



**Potencialidades de Aplicação dos Índices de Vegetação  
Baseados na Porção Visível do Espectro das Radiações Eletromagnéticas**  
Application Potentialities of Vegetation Indices  
Based on the Visible Portion of the Spectrum of Electromagnetic Radiation

Dácio José Cambraia Filho<sup>1</sup>; Ricardo Seixas Brites<sup>1</sup> & Edilson de Souza Bias<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro,  
ICC Ala Central, 70.910-970, Brasília, DF, Brasil

E-mails: [daciocambraia@hotmail.com](mailto:daciocambraia@hotmail.com); [brites@unb.br](mailto:brites@unb.br); [edbias@unb.br](mailto:edbias@unb.br)

Recebido em: 27/06/2019 Aprovado em: 15/08/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_4\\_83\\_93](http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_83_93)

## Resumo

Embora as Aeronaves Remotamente Tripuladas (RPA) tenham sido criadas há décadas, seu potencial de aplicação em estudos científicos tem se mostrando cada vez mais promissor nos últimos anos. Muitos destes estudos que utilizam os dados advindos desses equipamentos como fonte de informação mostram que os índices espectrais de vegetação se constituem em uma métrica relevante para estimativas fisiológicas, biofísicas e bioquímicas das vegetações. Entretanto, as pesquisas que utilizam os índices baseados apenas na porção visível do espectro eletromagnético ainda se mostram insuficientes para o cenário científico atual. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar o comportamento dos índices espectrais baseados na porção visível do espectro eletromagnético em diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado, utilizando para isso imagens RGB adquiridas por um RPA de baixo custo e comparando-as com as informações extraídas de imagens multiespectrais orbitais.

**Palavras-chave:** Aeronave Remotamente Pilotada (RPA); índices de vegetação; Cerrado

## Abstract

Although remotely piloted aircrafts (RPA) has been used for decades, its potential for application in scientific studies has been increasingly promising in recent years. Many of these studies using data from advanced equipments as a source of information, show vegetation spectral indices are a relevant metric for physiological, biophysical and biochemical vegetation factors. However, researches using indices calculated only in the visible part of the electromagnetic spectrum still show themselves insufficient for the current scientific scenario. That being said, the present study aims to evaluate the performance of spectral indices, based on the visible part of the electromagnetic spectrum, which include the exposure of the electromagnetic spectrum in different Cerrado phytophysionomies, using RGB images acquired by a low-cost RPA and comparing them with information extracted from multispectral orbital images.

**Keywords:** Remotely Piloted Aircraft (RPA); vegetation indices; Cerrado



## 1 Introdução

Ainda que as Aeronaves Remotamente Pilotadas ou *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) tenham sido criadas há décadas, seu potencial de aplicação em estudos científicos vem se mostrando cada vez mais promissor nos últimos anos. Esse crescente sucesso se deve ao fato de que tais equipamentos apresentam inúmeras facilidades de aquisição de informação, além de apresentar contínuos avanços tecnológicos e custos relativamente inferiores a demais tecnologias. Dessa forma, as vantagens existentes para esses equipamentos vem mostrando que estes se tornaram uma alternativa cada vez mais viável para aquisição de informações da superfície terrestre (D'oleire-Oltmanns *et al.*, 2012; Fang *et al.*, 2016).

Entre os milhares de estudos que utilizam os RPAs como plataforma de aquisição de informação, as pesquisas voltadas para o monitoramento das coberturas vegetais têm ganhado cada vez mais força e destaque no âmbito técnico-científico internacional. Esses estudos que buscam relacionar as interações existentes entre as radiações eletromagnéticas (REM) com as propriedades espectrais das vegetações visam determinar algumas das características fisiológicas, biofísicas e bioquímicas da vegetação por meio dos denominados índices espectrais (Turner *et al.*, 2012; Pôças *et al.*, 2015).

Apesar desses índices ser muito utilizados em estudos e avaliações vegetais, pesquisas que utilizam os índices baseados apenas na porção visível do espectro eletromagnético ainda se mostram insuficientes para o cenário científico atual. Autores como Hunt-Jr *et al.* (2005), Zhu *et al.* (2009) e Córcoles *et al.* (2013) investigaram algumas de suas, no entanto, as métricas que utilizam as faixas espectrais do vermelho e infravermelho-próximo (NIR) ainda se mostram mais difundidas e robustas para análises da vegetação. No entanto, os sistemas sensores que captam as informações no comprimento de onda do NIR ainda apresentam elevados custos e não estão disponíveis para grande parte dos pesquisadores e potenciais usuários de todo o mundo (Zheng *et al.*, 2018).

Desta forma, as pesquisas que utilizam os índices de vegetação baseados nos comprimentos de onda visível ganham cada vez mais relevância e importância no cenário atual. Essa importância se dá pelo fato de que os produtos advindos dos RPAs convencionais se constituem em uma fonte de dados significativa com inúmeras potencialidades para aplicações em estudos ambientais. Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o comportamento dos índices de vegetação baseados na porção visível do espectro eletromagnético em diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado, utilizando para isso imagens adquiridas por um RPA convencional de baixo custo e comparando-as com as informações extraídas por meio de imagens multiespectrais orbitais.

## 2 Metodologia

### 2.1 Área de Estudo

Localizadas na porção noroeste do município de Patos de Minas/Minas Gerais, a área de estudo está inserida nas proximidades da coordenada geográfica de latitude 18°27'07" Sul e longitude 46°41'56" Oeste, sendo composta por seis parcelas amostrais com 10.000 m<sup>2</sup> cada (Figura 1). Essas parcelas foram propostas por possibilitarem a captura de informações em diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado, além de apresentar constituições vegetais homogêneas e estados de conservação distintos entre si (nativo a antropizado). Dessa forma a composição vegetal das áreas estudadas se constituem de uma parcela de agricultura (A) de milho-verde (*Zea mays*), três parcelas com formações campestres como campo (C), pastagem nativa (PN) e pastagem plantada (PP) e duas parcelas com formações florestais como floresta nativa (FN) e floresta plantada (FP) por eucalipto (*Eucalyptus cloeziana*).

Do ponto de vista climático a localidade estudada apresenta clima tropical com características sazonais, tendo o verão com elevadas temperaturas e baixa umidade enquanto o inverno exibe baixas temperaturas e alta umidade (Köppen, 1923). Quanto às precipitações pluviométricas regionais, estas se caracterizam como típicas para o bioma local, variando entre 1.400 a 1.600 mm/ano com sazonalidades bem definidas e marcantes entre períodos secos (maio a setembro) e chuvosos (outubro a abril) (ANA, 2019).

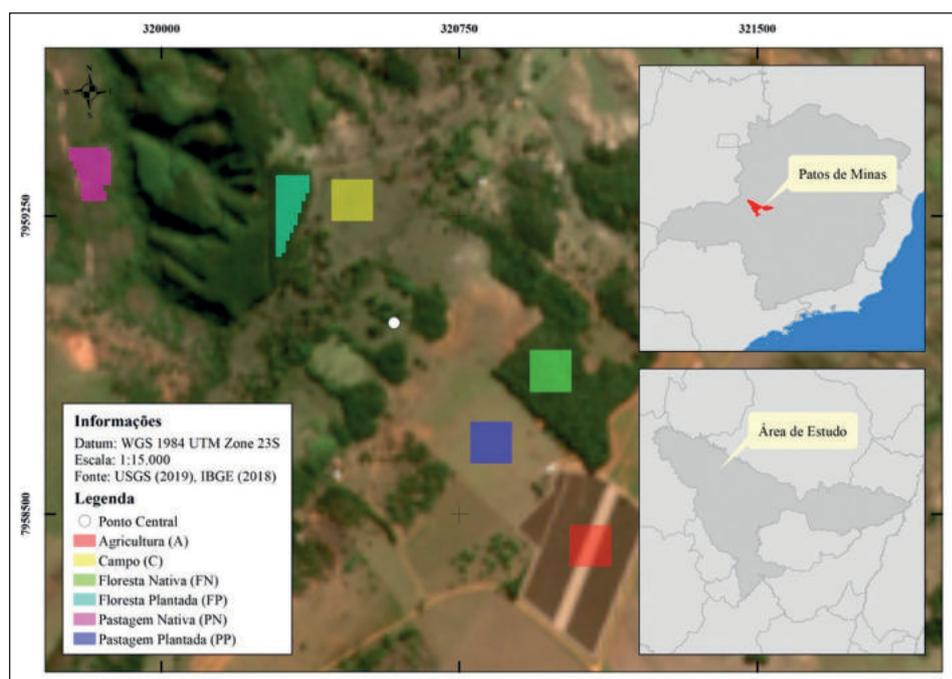


Figura 1. Localização da área de estudo e das parcelas amostrais.

## 2.2 Base de Dados

Para desenvolvimento deste estudo foi utilizada como base de dados um conjunto de informações adquiridas por três plataformas de deslocamento, sendo duas a nível orbital (satélites) e uma a nível sub-orbital (RPAs). Para o conjunto de dados orbitais, foram utilizadas 73 imagens multiespectrais obtidas pelos satélites Sentinel-2A e 2B da Agência Espacial Europeia (ESA) que dispõe de sensores *MultiSpectral Instrument* (MSI) idênticos com 13 bandas espectrais e resolução espacial média (10, 20 e 60 m). As imagens referentes a esse conjunto foram adquiridas junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) entre fevereiro/2018 e janeiro/2019 no *tile* T23KLV/órbita 38, sendo utilizadas apenas as que não apresentaram condições atmosféricas adversas no momento de sua aquisição (USGS, 2019).

Quanto ao conjunto de dados aerotransportados, este foi composto por 5.496 imagens RGB obtidas por um RPA DJI Phantom 4 que dispõe de um sensor *Complementary Metal-Oxide Semiconductor* (CMOS) de 1/2,3", 12,4 megapixels, campo de visão (FOV) de 94°, lentes 20 mm (equivalente ao formato de 35 mm) e abertura máxima de f/2,80. Estas foram adquiridas in loco entre fevereiro/2018 e

janeiro/2019 utilizando o aplicativo de mapeamento DroneDeploy a uma altitude de 110 m com sobreposições de 80% (DJI, 2018; Infatics, 2019).

## 2.3 Processamentos

Como os dados utilizados apresentam características distintas, dois blocos de processamento foram propostos: um para os dados orbitais multiespectrais e outro para os dados aerotransportados RGB. A Figura 2 apresenta o fluxograma metodológico dos processamentos adotados no desenvolvimento deste o estudo.

No que se refere aos pré-processamentos, foi executado nos dados orbitais apenas os procedimentos de correção atmosférica. Para isso foi utilizado o *software* Sen2Cor v2.5.5 que corresponde a uma adaptação do corretor atmosférico ATCOR3 desenvolvido especialmente para realizar as correções nos dados advindos da missão Sentinel-2 (Richter & Schläpfer, 2006; Müller-Wilm, 2018; Padró *et al.*, 2018). Ressalta-se que apenas as bandas com 10 m de resolução espacial (banda 2, 3, 4 e 8) foram corrigidas, sendo estas as únicas bandas utilizadas nos processamentos subsequentes.

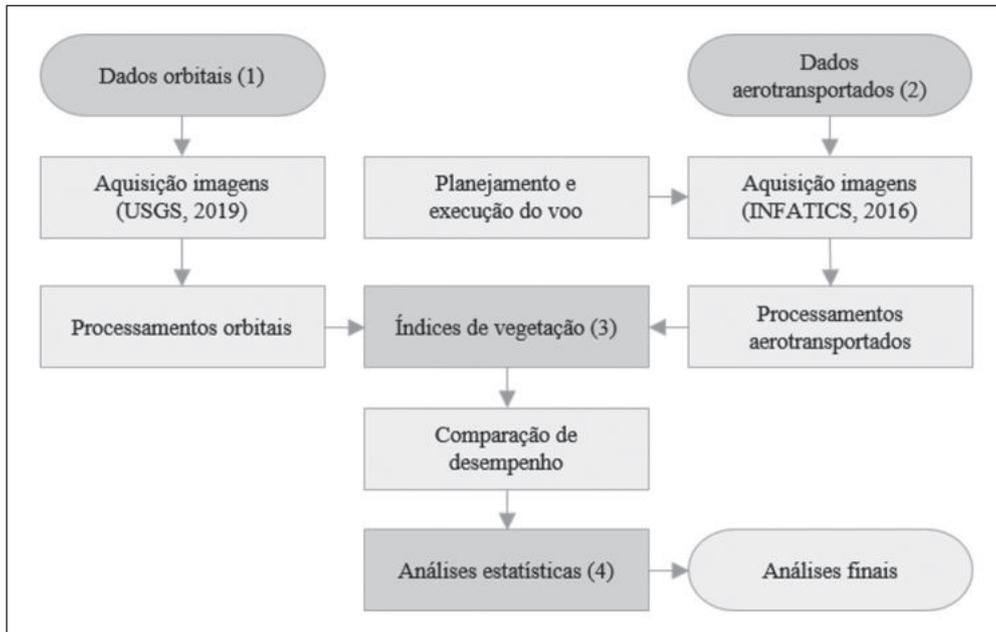


Figura 2. Fluxograma metodológico.

Para os dados aerotransportados, os procedimentos de pré-processamentos se constituíram apenas na elaboração dos ortomosaicos e normalização de seus pixels. Para elaboração destes ortomosaicos foi utilizado o *software* Agisoft Metashape Profissional 1.5 em sua versão *trial* com metodologia adaptada de Córcoles *et al.* (2013) e Sopchaki *et al.* (2018) com parâmetros de processamento apresentados na Tabela 1 (LLC, 2018). Quanto a normalização dos pixels, tal procedimento foi executado por meio da Equação 1 com o objetivo de reduzir as distorções e interferências causadas pelas luzes e sombras (Cheng *et al.*, 2001; Saberioon *et al.*, 2014; Torres-Sánchez *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2017; Ballasteros *et al.*, 2018). Salienta-se que os procedimentos de correção atmosféricas não foram executados neste conjunto de dados, uma vez que tais interferências foram consideradas insignificantes graças à baixa altitude de mapeamento.

$$b = \frac{B}{R + G + B}; g = \frac{G}{R + G + B}; r = \frac{R}{R + G + B} \quad (1)$$

Em que “b” corresponde ao azul normalizado; “g” ao verde normalizado; “r” ao vermelho normalizado; “B” à faixa espectral do azul; “G” à faixa espectral do verde e “R” à faixa espectral do vermelho.

Em posse de todos os dados pré-processados, ambos os conjuntos foram organizados, recortados e preparados no *software* ArcGIS 10.5 para posterior elaboração dos índices de vegetação no *software* ENVI 5.3 (ESRI, 2011; Solutions, 2015). Na Tabela 2 são apresentados os índices de vegetação que foram aqui utilizados, sendo três destes com suas equações baseadas na porção visível do espectro eletromagnético e apenas um utilizando informações espectrais do comprimento de onda do NIR. Tais índices foram adotados neste estudo pelo simples fato de realizarem estimativas relacionadas a atividade fotossintética da vegetação, tendo como foco principal os índices que contemplam as informações do visível. Apesar do NDVI não estar no foco das avaliações propostas, sua adoção foi considerada importante pelo fato deste ser considerado a métrica de análise da vegetação mais utilizada na história do sensoriamento remoto, servindo apenas como base de comparação para os demais índices (Carrão *et al.*, 2002; Huete *et al.*, 2002).

Destaca-se que os índices advindos das imagens aerotransportadas tiveram seus pixels reamostrados com o objetivo principal de compatibilizar as resoluções espaciais de todos os dados para futuras comparações. Dessa forma, esse procedimento foi executado com o método do vizinho mais próximo de uma resolução espacial média de aproximadamente 4,53 cm/pixel para 10 m/pixel.

ORDEM	PROCESSO	PARÂMETROS	
		GERAIS	AVANÇADOS
1	Align Photos*	Accuracy: High* Generic/Reference preselection: Yes* Reset current alignment: No	Key/Tie point limit: 4.000* Apply masks to: None Adaptative camera model fitting: Yes
2	Optimize Alignment	-	Adaptative camera model fitting: Yes
3	Calibrate Colors	Source data: Sparse cloud Calibrate white balance: Yes	-
4	Build Dense Cloud	Quality: High	Depth filtering: Aggressive Reuse depth maps: No Calculate point colors: No
5	Classify Ground Points	From: Any class To: Ground + Low Points	Max angle (°): 15,0 Max distance (m): 5,0 Cell size (m): 100
6	Build Mesh	Surface type: Arbitrary (3D) Source data: Dense cloud Face count: Medium	Interpolation: Enabled (default) Point classes: Ground Calculate vertex colors: No
7	Calibrate Colors	Source data: Model Calibrate white balance: Yes	-
8	Build Texture	Mapping mode: Generic Texture from: All cameras Blending mode: Mosaic Texture size: 4.096 Texture count: 1	Hole filling: Yes Enable ghosting filter: Yes
9	Build Tiled Model	Source data: Dense cloud Pixel size (m): 0 Tile size: 2048	Enable ghosting filter: Yes Reuse depth maps: No
10	Build DEM	Source data: Dense cloud Interpolation: Enabled (default) Point classes: Ground	Resolution (m): 0 Total size (pix): Default
11	Calibrate Colors	Source data: DEM Calibrate white balance: Yes	-
12	Build Orthomosaic	Surface: DEM Blending mode: Mosaic (default) Enable hole filling: Yes Enable back-face culling: No Pixel size (°): Default	Total size (pix): Estimate

Tabela 1. Parâmetros de processamento empregados no software Agisoft Metashape Professional 1.5.

NOME DO ÍNDICE	DOMÍNIO	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
Green Leaf Index (GLI)	VIS	$\frac{(2 * G - R - B)}{(2 * G + R + B)}$	(Louhaichi et al., 2001)
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	VNIR	$\frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$	(Rouse et al., 1974)
Normalized Green-Red Difference Index (NGRDI)	VIS	$\frac{(G - R)}{(G + R)}$	(Tucker, 1979)
Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)	VIS	$\frac{(G - R)}{(G + R - B)}$	(Gitelson et al., 2002)

Tabela 2. Descrição dos índices de vegetação utilizados.

Quanto ao desenvolvimento das análises temporais, estas foram realizadas utilizando os valores extraídos de cada um dos pixels contidos em cada uma das repetições nos alvos amostrais. Como as parcelas tiveram área total de 10.000 m<sup>2</sup> cada, essas dimensões foram equivalentes a exatamente 100 pixels com resolução espacial de 10 m. Dessa forma, todos os valores individuais dos índices foram agrupados e realizado as análises estatísticas descritivas dispondo suas médias em forma de série temporal para as respectivas análises e comparações.

### 3 Resultados e Discussões

Na Tabela 3 são apresentados os resultados médios dos índices de vegetação obtidos em cada uma das parcelas amostrais analisadas em ambos os conjuntos de dados. Tais valores variam de -1 a +1 e representam o nível de atividade fotossintética que cada um dos alvos apresenta, tendo os menores valores representados por áreas com pouca atividade clorofiliana e os maiores valores em áreas que apresentam muita atividade clorofiliana. Como o NDVI foi adotado como base de comparação para os demais índices, é possível observar que as demais métricas seguiram os mesmos padrões de comportamento obtidos por esse índice mesmo em sensores diferentes ou em parcelas amostrais distintas.

Ao analisar estes dados é possível observar que para os dados orbitais existe uma determinada predominância de menores valores médios na parcela de agricultura e no índice NGRDI, enquanto

para os maiores valores médios estes se fazem presentes na floresta plantada e no índice GLI. Já para os dados aerotransportados os comportamentos dos índices se mostraram semelhantes aos existentes nos dados orbitais, com menores valores médios presentes no NGRDI e maiores valores médios no GLI. Entretanto essa igualdade comportamental não é observada nos resultados obtidos para as parcelas amostrais, uma vez que menores valores médios se fazem presentes na parcela de agricultura e os maiores valores médios estão presentes na floresta nativa. Apesar dessa pequena alternância de maiores valores acontecer, observa-se que os menores valores médios sempre estiveram presentes na vegetação antropizada enquanto os maiores valores médios sempre se mostraram presentes nas parcelas constituídas de formação vegetal arbórea. Tal comportamento já era esperado para tais fisionomias, uma vez que a agricultura está mais susceptível a variações sazonais e as florestas mais susceptíveis a estabilidades fotossintéticas.

Na Figura 3 é apresentado o perfil temporal com os valores médios dos índices de vegetação obtidos na parcela de agricultura em ambos os conjuntos de dados. Com os valores máximos presentes no verão e mínimos presentes no inverno, o padrão de comportamento dos índices de vegetação para a agricultura podem ser explicados pela predominância de apenas uma espécie vegetal com ciclo anual, cuja fase de plantio e crescimento ocorre no verão, senescência no outono e interrupção do cultivo no inverno e primavera (Ferreira & Huete, 2004; Ferreira *et al.*, 2006). Quanto às similaridades existentes entre os índices orbitais e aerotransportadas, ambos

PARCELA	ORBITAL					AEROTRANSPORTADO				
	GLI	NDVI	NGRDI	VARI	MÉDIA	GLI	NDVI	NGRDI	VARI	MÉDIA
A	0,04	0,40	-0,10	-0,13	0,06	0,13	-	-0,05	-0,07	0,00
C	0,12	0,59	-0,01	0,00	0,18	0,20	-	0,02	0,02	0,08
FN	0,26	0,80	0,16	0,23	0,36	0,23	-	0,10	0,13	0,15
FP	0,30	0,86	0,19	0,26	0,40	0,25	-	0,07	0,08	0,13
PN	0,14	0,64	0,01	0,02	0,20	0,18	-	0,02	0,02	0,07
PP	0,11	0,48	-0,03	-0,04	0,13	0,17	-	0,00	-0,01	0,05
MÉDIA	0,16	0,63	0,04	0,06	0,22	0,19	-	0,03	0,03	0,08

Tabela 3. Resultados médios dos índices de vegetação nas diferentes parcelas amostrais.

seguiram os mesmos padrões de comportamento com tendências e sazonalidades semelhantes apesar de algumas pontuais variações.

Já na Figura 4 é apresentado o perfil temporal com valores médios dos índices de vegetação obtidos na parcela de campo para ambos os conjuntos de dados. É possível observar que nesta parcela amostral ocorre um padrão de variação advindo principalmente das sazonalidades pluviométricas existentes na região, uma vez que no período seco essa vegetação sofre com a perda de biomassa verde. Apesar das semelhanças comportamentais com a parcela de agricultura existirem, as variações presentes no campo apresentam caráter distinto da agricultura uma vez que não ocorre a exclusividade de uma espécie vegetal e as intervenções nas vegetações não apresentam caráter exclusivamente antrópico. Quanto às similaridades existentes entre

os índices orbitais e aerotransportadas, ambos seguiram os mesmos padrões de comportamento com tendências e sazonalidades semelhantes apesar de algumas pontuais variações.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os perfis temporais com valores médios para os índices de vegetação correspondentes à floresta nativa e floresta plantada respectivamente. Como já era esperado para as parcelas com coberturas florestais, menores variações dos índices foram observadas durante todo o período analisado, visto que esta vegetação apresenta maiores estabilidades fotossintéticas, elevada disponibilidade hídrica e maiores reflectâncias (Ferreira *et al.*, 2006; Nunes *et al.*, 2012). Em concordância com o que é mostrado em outros trabalhos científicos onde as fitofisionomias cujo extrato vegetal se constitui especificamente por espécies arbóreas, estas apresentam um padrão de comportamento

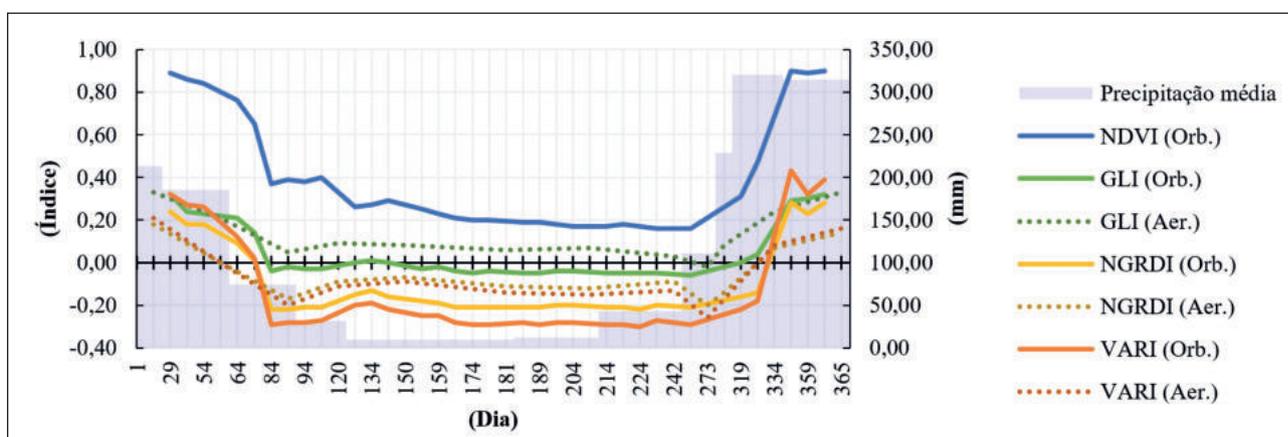


Figura 3. Série temporal referente a parcela de agricultura.

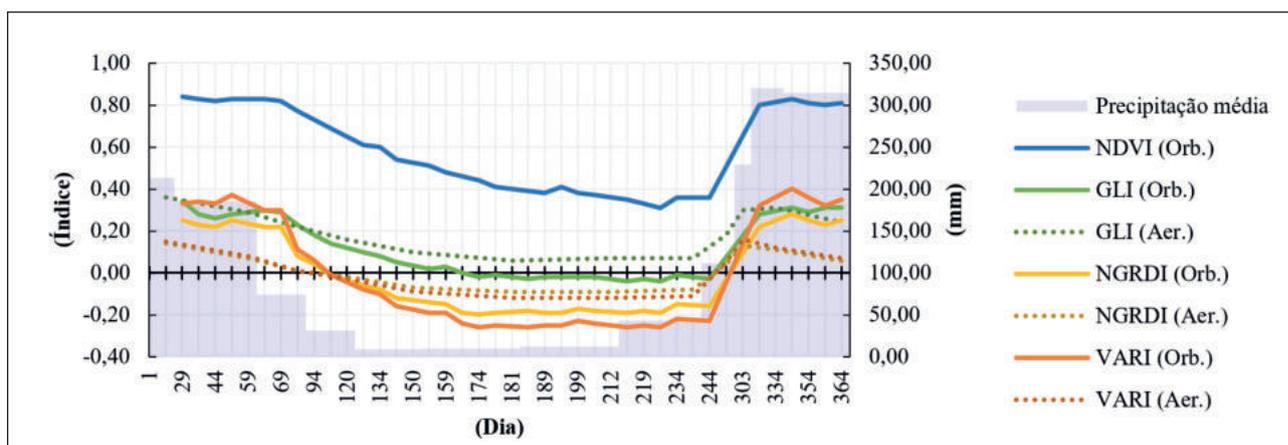


Figura 4. Série temporal referente a parcela de campo.

uniforme durante todo o ano com alterações mais relacionadas aos parâmetros superficiais, estruturais e funcionais do que com variações climáticas (Cohen *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2004). Para os comportamentos que os índices de vegetação assumiram nos

dados orbitais e aerotransportados, é possível observar um mesmo padrão de comportamento e sazonalidade para ambos os casos apesar de uma alteração abrupta ocorrer no início da série para o GLI, NGRDI e VARI para a floresta nativa.

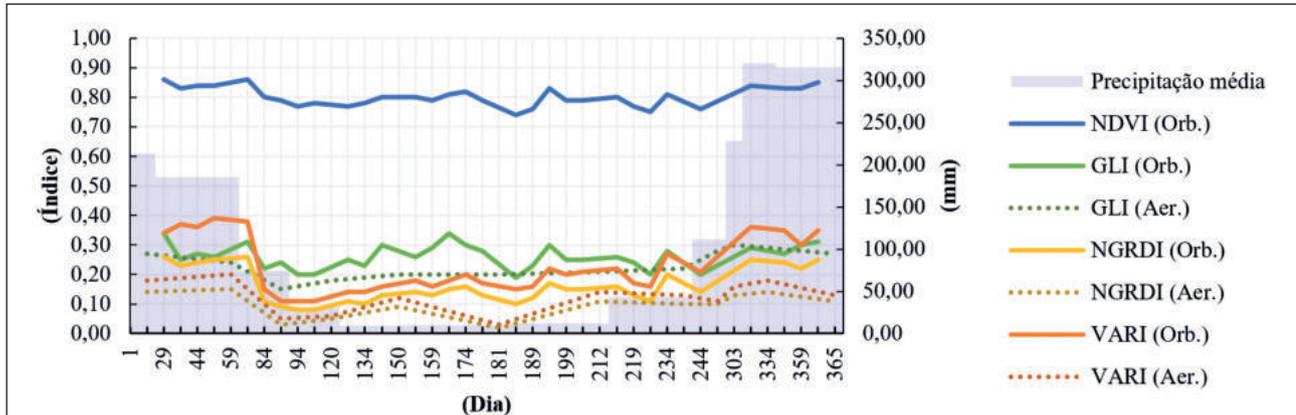


Figura 5. Série temporal referente a parcela de floresta nativa.

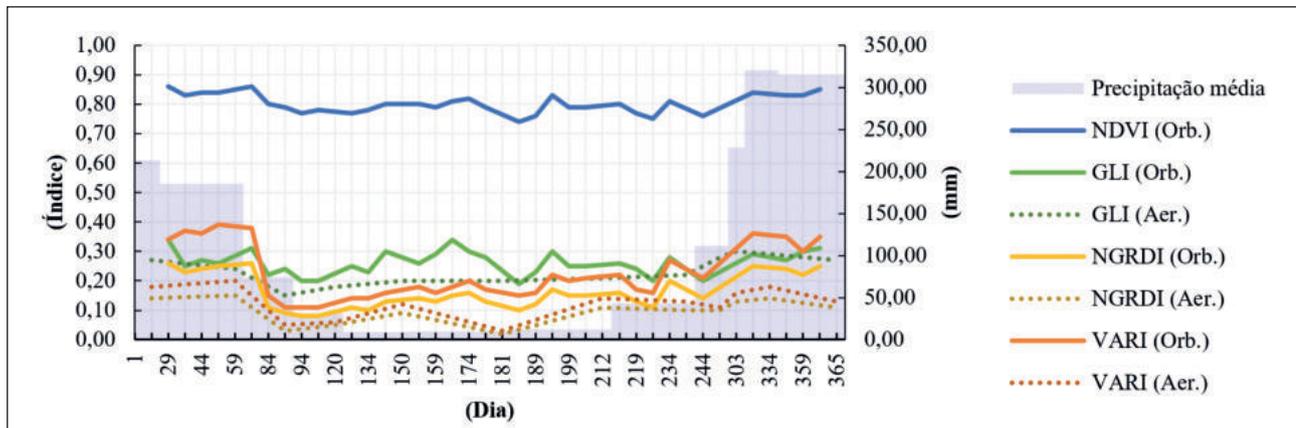


Figura 6. Série temporal referente a parcela de floresta plantada.

Por fim, nas Figuras 7 e 8 são apresentados os perfis temporais correspondentes as médias dos índices de vegetação da pastagem nativa e pastagem plantada respectivamente. De forma semelhante aos comportamentos apresentados nas parcelas de agricultura e campo, a pastagem nativa e pastagem plantada apresentam comportamentos totalmente influenciados pelos períodos de estiagem pluviométrica e pela perda de biomassa verde. Entretanto, as variações identificadas nessas parcelas apresentam comportamentos mais estáveis que na agricultura e campo, mostrando uma resistência a

variações mais elevada na parcela com vegetação nativa. Quanto às semelhanças que os índices orbitais e aerotransportados apresentam, ambos também seguiram os mesmos padrões de tendência e sazonalidades, com diminuição e aumento dos valores em períodos semelhantes.

De forma geral, ao analisar os comportamentos temporais que os índices de vegetação que empregam os comprimentos de onda do visível assumiram em todas as parcelas amostrais, estes apresentaram comportamentos temporais típicos de cada formação vegetal. Além de inúmeras semelhanças

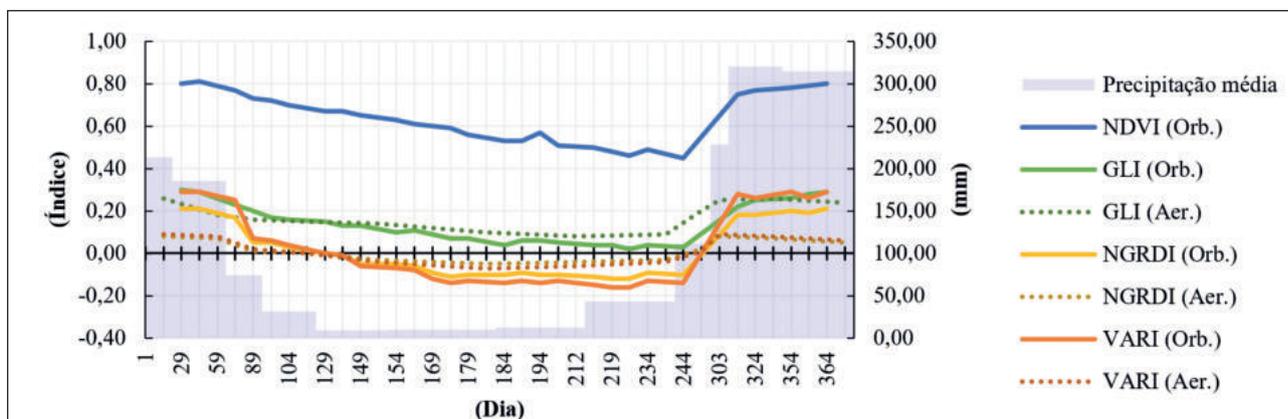


Figura 7. Série temporal referente a parcela de pastagem nativa.

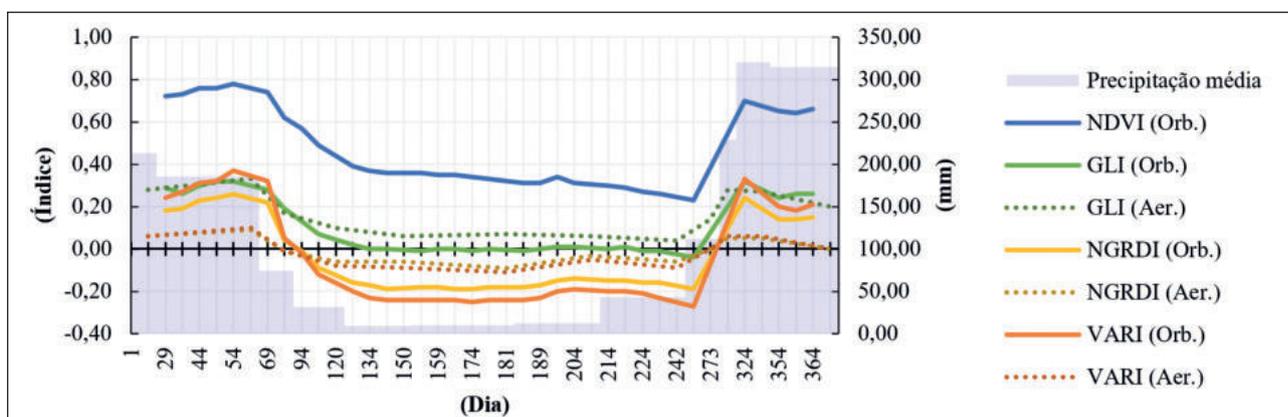


Figura 8. Série temporal referente a parcela de pastagem plantada.

comportamentais ao NDVI, os índices do visível também apresentaram comportamentos semelhantes com padrões de tendências e sazonalidades mantidos ao longo do tempo. Algumas diferenças foram observadas em alguns casos, entretanto, pode-se afirmar que essas diferenças não inviabilizam a sua utilização e as suas potencialidades para análise e monitoramento das vegetações do Cerrado são altas para dados orbitais ou aerotransportados.

#### 4 Conclusões

De acordo com os objetivos propostos para este estudo, foi possível identificar que a utilização dos índices de vegetação baseados na porção visível do espectro eletromagnético advindos dos dados orbitais e aerotransportados apresentam grande potencial para estimativas das vegetações. No entanto, algumas diferenças pontuais foram observadas ao realizarmos comparações individuais, mas

nada que pudesse inviabilizar a sua utilização. Dessa forma, como os comportamentos de tendência e sazonalidades para cada tipo de vegetação foram observados e mantidos constantes, os índices da porção visível utilizados apresentam grande potencial de análise para dados multispectrais ou aerotransportados convencionais.

Especificamente quanto aos índices de vegetação do visível, o VARI foi o índice que apresentou as maiores amplitudes de variação, enquanto o GLI apresentou maiores valores médios e o NGRDI menores valores médios. Considerando os comportamentos das fitofisionomias, foi possível observar que as formações florestais apresentaram comportamentos estáveis e com baixa variações espectrais durante o período analisado. Ao contrário disso, as vegetações campestres apresentaram variações altamente influenciáveis pelas distribuições sazonais pluviométricas. Já a parcela amostral de agricultura apresentou um comportamento temporal típico desta

vegetação, uma vez que foi possível observar variações advindas das dinâmicas de cultura.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o desenvolvimento de uma análise estatística mais aprofundada sobre os índices de vegetação do visível com uma avaliação de similaridades e correlações entre as variáveis obtidas, possibilitando assim o aprofundamento das questões aqui apresentadas.

## 5 Agradecimentos

Aos orientadores pelo tempo e esforços dedicados, à CAPES pela bolsa de mestrado concedida e aos revisores pelas correções e sugestões realizadas.

## 6 Referências

- ANA, 2019. Séries históricas de estações pluviométricas. Disponível em: <[http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)>. Acesso em: 28 fev. 2019.
- Ballesteros, R.; Ortega, J. F.; Hernández, D.; Del Campo, A. & Moreno, M.A. 2018. Combined use of agro-climatic and very high-resolution remote sensing information for crop monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 72: 66-75.
- Carrão, H.; Caetano, M.; Freire, S. & Nunes, A. 2002. Carta de ocupação do solo e avaliação do estado da vegetação com imagens de satélite para prevenção de fogos florestais. *In: VII ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMARÇÃO GEOGRÁFICA*, Porto, 2002, p. 13-15.
- Carvalho-Júnior, O.A. de; Sampaio, C. da S.; Silva, N.C. da; Couto-Júnior, A.F.; Gomes, R.A.T.; Carvalho, A.P.F. de & Shimabukuro, Y.E. 2010. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26(4): 505-517.
- Cheng, H.D.; Jiang, X.H.; Sun, Y. & Wang, J. 2001. Color image segmentation: Advances and prospects. *Pattern Recognition*, 34(12): 2259-2281.
- Cohen, W.B.; Maersperger, T.K.; Yang, Z.; Gower, S.T.; Turner, D.P.; Ritts, W.D.; Berterretche, M. & Running, S.W. 2003. Comparisons of land cover and LAI estimates derived from ETM+ and MODIS for four sites in North America: a quality assessment of 2000/2001 provisional MODIS products. *Remote Sensing of Environment*, 88(3): 233-255.
- Córcoles, J.I.; Ortega, J.F.; Hernández, D. & Moreno, M.A. 2013. Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. *Biosystems Engineering*, 115(1): 31-42.
- D'oleire-Oltmanns, S.; Marzolf, I.; Peter, K.D. & Ries, J.B. 2012. Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4(11): 3390-3416.
- DJI. 2018. Phantom 4. Disponível em: <<https://www.dji.com/phantom-4>>. Acesso em: 3 nov. 2018.
- ESRI. 2016. ArcGIS Desktop 10.5.0.6491. Redlands, 2016.
- Fang, S.; Tang, W.; Peng, Y.; Gong, Y.; Dai, C.; Chai, R. & Liu, K. 2016. Remote estimation of vegetation fraction and flower fraction in oilseed rape with unmanned aerial vehicle data. *Remote Sensing*, 8(5): 416.
- Ferreira, L.G. & Huete, A.R. 2004. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, 25(10): 1837-1860.
- Ferreira, M.E.; Ferreira, L.G.; Huete, A.R. & Peccinini, A.A. 2006. Análise comparativa dos produtos MODIS ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do bioma cerrado. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(2): 251-260.
- Gitelson, A.A.; Kaufman, Y.J.; Stark, R. & Rundquist, D.C. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1): 76-87.
- Huete, A.R.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X. & Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2): 195-213.
- Hunt-Jr, E. R.; Cavigelli, M.; Daughtry, C.S. T.; Mcmurtrey, J.E.; Walthall, C.L. 2005. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 6(4): 359-378.
- Infatics. 2019. DroneDeploy - Mapping dor DJI. Disponível em: <https://itunes.apple.com/br/app/dronedeploy-mapping-for-dji/id971358101?mt=8>. Acesso em: 27 mai. 2019.
- Köppen, W.P. 1923. *Klimate der erde: grundriss der klimakunde*. Berlin, Justus Perthes, 369p.
- LLC. Agisoft Metashape Professional Edition 1.5. Saint Petersburg, 2018.
- Louhaichi, M.; Borman, M.M. & Johnson, D.E. 2001. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1): 65-70.
- Müller-Wilm, U. 2018. Sen2Cor configuration and user manual (S2-PDGS-MPC-L2A-SUM-V2.5.5). Disponível em: [https://step.esa.int/thirdparties/sen2cor/2.5.5/docs/S2-PDGS-MPC-L2A-SUM-V2.5.5\\_V2.pdf](https://step.esa.int/thirdparties/sen2cor/2.5.5/docs/S2-PDGS-MPC-L2A-SUM-V2.5.5_V2.pdf). Acesso em: 27 mai. 2019.
- Nunes, G.M.; Souza-Filho, C.R. de & Ferreira, L.G. 2012. Discriminação de fitofisionomias na Amazônia central por meio de índices de vegetação de imagens com resolução espacial moderada. *Revista Geografia Acadêmica*, 6(1): 5-14.
- Padró, J.C.; Muñoz, F.J.; Ávila, L.; Pesquer, L. & Pons, X. 2018. Radiometric correction of Landsat-8 and Sentinel-2A scenes using drone imagery in synergy with field spectroradiometry. *Remote Sensing*, 10(11): 1687.
- Pôças, I.; Rodrigues, A.; Gonçalves, S.; Costa, P.; Gonçalves, I.; Pereira, L. & Cunha, M. 2015. Predicting grapevine water status based on hyperspectral reflectance vegetation indices. *Remote Sensing*, 7(12): 16460-16479.
- Richter, R. & Schläpfer, D. 2016. ATCOR-2/3 user guide, v.9.0.2. n. March 2016. Disponível em: [http://www.research/pdf/atcor3\\_manual.pdf](http://www.research/pdf/atcor3_manual.pdf). Acesso em: 27 mai. 2019.
- Rouse, J.W.; Hass, R.H.; Schell, J.A. & Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite*

- (ERTS) symposium, 1: 309-317.
- Saberioon, M.M.; Amin, M.S. M.; Anuar, A.R.; Gholizadeh, A.; Wayayok, A. & Khairunniza-Bejo, S. 2014. Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 32(1): 35-45.
- Solutions. 2015. ENVI 5.3. Boulder, 2015.
- Sopchaki, C.H.; Paz, O.L. de S. da; Graça, N.L.S. de S. & Sampaio, T.V.M. 2018. Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem uso de pontos de apoio. *Ra'eGa*, 43: 200-214.
- Torres-Sánchez, J.; Peña, J.M.; Castro, A.I. de & López-Granados, F. 2014. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103: 104-113.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: 127-150.
- Turner, D.; Lucieer, A.; Watson, C.; Turner, D.; Lucieer, A. & Watson, C. 2012. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery, based on Structure from Motion (SfM) point clouds. *Remote Sensing*, 4(5): 1392-1410.
- USGS. 2019. EarthExplorer. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- Wang, Y.; Woodcock, C.E.; Buermann, W.; Stenberg, P.; Voipio, P.; Smolander, H.; Häme, T.; Tian, Y.; Hu, J.; Knyazikhin, Y. & Myneni, R.B. 2004. Evaluation of the MODIS LAI algorithm at a coniferous forest site in Finland. *Remote Sensing of Environment*, 91(1): 114-127.
- Zheng, H.; Cheng, T.; Li, D.; Zhou, X.; Yao, X.; Tian, Y.; Cao, W. & Zhu, Y. 2018. Evaluation of RGB, color-infrared and multispectral images acquired from unmanned aerial systems for the estimation of nitrogen accumulation in rice. *Remote Sensing*, 10(6): 824.
- Zhou, X.; Zheng, H.B.; Xu, X.Q.; He, J.Y.; Ge, X.K.; Yao, X.; Cheng, T.; Zhu, Y.; Cao, W.X. & Tian, Y.C. 2017. Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130: 246-255.
- Zhu, J.; Wang, K.; Deng, J. & Harmon, T. 2009. Quantifying nitrogen status of rice using low altitude UAV-mounted system and object-oriented segmentation methodology. *In: INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES & COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE*, California, 2009.