



**Comparação entre Índices de Vegetação de Diferentes Sensores na Identificação de Fitofisionomias do Cerrado**  
Comparison Between Vegetation Indexes from Different Sensors to Identify Vegetation Types from Tropical Savanna

Gustavo Massayuki Shiroma<sup>1</sup>; Roberto Macedo Gamarra<sup>2</sup>; Alesson Pires Maciel Guirra<sup>2</sup>;  
Jaíza Santos Motta<sup>2</sup>; Helen Rezende de Figueiredo<sup>2</sup>; César Claudio Cáceres Encina<sup>1</sup>;  
Geraldo Alves Damasceno Júnior<sup>1</sup> & Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Instituto de Biociências,  
Av. Costa e Silva, s/n°. CEP 79070-900. Campo Grande, MS, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia,  
Av. Costa e Silva, s/n°. CEP 79070-900. Campo Grande, MS, Brasil

E-mails: gm\_shiroma@hotmail.com; rmgamarra@gmail.com; engeoguirra@gmail.com;  
ea.jsmotta@gmail.com; helenrezende.bio@gmail.com; ccaceres.encina@gmail.com; geraldodamasceno@gmail.com;  
antonio.paranhos@pq.cnpq.br; engeoguirra@gmail.com

Recebido em: 22/09/2019 Aprovado em: 01/11/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2020\\_1\\_18\\_32](http://dx.doi.org/10.11137/2020_1_18_32)

## Resumo

Modelos empíricos relacionando variáveis espectrais, como variáveis biofísicas da cobertura vegetal são avaliados para específicos conjuntos de dados. Os desempenhos destes modelos são avaliados ou validados também de forma específica, desconhecendo-se, por exemplo, qual seria o resultado se dados de outros sensores fossem utilizados no estabelecimento dos mesmos modelos. Este trabalho teve como objetivo comparar os valores de dois índices de vegetação (NDVI e SAVI) obtidos de três diferentes sensores. Quando se utiliza índices de vegetação, independente do sensor do qual ele foi extraído, espera-se que os valores sejam semelhantes e comparáveis. Estatisticamente a comparação mostra que o NDVI é mais indicado para análises multitemporais, utilizando o mesmo sensor multiespectral, enquanto que para análises multiescalares, com o uso de diferentes sensores multiespectrais, os índices híbridos de vegetação garantem melhor resposta na equivalência entre fitofisionomias do Cerrado. Entretanto os índices de vegetação não são suficientes para determinar com precisão o tipo de fitofisionomia, sendo necessário a complementação com imagens polarizadas de radar associadas com estatísticas de agrupamento de imagem ou com índices capazes de medir outras variáveis fenológicas, além da absorção da radiação pela clorofila e estrutura da folha.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto; Cerrado; Geoestatística

## Abstract

Empirical models relating spectral variables such as biophysical vegetation cover variables are evaluated for specific data sets. The performances of these models are also evaluated or validated in a specific way, for example, what would be the result if data from other sensors were used in the establishment of the same models. The objective of this study was to compare the values of two vegetation indices (NDVI and SAVI) obtained from three different sensors. When using vegetation indices, independent of the sensor from which it was extracted, the values are expected to be similar and comparable. Statistically the comparison shows that NDVI is more suitable for multitemporal analysis using the same multispectral sensor, while for multiscale analysis, using different multispectral sensors, the hybrid vegetation indexes guarantee a better response in the equivalence of the Cerrado physiognomies. However, vegetation indices are not sufficient to accurately determine the type of phytophysiology, and it is necessary to complement with polarized radar images associated with image cluster statistics or indices capable of measuring other phenological variables, besides the absorption of radiation by chlorophyll. and leaf structure.

**Keywords:** Remote Sensing; Tropical Savanna; Geostatistic

## 1 Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupa aproximadamente 20% do território nacional. Dos seus 2 milhões de Km<sup>2</sup> originais, mais da metade sofreu transformações causadas pela atividade humana, principalmente pela agropecuária. O plantio de pastagens com gramíneas de origem africana cobre uma área de 500 mil Km<sup>2</sup>, o equivalente ao território da Espanha, já a monocultura abre uma área de 100 mil Km<sup>2</sup>, enquanto a área total para conservação é simplesmente 33 mil Km<sup>2</sup> (Klink *et al.*, 2005).

É comum o uso de índices espectrais de sensoriamento remoto no estudo da cobertura vegetal. Estes índices são obtidos com operações entre bandas, mais especificamente entre o vermelho e o infravermelho próximo como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI). A assinatura espectral de áreas arborizadas se caracteriza pela baixa reflectância do visível, ou seja, do vermelho, e pela intensa reflectância na faixa do infravermelho próximo. Assim, apresentam um índice próximo a 1. Em contraste, nuvens, água e neve têm uma reflectância maior no visível do que no infravermelho próximo, atingindo valores negativos. Afloramentos rochosos e solos expostos apresentam resposta similar nas duas bandas e o resultado para o índice é próximo de zero (Lillesand *et al.*, 2008).

O NDVI permite caracterizar parâmetros biofísicos da vegetação, como fitomassa/densidade da vegetação e seu valor é normalizado para o intervalo de -1 a +1 (Ponzoni *et al.*, 2007), sendo que o valor zero se refere aos *pixels* não vegetados. Esses valores representam uma medida indireta da fitomassa, indicando valores de matéria e energia presente na área amostrada.

O SAVI, por sua vez, faz parte de um grupo chamado de índices ortogonais, dentro deste grupo estão, o índice de vegetação perpendicular (PVI), o índice de vegetação ajustado transformado para solos (TSAVI) e o índice de vegetação ajustado para solo modificado (MSAVI). Estes índices são considerados híbridos, por utilizarem a razão de bandas com parâmetros de ajuste minimizando o efeito da presença de solo ou rocha entre a vegetação. Os parâmetros de ajuste podem ou não considerar os coeficientes da linha do solo, mas são expressados sempre no intuito de minimizar o efeito de fundo do solo.

O SAVI, proposto por Huete (1988), foi o primeiro índice desenvolvido dentre os considerados “híbridos”. A construção inicial deste índice foi baseada em medidas de algodão e de gramados com solos claros e escuros ao fundo (Oliveira *et al.*, 2007).

Modelos empíricos relacionando variáveis espectrais - disponíveis ou geradas a partir de dados radiométricos presentes em imagens orbitais - com variáveis biofísicas da cobertura vegetal são avaliados para específicos conjuntos de dados. Os desempenhos destes modelos são validados também de forma específica, sendo pouco conhecido, por exemplo o resultado dos dados obtidos por outros sensores na validação ou estabelecimento de modelos de cobertura vegetal ou de uso e ocupação do solo (Ponzoni *et al.*, 2013). Neste contexto, objetiva-se comparar estatisticamente os valores de dois índices de vegetação (IV's), obtidos por três diferentes sensores, em fitofisionomias do Cerrado.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é a região do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT), localizado na região Centro Oeste do Brasil, no Estado de Mato Grosso do Sul, com área de 30.618,96 hectares, abrangendo 26.849,62 hectares no Município de Alcinoópolis-MS e 3.769,34 hectares em Costa Rica-MS (Figura 1). É uma das áreas-núcleo do Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari (Conservation International do Brasil, 2005), ou seja, um dos remanescentes ambientalmente mais importantes no Cerrado.

### 2.2 Características dos Sensores

Na realização do trabalho foram utilizadas cenas do satélite Landsat 5 (*Land Remote Sensing Satellite*) sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita/ponto 224/073, com 30 m de resolução espacial, de 26 de julho de 2010 (INPE, 2010a), do satélite IRS-P6 (ResourceSat-1) (*Indian Remote Sensing Satellite*) sensor Liss-3 (*Linear Imaging Sef-Scanner*) com 23,5 m de resolução espacial, de 20 de julho de 2010 (INPE, 2010b) e do satélite Alos (*Advanced Land Observing Satellite*) sensor Avnir-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) com 10 m de resolução espacial de 04 de julho de 2010 (Globalgeo, 2010; ALOS, 2018), conforme Tabela 1 a seguir:

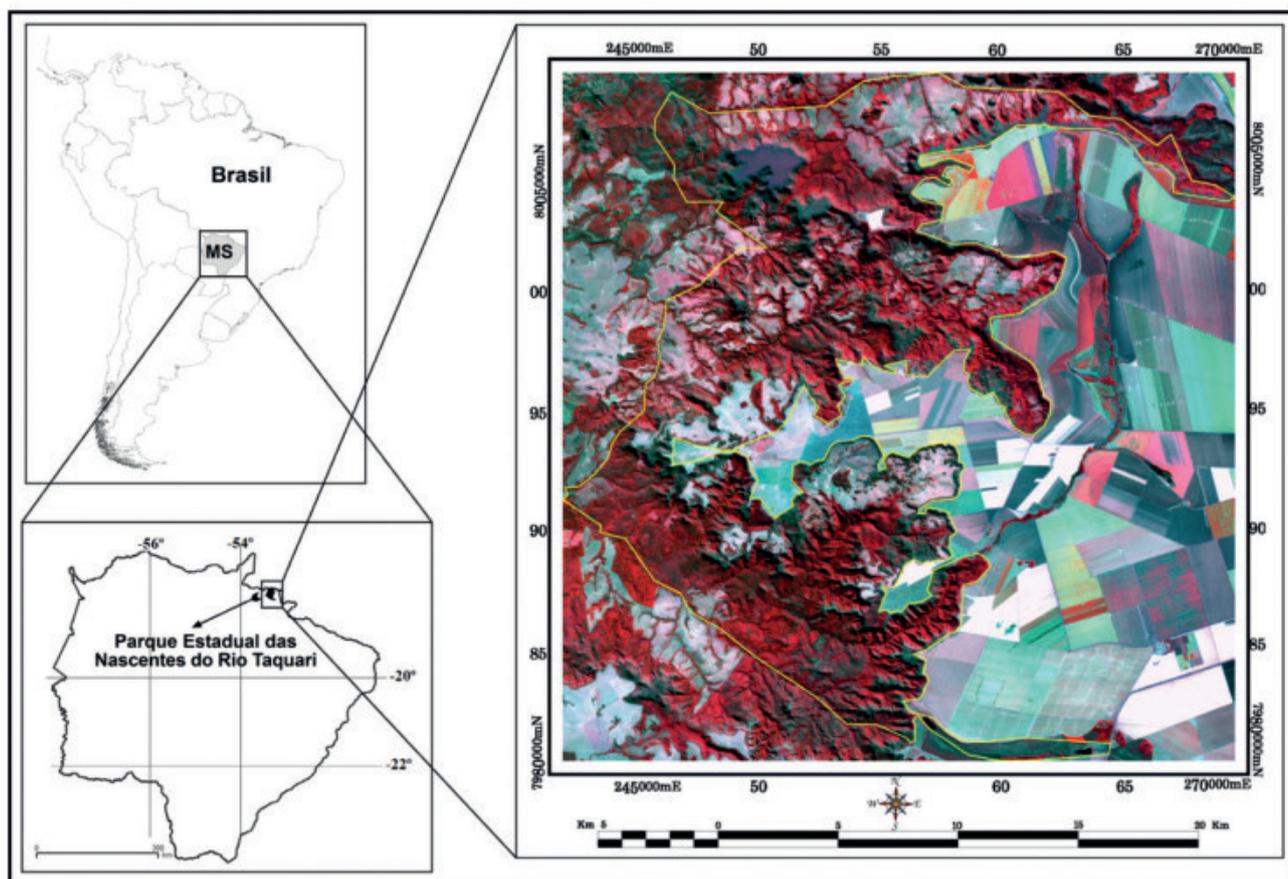


Figura 1 Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT). Fonte: Imagem do satélite ALOS sensor AVNIR-2 com resolução espacial de 10 m de 04 de julho de 2010. Composição falsa cor RGB 432. Limite do PENRT em amarelo. No lado esquerdo da imagem, as áreas em vermelho intenso significam vegetação densa. O padrão geométrico do lado direito da imagem mostra áreas agrícolas, que circundam a unidade de conservação (Gamarra *et al.*, 2016).

Sensor	Bandas Espectrais	Intervalo Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica
Landsat-5 TM	1 (azul)	0.45 - 0.52	30.0	8 bits
	2 (verde)	0.52 - 0.60		
	3 (vermelho)	0.63 - 0.69		
	4 (iv próximo)	0.76 - 0.90		
	5 (iv médio)	1.55 - 1.75	120.0	
	6 (iv termal)	10.4 - 12.5	30.0	
	7 (iv médio)	2.08 - 2.35		
Alos Avnir-2	1 (azul)	0.42 - 0.50	10.0	8 bits
	2 (verde)	0.52 - 0.60		
	3 (vermelho)	0.61 - 0.69		
	4 (iv próximo)	0.76 - 0.89		
ResourceSat-1 Liss-3	2 (verde)	0.52 - 0.59	23.5	7 bits
	3 (vermelho)	0.62 - 0.68		
	4 (iv próximo)	0.77 - 0.86		
	5 (iv médio)	1.55 - 1.70		

Tabela 1 Principais características dos sensores utilizados neste estudo. iv = infravermelho. Fonte: Globalgeo (2010); ALOS (2018), INPE (2018a) e INPE (2018b).

Utilizando o programa Geomatica 12 (PCI, 2012), todas as cenas dos diferentes satélites foram georreferenciadas com erro inferior a 1 *pixel* utilizando como base de referência uma cena ortoretificada do satélite Landsat 7 do programa *Global Land Survey* (GLS2005) do Serviço Geológico Americano (USGS) disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2004). Para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) para cada cena (Landsat-5 TM, Alos Avnir-2 e IRS-P6 Liss-3).

Visando a correção atmosférica, os valores digitais dos pixels foram convertidos a valores de radiância e em seguida a valores de refletância no topo da atmosfera. A conversão dos valores digitais a valores de radiância se deu através da Equação 1 (Markham *et al.*, 1987).

$$L_{(\lambda)} = \frac{L_{(\lambda)}max - L_{(\lambda)}min}{Qcal\ max} \times Qcal + L_{(\lambda)}min \quad (1)$$

onde:

$L_{(\lambda)}$  = radiância espectral captada pelo sensor

$Qcal$  = Digital Number dos pixels da imagem

$Qcal\ max$  = valor máximo do Digital Number da imagem

$L_{(\lambda)}min$  = radiância mínima referente a cada banda espectral

$L_{(\lambda)}max$  = radiância máxima referente a cada banda espectral

A conversão dos valores de radiância a valores de refletância no topo da atmosfera se deu através da seguinte Equação 2:

$$\rho = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos\theta_s} \quad (2)$$

onde:

$\rho_{TOA}$  = refletância captada pelo sensor no topo da atmosfera

$L_{\lambda}$  = radiância captada pelo sensor em relação a cada banda espectral

$d$  = distância entre o Sol e a Terra (em unidades astronômicas)

$ESUN_{\lambda}$  = Irradiância solar extraterrestre para cada banda espectral

$\cos\theta_s$  = cosseno do ângulo zenital solar

Os valores de refletância no topo da atmosfera apresentam a resposta espectral dos alvos da superfície terrestre e da atmosfera. Para reduzir a interferência da atmosfera nos valores de refletância foi aplicada uma técnica de correção radiométrica denominada correção atmosférica. Para este estudo foi o modelo de transferência radiativa 6S. Este método simula as condições atmosféricas em relação a data de aquisição das imagens.

Como resultado, foram obtidos os valores de refletância de superfície. Para a aplicação do método de correção atmosférica foram utilizados os seguintes parâmetros (Tabela 2) adquiridos a partir dos metadados dos arquivos das imagens utilizadas neste estudo. A correção atmosférica foi realizado com o auxílio do modulo *i.atcorr* integrado ao *software* QGIS.

Parâmetro	Landsat 5 - TM		IRS- P6 - Liss 3		Alos Avnir-2	
	Banda 3	Banda 4	Banda 3	Banda 4	Banda 3	Banda 4
Condição geométrica	7	7	9	9	11	11
Mês	7	7	7	7	7	7
Dia	26	26	20	20	4	4
Hora (decimal)	13.80	13.80	13:00	13:00	13:00	13:00
Longitude e Latitude (decimal)	-53.237	-53.237	-52.770	-52.770	-53.476	-53.476
	-18.781	-18.781	-17.883	-17.883	-18.071	-18.071
Modelo atmosférico	1	1	1	1	1	1
Modelo de aerossóis	1	1	1	1	1	1
Visibilidade (Km)	50	50	50	50	50	50
Altura média (Km)	-0.550	-0.550	-0.550	-0.550	-0.550	-0.550
Local do sensor (a bordo do satélite)	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000
Banda Espectral	27	28	69	70	83	84

Tabela 2 Parâmetros de entrada do método de correção atmosférica 6S do QGIS 3.2.2 Bonn (2018).

O NDVI proposto por Rouse *et al.* 1974 é calculado pela Equação 3:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED}) \quad (3)$$

onde:

$\rho_{NIR}$ : Reflectância na banda do infravermelho próximo;

$\rho_{RED}$ : Reflectância na banda do vermelho.

Já o SAVI proposto por Huete (1988), é expresso na Equação 4:

$$SAVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) * (1 + L) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L) \quad (4)$$

onde:

L é um fator constante de ajuste para o substrato do dossel. A constante L pode apresentar valores de 0 a 1, variando segundo a própria biomassa. Os valores ótimos de L são: L = 1,0 (para baixas densidades de vegetação); L = 0,5 (para médias densidades de vegetação); L= 0,25 (para altas densidades de vegetação).

Ren *et al.* (2018) exploraram o fator negativo para o SAVI, obtendo redução satisfatória do ruído de fundo do solo ( $L = -0,2$ ) para estepes de deserto, onde a vegetação é dispersa e de pequeno porte. Neste estudo foi utilizado o valor 0,5 para o fator L, uma vez que este limiar é o mais comumente utilizado ao englobar maior variação de condições de vegetação (Ponzoni *et al.*, 2007).

Foi realizado trabalho de campo, no intuito de fazer o reconhecimento dos fragmentos de vegetação e suas fitofisionomias, a fim de compará-las com os resultados obtidos pelas imagens de satélite na área de estudo. Foi utilizado máquina fotográfica digital e receptor GPS de navegação (*Global Positioning System*) para validação e georreferenciamento dos fragmentos de Cerrado (Figura 2). Foram identificados 4 fragmentos de cada fitofisionomia, de acordo com Ribeiro *et al.* (2008): mata - 3 fragmentos de mata seca e um de mata ciliar; cerradão - 4 fragmentos de cerradão; e cerrado - 4 fragmentos de cerrado sentido restrito, totalizando assim 12 fragmentos.

A partir das coordenadas dos fragmentos foram gerados *buffers* de 100 m para cada um dos 12 fragmentos identificados, os quais serviram de limite para o recorte de cada índice espectral extraído de cada sensor analisado.

A extração dos valores referentes aos índices foi realizada de maneira automática pela ferramenta de estatística por zonas do *QGIS 3.2.2 Bonn* (2018), sendo a tabela de atributos de cada feição exportada automaticamente em formato *.csv* para planilha *Microsoft Excel* (2003), garantindo maior precisão na tabulação dos dados. O número de observações de cada sensor está relacionado à quantidade de *pi-*

*xels* contida em cada fragmento, sendo as medidas de tendência central: média, desvio padrão e erro médio padrão, informativas do comportamento da reflectância sensível a cada um dos sensores diante dos 12 fragmentos das 03 distintas fitofisionomias do Cerrado, permitindo a avaliação das influências na variação dos IV's.

### 2.3 Testes de Comparação Estatístico

A priori foi necessário identificar o teste estatístico mais adequado para a realização da análise comparativa, o qual seguiu os critérios expostos na Tabela 3. As comparações entre os diferentes valores médios dos índices obtidos entre os sensores para um mesmo tipo de fitofisionomia, bem como a relação dos valores médios dos índices entre as diferentes fitofisionomias para o mesmo sensor, foram realizadas por meio do teste ANOVA de uma via, seguida pelo pós-teste “t” de Tukey-Kramer. Foram segmentados os mesmos quatro fragmentos típicos de cada uma das 3 fitofisionomias para cada um dos sensores, onde através do *software GraphPad InStat 3.1 Versão teste para Windows*, considerando nível de significância de 5% ( $p\text{-valor} < 0,05$ ) analisamos a variância amostral.

Em seguida foi verificado por comparação se os dois IV's obtidos pelos diferentes sensores refle-

Objetivo	Quantidade de Amostras	Tipo de Amostras	Teste Recomendado	Pós-Teste
Comparar médias	3 amostras de dados de uma variável dependente	Independentes	ANOVA de uma via	Tukey-Kramer

Tabela 3 Escolha do teste e pós-teste estatístico mais adequado.

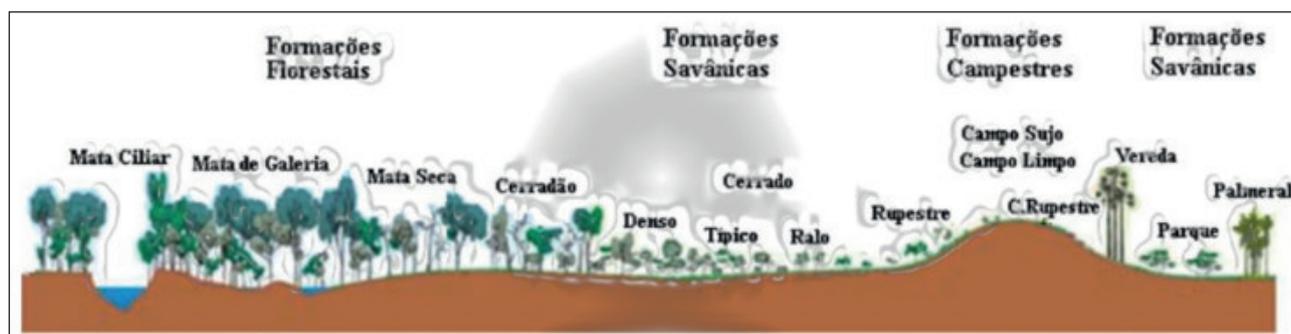


Figura 2 Fitofisionomias do Cerrado. Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al.* (2008); Castro (2014).

tem significativamente a diferença entre as três fitofisionomias identificadas, ou seja, se é possível separar as fitofisionomias utilizando os valores médios de cada índice de vegetação e constatar a influência do sensor nessa separação.

Assim, executou-se uma ANOVA de uma via (fitofisionomia) em conjunto com o teste “t” de Tukey-Kramer comparando os valores médios do NDVI obtido do sensor Landsat-5 TM de cada fitofisionomia: mata, cerradão e cerrado. Posteriormente, foi realizada outra ANOVA, comparando os valores médios do NDVI obtido do sensor Alos Avnir-2 e por último comparando os valores médios do NDVI obtido do sensor IRS-P6 Liss-3 das três fitofisionomias. Em seguida, esses mesmos testes foram operados com os valores médios do SAVI, totalizando 6 comparações.

Na segunda bateria de testes foi executado teste comparativo entre os valores médios do NDVI das quatro amostras de cada fitofisionomia obtidos de cada sensor, ou seja, foi feita uma ANOVA comparando as amostras de mata entre os sensores Landsat-5 TM, Alos Avnir-2 e IRS-P6 Liss-3. Depois, outra ANOVA comparando as amostras de cerradão entre esses três sensores e por último comparando as amostras de cerrado. Em seguida, esses mesmos testes foram feitos com os valores médios do SAVI, totalizando 6 comparações.

De posse das 12 comparações foi possível analisar a influência dos sensores nos valores dos IV’s, conforme expresso no fluxograma da Figura 3.

A checagem da diferença entre as médias aritmética das amostras segue duas principais premissas, sendo elas:

A hipótese nula ( $H_0$ ), de que não há nenhuma diferença nas médias aritméticas das amostras ( $\mu$ ), ou seja:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_c$$

É testada em relação à hipótese alternativa de que nem todas as médias aritméticas das amostras são iguais. Ou seja, parte-se para a hipótese que há diferença ente os grupos amostrais ( $H_1$ ), o que permite realizar o pós-teste (tratamentos). Neste estudo

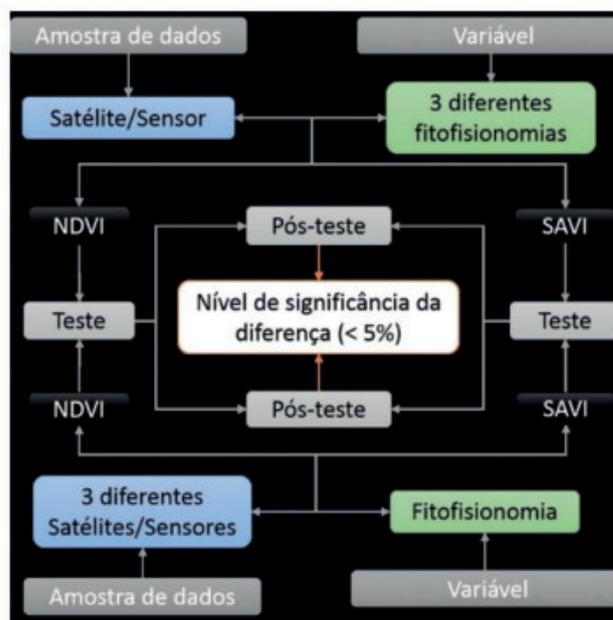


Figura 3 Fluxograma para teste estatístico de comparação.

não foi avaliado o erro do tipo 2 (falso-negativo), que é quando não há diferença significativa, quando na realidade há, tendo em vista que o pós-teste de Tukey-Kramer ser suficiente para determinar esta diferença.

$$H_1: \text{Nem todas as } \mu_j \text{ são iguais (onde } j= 1, 2, \dots, c)$$

Feito isto, foi verificada a relação existente entre o coeficiente de variação (Equação 5), indicativo da medida de dispersão relativa, com o p-valor de Tukey-Kramer. O coeficiente de variação elimina o efeito da magnitude dos dados, onde exprime a variabilidade em relação à média, sendo útil portanto para comparar duas ou mais variáveis.

$$CV(\%) = (s \div X) \times 100 \quad (5)$$

Onde: CV(%) = Coeficiente de variação amostral em porcentagem;

s = Desvio padrão amostral;

X = Média amostral.

Após esta etapa, com a finalidade de verificar se há correlação entre a variabilidade em torno do valor médio dos IV’s, tanto entre os sensores diante da mesma fitofisionomia, quanto com a mesma fitofisionomia detectada por diferentes sensores foi

comparado o t-crítico, com a estatística t calculada, considerando o nível de significância de 5%, 9 observações e 8 graus de liberdade, respectivamente.

As hipóteses de interesse a respeito da correlação da população, são:

$H_0$ : hipótese nula, não existe correlação entre as duas variáveis;

$H_1$ : hipótese alternativa, existe correlação entre as duas variáveis.

O teste estatístico está t-distribuído com (N - 2) graus de liberdade, sendo expresso pela Equação 6:

$$t = r * (N - 2)^{0,5} / (1 - r^2)^{0,5} \quad (6)$$

onde:

r = Coeficiente de correlação;

N = Número de observações;

### 3 Resultados e Discussão

Os valores médios e o erro médio padrão dos IV's (NDVI e SAVI) extraídos dos sensores Landsat-5 TM, IRS-P6 Liss-3 e Alos Avnir-2 de quatro fragmentos de cada fitofisionomia – mata, cerrado e cerrado sentido restrito - da região do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT), podem ser vistos nas Figuras 4 à 9.

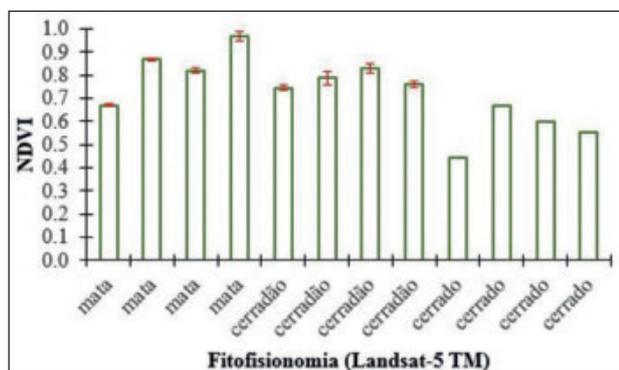


Figura 4 Média e erro médio padrão do NDVI das fitofisionomias obtidas pelo sensor Landsat-5 TM.

Graficamente percebe-se que o SAVI em detrimento ao NDVI, em todos os sensores analisados, respondeu a valores mais elevados da reflectância das fitofisionomias, descrevendo uma curva de ganho ao transladar para médias mais próximas à 1

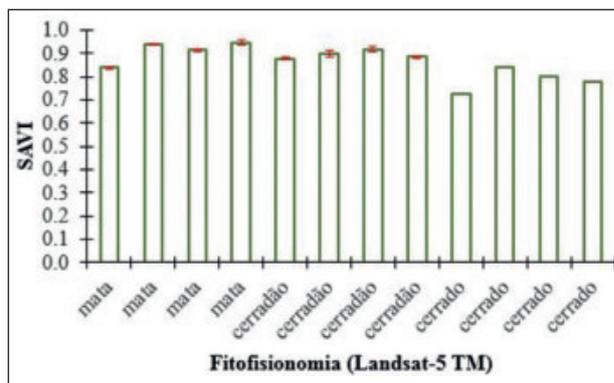


Figura 5 Média e erro médio padrão do SAVI das fitofisionomias obtidas pelo sensor Landsat-5 TM.

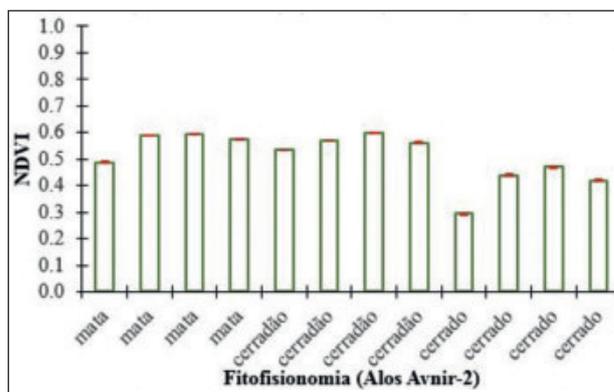


Figura 6 Média e erro médio padrão do NDVI das fitofisionomias obtidas pelo sensor Alos Avnir-2.

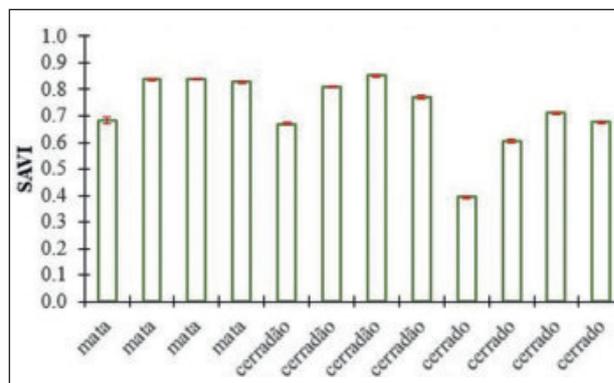


Figura 7 Média e erro médio padrão do SAVI das fitofisionomias obtidas pelo sensor Alos Avnir-2.

(valor extremo de ambos os índices). Os valores médios do NDVI, obtidos pelo Landsat-5 TM separou muito significativamente as fitofisionomias analisadas, apresentando o melhor resultado na distinção entre mata e cerrado, seguida por cerradão e cerrado, contudo, não obteve nível satisfatório de discernimento entre as formações florestais mata e cerradão (Tabela 4).

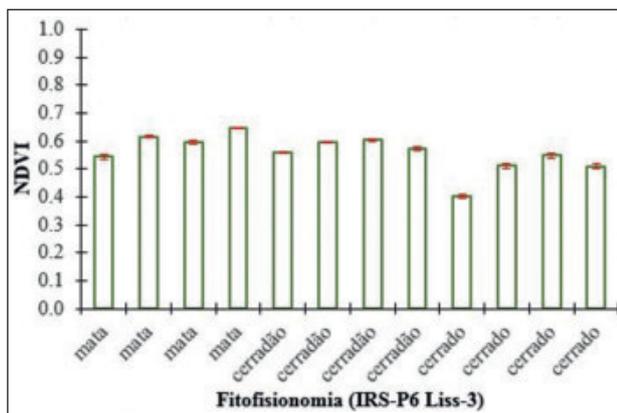


Figura 8 Média e erro médio padrão do NDVI das fitofisionomias obtidas pelo sensor IRS-P6 Liss-3.

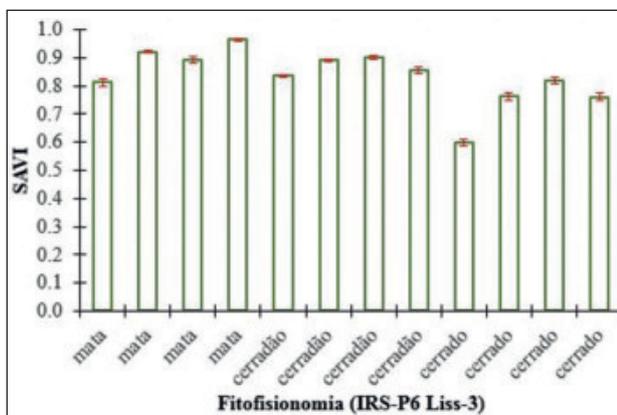


Figura 9 Média e erro médio padrão do SAVI das fitofisionomias obtidas pelo sensor IRS-P6 Liss-3.

NDVI				
Satélite / Sensor	Fitofisionomia			p-valor
	Mata	Cerradão	Cerrado	
Landsat-5 / TM	0.832 <sup>a</sup> ±0.062	0.781 <sup>a</sup> ±0.04	0.566 <sup>b</sup> ±0.047	0.0067
p-valor	>0.05	<0.01	<0.05	

Tabela 4 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (satélite/sensor). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre fitofisionomias (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

O Alos Avnir-2 obteve o melhor resultado entre os sensores na distinção entre as fitofisionomias do Cerrado (Tabela 5) pelo NDVI (p-valor=0,0039), sendo muito significativa a diferença entre mata e cerrado, e cerradão e cerrado, entretanto, assim como os outros sensores, este não conseguiu distinguir significativamente as formações florestais (mata e cerradão).

O IRS-P6 Liss-3 obteve o resultado menos satisfatório (p-valor=0,0180) para o NDVI dentre os sensores analisados (Tabela 6), não havendo níveis

NDVI				
Satélite / Sensor	Fitofisionomia			p-valor
	Mata	Cerradão	Cerrado	
Alos / Avnir-2	0.561 <sup>a</sup> ±0.025	0.565 <sup>a</sup> ±0.013	0.405 <sup>b</sup> ±0.038	0.0039
p-valor	>0.05	<0.01	<0.01	

Tabela 5 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (satélite/sensor). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre fitofisionomias (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

muitos significativos de classificações entre as diferentes vegetações, embora haja significância na segmentação entre cerradão e cerrado, bem como entre a mata e cerrado.

NDVI				
Satélite / Sensor	Fitofisionomia			p-valor
	Mata	Cerradão	Cerrado	
IRS-P6 / Liss-3	0.600 <sup>a</sup> ±0.021	0.582 <sup>a</sup> ±0.010	0.491 <sup>b</sup> ±0.031	0.0180
p-valor	>0.05	<0.05	<0.05	

Tabela 6 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (satélite/sensor). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre fitofisionomias (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

O Landsat-5 TM com o SAVI conferiu resultado semelhante ao índice NDVI, separando bem as diferentes fitofisionomias (p-valor= 0,0041), com melhor resposta entre classes de mata e cerrado (Tabela 7), seguida por cerradão e cerrado, sem diferenciar cerradão de mata.

SAVI				
Satélite / Sensor	Fitofisionomia			p-valor
	Mata	Cerradão	Cerrado	
Landsat-5 / TM	0.910 <sup>a</sup> ±0.024	0.895 <sup>a</sup> ±0.009	0.786 <sup>b</sup> ±0.023	0.0041
p-valor	>0.05	<0.01	<0.05	

Tabela 7 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (satélite/sensor). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre fitofisionomias (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

O Alos Avnir-2 com o índice SAVI não conseguiu diferenciar nenhuma das fitofisionomias analisadas (Tabela 8), apesar do teste ANOVA apontar significância o pós-teste de Tukey-Kramer constatou não ser pertinente esta possibilidade.

**Comparação entre Índices de Vegetação de Diferentes Sensores na Identificação de Fitofisionomias do Cerrado**  
 Gustavo Massayuki Shiroma; Roberto Macedo Gamarra; Alesson Pires Maciel Guirra; Jaiza Santos Motta;  
 Helen Rezende de Figueiredo; César Claudio Cáceres Ensina; Geraldo Alves Damasceno Júnior & Antonio Conceição Paranhos Filho

SAVI				
Satélite / Sensor	Fitofisionomia			p-valor
	Mata	Cerradão	Cerrado	
Alos / Avnir-2	0.796 <sup>a</sup> ±0.038	0.775 <sup>a</sup> ±0.039	0.597 <sup>a</sup> ±0.071	0.044
p-valor	>0.05	>0.05	>0.05	

Tabela 8 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (satélite/sensor). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferenças significativas entre fitofisionomias (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

O IRS-P6 Liss-3 com o índice SAVI apresentou comportamento quase idêntico ao NDVI no produto da comparação entre seus valores médios com as fitofisionomias (Tabela 9). O SAVI, assim com o NDVI, portanto, não determinam nível de significância suficiente para diferenciar as formações florestais (mata e cerradão), mesmo com sensores com diferentes resoluções espaciais (variando de 30 metros à 10 metros). Mas diferenciam mata de cerrado e cerradão de cerrado.

SAVI				
Satélite / Sensor	Fitofisionomia			p-valor
	Mata	Cerradão	Cerrado	
IRS-P6 / Liss-3	0.897 <sup>a</sup> ±0.032	0.870 <sup>a</sup> ±0.015	0.735 <sup>b</sup> ±0.047	0.0181
p-valor	>0.05	<0.05	<0.05	

Tabela 9 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (satélite/sensor). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre fitofisionomias (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

Os valores médios do NDVI foram significativamente diferentes entre as imagens dos três sensores avaliados entre os fragmentos de mata (Tabela 10), sendo este contraste detectado entre Landsat-5 TM com Alos Avnir-2 e Landsat-5 TM com IRS-P6 Liss-3. O IRS-P6 Liss-3 com o Alos Avnir-2 foram concordantes na determinação das classes de mata, podendo ser utilizados conjuntamente para avaliações desta fitofisionomia específica.

NDVI				
Fitofisionomia	Satélite/Sensor			p-valor
	Landsat-5 / TM	Alos / Avnir-2	IRS-P6 / Liss-3	
<b>mata</b>	<b>0.832a±0.062</b>	<b>0.56175b±0.050</b>	<b>0.600b±0.043</b>	<b>0.002</b>
<b>p-valor</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>&gt;0.05</b>	

Tabela 10 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (fitofisionomia). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre satélites/sensores (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

O cerradão dentre as classes de vegetação verificadas, foi o que conferiu maior discordância entre os sensores na determinação do alvo (Tabela 11), com diferença extremamente significativa (p-valor=0,0001), entretanto preservou a conformidade na distinção desta fitofisionomia na comparação entre o IRS-P6 Liss-3 e Alos Avnir-2, demonstrando influência na proximidade entre as resoluções espaciais de 23,5 e 10,0m, respectivamente, para determinação deste tipo de formação florestal.

NDVI				
Fitofisionomia	Satélite/Sensor			p-valor
	Landsat-5 / TM	Alos / Avnir-2	IRS-P6 / Liss-3	
<b>cerradão</b>	<b>0.781a±0.018</b>	<b>0.566b±0.013</b>	<b>0.582b±0.020</b>	<b>0.0001</b>
<b>p-valor</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&gt;0.05</b>	

Tabela 11 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (fitofisionomia). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre satélites/sensores (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

O cerrado foi a fitofisionomia que confluiu a melhor concordância entre os sensores, onde apresentou inconformidade apenas entre os resultados do Landsat-5 TM e o Alos Avnir-2 (Tabela 12), comparativamente o maior intervalo de resolução espacial entre os sensores, contudo ressalta-se que o p-valor da ANOVA encontra-se muito próximo ao limiar de significância/não significância, o que em outros períodos de amostragem deste fragmento poderá migrar o intervalo para algum destes extremos, onde sugerimos amostragens multitemporais para avaliação deste efeito.

NDVI				
Fitofisionomia	Satélite/Sensor			p-valor
	Landsat-5 / TM	Alos / Avnir-2	IRS-P6 / Liss-3	
<b>cerrado</b>	<b>0.567<sup>a,c</sup>±0.095</b>	<b>0.405<sup>b</sup>±0.039</b>	<b>0.492<sup>b,c</sup>±0.031</b>	<b>0.0535</b>
<b>p-valor</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>&gt;0.05</b>	<b>&gt;0.05</b>	

Tabela 12 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (fitofisionomia). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre satélites/sensores (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

Contrariamente ao NDVI, os valores do SAVI entre os satélites demonstraram boa concordância na definição das matas, com valores indicando diferença não significativa global e entre amos-

tras pareadas (dois a dois), onde todas comparações estão acima de 5% do intervalo de significância (Tabela 13). Isto sugere potencialidades do uso do SAVI para análises multiescalares com sensores multiespectrais de média resolução espacial, das formações florestais de mata de galeria e mata seca do Cerrado.

SAVI				
Fitofisionomia	Satélite/Sensor			
	Landsat-5 / TM	Alos / Avnir-2	IRS-P6 / Liss-3	p-valor
mata	0.910a±0.025	0.796b±0.038	0.897a,b±0.032	0.0647
p-valor	>0.05	>0.05	>0.05	

Tabela 13 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (fitofisionomia). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre satélites/sensores (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

O cerrado não teve a mesma concordância entre os sensores na distinção desta fitofisionomia, sendo significativa a variação das médias desse índice entre Landsat-5 TM e Alos Avnir-2, contudo nas demais comparações possíveis houve similaridade na identificação destes fragmentos (Tabela 14).

SAVI				
Fitofisionomia	Satélite/Sensor			
	Landsat-5 / TM	Alos / Avnir-2	IRS-P6 / Liss-3	p-valor
cerrado	0.895±0.009	0.775±0.039	0.870±0.015	0.0179
p-valor	<0.05	>0.05	>0.05	

Tabela 14 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (fitofisionomia). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre satélites/sensores (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

O cerrado apresentou afinidade na classificação efetuada entre os sensores, com diferença não significativa ainda maior do que a fitofisionomia de mata (Tabela 15).

SAVI				
Fitofisionomia	Satélite/Sensor			
	Landsat-5 / TM	Alos / Avnir-2	IRS-P6 / Liss-3	p-valor
Cerrado	0.786±0.024	0.597±0.071	0.735±0.047	0.0683
p-valor	>0.05	>0.05	>0.05	

Tabela 15 Resultados referentes a média amostral±erro médio amostral. Valor de p no teste ANOVA de uma via (fitofisionomia). Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre satélites/sensores (pós-teste de Tukey-Kramer, p<0.05).

A partir dos resultados acima obtidos pode-se confrontar com o coeficiente de variação, o qual expressa a variabilidade dos dados em relação a média, onde entende-se que quanto menor o seu valor adimensional, mais homogêneo é o conjunto de dados. Na comparação entre fitofisionomias do Cerrado, o NDVI com coeficientes de variação abaixo de 5% apresentaram baixa significância, enquanto o SAVI com coeficientes de variação próximos à 25% continuou com diferença não significativa, o que demonstra menor sensibilidade deste último índice na discriminação de classes de vegetação, permitindo-o detectar maiores contrastes entre fitofisionomias sem acusar diferenças, causando um efeito homogeneizador entre as amostras.

O coeficiente de variação próximo a 7% acusa diferenças significativas entre classes fitofisionômicas do Cerrado no Alos Avnir-2, sendo tanto o fator resolução espacial, quanto o maior espaço intervalar do NDVI (-1 à 1) diante do SAVI (0 à 1) questões que possibilitam facilidades maiores de diferenciações de cobertura vegetal em ambientes de maior homogeneidade (Tabela 16).

		NDVI		SAVI	
		Coeficiente de Variação (%)	Diferença	Coeficiente de Variação (%)	Diferença
Landsat-5 / TM	cerrado e mata	4.69	NS	2.06	NS
	cerrado e cerrado	14.65	S	5.43	S
	mata e cerrado	16.76	MS	6.10	MS
Alos / Avnir-2	cerrado e mata	4.68	NS	10.02	NS
	cerrado e cerrado	8.81	MS	9.53	NS
	mata e cerrado	19.10	MS	23.77	NS
IRS-P6 / Liss-3	cerrado e mata	3.52	NS	3.53	NS
	cerrado e cerrado	7.15	S	7.14	S
	mata e cerrado	12.89	S	12.89	S

Tabela 16 Relação entre coeficiente de variação e o grau de diferença entre fitofisionomias por sensor. Onde: MS= Muito Significativa, NS=Não Significativa, S=Significativa.

Considerando o conjunto de dados da Tabela 16, percebe-se que o coeficiente de variação é muito baixo (<5%) para todos os sensores em relação as médias do NDVI extraídos para comparação entre cerrado e mata, apresentando estas diferentes fitofisionomias como classes semelhantes e/ou homogêneas. Isto também ocorre entre as médias do SAVI, mesmo tendo coeficiente de variação acima de 5% (10.02%) entre cerrado e mata no sensor Alos Avnir-2, assinalando que a resolução espacial mais detalhada deste em relação aos outros satélites não foi capaz de distinguir estas fitofisionomias por índices de vegetação.

Dentre as três fitofisionomias analisadas, percebe-se que o cerrado foi para o NDVI o que obteve menor discrepância entre os sensores, enquanto que para o SAVI, todas as classes de vegetação tiveram boa concordância entre os mesmos, sendo significativamente diferente somente para o ambiente de mata, entre os sensores Landsat-5 TM e Alos Avnir-2.

A Figura 10 mostra que a variabilidade dos valores dos IV's em torno da média, obtidos entre as fitofisionomias pelo mesmo sensor, não apresenta correlação significativa, contribuindo para a hipótese nula, não possuindo proporções de valores médios e desvios comparáveis numa classificação linear equivalente entre seus extremos. Entretanto, ressalta-se que pode haver uma correlação espúria, com uma aparente correlação positiva, quando de fato não existe.

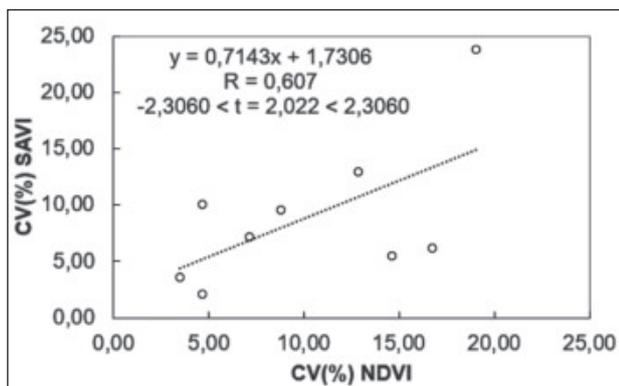


Figura 10 Correlação entre os coeficientes de variação obtidos entre as fitofisionomias por sensor, com valor-t crítico de 2,3060 para nível de significância de 5% e 8 graus de liberdade, onde a hipótese nula é aceita, não havendo correlação significativa.

O coeficiente de variação em relação à diferença dada pelo p-valor (Tukey-Kramer) para o NDVI mostra que entre o intervalo de 0 a 16% aproximadamente pode não haver significativa diferença entre os índices obtidos pelos sensores. Tanto para o NDVI quanto para o SAVI, o coeficiente de variação tende a aumentar e ser mais permissivo no agrupamento de classes de vegetação sem diferença significativa na seguinte ordem: mata < cerrado < cerrado. O coeficiente de variação aumenta exponencialmente entre os IV's obtidos pelo IRS-P6/Liss-3 e o Alos/Avnir-2, considerando a sequência de comparação entre mata, cerrado e cerrado, mantendo-se mais estável em relação às outras comparações entre os sensores para a mesma fitofisionomia (Tabela 17).

		NDVI	Diferença	SAVI	Diferença
		Coefficiente de Variação (%)		Coefficiente de Variação (%)	
Mata	Landsat-5 /TM e Alos /Avnir-2	17.63	MS	9.89	S
	Landsat-5 /TM e IRS-P6 /Liss-3	16.09	MS	3.04	NS
	IRS-P6 /Liss-3 e Alos /Avnir-2	4.12	NS	9.09	NS
Cerradão	Landsat-5 /TM e Alos /Avnir-2	24.26	MS	9.94	NS
	Landsat-5 /TM e IRS-P6 /Liss-3	21.07	MS	5.91	NS
	IRS-P6 /Liss-3 e Alos /Avnir-2	8.20	NS	9.97	NS
Cerrado	Landsat-5 /TM e Alos /Avnir-2	24.22	S	20.38	NS
	Landsat-5 /TM e IRS-P6 /Liss-3	16.02	NS	9.83	NS
	IRS-P6 /Liss-3 e Alos /Avnir-2	17.87	NS	20.11	NS

Tabela 17 Relação entre coeficiente de variação e o grau de diferença entre sensores por fitofisionomia. Onde: MS= Muito Significativa, NS=Não Significativa, S=Significativa.

A Figura 11 mostra que a variabilidade dos valores dos IV's em torno da média, obtidos entre os sensores para a mesma fitofisionomia, não apresenta correlação significativa, contribuindo para a hipótese nula, sendo que o NDVI tende a apresen-

## Comparação entre Índices de Vegetação de Diferentes Sensores na Identificação de Fitofisionomias do Cerrado

Gustavo Massayuki Shiroma; Roberto Macedo Gamarra; Alesson Pires Maciel Guirra; Jaiza Santos Motta; Helen Rezende de Figueiredo; César Claudio Cáceres Ensina; Geraldo Alves Damasceno Júnior & Antonio Conceição Paranhos Filho

tar coeficiente de variação maior e portanto menor homogeneidade em comparação ao SAVI, sobretudo para as formações florestais do Cerrado. Neste sentido, o SAVI garantiria maior segurança em escalas multiescalares de observação, quando se faz uso de vários sensores para diferenciar fitofisionomias, necessitando complementar com outras técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para validar estas informações.

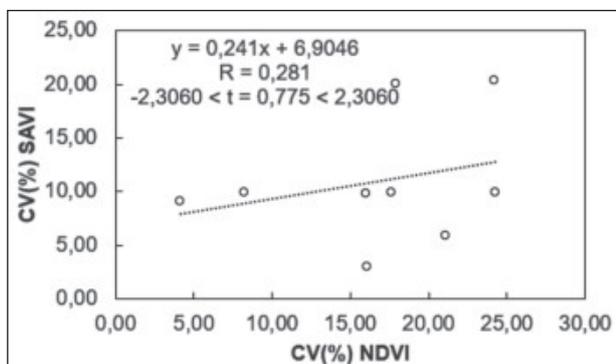


Figura 11 Correlação entre os coeficientes de variação obtidos entre os sensores por fitofisionomia, com valor-t crítico de 2,3060 para nível de significância de 5% e 8 graus de liberdade, onde a hipótese nula é aceita, não existindo correlação significativa.

Quando utilizamos IV's, independente do sensor do qual ele foi extraído, espera-se que os valores sejam semelhantes e comparáveis. Para reduzir a influência externa (outros fatores não medidos pelo índice) e garantir a uniformização dos valores dos índices, as imagens utilizadas no presente trabalho foram obtidas em datas próximas e condições semelhantes (todas da época seca), a fim de garantir maior distinção entre as fitofisionomias e menor interferência da sazonalidade (fenologia) e passando pelo mesmo processo de correção atmosférica e extração dos IV's, utilizando o mesmo programa.

Outro fator é a diferença na resolução espacial dos três sensores analisados, pois o "n amostral" de pixels avaliados são diferentes, num *buffer* de 100 metros, onde a área é de 31,400 m<sup>2</sup>, por exemplo, para o Landsat-5 TM (30m) terá de 32 à 37 número de observações, o IRS-P6 Liss-3 (23,5m) terá de 53 à 56, e o Alos Avnir-2 (10m) de 309 à 316. Assim, os alvos obtidos em uma imagem tendem a apresentar diferenças na determinação de alvos idênticos, considerando alvos fora da área abrangida por aqueles imageados pelo outro sensor, tal como mostra Ponzoni *et al.* 2013.

O fato das amostras de cerrado sentido estrito não apresentarem diferenças tanto para NDVI como para o SAVI em praticamente todos os sensores analisados, pode estar relacionado com a menor quantidade de fitomassa e menor heterogeneidade quando comparado às formações florestais. Todos os IV's extraídos de diferentes sensores apresentaram uma clara limitação para distinguir as formações florestais do Cerrado, especificamente a mata e o cerrado. Este fato revela que, quanto maior a heterogeneidade da fitofisionomia, maior será a divergência entre os IV's quando obtidos por diferentes sensores, e que coberturas da terra com características mais homogêneas, tais como as pastagens ou monoculturas, as análises derivadas dos IV's não serão tão afetadas caso haja a necessidade do uso de múltiplos sensores em diferentes escalas, pois tenderam possuir diferença não significativa entre si.

Estes resultados corroboram com alguns autores (Bitencourt *et al.*, 1997; Mesquita Júnior, 1998; Giraldelli *et al.*, 2006; Dantas *et al.*, 2012; Gamarra *et al.*, 2016), os quais também encontraram diferenças em algumas fitofisionomias do Cerrado utilizando os índices, NDVI e SAVI, onde entende-se que um dos principais motivos das variações seja a condição fenológica das espécies vegetais no momento da obtenção das imagens, sendo que em culturas agrícolas a taxa de reflectância do infravermelho próximo está associada as diferenças de idade dos plantios (Batista *et al.*, 2018).

Covele (2011) revela que a simples aplicação de diferenças do NDVI na avaliação das condições presentes de vegetação, não são capazes de mostrar a severidade dos desvios em relação às condições anteriores ou normais de vegetação. De acordo com Xue *et al.* (2017) isto pode estar relacionado ao fato de que o NDVI é afetado por outros fatores como a cor, o brilho e conteúdo de umidade do solo, nuvens ou sobra de nuvens, requerendo calibração via sensoriamento remoto, e que o SAVI foi elaborado para ser menos sensível à estas variações.

Ao analisar o comportamento espectral de plantios homogêneos de Paricá (*S. parahyba var. amazonicum*) em diferentes idades e identificar o melhor índice de vegetação para o estudo desta espécie, com o uso de imagens do satélite Sentinel-2A, Batista *et al.* (2018) constatam que o índice de Relação Log possui melhor correlação com esta espécie. Na avaliação da eficiência da predição dos

índices de diversidade para fragmentos florestais do Cerrado brasileiro a partir dos IV's e métricas da paisagem, empregando redes neurais artificiais (RNA), Cabacinha *et al.* (2017) certificam que os índices MVI5 (Moisture Vegetation Index) e SAVI, são mais precisos e biologicamente realistas para estimar os índices de diversidade de Shannon (H') e de Equabilidade de Pielou (J), respectivamente. Denota-se que ambos estudos corroboram com os resultados aqui obtidos.

Este trabalho poderá servir para melhor determinação do tipo de satélite-sensor mais adequado para estudos geobotânicos, tal como demonstrado por Amaral *et al.* (2018), os quais utilizando de técnicas de sensoriamento remoto, comprovaram a possibilidade de se obter informações geológicas em áreas densamente vegetadas, visando a prospecção mineral. Outro potencial a ser explorado, com o melhor entendimento dos IV's aqui analisados, referem-se ao mapeamento da distribuição espacial do estoque de carbono acima do solo, tal como realizado por Scolforo *et al.* (2015) para o estado de Minas Gerais. Identificar a distribuição das espécies lenhosas do Cerrado, também contribuiu para modelagem da circulação do nível d'água subterrâneo e do regime de infiltração e recarga do aquífero (Ros-

sato *et al.*, 2012; Aguiar *et al.*, 2015a; Aguiar *et al.*, 2015b; Oliveira *et al.*, 2017).

Nesse sentido, Encina *et al.* (2018) ao verificarem a estrutura da vegetação dos fragmentos de Cerrado, por meio de composição multitemporal e dos índices NDVI e NDWI (Índice de Umidade por Diferença Normalizada), mostram que o NDWI é recomendado para indicar perda de serapilheira ou de sub-bosque, sendo complementar ao NDVI, por este apresentar limitações para estimar o conteúdo de água na vegetação. Estes autores sugerem a composição falsa-cor multitemporal como uma maneira mais simples e rápida para localizar mudanças de cobertura do solo e o uso do NDVI como alternativa à classificação espectral não supervisionada.

Para superar as limitações dos IV's na discriminação de espécies vegetais, estimativas de biomassa e estado fenológico da vegetação, a utilização de dados polarizados de radar e radares de abertura sintética, complementados ou não com métodos de agrupamento estatístico de imagens têm obtido comprovadamente grande êxito, tal como revelam recentes estudos (Chang *et al.*, 2018; Marghany *et al.*, 2011; Vreugdenhil *et al.*, 2018).

A seguir a Figura 12 mostra como na mesma área de estudo os diferentes sensores utilizados interferem na resposta dos IV's.

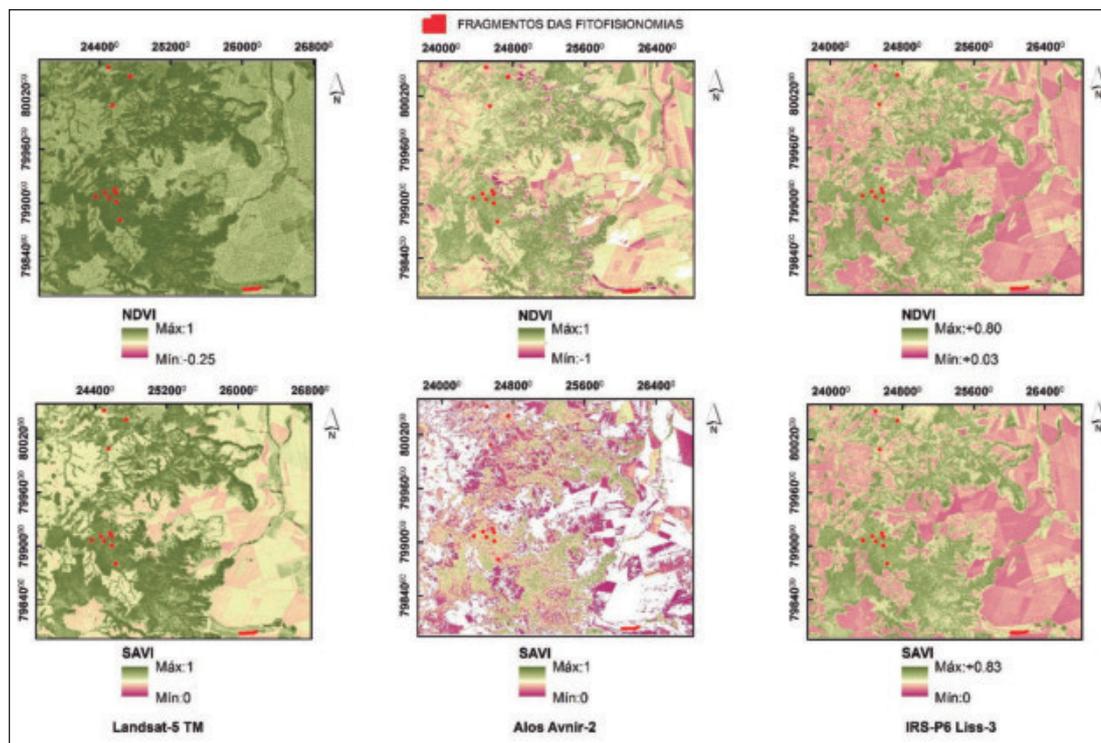


Figura 12  
Resposta dos índices de vegetação obtidos de cada um dos satélites/sensores analisados.

#### 4 Conclusão

Os resultados estatísticos da comparação mostram que o NDVI é mais indicado, porém não suficiente, para análises multitemporais, com o uso do mesmo sensor multiespectral na equiparação entre fitofisionomias do Cerrado. Já para análises multiescalares com o uso de diferentes sensores multiespectrais, índices híbridos de vegetação com fator de ajuste para a condição do substrato garantirão melhores resultados para esta mesma finalidade.

Para atenuar as disparidades entre sensores, sugerimos a combinação ou complementação com outros índices que possam agregar informações sobre o estado fenológico da cobertura vegetativa, além daquelas relacionadas a absorção da radiação pela clorofila ou estrutura das folhas.

Compreende-se que os IV's se restringem na medição da saúde da vegetação e que qualquer outra análise derivada destas informações necessitará de correlação e/ou validação com dados adquiridos em campo ou por imagens de radar de alta resolução espacial capazes de distinguir de forma mais assertiva a textura e a rugosidade das espécies vegetais e estimar sua biomassa.

#### 5 Agradecimentos

À FUNDECT (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul) pelo apoio financeiro aos projetos de pesquisa no 0081/08, no 0241/08 e 060/2015 e pela bolsa de doutorado no 057/10. A bolsa de doutorado de A. P. M. Guirra (Processo 1815261/2019-01) e pela bolsa de mestrado de Jaíza Santos Motta (Processo 71/700.174/2017). Ao PPGE/UFMS (Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação), ao PPGBV/UFMS (Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal), ao PGRN/UFMS (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais), ao PGTA/UFMS (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo auxílio financeiro e bolsas. À SEMAC (Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia, IMASUL (Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul) e GUC (Gerência de Unidades de Conservação) pela concessão da autorização ambiental para pesquisa em unidades

de conservação no 006/2008. À Martha Gilka Gutiérrez Carrijo (SEMAC/IMASUL de Costa Rica), aos senhores Vanderlei e Wilson (Prefeitura Municipal de Costa Rica) por todo apoio nos trabalhos de campo. Às bolsas de produtividade em pesquisa junto ao CNPq dos professores A. C. Paranhos Filho (Processo 305013/2018-1) e Geraldo Alves Damasceno Junior (Processo 312350/2016-3). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil

#### 6 Referências

- Aguiar Júnior, T.R.; Bortolozzo, F.R.A.; Hansel, F.A.; Rasesa, K. & Ferreira, M.T. 2015a. Riparian buffer zones as pesticide filters of no-till crops. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1): 10618-10626.
- Aguiar Júnior, T.R.; Rasesa, K.; Parron, L.M.; Brito, A.G. & Ferreira, M.T. 2015b. Nutrient removal effectiveness by riparian buffer zones in rural temperate watersheds: The impact of no-till crops practices. *Agricultural Water Management*, 149(1): 78-80.
- ALOS - Advanced Land Observing Satellite. 2018. Disponível em: <<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/avnir2.htm>>. Acesso em: 14 de jun. 2018.
- Amaral, C.H.; Almeida, T.I.R.; Souza Filho, C.R.; Roberts, D.A.; Fraser, S.J.; Alves, M.N. & Botelho, M. 2018. Characterization of indicator tree species in neotropical environment and implications for geological mapping. *Remote Sensing of Environment*, 216: 385-400.
- Batista, F.J.; Francez, L.M.B.; Alba, E.; Schuh, M.S.; Favarin, J.A.S.; Silva, J.O.; Hofiço, N.S.; Pereira, R.S. & Sebem, E. 2018. Comportamento espectral de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huver ex Ducke) Barneby) em plantios com diferentes idades. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 41(3): 82-95.
- Bitencourt, M.D.; Mesquita Junior, H.N.; Mantovani, W.; Batalha, M.A. & Pivello, V.R. 1997. Identificação de fitofisionomias de cerrado com imagem índice de vegetação. In: LAÉRCIO LEONEL LEITE & CARLOS HIROO SAITO. (Org.). Laércio Leonel Leite & Carlos Hiroo Saito. (Org.). Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. Brasília: UnB/ECL, p. 316-320.
- Cabacinha, C.D.; Lafetá, B.O. 2017. Floristic diversity and equitability in forest fragments using artificial neural networks. *Ciência Florestal*, 27(1): 143-152.
- Carrijo, M.G.G. 2002. Contribuição à caracterização física do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari – MS. Programa de Pós-graduação em Perícia Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Monografia. 38p.
- Castro, B.L.G. 2014. Identificação de fitofisionomias do bioma Cerrado no Estado de Goiás, por meio de aerofotogrametria e sensoriamento remoto. Pós-Graduação em Geociências. Universidade de Brasília. Tese de Doutorado, 210p.
- Chang, J. G.; Shoshany, M. & Y. Oh. 2018. Polarimetric Radar Vegetation Index for Biomass Estimation in Desert Fringe Ecosystems. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(12): 7102-7108.
- CI. CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL - BRASIL. 2005. Corredores de Biodiversidade. 2005. Disponível em: <<http://www.conservation.org.br/onde/cerrado/index.php?id=155>>. Acesso em: 18 de jul. 2013.
- Covele, P.A. Aplicação de índices das condições de vegetação no monitoramento em tempo quase real da seca em Moçambique

**Comparação entre Índices de Vegetação de Diferentes Sensores na Identificação de Fitofisionomias do Cerrado**  
*Gustavo Massayuki Shiroma; Roberto Macedo Gamarra; Alesson Pires Maciel Guirra; Jaiza Santos Motta;*  
*Helen Rezende de Figueiredo; César Claudio Cáceres Ensina; Geraldo Alves Damasceno Júnior & Antonio Conceição Paranhos Filho*

- usando NOAA\_AVHRR-NDVI. GEOUSP – Espaço e Tempo, 2(29): 85-95.
- Dantas, F.R.C.; Nascimento, F.C.A. & Braga, C.C. 2012. Análise comparativa do SAVI sobre regiões da caatinga brasileira obtidas por dados remotos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 7(3): 46-49.
- Encina, C.C.C.; Marques, M.R.; Diodato, M.A.; Motta, J.S.; Godoi, R.F.; Oliveira, J.R.S.; Gamarra, R.G.; Dalmás, F.B. & Paranhos Filho, A.C. Análise da estrutura vegetal de fragmentos do bioma Cerrado através de sensoriamento remoto. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 41(2): 585-597.
- Gamarra, R.M.; Teixeira-Gamarra, M.C.; Carrijo, M.G.G.; & Paranhos Filho, A.C. 2016. Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de Unidade de Conservação no Cerrado. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, 37: 307-332.
- Giraldelli, G.R. & Paranhos Filho, A.C. 2006. Relação entre as variáveis estruturais do habitat e o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) em três tipos de habitat de cerrado na fazenda Diamante, Coxim, MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 1, Campo Grande, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006, p.341-350.
- GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor AVNIR-2. Bandas 1, 2, 3 e 4. ID ALA-V2A236673960. Órbita/Ponto 405/3960 de 04 de julho de 2010. 2010.
- GraphPad Instat, GraphPad Instat 3.1 Versão para Windows, 2018. Disponível em: <https://www.graphpad.com/demos/instat/>. Acesso em: 15 de jul. 2018.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2018a. Divisão de Geração de Imagens. Disponível em: [http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57\\_PT.php](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php)>. Acesso em: 14 de jun. 2018.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2018b. Divisão de Geração de Imagens. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/ir-p6.html>>. Acesso em: 14 de jun. 2018.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 26 de julho de 2010, 2010a. Acesso em: 15 de jul. 2013. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite IRS-P6 ResourceSat-1 sensor LISS-3. Bandas 2, 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 324/090 de 20 de julho de 2010, 2010b. Acesso em: 15 de jul. 2013. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT-7, sensor ETM. Banda 1. Órbita/Ponto 224/073 de 22 de Novembro de 2004, 2004. Acesso em: 15 de jul. 2013. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.
- Klink, C.A. & Machado, R. 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, 1(2): 147-155.
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. & Chipman, J.W. 2008. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. 763p.
- Marghany, M.; Zabidi, N.; Kadir, W. H. W. & Mazlan Hashim, M. 2011. Polarization synthetic aperture radar (SAR) data for mapping coastal zone vegetation. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(29): 6623-6629.
- Markham, B.L. and Barker, J.L. 1987. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, 8(3): 517-523.
- Mesquita Júnior, H.N. 1998. Análise temporal com sensor orbital de unidades fisionômicas de cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga – SP). Programa de Pós-Graduação em Ecologia dos Ecossistemas Terrestre e Aquáticos, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 118p.
- Microsoft Excel. Microsoft Excel, 2003. Disponível em: <https://products.office.com/pt-br/excel>. Acesso em: 19 de set. 2015.
- Oliveira, P.T.S.; Leite, M.B.; Mattos, T.; Nearing, M.A.; Scott, R.L. Xavier, R.O.; Matos, D.M.S. & Wendland, E. 2017. Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian cerrado. *Ecohydrology*, 10(2): 1-8.
- Oliveira, L.G.L.; Pereira, L.M.; Pereira, G.; Moraes, E.C. & Maeda, E.E. 2007. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis, Anais, 2007, p.5995-6002.
- PCI. Geomatics. 2012. PCI Geomatics Enterprise Inc. Version 12.0 for Windows. Richmond Hill. Ontário, Canadá. 2012.
- Ponzoni, F.J. & Shimabukuro, Y.E. 2007. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. INPE. Editora Parêntese. São José dos Campos – SP. 144p.
- Ponzoni, F.J.; Santos, S.B. & Cantinho, R.Z. 2013. Comparação entre índices de vegetação gerados a partir de dados dos sensores MODIS e Vegetation-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, Foz do Iguaçu, INPE. p.3023–3030.
- QGIS Development Team. QGIS 3.2 Bonn in OSGeo4W, 2018. Disponível em: [https://www.QGIS.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](https://www.QGIS.org/pt_BR/site/forusers/download.html). Acesso em: 2 ago. 2018.
- Ren, H.; Zhou, G. & Zhang, F. 2018. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for aboveground living biomass estimation in arid grasslands. *Remote Sensing of Environment*, 209: 439-445.
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. 2008. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. & RIBEIRO, J.F. Cerrado: ecologia e flora. Embrapa Cerrados, Brasília-DF. 1279p.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A. & Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Third ERTS (Earth Resources Technology Satellite) In: SYMPOSIUM, Greenbelt, NASA, 1974, p.309-317.
- Rossato, R.D.; Silva, L.C.R.; Villalobos-Vega, R.; Sternberg, L.S.L. & Franco, A.C. 2012. Depth of water uptake in woody plants related to groundwater level and vegetation structure along a topographic gradient in a neotropical savanna. *Environmental and Experimental Botany*, 77: 259-266.
- Scolforo, H.F.; Scolforo, S.J.R.; Mello, C.R.; Mello, J.M. & Ferraz Filho, A.C. 2015. Spatial Distribution of Aboveground Carbon Stock of the Arboreal Vegetation in Brazilian biomes of Savanna, Atlantic Forest and Semi-Arid Woodland. *PLoS ONE*, 10(6): 1-20.
- Vermote, E.F., Tanre, D., Deuze, J.L., Herman, M., and Morcrette, J.J., 1997, Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 35(3): 675-686.
- Vreugdenhil, M.; Wagner, W.; Bauer-Marschallinger, B.; Pfeil, I.; Teubner, I.; Rüdiger, C. & Strauss, P. 2018. Sensitivity of Sentinel-1 Backscatter to Vegetation Dynamics: An Austrian Case Study. *Remote Sensing*, 10(1396): 1-19.
- Xue, J. & Su, Baofeng. 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 17(1): 1-18.