

## **DETECÇÃO DE ALTERAÇÕES EM ALVOS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS EMPREGANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM UMA SÉRIE MULTITEMPORAL DE IMAGENS LANDSAT**

*Detection of Changes in Agricultural and Forestry Targets using Vegetation Indexes in a Series Image Multitemporal Landsat*

**Jair Jacomo Bertucini Junior<sup>1</sup> & Jorge Antonio Silva Centeno<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná – UFPR**  
Setor de Ciências da Terra / Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas  
Centro Politécnico – Curitiba, PR – Brasil  
jjbertucini@gmail.com

**<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná – UFPR**  
Setor de Ciências da Terra / Departamento de Geomática  
Caixa Postal 19001 - Centro Politécnico - Jardim das Américas - CEP: 81531-990  
Curitiba, PR - Brasil, Telefone: (41) 3361-3486 - Ramal: 3486  
jorg.centeno@gmail.com; centeno@ufpr.br

*Recebido em 31 de Outubro, 2016/ Aceito em 26 de Agosto, 2017*  
*Received on October 31, 2016/ Accepted on August 26, 2017*

### **RESUMO**

A cobertura do solo especificamente o uso agrícola é objeto do monitoramento por imagens de satélite. O conhecimento da cobertura do solo e suas mudanças permite monitorar e gerir o uso da terra. A série de imagens Landsat é uma das mais importantes fontes de dados para esse fim pois são de fácil aquisição e possui uma resolução temporal adequada. As mudanças do comportamento espectral de alvos agrícolas e florestais, especificamente referentes à fenologia em uma escala temporal definida são possíveis de serem mensuradas através do uso da limiarização de imagens, pelo Método de Otsu, para os índices de vegetação, NDVI e SAVI. O conhecimento do calendário agrícola e do clima local é primordial para a identificação do desenvolvimento de cada espécie estudada visando conhecer e identificar as mudanças ocorridas. Para isso o uso de imagens de satélite em diferentes datas permite monitorar o ciclo vegetativo de cada cultura e as mudanças em um determinado período. Dessa maneira é possível usando dados dos satélites Landsat 7 e 8, implementar um modelo de detecção contínua que permita fazer o monitoramento do uso da terra em lavouras e áreas florestais, naturais ou cultivadas.

**Palavras-chave:** Detecção de Alterações, Alvos Agrícolas, Imagens Landsat, Limiarização, Índices de Vegetação.

### **ABSTRACT**

The ground cover specifically the agricultural use is the subject of monitoring by satellite images. Knowledge of land use and its changes allows you to monitor and manage the land use. The series of Landsat images are one of the most important sources of data for this purpose because they are easy to purchase and have an adequate temporal resolution. The changes of the spectral behavior of agricultural and forestry targets, specifically relating to the phenology in a defined time scale are possible to be measured using satellite images thresholding by the Otsu Method, for the vegetation

indexes, NDVI and SAVI. Thus the knowledge of the agricultural calendar and local weather is crucial to identify the development of each species studied aiming to know and identify the changes occurred in a certain period. For this, the use of satellite imagery on different dates to monitor the vegetative cycle of each culture and the changes in land use. In this way, it is possible using satellite data Landsat 7 and 8, to implement a continuous detection model that will permit the monitoring of land use on crops and forests, natural or cultured.

**Keywords:** Change Detection, Agricultural Targets, Landsat Images, Thresholding, Vegetation Indexes.

## 1. INTRODUÇÃO

As imagens de satélite Landsat são uma das mais importantes fontes de dados para o estudo da evolução de diferentes tipos de cobertura do uso do solo, como o desmatamento, a expansão e uso agrícola além do crescimento de áreas urbanas. Isso se deve à vasta quantidade de imagens disponíveis no seu acervo histórico, pois coloca à disposição imagens com um intervalo de tempo que permite a análise das variações do uso do solo ao longo de anos e décadas, podendo ser estudadas as variações da energia refletida por cada superfície neste intervalo temporal. De acordo com Sanches *et al.*, (2005), a agricultura pode ser monitorada de forma periódica e repetitiva, através de imagens multitemporais, que permitem verificar a dinâmica do ciclo das diferentes espécies cultivadas. Para isso é preciso o conhecimento de diversos parâmetros do sensoriamento remoto agrícola que relacionam as propriedades físicas e morfológicas de um dossel agrícola, além da sua dinâmica que possibilitam conhecer as assinaturas espectrais dos alvos. Uma das maneiras possíveis de se fazer o acompanhamento das variações em uma área agrícola, é por meio da combinação de imagens binárias e posterior determinação de índices de vegetação que permitem inferir onde houve alterações. Dessa forma o conhecimento do calendário agrícola e do clima local é primordial para a identificação do desenvolvimento de cada espécie estudada visando conhecer e identificar as mudanças ocorridas. Para isso o uso de imagens de satélite em diferentes datas permite monitorar o ciclo vegetativo de cada cultura e as mudanças no uso do solo.

Em se tratando de áreas agrícolas, Singh, (1989) enfatiza que as detecções de alterações são úteis em diversas aplicações, entre elas, o monitoramento da agricultura, a avaliação do desmatamento, o estudo de mudanças na fenologia da vegetação, mudanças sazonais na produção de pastagens, avaliação de danos por

pragas, detecção do stress das culturas e outras mudanças ambientais.

Tradicionalmente, os estudos multitemporais utilizavam uma quantidade reduzida de datas, devido ao alto custo das imagens. Uma revisão de métodos pode ser encontrada em Al-Doski *et al.*, (2013). Porém, nos últimos anos, com o aumento de sistemas sensores e principalmente pela liberação do acervo histórico Landsat, novos algoritmos de detecção de alterações usando múltiplas imagens estão sendo propostos, como é visto em Zhu e Woodcock, (2014), Haywood *et al.*, (2016), Cai & Liu, (2015) ou Kennedy *et al.*, (2010). Desta maneira é possível desenvolver programas de estudo contínuos da cobertura do solo em áreas rurais e fazer o monitoramento do uso de solo em lavouras e áreas florestais, naturais ou cultivadas.

Exemplos de métodos para comparações entre duas datas com uma imagem “antes” e outra “após” a mudança na literatura são vários, como por exemplo: Macleod e Congalton, (1998), baseado em pixel, ou Cheng *et al.*, (2012), baseado em objeto. Estes métodos foram estendidos a múltiplas datas, para avaliar as alterações ao longo do tempo, porém contando com um número restrito de imagens, como é mostrado em Jin e Sader, (2005).

Porém, os métodos de análise de alterações já não podem ser tão facilmente estendidos quando se lida com séries de imagens. Como Hansen & Loveland, (2012) apontam, a disponibilidade de produtos de sensoriamento remoto tende a crescer. Assim, métodos que analisem simultaneamente os valores de pixels de várias imagens foram propostos na literatura, como o método proposto por Haywood *et al.*, (2016); Cai e Liu, (2015) ou Kennedy *et al.*, (2010).

Segundo Kennedy *et al.*, (2010), as abordagens de detecção de mudança multitemporal usando séries de imagens podem se caracterizam por procurar desvios ou tendências na série temporal. Os estudos que analisam o desvio usam vários estados do pixel para

deduzir uma condição normal que permita inferir comportamentos anômalos, que se afastam desta situação, para assim caracterizar as alterações (CAI & LIU, 2015; VERBESSELT *et al.*, 2010). Já os que se baseiam na busca de tendências na série histórica, em contraste, procuram modelar a variação temporal ajustando modelos que representem a tendência da série e assim permitam detectar observações que se afastem significativamente desta função, como é mostrado em Kennedy *et al.* (2010).

A questão por trás da análise multitemporal é não somente detectar as variações temporais, mas também tentar explicá-las, dando um sentido à alteração, seja este natural ou por influência antrópica.

Neste artigo um método de monitoramento da dinâmica temporal da cobertura vegetal em áreas agrícolas é apresentado. O método se baseia na análise das variações do índice de vegetação ao longo do tempo. Para resumir e analisar uma vasta informação, um método de codificação binária é proposto.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O método descrito neste artigo se baseia na análise da evolução de índices de vegetação, por este motivo são apresentados a seguir alguns conceitos básicos a respeito do uso de índices espectrais.

### 2.1 Índices de vegetação

Conforme Novo, (2010), a resposta espectral da vegetação sofre alterações ao longo do ciclo vegetativo e fenológico. Porém, algumas características da vegetação sadia são comuns à maior parte das espécies. Uma delas é a alta absorção de radiação eletromagnética na região do visível, principalmente devido à presença de pigmentos. Este efeito é mais evidente na banda do vermelho. Outra característica é a alta reflectância na região do infravermelho próximo, região na que a folha absorve muito pouca radiação. Estas observações motivaram a proposta de índices de vegetação que servem para duas finalidades: separar a vegetação de outros alvos e analisar o estado da vegetação.

A vegetação sadia é caracterizada por um alto contraste em termos de energia refletida entre o infravermelho próximo e o visível. Na medida em que a vegetação perde vigor, este contraste

diminui. A alta diferença entre estas duas bandas também serve para caracterizar pixels cobertos por vegetação, pois para outros alvos, como água ou solos, a diferença é geralmente menor.

Os índices de vegetação permitem a combinação das imagens do visível e do infravermelho próximo e assim deduzir informações a respeito do estado das culturas, porém não permitem determinar a natureza das variações ocorridas ao longo do ciclo agrícola como é o caso da rotação de culturas, pois são calculados para uma única data. Entre os índices mais aceitos na literatura se encontram o NDVI e SAVI, descritos a seguir.

#### 2.1.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

É considerado o índice de vegetação mais conhecido e utilizado. Rouse *et al.*, (1973) descrevem o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) como sendo a razão entre a diferença da medida da reflectância nas bandas do infravermelho próximo e vermelho e a soma desses canais, dada pela equação 1.

$$NDVI = \frac{(\sigma_{IVP} - \sigma_V)}{(\sigma_{IVP} + \sigma_V)} \quad (1)$$

onde:

$\sigma_{IVP}$  - reflectância na banda do infravermelho próximo;

$\sigma_V$  - reflectância na banda do vermelho.

Os mesmos autores propõem a normalização dessa razão simples para o intervalo de -1 a +1, adotando o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI). Para alvos terrestres o limite inferior torna-se aproximadamente zero (0) e o limite superior aproximadamente 0,80.

Ponzoni e Shimabukuro, (2009), descrevem que o NDVI, quando aplicado a diferentes datas, permite medir a sazonalidade de uma espécie vegetal através da análise da fenologia, estágio de crescimento, pico vegetativo, alterações fisiológicas nas folhas e senescência. Entre as vantagens do uso do índice NDVI estão sua facilidade de cálculo e sua grande aceitação, o que o qualifica como um padrão para estudos da vegetação, ou seja, para imagens de baixa ou média resolução espacial (CIHLAR, 2000).

### 2.1.2 Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI)

De acordo com Huete (1988), para minimizar as influências do solo na caracterização do dossel das plantas, se faz necessário introduzir uma constante “L” que tem a função de minimizar o efeito do solo, sendo estimada a partir de medições experimentais da refletância calculada para as bandas do infravermelho próximo e do vermelho na cultura do algodão e da pastagem. A equação 2 expressa o cálculo do SAVI.

$$SAVI = \left[ \frac{(1 + L) \cdot (\sigma_{IVP} - \sigma_V)}{(\sigma_{IVP} + \sigma_V + L)} \right] \quad (2)$$

onde:

$\sigma_{IVP}$  - Reflectância na banda do infravermelho próximo;

$\sigma_V$  - Reflectância na banda do vermelho;

L - Constante que minimiza o efeito do solo, que pode variar de 0 a 1. (Quadro 1).

Quadro 1: Valores Ótimos da Constante “L” em Função da Densidade de Vegetação

Densidade de vegetação na superfície	Valor da constante “L”
Baixa	1
Média	0,5
Alta	0,25

Fonte: Huete (1988).

### 2.2 Limiarização de imagens

Como valores altos dos índices de vegetação estão associados à vegetação sadia, enquanto valores baixos a solos e água, é possível separar a vegetação de outros alvos fixando um valor mínimo do índice para a vegetação.

A seleção de um limiar também pode ser automatizada utilizando técnicas de limiarização de processamento de imagens. A limiarização consiste em analisar o histograma de uma imagem e selecionar, através do mesmo, o ponto ótimo para a separação em duas classes (claros e escuros), o que resulta em uma imagem binária de saída, conforme a equação 4.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{se } f(x, y) < T \end{cases} \quad (4)$$

sendo:  $f(x,y)$  a imagem de entrada,  $g(x,y)$  a imagem de saída e T o limiar.

Um dos métodos mais aceitos para a limiarização é descrito em Otsu, (1979), que consiste em um método automático não paramétrico e não supervisionado de seleção de um limiar ótimo que permite separar uma imagem em duas classes, tendo como principais vantagens sua simplicidade e podendo ser empregado em histogramas unimodais, bimodais ou multimodais, abrangendo um vasto leque de aplicações sem supervisão no processo de decisão.

### 3. MÉTODOS

O método utilizado na análise multitemporal é uma adaptação dos métodos de codificação binária usados para reduzir os dados de imagens hiperespectrais, conforme descrito em Jia & Richards, (1993).

A primeira etapa consiste em reduzir a dimensão radiométrica da imagem para uma quantidade pequena de bits, no caso dois. Para isto foram aplicados calculados os índices de vegetação, conforme as equações 1 e 2.

O seguinte passo é a segmentação da imagem do índice de cada data. Para isto, procura-se um limiar que separe a vegetação (áreas claras) de outros alvos (áreas escuras). O limiar será estabelecido com o algoritmo de limiarização de Otsu, (1979).

O resultado, aplicando-se um limiar, é uma imagem com dois valores zero ou um: sem vegetação ou com vegetação. Assim, a imagem de 8 ou 16 bits pode ser reduzida a 1 bit.

Na sequência as imagens binárias de cada mês serão combinadas para produzir uma imagem representativa do ano através da codificação binária. A codificação binária é uma prática usada para resumir imagens hiperespectrais, conforme descrito em Richards & Jia, (2006). A codificação binária de uma série é calculada conforme a Equação 5.

$$VD = \sum_{i=0}^N b * 2^i \quad (5)$$

onde:

$i$  = número da imagem (0,1,2... N);

$b$  = valor do pixel na imagem binária (0,1);

VD = valor digital da imagem multitemporal.

Tomando como exemplo uma série original de oito imagens, a imagem resultante resultaria em uma nova imagem com oito bits por pixel, que representaria a variação da presença de vegetação no pixel ao longo das imagens.

A soma para cada combinação possível é diferente, não havendo repetição dos valores na sequência temporal ao longo do ano para cada índice o que permite analisar as alterações no espaço temporal estudado.

O processo de codificação binária pode ser repetido para vários anos, de forma separada, gerando uma nova imagem que resume a dinâmica da cobertura ao longo do ano. Por exemplo, usando oito imagens por ano, em um período de três anos se obterá um conjunto de três imagens de oito bits, que podem ser combinadas para formar um arranjo RGB.

#### 4. MATERIAIS

A área de estudo compreende a Fazenda Marabá, no município de Campo Verde – MT (Figura 1). As coordenadas da sede da fazenda são: 15°16'12" S e 55°07'34" W com altitude média em torno de 750m. A temperatura média anual é de 22°C estando vinculado ao clima tropical quente e sub-úmido, com quatro meses de seca, de maio a agosto e precipitação média anual em torno de 1.750 mm, com intensidade máxima em dezembro, janeiro e fevereiro. Os solos na área são bem variáveis, predominando o Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo, além do Neossolo Quartzarênico. As culturas principais da fazenda são o algodão (*Gossypium spp.*) e a soja (*Glycine max*).

Foram empregadas 8 imagens do ano de 2015 (maio a dezembro), sendo seis do satélite Landsat 8 e duas do Landsat 7 (maio e julho) previamente processadas, correspondentes à órbita 226 e ponto 70 para as imagens Landsat 8 e pontos 70 e 71 para as imagens Landsat 7. As imagens foram adquiridas gratuitamente no catálogo de imagens do USGS (*United States Geological Survey*) sendo usado como sistema de referência o datum WGS-84, fuso 21 S.

Para a análise, os meses de janeiro a abril foram suprimidos devido à alta cobertura de nuvens nessa época do ano para a região. Um exemplo das

imagens utilizadas, correspondente a 08/09/2015 pode ser visto na Figura 2, onde o perímetro da Fazenda Marabá aparece em amarelo.

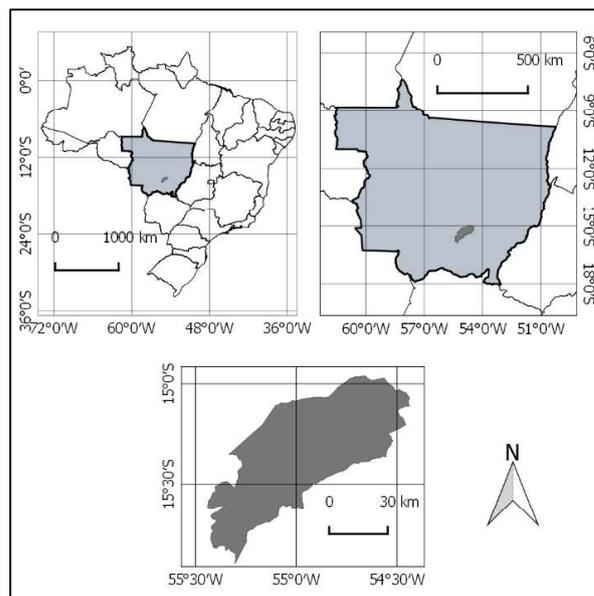


Fig. 1 – Localização do município de Campo Verde-MT. Fonte: IBGE (2010), datum SIRGAS 2000.

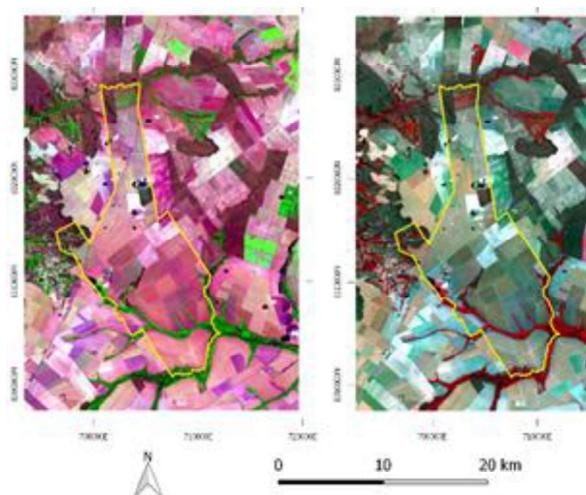


Fig. 2 – Imagens da área em estudo no mês de setembro de 2015 (150908). A imagem “A” é vista na composição 5,4,3 e a imagem “B” na composição falsa-cor 4,3,2 visando evidenciar onde temos vegetação permanente (mata ciliar) para servir de amostra testemunha na comparação dos índices de vegetação.

Para analisar em detalhe os resultados, optou por escolher talhões agrícolas com solos de textura diferenciada, variando desde o muito argiloso até arenoso. Nos alvos pode-se verificar a variação espectral ao longo do tempo, além da distinção entre as classes: vegetação e não vegetação.

## 5. EXPERIMENTOS

Na fase de pré-processamento, as imagens foram georreferenciadas, usando pontos de apoio visíveis nas imagens. A correção radiométrica também foi aplicada a cada imagem.

O recorte final de cada imagem feito no compreende os valores em coordenadas UTM: 694.455 E; 8.334.445 S e 716.745 E; 8.297.575 S, para o canto superior esquerdo e para o canto inferior direito, respectivamente, no fuso 21. Os recortes ficaram com a dimensão de 745 colunas por 1.230 linhas em pixel.

A seguir foram calculados os valores dos índices de vegetação NDVI e SAVI em cada imagem.

Para o índice NDVI foi feita a multiplicação do resultado obtido por 128, além da soma de 128 para expressar o número digital (ND) na escala de 8 bits, pois, de acordo com Rouse *et al.*, (1973), os valores de NDVI variam de -1 a 1, que corresponde respectivamente ao comportamento da água até a vegetação exuberante.

Na determinação do índice SAVI, os valores de “L”, foram diferentes para as datas (Tabela 1) e empregados conforme o uso do solo ser mais intenso ou não. Dessa maneira o valor igual a 1 (meses de agosto a outubro) significa que o solo está exposto e o valor é equivalente ao NDVI.

Tabela 1: Valores da Constante “L” Usada no Cálculo do SAVI para Cada Mês

Mês	Valor de “L”
Maio	0,5
Junho	0,5
Julho	0,5
Agosto	1
Setembro	1
Outubro	1
Novembro	0,25
Dezembro	0,25

Partindo dos valores dos índices de vegetação foram calculados os valores dos limiares para cada data e cada índice, usando o método de Otsu, (1979). Finalmente, as imagens anuais foram calculadas combinando estas imagens binárias segundo a equação 5.

## 6. RESULTADOS

Na primeira parte da análise foram calculados os valores dos limiares para a

binarização dos índices de vegetação. Na Tabela 2 pode-se ver os valores de limiar para os índices NDVI e SAVI. Foi constatado que para a imagem NDVI do dia 20/06/2015 o Método de Otsu não forneceu o limiar ideal. Por este motivo o limiar foi corrigido manualmente (em parênteses).

Tabela 2: Valores do Limiar Automático Calculado pelo Método Otsu para cada Índice de Vegetação em cada Data Correspondente e o Tipo de Satélite (Sensor).

Data	Limiares		Satélite
	NDVI	SAVI	
150527	199	219	L7
150620	206 (199)	184	L8
150730	180	204	L7
150807	194	171	L8
150908	192	172	L8
151026	186	163	L8
151111	198	170	L8
151213	212	193	L8

Na sequência foi calculada a imagem multitemporal anual para cada índice de vegetação, conforme a equação 5. Exemplos das composições multitemporais podem ser vistos na Figura 3. A nova imagem armazena para cada pixel um valor entre 0 e 255 em função da presença ou não (valores 1 ou 0) de vegetação no mês.

A análise da imagem anual deve ser feita considerando as combinações de valores binários que geraram o número de 8 bits. A Tabela 3 serve como ajuda para interpretar a Figura 3. Na Tabela 3, os meses de maio a dezembro são representados com os valores do índice  $i = 0,1,2,\dots,7$ , da equação 5. O peso de cada mês é equivalente a  $2^i$ .

No caso da mata ciliar o valor calculado deve ser 255 (áreas claras), pois este tipo de vegetação está sempre presente ao longo de todos os meses. Na água o valor é zero (áreas escuras), pois a nunca apresenta valores altos dos índices. Nas áreas cultivadas a combinação dos valores é determinada pelo ciclo da cultura.

Dessa forma é possível acompanhar a evolução da presença ou não de vegetação.

Como exemplo se todos os meses houver vegetação na imagem binária (valor 1), conseqüentemente a soma é de 255 o valor máximo possível para as 8 imagens combinadas. Caso existam valores para vegetação apenas

nos quatro primeiros meses (maio a agosto, por exemplo) esse valor de soma passa a ser 15. Se uma área não possui vegetação em nenhum mês,

o valor do contador é zero. A Tabela 4 mostra os valores associados a diferentes culturas em função de sua variação temporal.

Tabela 3: Combinação da ocorrência de vegetação na série anual, onde o valor “1” corresponde à presença de vegetação na imagem binária.

Mês	Valor “i”	Peso	Combinação da presença de vegetação							
			1	1	1	1	1	1	1	1
Maio	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Junho	1	2		1	1	1	1	1	1	1
Julho	2	4			1	1	1	1	1	1
Agosto	3	8				1	1	1	1	1
Setembro	4	16					1	1	1	1
Outubro	5	32						1	1	1
Novembro	6	64							1	1
Dezembro	7	128								1
Soma do ND			1	3	7	15	31	63	127	255

Fonte: o autor (2017).

Tabela 4: Valores do número digital mínimo e máximo para diferentes culturas.

Classe	ND mínimo	ND máximo
Vegetação permanente	240	255
Soja tardia sem rotação	128	224
Rotação de algodão safrinha e soja precoce	193	199
Rotação de algodão safrinha e soja tardia	129	135
Algodão safra ciclo longo sem rotação	31	63
Algodão safra ciclo curto sem rotação	1	15
Soja precoce sem rotação	96	112

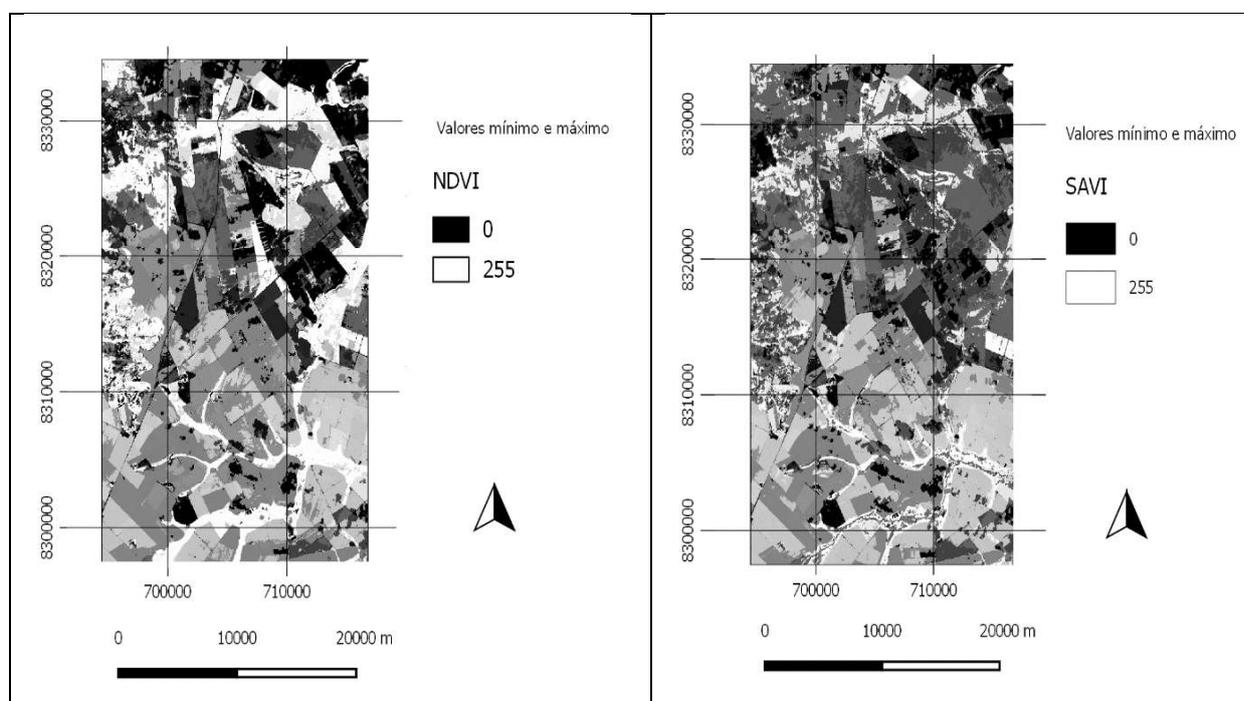


Fig. 3 - Imagens multitemporais em escala de cinza dos índices de vegetação NDVI e SAVI obtidas pelo resultado da aplicação do algoritmo de binarização e soma para cada mês onde o valor de ND igual a 0 (zero) corresponde à solo exposto e o valor de ND = 255 (branco) corresponde à vegetação permanente e mata ciliar.

Para melhor ilustrar a distribuição da vegetação ao longo dos meses estudados, na Figura 4, é possível ver a distribuição de cinco classes de uso da terra ao longo do ano. Os valores do número digital para cada classe é o mesmo apresentado na Tabela 4, sendo que na escala de cores, quanto mais avermelhado, menor o valor do contador digital mostrando áreas de solo exposto (ND igual a zero) ou com culturas concentradas nos primeiros meses do ano (ND com valor até 63). A classe intermediária (soja precoce sem rotação) apresenta valores do número digital entre 96 e 112. Para as áreas com as culturas concentradas no final do ano os valores do número digital está entre 128 e 240, aparecendo em verde

claro nas imagens. A classe com maior valor no contador (acima de 240 até 255) representa as áreas com vegetação o ano todo que corresponde à mata ciliar e vegetação permanente.

O índice SAVI mostra maior equilíbrio ao representar a mata ciliar na parte norte da imagem onde a mesma é menos densa e é mais influenciada pelo clima da região. O mesmo ocorre na parte oeste da imagem onde é visível uma depressão no relevo que se caracteriza por uma encosta onde há predomínio de gramíneas. Nesses dois casos o índice NDVI superestimou a presença de vegetação. Para as áreas onde há cultivo ao longo do ano, os dois índices se equivalem.

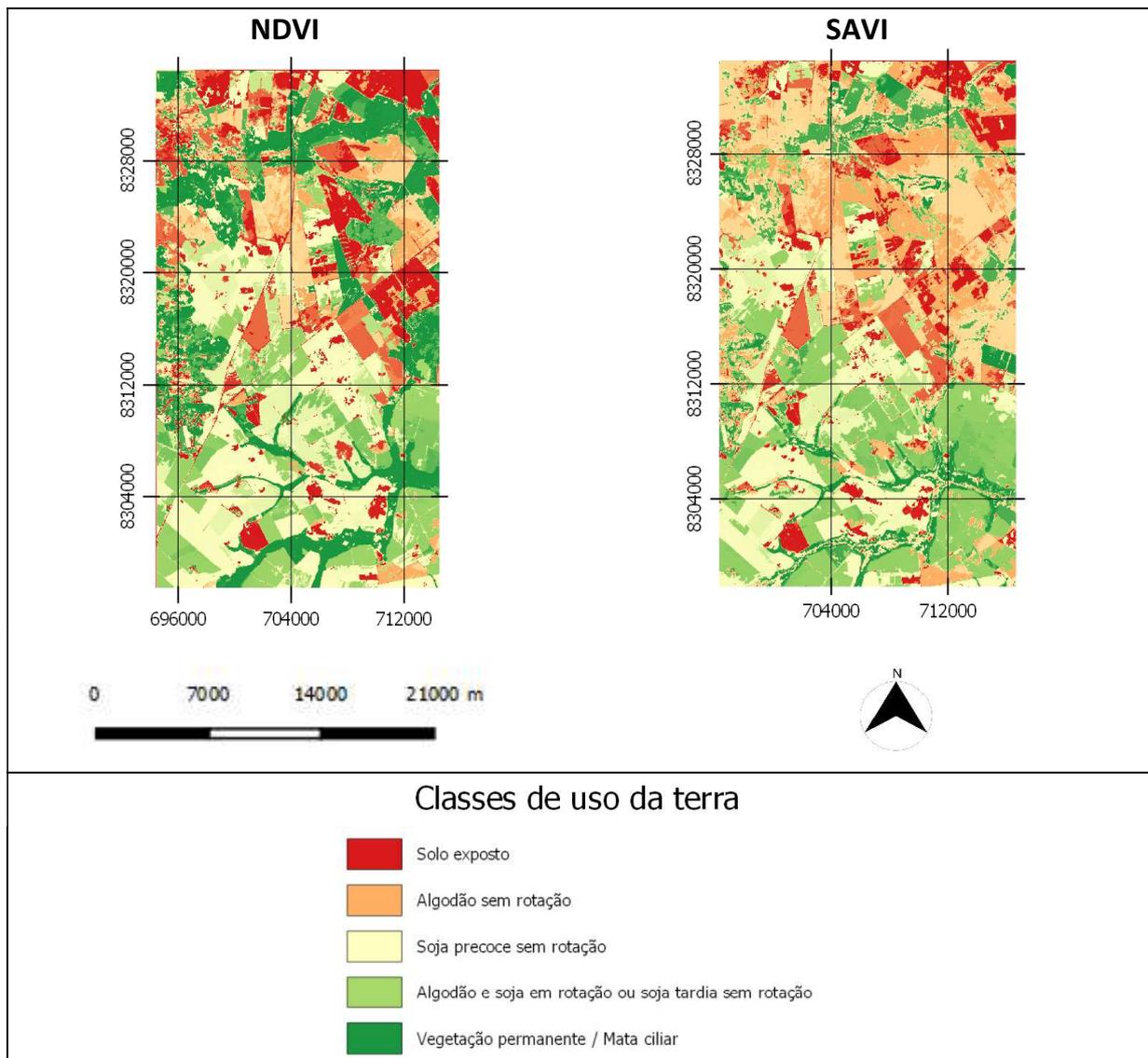


Fig. 4 - Imagens multitemporais dos índices de vegetação NDVI e SAVI representadas em uma combinação falsa-cor geradas no software QGIS partindo da imagem cinza onde se pode visualizar cinco classes de uso da terra.

## 7. CONCLUSÕES

Neste artigo se mostrou como é possível representar a evolução temporal de culturas em áreas agrícolas com uso da codificação binária e índices de vegetação. Os resultados mostram que é possível resumir a variação temporal e distinguir diferentes práticas de cultivo com este método.

O índice NDVI se apresenta melhor para identificar a vegetação mais densa que sofre pouca influência do período seco que a área de estudo está sujeita (junho a agosto), mas confunde áreas onde a vegetação é rasteira, caso de gramíneas nativas ou de mata ciliar de menor porte. Nessas áreas o índice SAVI se mostra mais eficiente pois permite ajustar a influência do solo exposto, que no período seco é o principal fator que contribui para a sazonalidade da vegetação.

No caso de áreas cultivadas, seja soja ou algodão, os dois índices são eficazes na mensuração da detecção de alterações, pois a vegetação está em pleno vigor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-DOSKI, J.; MANSOR S.B.; SHAFRI, H.Z.M. Change Detection Process and Techniques. **Civil and Environmental Research**. ISSN 2224-5790 (Paper) ISSN 2225-0514 (Online). v.3, n.10, p. 37-45, 2013.

CAI, S.; LIU, D. (2015). Detecting Change Dates from Dense Satellite Time Series Using a Sub-Annual Change Detection Algorithm. **Remote Sensing**, p. 8707-8727, 2015.

CIHLAR, J. Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 6 e 7, p. 1093–1114. 2000.

CHENG, G.; HAY, G. J.; CARVALHO, L. M. T.; WULDER, M. A. Object-based change detection. **International Journal of Remote Sensing**, 33:14, p. 4434-4457, 2012.

HANSEN, M. C.; LOVELAND, T. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 122, p. 66–74, 2012.

HAYWOOD, A.; VERBESSELT, J.; BAKER, P. J. Mapping disturbance dynamics in wet sclerophyll forests using time series LANDSAT. **The International Archives of the**

**Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XLI-B8, 2016.

HUETE, A. R. A Soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25, p.295-309, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Bases Cartográficas. Brasília, DF, 2010. Disponível em: < [https://mapas.ibge.gov.br/bases-e Acreferenciais/basescartograficas/mapas-municipais](https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-Acreferenciais/basescartograficas/mapas-municipais)> Acesso em 10 de outubro 2017.

JIN, S.; SADER, S. A. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, p. 462-470, 2005.

KENNEDY, R.E.; YANG, Z.; COHEN, W.B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr — Temporal segmentation algorithms. **Remote Sensing of Environment**, 114, p. 2897-2910, 2010.

MACLEOD, R.D.; CONGALTON, R. A Quantitative Comparison of Change-Detection Algorithms for Monitoring Eelgrass from Remotely Sensed Data 172. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, n. 64, p. 207-216, 1998.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto – princípios e aplicações**. 4a Ed. Editora Edgard Blucher, São Paulo-SP, 2010. 388p.

OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histogram. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, p.62-66, 1979.

PONZONI F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 136p.

QGIS Development Team, (2013). QGIS (Versão Las Palmas). Geographic Information System API Documentation. Open Source Geospatial Foundation Project Electronic document: <http://doc.qgis.org/> (2.18).

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction** 4ª Ed. Springer-Verlag, Berlin, 2006. 464p.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.;

- DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.** Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.
- SANCHES, I. D.; EIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; Culturas Agrícolas em Imagens Multitemporais do Satélite Landsat. **Agricultura São Paulo**, São Paulo, v. 1, p. 83-96, 2005.
- SINGH, A. Review Article Digital change detection techniques using remotelysensed data. **International Journal of Remote Sensing**, 10(6), p. 989–1003, 1989
- SULSOFT, **Guia do ENVI em Português.** Disponível em: <http://www.envi.com.br/>, acesso em: 26/10/2015.
- VERBESSELT, J.; HYNDMAN, R., NEWNHAM, G.; CULVENOR, D. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. **Remote Sensing of Environment**, n. 114, p. 106-115, 2010.
- ZHU, Z.; WOODCOCK, C. E. Continuous change detection and classification of land cover using all available LANDSAT data. **Remote Sensing of Environment**, n. 144, p. 152–171, 2014.