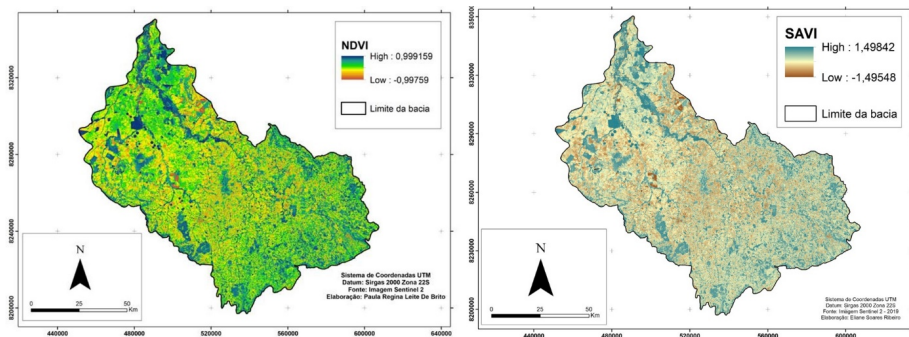
$$\text{Equação 1 - NDVI} = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)}$$

$$\text{Equação 2 - SAVI} = \frac{(1+L).(NIR-R)}{(L+NIR+R)}$$

Onde: NIR = refletância na faixa do infravermelho próximo, R = refletância na faixa do vermelho e L = fator de ajuste (0,5).

## Resultados e discussões

No mapa da Figura 2 temos a espacialização dos índices NDVI e SAVI para a bacia. As imagens são do mês de julho (2019), período de estiagem para a região. No entanto, mesmo em condições de baixa umidade, a vegetação registrou valores próximos ao limite máximo para os índices (NDVI - 0,99 e SAVI - 1,49). Os valores mais elevados podem ser observados no baixo curso da bacia, onde são encontradas agricultura irrigada e ocorrência de terras mais úmidas.



O SAVI apresentou valores maiores em relação ao NDVI, justificado pela aplicação da constante de ajuste do solo no cálculo do índice, melhorando a resposta espectral da vegetação. Os valores deste índice variaram de (-1,49) a 1,49, com média de 0,85 e desvio padrão de 0,27. Em relação ao NDVI, o SAVI apresenta maior dispersão dos dados, quando observados os valores de desvio padrão (Tabela 2).

**Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos índices - BHRV.**

Índice	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio padrão
<b>NDVI</b>	-1,0	1,0	0,57	0,18
<b>SAVI</b>	-1,50	1,50	0,85	0,27

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na aplicação do NDVI e SAVI para áreas de Cerrado Típico (Formação Savânica), por meio de imagens Landsat 8, Jardim *et al.* (2019) encontraram valores entre 0,28 e 0,50 para o NDVI e 0,40 e 0,75 para o SAVI, no mês de janeiro, período úmido para todo o bioma. Gamarra *et al.* (2016), também utilizando imagens Landsat 8, encontraram valores de NDVI para áreas florestais de Cerrado que variaram entre 0,03 a 0,96. Rosendo e Rosa (2009), utilizando imagens do sensor MODIS/Terra, identificaram valores de SAVI em torno de 1,44 para áreas florestais de Cerrado no período úmido.

A amplitude dos dados das imagens índice para toda a BHRV, apresentada nos valores mínimo, máximo e o desvio padrão, se justifica pela diversidade de formas de uso e cobertura do solo. A pastagem é a cobertura predominante na bacia, seguida pela vegetação de Cerrado e áreas agrícolas. Estes tipos de cobertura apresentam valores positivos, no entanto, solos expostos, corpos hídricos, áreas urbanas e rochas expostas, registram valores negativos ou próximos de zero.

Os mapas da Figura 3 apresentam os fragmentos de formações florestais e formações savânicas da bacia, com dimensões iguais ou superiores a 1 Km<sup>2</sup>. Segundo Ribeiro e Walter (2008) as formações florestais ocorrem predominantemente em solos mais profundos, como os Latossolos e em terrenos mais planos. Na BHRV as formações florestais estão também em fundos de vale e às margens dos cursos d'água, como pode-se observar nas formações mais lineares do mapa.



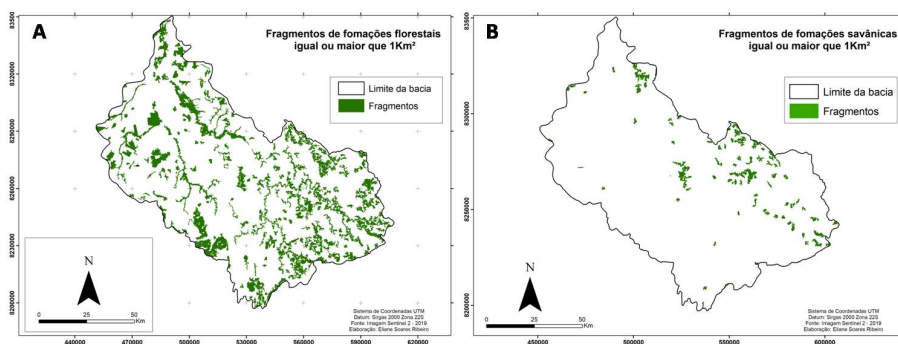


Figura 3 – Fragmentos de formações florestais (A) e savânicas (B) => 1 Km<sup>2</sup>.

As formações savânicas correm em menor proporção em relação às florestas e, os fragmentos deste tipo de cobertura, ocorrem nas bordas mais a nordeste da bacia (Figura 3A). As formações savânica da BHRV ocorrem predominantemente em relevos mais ondulados e solos mais rasos, como os Cambissolos e Neossolos Litólicos, observados nos estudos de Vieira, Ferreira e Ferreira (2016).

A estatística descritiva dos dados dos índices NDVI e SAVI, das formações florestais (FF) e savânicas (FS), são apresentadas na Tabela 3. Os valores dos índices para a FF variaram de 0,21 a 0,94 para o NDVI e de 0,32 a 1,41 para o SAVI. Estes dados indicam que, mesmo estando em período de estiagem para região, com baixos índices de umidade, este tipo de cobertura vegetal apresentou condições favoráveis de vigor, densidade e produção fotossintética.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas dos índices – Fragmentos de formações florestais (FF) e savânicas (FS). VMin – valor mínimo; VMax – valor máximo; M – média e DV – desvio padrão.

Índice	VMin		VMax		M		DV	
	FF	FS	FF	FS	FF	FS	FF	FS
<b>NDVI</b>	0,21	0,27	0,94	0,89	0,85	0,67	0,03	0,09
<b>SAVI</b>	0,32	0,40	1,41	1,34	1,27	1,01	0,05	0,14

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores dos índices para a FS variaram de 0,27 a 0,89 para o NDVI e de 0,40 a 1,34 para o SAVI. Os valores mínimos da FS foram maiores

que o da FF, no entanto, os valores máximos da FF foram mais elevados. Os valores médios dos índices, para as duas formações, indicaram condições favoráveis de vigor e produção fotossintética. Entretanto, em função da característica de menor densidade da FS, os valores médios desta foram menores que os da FF (NDVI – 0,67, SAVI – 1,01). Os valores de desvio padrão indicaram que os dados da FS apresentaram maior dispersão em relação às médias, se comparado com a FF.

Em estudos aplicados no domínio da Mata Atlântica, Demarchi, Piroli e Zimback (2011) encontraram valores de SAVI superiores a 0,6 para matas nativas em densidades de vegetação variadas. Silva, Melo e Galvíncio, (2011) classificaram, como vegetação esparsa a densa, valores de SAVI em torno de 0,44 e vegetação densa 0,78, já Delbart *et al.*, (2006) encontraram valores de NDVI superiores a 0,5 para matas nativas. Cabe ressaltar que nestes estudos foram utilizadas imagens Landsat 5, que apresentam resolução espacial menor que as imagens MSI/Sentinel 2-A.

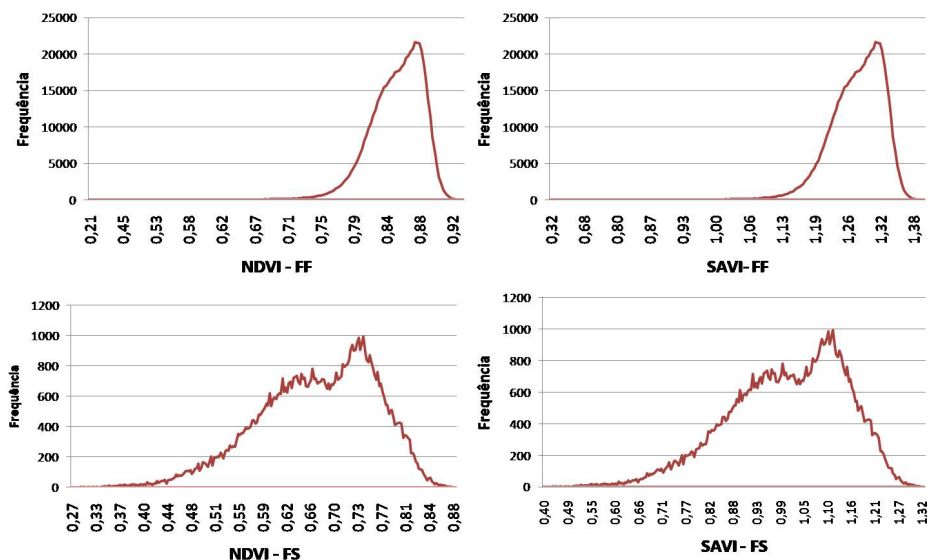


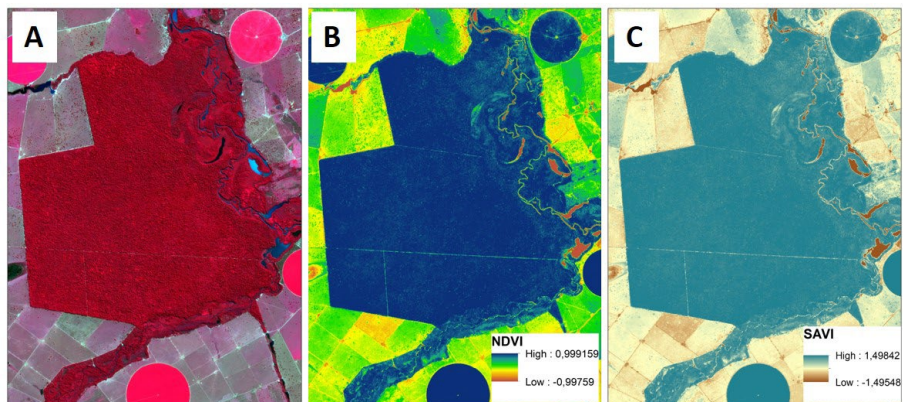
Figura 4 – Histogramas dos índices NDVI e SAVI das formações florestais (FF) e formações savânicas (FS).

Na Figura 4 são apresentados os histogramas dos índices das formações florestais e savânicas que ocorrem na BHRv. Os histogramas

apresentaram distribuição assimétrica negativa, ou seja, com concentração dos dados e pico de frequência à direita, onde os valores mais altos do índice são mais frequentes.

O pico de frequência do NDVI para a FF corresponde ao valor 0,87 e para FS de 0,74. Quanto ao SAVI o pico de frequência da FF é de 1,31 e para o FS é de 1,12. Assim como os valores médios, os índices registraram picos de frequência com valores maiores para a FF, evidenciando assim a ocorrência de uma vegetação com maior vigor, densidade e homogeneidade espectral para as formações florestais.

A composição Infravermelho Colorida (IC) é utilizada para avaliação do comportamento espectral da vegetação (composição das imagens 8[R] 4[G] 3[B]). Na Figura 5 temos a composição IC de um fragmento florestal e de savana, acompanhado dos índices NDVI e SAVI. O fragmento de formação florestal apresenta vermelho brilhante e textura mais homogênea (Figura 5 – A) e os índices registram os valores máximos indicando maior densidade e vigor da vegetação. O fragmento de formação savânica (Cerrado Stricto Sensu), apresenta um avermelhado mais claro e textura mais heterogênea (Figura 5 – D).



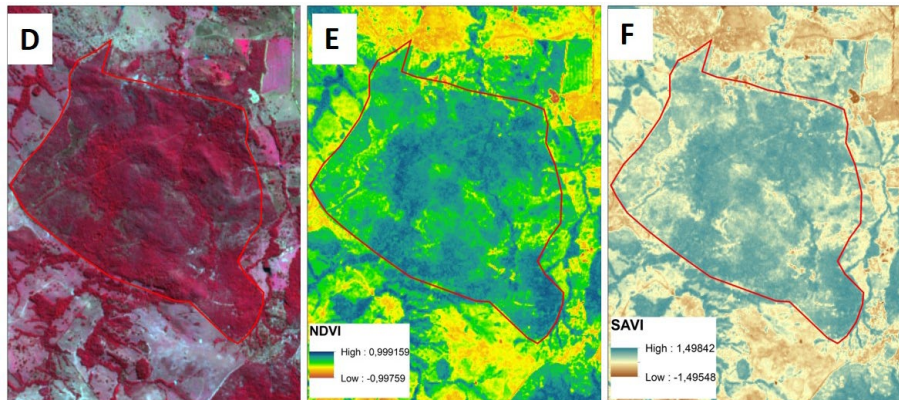


Figura 5 – Fragmentos de Formação Florestal (A: composição IC, B: NDVI, C: SAVI) e Formação Savânica (A: composição IC, B: NDVI, C: SAVI).

### Considerações finais

O resultado dos índices NDVI e SAVI para os fragmentos, evidenciaram a diferença nas características da cobertura vegetal entre as formações florestais e savânicas. Os valores médios, máximos e o pico de frequência foram maiores para as formações florestais e menores para as formações savânicas, reflexo da diferença de densidade e da variação da cobertura vegetal nestes tipos de fitofisionomias. A composição Infravermelho Colorida, das imagens MSI/Sentinel 2-A, apresentaram condições para a distinção das fitofisionomias analisadas.

As imagens MSI/Sentinel 2-A apresentam boa resolução espectral para o cálculo de índices de vegetação e também para mapeamento da cobertura do solo. O NDVI e o SAVI são produtos eficazes nas análises das características biofísicas da cobertura vegetal e na distinção das fitofisionomias em ambientes de Cerrado, que apresentam alta variabilidade de cobertura vegetal.

O mapeamento dos fragmentos de vegetação de Cerrado e a caracterização dos aspectos biofísicos, podem subsidiar diagnósticos das consequências ambientais da fragmentação de habitats, indicando áreas potenciais para conservação da biodiversidade. E os resultados aqui apresentados, sugerem a necessidade de se avançar nas análises, com aplicação de novos índices que mensurem por exemplo o efeito de borda e a dinâmica de fluxo de carbono.

## Referências

- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environmental*, v. 3, n. 2, p.161-173, 1991.
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. 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.
- DELBART, N. *et al.* Remote sensing of spring phenology in boreal regions: A free of snow-effect method using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data (1982–2004). *Remote Sensing of Environment*, v. 101, n. 1, p.52-62, 2006.
- DEMARCHI J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo/SP usando imagens Landsat-5. *RA'EGA*, v. 21, p. 234-271, 2011.
- ESA (European Space Agency). *Level-1*. 2019. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels/level-1>. Acesso em: 16 mar. 2020.
- FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.
- GAMARRA, R. M. *et al.* Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de unidade de conservação no Cerrado. *RA'EGA*, v.37, p. 307- 332, 2016.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, p. 295-309, 1988.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Diagnóstico ambiental da bacia do Rio Araguaia: trecho Barra do Garças/MT-Luis Alves/GO*. Goiânia: IBGE, 1999.
- JARDIM, C. C. S. *et al.* Avaliação da variação espectral do Cerrado por sensor remoto passivo. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 27, n. 6, p. 542-555, 2019.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, 2005.

MACHADO, L. E. G.; LIMA, C. V. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (GO) utilizando imagens ASTER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. *Anais [...]*. São José dos Campos: MCT/Inpe, 2011. p. 5552-5564.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Aritmética de bandas. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.). *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília: UnB/CNPq, 2012. p. 138-153.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853-858, 2000.

PAU, S.; GILLESPIE, T. W.; WOLKOVICH, E. M. Dissecting NDVI-species richness relationships in Hawaiian dry forests. *Journal of Biogeography*, v. 39, n. 9, p.1678-1686, 2012.

PEREIRA, A. P. *et al.* Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no Cerrado utilizando dados Landsat TM. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 8, p. 1665-1680, 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

RAFIQUE, R. *et al.* Global and regional variability and change in terrestrial ecosystems net primary production and NDVI: a model-data comparison. *Remote Sensing*, v. 8, n. 3, p.177-193, 2016.

RESENDE, F. C. *et al.* Análise de índices espectrais para estimativa de áreas de regeneração florestal no Parque Nacional Chapada das Mesas. *Revista Territorium Terram*, v. 3, n. 5, p. 95-104, 2015.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. *Cerrado, ecologia e flora*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 151-212.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. A utilização de índices de vegetação em uma tentativa de mapear o uso da terra e a cobertura vegetal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais [...]*. São José dos Campos: MCT/Inpe, 2009. p. 6141-6148.



ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERT. In: NASA EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 1., 1973, Washington. *Proceedings* [...]. Washington: NASA, 1973. p. 309-317.

SILVA, E. R. A. C.; MELO, J. G. S., GALVÍNCIO, J. D. Identificação das áreas susceptíveis a processos de desertificação no médio trecho da bacia do Ipojuca/PE através do mapeamento do estresse hídrico da vegetação e da estimativa do índice de aridez. *Revista Brasileira de Geografia Física*, n. 3, p. 629-649, 2011.

TÔSTO, S. G. *et al.* *Geotecnologias e geoinformação*. Brasília: Embrapa, 2014.

USGS (U.S. Geological Survey). *Sentinel 2A Data Users Handbook*: version 1.0. Sioux Falls, South Dakota, Jan. 2020.

VIEIRA, P. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Modelagem dinâmica da paisagem aplicada à análise da cobertura e uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Vermelho, estado de Goiás. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 67, v. 6, p. 1217-1230, 2016.