

## **Radiometric characterization and variability space-temporal of cotton plant in agroecosystem of Mato Grosso**

Jefferson F. Soares<sup>\*</sup>, Marcelo de C. Alves<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Doutorando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: jefferson\_fsoares@live.com (autor correspondente)

<sup>\*\*</sup>Doutor em Agronomia – Professor Adjunto da Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: marcelo.alves@deg.ufla.br.

Received 6 July 2019; accepted 17 December 2019

### **Abstract**

The cotton crop has important phenological variations that influence the spectral behavior and can help in the dynamic management process. The objective of this work was to evaluate the applications of the multispectral bands of the Landsat-5TM sensor, and the specttemporal characterization of the phenology of the cotton crop on the cultivar 966 Bayer Fiber Max®. Vegetation index (IV) were calculated to aid in the discrimination of cotton phenology. The temporal monitoring revealed that the best IV for temporal characterization was EVI (0,939-May / 09-0,704 August / 09), which presented results consistent with the phenological phases of the culture. The Tasseled Cap (Wetness, Greenness and Brightness) transformations were associated to physical parameters of the study area and correlated statistically with the data of the proposed IV, NDWI, NDVI and SAVI indexes with higher values of Wetness components ( $r = 0.869$ ,  $p < 0.05$ ), Greenness ( $r = 0.878$ ,  $p < 0.05$ ), Brightness ( $r = 0.761$ ,  $p < 0.05$ ), respectively. By thermal band (B6), the surface temperature was estimated, validated by data from virtual laboratories and by INMET meteorological station. Thus, it was possible to identify and correlate the changes in the spectral reflectance of the cotton in space and time, making possible to interpret the vegetative stages of the culture remotely.

Keywords: remote sensing, vegetation index, Tasseled Cap.

## **Caracterização radiométrica e variabilidade espaço temporal do algodoeiro em agroecossistema de Mato Grosso**

### **Resumo**

A cultura do algodoeiro possui variações fenológicas importantes que influenciam no comportamento espectral e que podem auxiliar no dinâmico processo de manejo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as aplicações das bandas multiespectrais do sensor Landsat-5TM, e a caracterização espectrotemporal da fenologia da cultura do algodoeiro sobre o cultivar 966 Bayer Fiber Max®. Foram calculados os índices de vegetação (IV) para auxiliar na discriminação da fenologia do algodoeiro. O monitoramento temporal revelou que o melhor IV para caracterização temporal foi EVI (0,939-maio/09-0,704 agosto/09) que apresentou resultados condizentes com as fases fenológicas da cultura. As transformações Tasseled Cap (Wetness, Greenness e Brightness) foram associados a parâmetros físicos da área de estudo e correlacionadas estatisticamente com os dados dos IV propostos, os índices NDWI, NDVI e SAVI com maiores valores de correlações com os componentes Wetness ( $r=0,869;p<0,05$ ), Greenness ( $r=0,878;p<0,05$ ), Brightness ( $r=0,761;p<0,05$ ), respectivamente. Pela banda termal (B6) foi estimado a temperatura de superfície, validada por dados de laboratórios virtuais e pela estação meteorológica do INMET. Assim, foi possível identificar e relacionar as alterações na reflectância espectral do algodoeiro no espaço e no tempo, possibilitando interpretar os estágios vegetativos da cultura remotamente.

Palavras-chaves: sensoriamento remoto, índice de vegetação, Tasseled Cap.

### **1. Introdução**

O algodão está entre as mais importantes culturas de fibras do mundo, sendo produzido por mais de 60 países, nos cinco continentes (ABRAPA, 2018). O sensoriamento remoto pode-se realizar uma análise da vegetação de forma processual, possibilitando identificar eventos específicos no tempo e no espaço.

Existem diversas técnicas para monitorizar a vegetação e detectar alterações. Contudo, na prática, a seleção do método mais adequado não é fácil, sendo o objetivo da análise e a área de estudo fatores decisivos na sua escolha.

Ao analisar algumas culturas dentre elas o algodão, utilizando imagens do Landsat 7 ETM+ e a transformação Tasseled Cap conseguiram obter

mapas com uma precisão global de 81%, e utilizando índices de vegetação obtiveram variáveis importantes para separação das diferentes culturas analisadas (Tatsumi et al., 2015). Técnicas que levem em consideração valores dos diferentes índices de vegetação são extremamente apropriadas levando em consideração as diferenças que cada cultura possui em sua fenologia.

Uma aplicação atual que está sendo empregada e a utilização de dados em série temporal é a detecção de diferentes tipos de culturas e suas respectivas fenologias, como foi realizado por Massey et al. (2017), ao utilizarem dados do sensor de baixa resolução espacial na elaboração de séries temporais para diferentes culturas a partir do zoneamento agrícola determinado pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Utilizando produtos de índices de vegetação gerados com imagem do sensor MODIS, foi possível identificar diferentes culturas pelos limiares máximos e mínimos de respostas ao índice de vegetação NDVI, dentre elas a cultura do algodão. Dessa maneira foi realizado o mapeamento automatizado e rotineiro de culturas sem uma coleta repetida e dispendiosa de amostras de campo ano após ano.

Durante a maior parte do ciclo da planta de algodão há diversos eventos ocorrendo ao mesmo tempo, como crescimento vegetativo, aparecimento de gemas reprodutivas, florescimento, crescimento e maturação de frutos. Cada um destes eventos é importante para a produção final, mas é necessário que eles ocorram de modo balanceado (Oosterhuis, 1999).

O ciclo fenológico do algodoeiro pode ser dividido em fases de crescimento e alguns processos característicos da cultura definem cada uma destas fases (Rosolem 2010). A primeira fase é descrita como estágio vegetativo (F1), ocorre entre a emergência da plântula até a formação da primeira folha verdadeira (>2,5cm), seguido pela segunda fase, que é o estágio de formação de botões florais (F2), que se mantem até a abertura da primeira flor considerada terceira fase (F3), e assim sucessivamente até a abertura do primeiro capulho (F4), tratado como a quarta fase. Alguns autores ressaltam que com a padronização da cultura do algodoeiro dessa forma, torna-se fácil comparar os dados com diferentes outros trabalhos de pesquisas realizados em diversas localidades (Rosolem, 2010; Marur e Ruano, 2010).

Dentre os problemas que a cultura do algodoeiro apresenta, um dos principais é a exigência da temperatura e umidade ideal nas diferentes fases vegetativas de seu ciclo fenológico. Diversas pesquisas têm feito uso da imagem termal, destacando o estudo realizado por Rao (1972), que foi o primeiro a demonstrar que as determinadas

áreas poderiam ser identificadas por meio de análises de dados na faixa do infravermelho termal adquiridos por um satélite. Pesquisadores (Fialho, 2012; Sousa e Ferreira Júnior, 2012; Nascimento, 2011; Weng, 2010; Liu, 2006) também usaram os sistemas de sensoriamento remoto infravermelhos termais para extrair informação de temperatura da superfície.

No entanto, conjuntos de dados especialmente mapas de cobertura de terra agrícola, ainda apresentam falhas de precisão e detalhes (Fritz et al., 2013). Informações que descrevem a agricultura além da área, como intensificação agrícola estão especialmente ausentes (Kuemmerle et al., 2013). Os mapas de cobertura terrestre que descrevem a área agrícola não são suficientes para melhorar a nossa compreensão da rápida mudança de produtos agrícolas (Vallejos et al., 2015).

De modo geral, a cultura do algodoeiro possui variações fenológicas que podem ser monitoradas por radiômetro orbital de alta resolução temporal e espacial e é possível caracterizar a magnitude e a estrutura da dependência espacial do algodoeiro utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Desta forma o objetivo desta pesquisa e utilizar dados do satélite Landsat-5 TM na caracterização radiométrica e variabilidade espaço temporal do algodoeiro em um agrossistema variável, propondo métodos replicáveis, acessíveis e de baixo custo.

## 2. Material e métodos

A área de estudo está localizada no estado do Mato Grosso, no município Chapada dos Guimarães, em uma cultura de algodoeiro na fazenda Ouro Branco, que contempla uma área amostral de 8.000 m<sup>2</sup>, com centroide localizado nas coordenadas UTM 21L 663.385m 8.284.868 m (Figura 1).

Levando em consideração à cultura do algodoeiro, a região da Chapada dos Guimarães possui condições edafoclimáticas totalmente favoráveis. O clima da região de acordo com a classificação Köppen-Geiger é temperado e úmido com invernos secos (Tipo Aw), que no geral se distingue por duas estações: seca e chuvosa, com precipitação máxima de 1.500 mm anuais, ideal para a variação de culturas como a soja e algodão que exigem uma precipitação que varie de 500 a 1600 mm. O algodoeiro especificamente requer calor e umidade no solo para completar seu ciclo vegetativo, devendo o final do ciclo coincidir com o período seco (EMBRAPA, 2018).

As temperaturas anuais da região com médias anuais máximas variando de 35 a 38 °C, enquanto as anuais mínimas variam de 19 a 21 °C. De acordo com Souza et al. (2008), a faixa de temperatura para a germinação do algodoeiro está entre 25 e 30 °C. Na fase de crescimento vegetativo, a faixa ideal está entre 27 e 32 °C. Assim, o ponto ótimo de

temperatura para o desenvolvimento do algodão está entre 20 e 35 °C, isto porque, nessa faixa o processo de germinação é acelerado resultando em uma emergência mais rápida da planta.

O relevo que é em sua maior parte plano ou levemente ondulado favorece a movimentação de

máquinas agrícolas no plantio e na colheita. O solo foi classificado como latossolo de textura muito argilosa e a luminosidade atinge no verão aproximadamente 13 horas de luz com o nascer do sol às 5:25 e o pôr do sol às 18:30 (EMBRAPA, 2018).

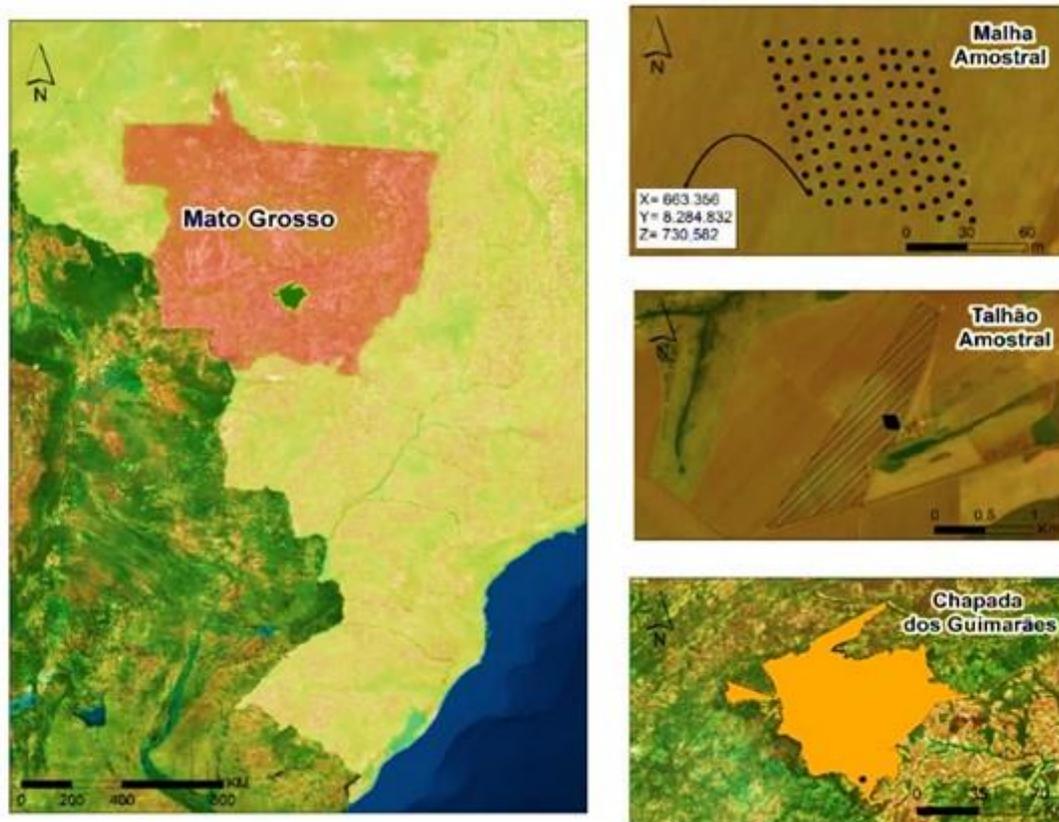


Figura 1- Definição do arranjo espacial da malha amostral composta por 100 pontos georreferenciados, delimitação do talhão onde se encontra e a delimitação do município Chapada dos Guimarães.

No Mato Grosso o plantio da cultura do algodoeiro vai de novembro até fevereiro e a colheita acontece em junho se estendendo até agosto. O algodoeiro possui uma legislação para o vazio sanitário, que é um período em que o produtor não deve ter em sua lavoura plantas vivas da cultura, esta medida visa proteger a produção do estado de prejuízos ocasionados por diferentes tipos de praga específicos da cultura do algodoeiro (EMBRAPA, 2018).

A área amostral para locação dos pontos compreendeu uma malha irregular de 100 pontos georreferenciados, todos coletados utilizando GPS geodésico Topcon Hiper L1/L2, RTK (*Real Time Kinematic* ou Posicionamento Cinemático em Tempo-Real) envolvendo uma área de 8.000m<sup>2</sup> dentro do talhão da cultura.

Foram selecionadas imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, produto collection 1 Level 1. A aquisição das imagens foi realizada pelo site do USGS (United States Geological Survey) disponível em <http://www.earthexplorer.usgs.gov>. As imagens

selecionadas datadas entre os meses de abril a setembro de 2009, período do plantio à pós-colheita.

Todas as imagens foram sobrepostas pelos pontos amostrais para garantir que não haja imperfeições na área de estudo. No total foram analisadas 77 cenas da área amostral. A Tabela 2 demonstra uma síntese dos dados a serem coletados.

Os dados radiométricos foram determinados para cada ponto amostral, mediante o cálculo de médias aritméticas entre os valores de reflectância da superfície extraídos de toda a extensão da área amostral, obtidos automaticamente pixel a pixel de todas as bandas espectrais (Banda 1, Banda 2, Banda 3, Banda 4, Banda 5, Banda 6 e Banda 7) que sobrepuerem os pontos da malha amostral levantados com o GPS geodésico em campo. Ao todo foram coletados 700 valores espectrais mensais e 4.200 valores espectrais analisados no período de estudo.

Os valores digitais foram extraídos automaticamente após serem programados em rotina Python, coletando automaticamente os valores das

bandas orbitais selecionadas evitando a existência de pontos duvidosos, uma vez que, dados extraídos manualmente podem conter incoerências quanto ao

seu posicionamento, pois se tratando de uma malha irregular, alguns pontos podem sobrepor a borda dos pixels.

Tabela 2 - Datas de obtenção das imagens do satélite Landsat-5 TM para a área de estudo, data do processamento, bandas analisadas e quantificação dos pontos avaliados.

Mês	Data da Cena	Data do Processamento	Bandas Avaliadas	Pontos Amostrais	Dados Coletados	Resumo
Janeiro	10/01/2009	16/05/2017	7	0	0	Nuvem
Fevereiro	11/02/2009	18/09/2017	7	0	0	Nuvem
Março	31/03/2009	18/09/2017	7	0	0	Nuvem
Abril	16/04/2009	16/05/2017	7	100	700	Sem nuvem
Mai	18/05/2009	16/05/2017	7	100	700	Sem nuvem
Junho	03/06/2009	16/05/2017	7	100	700	Sem nuvem
Julho	21/07/2009	16/05/2017	7	100	700	Sem nuvem
Agosto	06/08/2009	16/05/2017	7	100	700	Sem nuvem
Setembro	07/09/2009	24/08/2017	7	100	700	Sem nuvem
Total		63		600	4200	

A transformação *Tasseled Cap* (TC) é uma ferramenta útil para compactar dados espectrais em algumas bandas associando-as a características físicas das imagens (Crist e Cicone, 1984). Originalmente construído para compreender fenômenos importantes do desenvolvimento de culturas no espaço espectral (Kauth e Thomas, 1976), a transformação tem aplicações potenciais na elevação de atributos-chave da vegetação, incluindo espécies, idade e estrutura (Cohen et al., 1995).

As transformações espectrais têm sido frequentemente empregadas em imagens obtidas por sensores orbitais, tanto para reduzir a dimensão dos dados armazenados, como para realçar espectralmente as feições de interesse representadas na imagem (Richards e Jia, 2000). Os coeficientes utilizados

na transformação foram baseados nos precursores da transformação do TC na literatura com a utilização de dados do satélite Landsat-5 TM, como mencionado em Crist e Cicone (1984), na Tabela 3 temos os valores para os coeficientes desta literatura.

A transformação TC é proposta em três componentes, o primeiro chamado de *brightness*, está relacionado à variação espectral dos solos e é a soma ponderada de todas as bandas; o segundo denominado *greenness*, relacionado ao vigor da vegetação e é a diferença entre o canal do infravermelho próximo e os canais do espectro visível e infravermelho médio; e o terceiro denominado de *wetness* que é o contraste entre o infravermelho médio e os demais canais. As equações dos três componentes foram descritas na Tabela 4.

Para a transformação as análises foram realizadas separadamente para cada componente, considerando as bandas que compreendem o intervalo de 0,45 a 2,35  $\mu\text{m}$ . Os principais componentes foram gerados individualmente para cada mês, criando um mosaico para a representação da área de estudo. Os autovalores das componentes principais foram reescalados para valores entre 0 e 255, de modo que todas as imagens tivessem a mesma escala.

Tabela 3 - Valores dos coeficientes para os componentes *brightness*, *greenness* e *wetness* da transformação do *Tasseled Cap* de acordo com a literatura proposta.

<i>Tasseled Cap</i>	Bandas					
	B1	B2	B3	B4	B5	B7
<i>Brightness</i>	0,3037	0,2793	0,4743	0,5585	0,5082	0,1863
<i>Greenness</i>	-0,2848	-0,2435	-0,5436	0,7243	0,0840	-0,1800
<i>Wetness</i>	0,1509	0,1973	0,3279	0,3406	-0,7112	-0,4572

Fonte: Adaptada de Crist e Cicone (1984).

Tabela 4 - Equações utilizadas na obtenção dos componentes *brightness*, *greenness* e *wetness* da transformação *Tasseled Cap* e a ordem das bandas espectrais de acordo com a literatura proposta.

Componente do <i>Tasseled Cap</i>	Respectivos coeficientes e bandas espectrais da equação
<i>Brightness</i>	$0,3037*B1+0,2793*B2+0,4743*B3+0,5585*B4+0,5082*B5+0,1863*B7$
<i>Greenness</i>	$-0,2848*B1-0,2435*B2-0,5436*B3+0,7243*B4+0,0840*B5-0,1800*B7$
<i>Wetness</i>	$0,1509*B1+0,1973*B2+0,3279*B3+0,3406*B4-0,7112*B5-0,4572*B7$

No total foram analisados 18 produtos, resultantes da transformação do TC da área amostral. A Tabela 5 demonstra uma síntese dos dados que foram processados. Os valores digitais foram extraídos automaticamente pixel a pixel dos componentes

gerados pela transformação, ao todo foram coletados 300 valores mensais e 1.800 valores totais para análise dos componentes da transformação TC no período de estudo.

Tabela 5 - Data de obtenção das imagens do satélite Landsat-5 TM da área de estudo, data da transformação do *Tasseled Cap* e quantificação dos valores analisados dos componentes.

Mês	Data da Cena	Data do Processamento	Componentes do TC	Pontos Amostrais	Dados Coletados
Abril	16/04/2009	14/05/2018	3	100	300
Mai	18/05/2009	16/05/2018	3	100	300
Junho	03/06/2009	16/05/2018	3	100	300
Julho	21/07/2009	16/05/2018	3	100	300
Agosto	06/08/2009	16/05/2018	3	100	300
Setembro	07/09/2009	16/05/2018	3	100	300
Total			18	500	1.800

Os dados estimados de precipitação foram obtidos do laboratório virtual do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), *SeriesView*, que disponibiliza dados temporais de precipitação acumulada mensalmente, provenientes do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), detalhando informações a respeito da intensidade, distribuição, altura pluviométrica e diferentes tipos de chuva. Foram coletados também, dados meteorológicos históricos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na região (Estação N°- 83361), que dista 35 km da área de estudo (INMET, 2018).

Já os dados estimados de temperatura foram obtidos a partir de produtos do satélite TRMM e do satélite TERRA, ambos coletados do laboratório virtual do INPE, foram coletados também dados históricos de temperatura da estação meteorológica do INMET. Os dados de temperatura foram comparados com a média mensal dos dados de calculados de temperatura de superfície (Ts) utilizando os valores obtidos da banda termal (B6) do satélite Landsat-5 TM.

Para obtenção dos dados referentes a Ts a partir da banda 6 da imagem do sensor é necessário converter os números digitais para valores de temperatura de brilho da superfície. A Equação 1, foi proposta por Qin e Karnieli (2001) e utilizada para o estudo na geração dos valores do espectro de radiação.

$$L\lambda = \left( \frac{L_{Max(\lambda)} - L_{Min(\lambda)}}{Q_{CalMax} - Q_{CalMin}} \right) \times (Q_{CalMax} - Q_{CalMin}) + L_{Min} \quad (1)$$

Em que,

$L(\lambda)$  é a radiação de energia espectral;  $L_{Max(\lambda)}$  e a radiância máxima espectral digital (15.303);

$L_{Min(\lambda)}$  é a radiância mínima espectral digital (1.238);  $Q_{CalMax}$  é -255;  $Q_{CalMin}$  é 1.

Após obtenção dos valores do espectro de radiação, foi utilizado o valor de  $L(\lambda)$  para calcular a Ts, assim, foi utilizado da Equação 2, proposta por Qin et al. (2001) para conversão de radiação para a estimativa de valores de temperatura de brilho da superfície.

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda}\right)+1} \quad (2)$$

Em que,

$L(\lambda)$  é a Radiação de energia espectral;  $K_1$  é a constante de calibração (607,76);  $K_2$  é a constante de calibração (1260,56);  $T_b$  é a temperatura da superfície em Kelvin.

Devido ao método proposto, os valores de  $T_s$  resultaram em valores na escala Kelvin, sendo subtraído dos valores obtidos o valor de 273,15 para que os valores finais de cada ponto amostral tabelado ficassem em graus Celsius ( $T_s = T_b - 273,15$ ), assim na mesma escala dos dados obtidos pela estação meteorológica e pelos dados dos sensores, para que se pudesse analisar suas relações.

Os índices de vegetação (IV) foram propostos de acordo com as literaturas pesquisadas para que fosse possível analisar as características da área de estudo em diferentes abordagens, como análises da condição da vegetação, interferência do solo, presença de água na vegetação e análise de indicador de biomassa.

Todos os IV foram calculados automaticamente e também programados em rotina Python. Os valores para área de estudo foram extraídos pela sobreposição da malha amostral de 100 pontos georreferenciados. Os IV propostos foram o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), Índice de Área Foliar (IAF) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI), e os

cálculos para obtenção dos valores dos IV estão descritos na Tabela 6.

No total foram analisados 30 produtos, resultantes dos IV calculados da área amostral. A Tabela 7 demonstra uma síntese dos dados que foram processados. Ao todo foram coletados 500 valores mensais e 3.000 valores totais para análise dos IV no período de estudo.

As relações entre os dados radiométricos e os valores obtidos das transformações foram avaliadas através de quatro estratégias distintas. A primeira, através da análise visual dos mapas dispostos temporalmente em diferentes composições de cores, uma vez que, a combinação das bandas contém informações espectrais realmente desejadas para um melhor entendimento do desenvolvimento da cultura. Na segunda, foram analisados os produtos dos IV temporal e seus respectivos mapas, sua representação gráfica com o objetivo de estabelecer prováveis relações com os demais dados amostrados e com a cultura. Na terceira, foram analisados os produtos das transformações do *Tasseled Cap*, e sua correlação com os IV, dados do laboratório virtual e dados meteorológicos do INMET.

A quarta estratégia foi a validação estatística dos dados obtidos, o teste proposto calculou os coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ), que varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis.

Tabela 6 - Índice de vegetação propostos, suas respectivas equações e descrição das bandas espectrais utilizadas para cada índice de vegetação.

Índice de Vegetação	Equação para Obtenção do Índice de Vegetação	Descrição das Bandas Espectrais e Respetivos Coeficientes
NDVI	$= \frac{IVP - V}{IVP + V}$	IVP: Reflectância na banda do infravermelho próximo; V: Reflectância na banda do vermelho.
NDWI	$= \frac{IVP - IVM}{IVP + IVM}$	IVM: Reflectância na banda do infravermelho médio (B5).
SAVI	$= \frac{(1 + L_s) \times (IVP - V)}{(L_s + IVP + V)}$	$L_s$ : Fator de ajuste do índice SAVI; V: Reflectância na banda do vermelho.
IAF	$= \frac{(0,69 - SAVI)}{0,59}$	SAVI: valor do IV SAVI
EVI	$= G \times \frac{IVP - V}{IVP + C_1 \times V - C_2 \times A + L}$	A: Reflectância na banda do azul $C_1$ : Coeficiente de correção da banda do vermelho (=6) $C_2$ : Coeficiente de correção da banda do azul (=7,5) L: Fator de correção para a interferência do Solo (=1) G: Fator de Ganho (=2,5)

Fonte: Boratto (2014).

Tabela 7 - Data de obtenção das imagens do satélite Landsat-5 TM da área de estudo, data do processamento dos índices de vegetação e quantificação dos pontos avaliados.

Mês	Data da Cena	Data do Processamento	I.V.	Pontos Amostrais	Dados Coletados
Abril	16/04/2009	15/11/2017	5	100	500
Maio	18/05/2009	16/11/2017	5	100	500
Junho	03/06/2009	16/11/2017	5	100	500
Julho	21/07/2009	16/11/2017	5	100	500
Agosto	06/08/2009	16/11/2017	5	100	500
Setembro	07/09/2009	16/11/2017	5	100	500
Total			30	500	3.000

Por ser tratar de uma medida padronizada a interpretação da magnitude dos coeficientes é uma importante etapa do estudo, para Cohen et al. (1995), valores de coeficiente entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos, valores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios, e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Dancey e Reidy (2006) apontam para uma classificação diferente, onde valores de coeficiente entre 0,10 e 0,30 são considerados fraco, valores de

0,40 até 0,6 considerados moderados e valores entre 0,70 e 1 fortes. Dessa forma, tomamos como certo que quanto mais perto de 1 independente do sinal, maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis.

Para este estudo, foi adotado a escala de padronização do coeficiente de Pearson de acordo com o proposto por Shimakura (2006) para a análise das magnitudes das correlações, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes de determinação sobre a classificação dos valores de correlação de Pearson (r) e suas respectivas interpretações.

	Valores de r (+ ou-)		Interpretação
Coeficientes de Pearson	0	0,19	Uma correlação muito fraca
	0,2	0,39	Uma correlação fraca
	0,4	0,69	Uma correlação moderada
	0,7	0,89	Uma correlação forte
	0,9	1	Uma correlação muito forte

Fonte: Adaptado de Shimakura (2006).

### 3. Resultados e discussão

Foram feitos os cálculos dos IV propostos para o acompanhamento da cultura do algodoeiro. Na Tabela 9, são apresentados os resultados da análise estatística descritiva dos IV NDWI, NDVI, IAF, EVI e SAVI nos meses que sucederam o estudo e a Figura 2 demonstra a configuração temporal média dos valores obtidos.

Os índices foram escolhidos de acordo com suas características, o NDWI mostra-se sensível ao aumento de biomassa, quanto maior incidência de vegetação na cultura, maior é a reflectância no infravermelho próximo, refletindo no aumento do índice. O NDVI obteve dentre os índices propostos a

menor influência sobre a mudança da vegetação, sendo observado uma rápida saturação, que o torna insensível ao aumento da biomassa vegetal nos estágio iniciais do desenvolvimento, ou seja, o índice estabiliza em um patamar, apresentando valores similares, mesmo com o aumento da densidade do dossel. O IAF é um índice biofísico definido pela razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação, sendo um indicador da biomassa de cada pixel da imagem. O EVI, que propõem otimizar o sinal da vegetação, apresentou uma sensibilidade sobre a densidade de biomassa da cultura do algodoeiro semelhante ao NDWI. O SAVI propõe minimizar os efeitos de solo sobre a vegetação utilizando parâmetros de ajustes.

Tabela 9 - Estatística descritiva dos índices de vegetação propostos na cultura do algodoeiro.

	Nº de Observações	Mínimo	Máximo	Média	DP	Variância
NDWI	100	-0,21	0,48	0,28	0,28	0,08
EVI	100	-0,63	0,87	0,42	0,62	0,39
NDVI	100	0,23	0,87	0,71	0,27	0,07
IAF	100	-0,63	1,15	0,70	0,76	0,58
SAVI	100	0,35	1,31	1,07	0,41	0,17

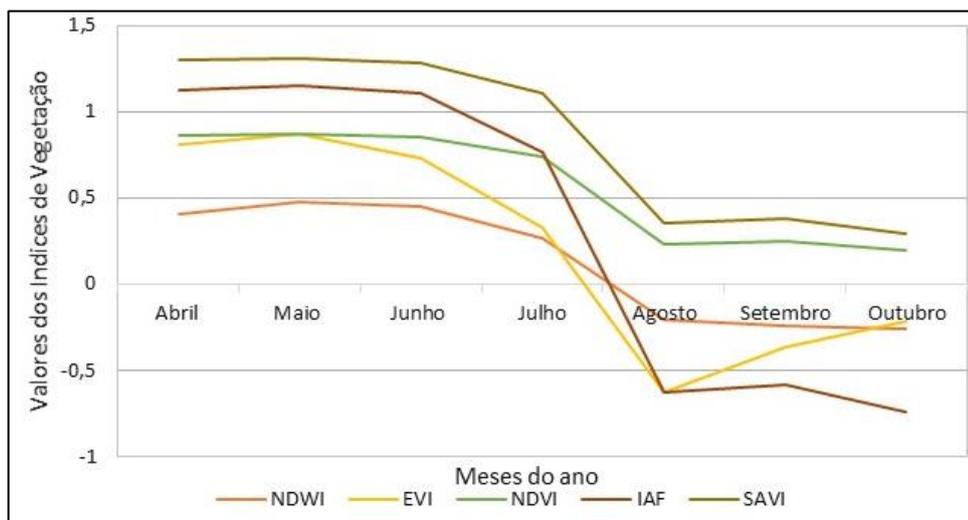


Figura 2 - Curvas espectro-temporais dos Índices de Vegetação propostos obtidos através dos dados do satélite Landsat-5 TM na área amostral da cultura do algodoeiro.

A estratégia de avaliação da transformação dos componentes do TC que permite entender as contribuições banda a banda para a cena de interesse, além de comprimir os dados e extrair um significado físico a partir delas. É possível observar nos mapas com os valores dos coeficientes do componente *brightness* (Figura 3(a)) os pixels claros e escuros estão situados em pixels extremos para os níveis de cinza, os pixels claros que representam a presença de vegetação, e os pixels mais escuros ausência da vegetação ou a presença do solo, levando em consideração que o enfoque da componente no caso é apenas o solo. Essa representação pode ser interpretada através dos valores dos coeficientes aumentarem na faixa azul (B1) e vermelho (B2) e diminuir em nas faixas do infravermelho (B4, B5 e B7).

No componente *greenness* os pixels mais escuros e intensos demonstram a vegetação, quanto aos pixels claros, é notável sua ligeira variação. Esses dados

corroboram com a componente *greenness* (Figura 3(b)), já que esta contém informações da vegetação, e apresenta pouca influência da condição de qualquer outro fator como o solo por exemplo. Dentre os coeficientes aplicados este apresenta um alto valor em uma parte da faixa do infravermelho (B4) e as demais faixas em valores significativamente mais baixos.

E para a componente *wetness* (Figura 3(c)) os pixels mais escuros e intensos correspondem a direção observada da variação da umidade, quer seja ela no solo descoberto, ou na própria vegetação. A representação pode ser interpretada pelo aumento do coeficiente nas faixas do visível (B1, B2 e B3) e o decréscimo na faixa do infravermelho (B4, B5 e B6). Para uma imagem com predominância de solos, a vegetação traz pouco acréscimo na região do infravermelho próximo, mas traz bastante decréscimo na região do visível, resultante da absorção desses comprimentos de onda por pigmentos fotossintéticos.

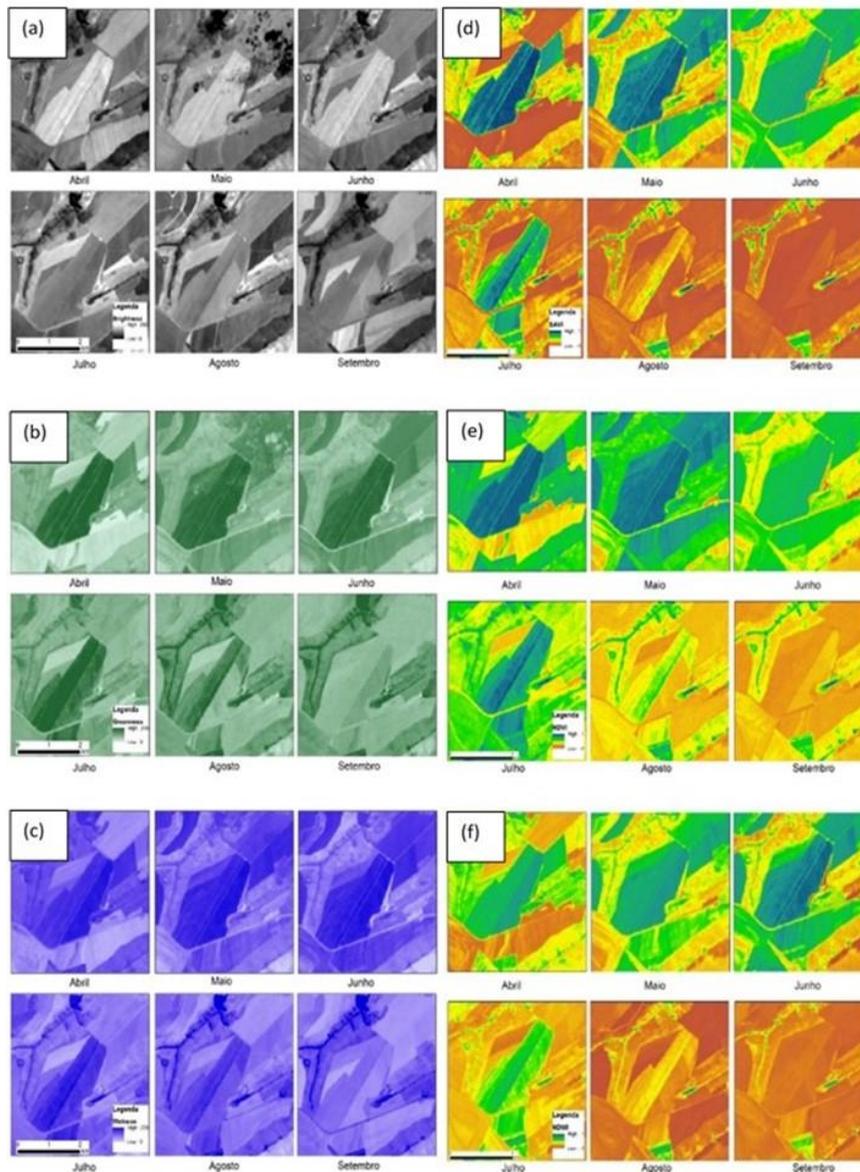


Figura 3 - Mapas do componente *brightness*(a), *greenness*(b) e *wetness*(c) da transformação *Tasseled Cap* e dos índices de vegetação SAVI(d), NDVI(e) e NDWI(f) respectivamente, obtidos mensalmente a partir das imagens Landsat-5 TM.

Tomando a transformação TC como um produto fornecedor de características físicas da área de estudo para solo, vegetação e umidade, respectivamente em seus componentes *brightness*, *greenness* e *wetness*, uma maneira de avaliá-los seria a correlação dos valores obtidos da transformação TC com o IV. Na Tabela 10 está representado os valores da correlação de Pearson entre os dados extraídos dos componentes do TC para os mesmos pontos extraídos para os IV, para os mesmos seis meses propostos no estudo. Levando em consideração a proposta de cada IV, o índice NDWI que propõem analisar a presença de água foi o que melhor se correlacionou com a componente *wetness* ( $r=0,869$ ;  $p<0,05$ ) que é a componente que caracteriza a variação da umidade. Já o índice NDVI que se relaciona com as áreas de vegetação com maior vigor se correlacionou melhor

com a componente *greenness* ( $r=0,878$ ;  $p<0,05$ ) que se caracteriza com as variações da vegetação. E o índice SAVI que propõem considerar em sua análise o efeito do solo, obteve correlação com a componente *brightness* ( $r=0,761$ ;  $p<0,05$ ).

Para solos de baixa reflectância o incremento de vegetação apresentará menos a refletância no visível, mas o espalhamento múltiplo resultante dos tecidos vegetais traz um aumento substancial na região do infravermelho próximo. Os coeficientes propostos, são muito influenciados pela variação de umidade. Devido ao fato de que a componente *greenness* que contém informações da vegetação, possui pouca influência do tipo ou condição de solo.

Para os mesmos valores amostrais tabelados utilizados nas correlações de Pearson da tabela anterior, os componentes TC e os IV, foram

processadas por seus valores de média para cada mês do estudo e os valores obtidos foram representados de forma gráfica.

Os valores obtidos no índice NDVI e o comportamento dos valores do componente *greenness*, demonstrando o comportamento de similaridade na análise da presença de umidade em ambas as técnicas (Figura 4(a)). O mesmo ocorreu para o índice NDWI e o componente *wetness* (Figura

4(b)), acompanhando o padrão da correlação, para estes pares os valores de correlação foram maiores e os gráficos melhor se correlacionaram. Já o índice SAVI e a componente *brightness* (Figura 4(c)) foram as correlações de menor coeficiente, vale salientar que todas as correlações obtidas apresentaram de acordo com a escala proposta por Shimakura (2006) um coeficiente de correlação forte.

Tabela 10 - Coeficiente de correlação (r) de Pearson relativos aos valores observados nos componentes do *Tasseled Cap* (TC) e aos Índices de Vegetação propostos (IV).

	NDWI	EVI	NDVI	IAF	SAVI
<i>Wetness</i>	0,869	0,767	0,730	0,630	0,630
<i>Greenness</i>	0,778	0,585	0,878	0,538	0,585
<i>Brightness</i>	0,585	0,638	0,585	0,585	0,761

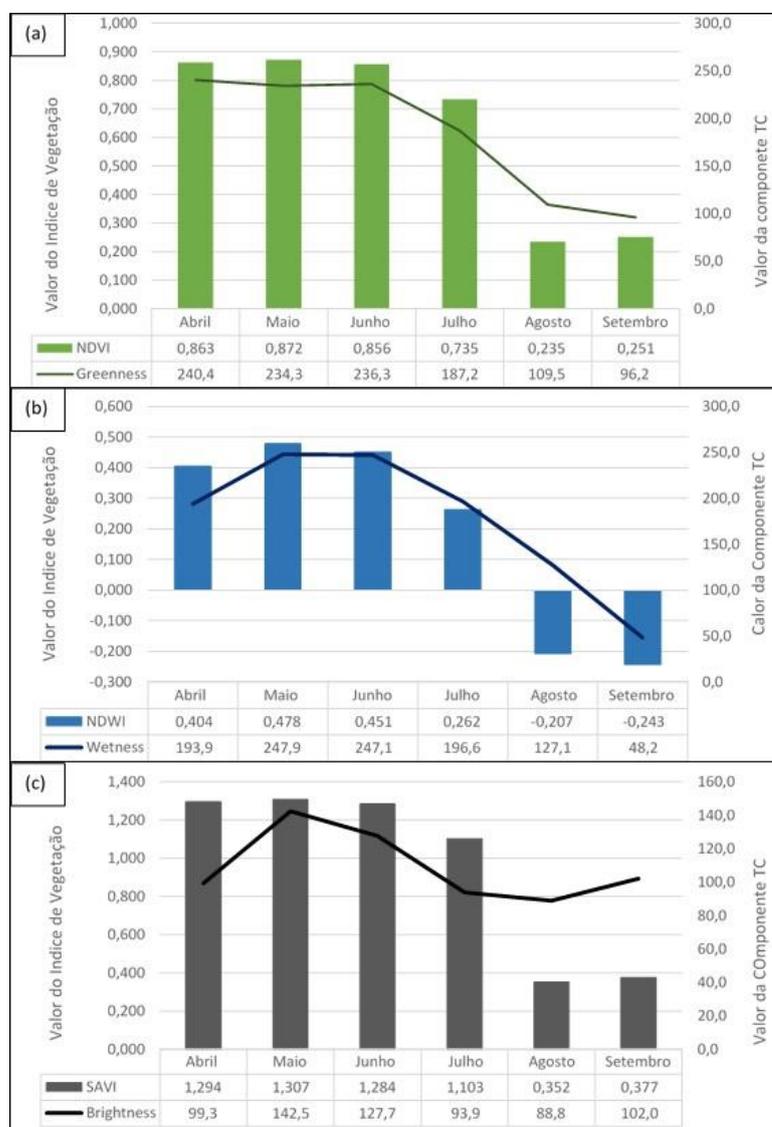


Figura 4 - Gráfico de relação entre as medias mensais dos componentes *greenness* (a), *wetness* (b) e *brightness* (c) da transformação *Tasseled Cap* e dos IV NDVI(a), NDWI(b) e SAVI(c) respectivamente, obtidos mensalmente a partir das imagens Landsat-5 TM.

Após o processamento da transformação TC, os dados resultantes de cada componente formaram uma composição RGB, representado na Figura 5, onde foi alocado para a faixa *Red* o componente *brightness*, que evidenciou as áreas de presença de solo; a faixa *Green* foi alocado o componente *greenness*, que identificou as áreas de maior incidência de vegetação da cultura; e a faixa *Blue* que alocou o componente *wetness* que discriminou a umidade na vegetação e nos corpos d'água da área de estudo. De modo geral os mapas mostram a presença constante da vegetação nos estágios de desenvolvimento da cultura e

evidencia as áreas com pouca vegetação no período que antecede a colheita e após, onde o solo se encontra desnudo.

Com intuito de corroborar as hipóteses de relação entre os dados obtidos e o comportamento da vegetação, foi comparado os valores do componente *wetness*, e sua estreita relação com a umidade, com dados mensais de precipitação de um laboratório virtual de dados do satélite TRMM e da estação meteorológica do INMET (Estação - 83361) localizada na região (Figura 6).

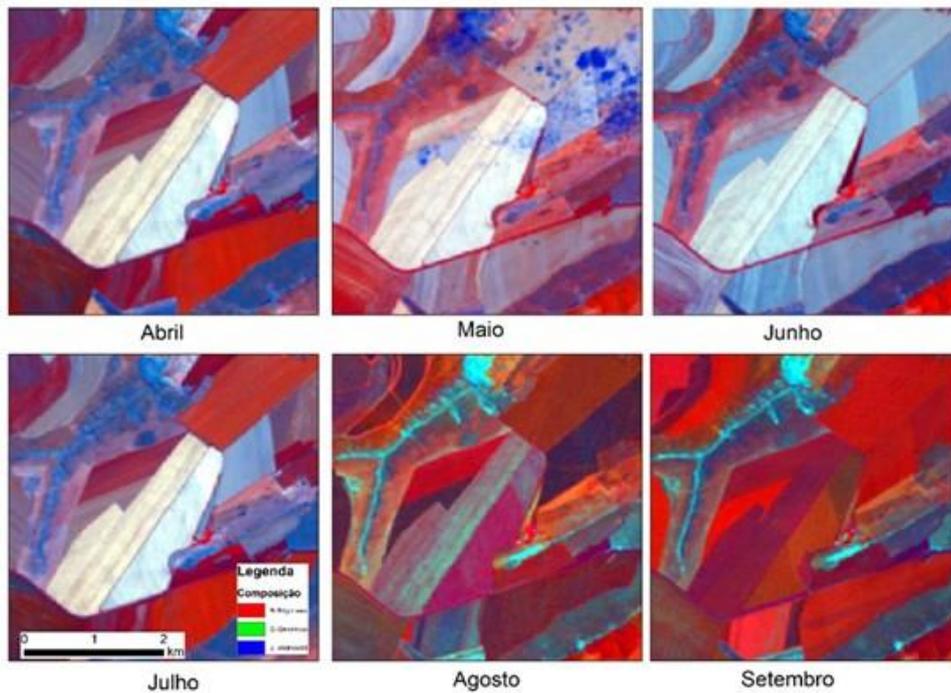


Figura 5 - Mapas da composição RGB para a transformação *Tasseled Cap*, onde *brightness* sendo a faixa *Red*, *greenness* a faixa *Green* e *wetness* a faixa *Blue*, ambos obtidos mensalmente a partir das imagens Landsat-5 TM.

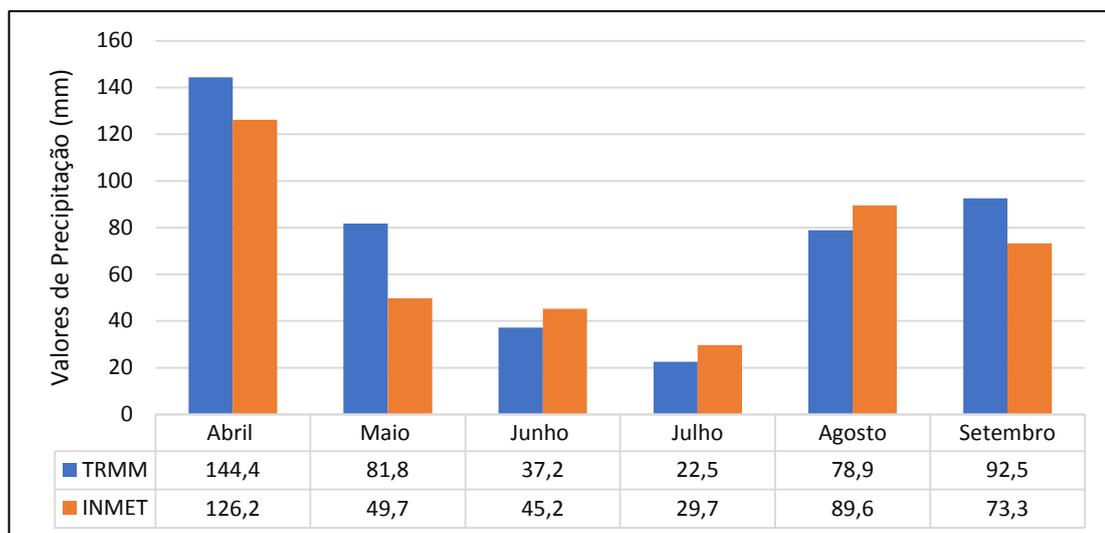


Figura 6 - Médias mensais de precipitação do satélite TRMM e da estação meteorológica do INMET.

Na Tabela 11 foram expressos os valores da correlação de Pearson entre os dados de precipitação do satélite TRMM e da estação meteorológica do INMET, os quais apresentaram uma correlação muito forte ( $r=0,913$ ;  $p<0,05$ ), demonstrando a consistência nos dados obtidos pelo laboratório virtual, contribuindo para a confiabilidade dos dados

processados. Já a correlação entre o componente *wetness* com os dados de precipitação do satélite TRMM ( $r=0,532$ ;  $P<0,05$ ) e com os dados da estação meteorológica do INMET ( $r=0,495$ ;  $p<0,05$ ) foram consideradas moderada de acordo com a classificação de Shimakura (2006).

Tabela 11 - Correlação de Pearson para os valores dos dados do satélite TRMM, dos dados meteorológicos-INMET e dos valores obtidos pelo componente *wetness* do *Tasseled Cap*.

	Componente <i>Wetness</i>	Satélite TRMM	INMET
Componente <i>Wetness</i>	1,00	0,532	0,495
Satélite TRMM	0,532	1,00	0,913
INMET	0,495	0,913	1,00

Ao realizar a parametrização da temperatura média registrada entre a estação meteorológica do INMET, os valores médios dos pixels de  $T_s$  registrada pelo satélite Landsat-5 TM e pelos laboratórios virtuais (Terra e AQUA), foi observado uma variação térmica recorrente no período de estudo (Figura 7). Weng (2010), salienta que a temperatura média de  $T_s$  apresenta, normalmente, valores mais elevados em relação a temperatura média do ar o que, na análise não ocorreu. Na prática essa diferença não interfere nos resultados, uma vez que, a temperatura quantificada

pelo satélite é a temperatura radiante da superfície.

Para a área de estudo, observa-se uma predominância sobre os valores superiores obtidos pela estação meteorológica do INMET. Os valores de  $T_s$  calculados pela banda 6 do satélite Landsat-5 TM obtiveram maiores valores ( $r = 0,913$   $p<0,05$ ) de correlação de Pearson com os dados obtidos pelo sensor Terra, apresentado na Tabela 12, acompanhados pelos dados do satélite AQUA ( $r = 0,839$ ;  $p<0,05$ ) e pelos valores de correlação com a meteorológica do INMET ( $r = 0,805$ ;  $p<0,05$ ).

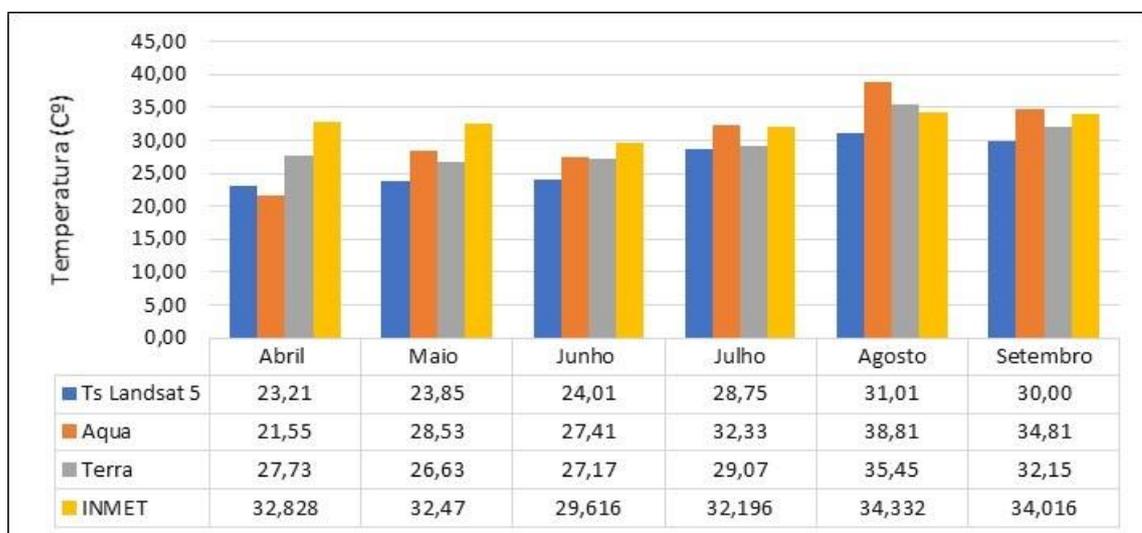


Figura 7 - Gráfico das distribuições dos valores de temperatura mensais calculados (TS Landsat-5 TM) e obtidos de bancos de dados (TRMM, Terra e INMET).

Tabela 12 - Correlação dos dados da estação meteorológica do INMET, Satélite TRMM e dados calculados da Ts satélite Landsat-5 TM.

	Landsat 5	INMET	AQUA	Terra
Ts Landsat-5 TM	1,00	0,805	0,839	0,913
INMET	0,805	1,00	0,533	0,732
Satélite AQUA	0,839	0,533	1,00	0,849
Satélite Terra	0,913	0,732	0,849	1,00

As correlações obtidas pelo Ts Landsat-5 TM tiveram uma relação considerada muito forte com os dados do satélite Terra, e uma correlação forte com os dados do satélite TRMM e da meteorológica do INMET de acordo com a classificação de Shimakura (2006). A melhor correlação dos dados da meteorológica do INMET foi com os dados calculados de Ts do Landsat-5 TM.

#### 4. Conclusão

A transformação *Tasseled Cap* comprovou uma relação positiva de seus resultados a características físicas, seus resultados foram interpretados e correlacionados com os índices de vegetação, e suas características tiveram ligação satisfatórias para com atributos que cada índice de vegetação propõe. Neste estudo o componente *Wetness* manteve relações singulares com o NDWI, o componente *Greenness* com o NDVI e o componente *Brightness* com o SAVI.

A relação de precipitação pluviométrica do componente *Wetness* comparados com os dados observados do laboratório virtual o INPE e do INMET apresentaram bons resultados, caso especial, principalmente pela importância do fator na cultura do algodoeiro na fase final do manejo. As avaliações de correlação dos dados processados neste estudo mostraram resultados satisfatórios por manter com a estação meteorológica os melhores valores de correlação.

#### Agradecimentos

Agradecimento a Universidade Federal de Lavras, UFLA – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, PPGEA-UFLA – Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Mato Grosso, FAPEMAT – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES.

#### Referências

ABRAPA. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2018. Sistema de Informações de Negócios com Algodão em Pluma, resumo de vendas realizadas pelo produtor. Brasília.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária, 2018. Biofábrica para produção

massal de trichogramma. Uma nova opção ao manejo de pragas do algodoeiro no Mato Grosso. Embrapa Algodão, Campina Grande.

Boratto, I.M.P., 2014. Espacialização da Evapotranspiração na Região Norte de Minas Gerais. Novas Edições Acadêmicas, Saarbrücken.

Cohen, W.B., Spies, T.A., Fiorella, M., 1995. Estimating the age and structure of forests in a multi-ownership landscape of western Oregon, U.S.A. *International Journal of Remote Sensing* 16, 721-746.

Crist, E.P., Cicone, R.C., 1984. A physically-based transformation of Thematic Mapper data – the TM tasseled cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* GE-22, 256-263.

Dancey, C., Reidy, J., 2006. Estatística sem Matemática para Psicologia: usando SPSS para Windows. Artmed, Porto Alegre.

Fialho, E.S., 2012. Estudos climáticos em sítios urbanos e rurais, in: Silva, C.A.da, Fialho, E.S. (Orgs.), *Concepções e Ensaio da Climatologia Geográfica. E-book*. Ed. UFGD, Dourados, pp. 83-112.

Fritz, S., See, L., You, L., Justice, C., Becker-Reshef, I., Bydekerke, L., Cumani, R., Defourny, P., Erb, K., Foley, J., Gilliams, S., Gong, P., Hansen, M., Hertel, T., 2013. The need for improved maps of global cropland. *Eos Transactions American Geophysical Union* 94, 31–32.

Kauth, R.J., Thomas, G.S., 1976. The tasseled cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, West Lafayette.

Kuemmerle, T., Erb, K., Meyfroidt, P., Müller, D., Verburg, P.H., Estel, S., Haberl, H., Hostert, P., Jepsen, M.R., Kastner, T., Levers, C., Lindner, M., Plutzer, C., 2013. Challenges and opportunities in mapping land use intensity globally. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5, 1–10.

Liu, W.T.H., 2006. *Aplicacoes de Sensoriamento Remoto*. Editora Uniderp, Campo Grande.

Marur, C.J, Ruano O., 2010. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro, in: *Recomendações para Cultura do Algodoeiro no Paraná*. Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina. (Circular, 107).

- Massey, R., Sankey, T.T., Congalton, R.G., Yadav, K., Thenkabail, P.S., Ozdogan, M., Meador, A.J.S., 2017. MODIS phenology-derived, multi-year distribution of conterminous US crop types. *Remote Sensing of Environment* 198, 490-503.
- Nascimento, D.T.F., 2011. Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO. Dissertação (Mestrado). Goiânia, UFG.
- Oosterhuis, D.M., 1999. Growth and development of cotton plant, in: Cia, E., Freire, E.C., Santos, W.J.dos. (Ed.), *Cultura do Algodoeiro*. POTAFOS, Piracicaba, pp. 35-55.
- Qin Z, Karnieli A., Berliner P., 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing* 22, 3719–3746.
- Rao, P.K., 1972. Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society* 53, 647-648.
- Richards, J.A., Jia, X., 2000. *Remote Sensing Digital Image Analysis – an introduction*. Springer, Germany.
- Rosolem, C.A., 2010. *Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro*. POTAFOS, Piracicaba. (Informações Agrônomicas, 95).
- Shimakura, S.E., 2006. *Estatística II - regressão*. Laboratório de Estatística e Geoinformação. Departamento de Estatística da UFPR, Curitiba.
- Souza, S.B., Ferreira Júnior, L.G., 2012. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). *RA'EGA O Espaço Geográfico em Análise* 26, 75-99.
- Tatsumi, K., Yamashiki, Y., Torres, M.A.C., Taipe, C.L.R., 2015. Crop classification of upland fields using Random forest of time-series Landsat 7 ETM+ data. *Computers and Electronics in Agriculture* 115, 171-179.
- Vallejos, M., Volante, J.N., Mosciaro, M.J., Vale, L.M., Bustamante, M.L., Paruelo, J.M., 2015. Transformation dynamics of the natural cover in the Dry Chaco ecoregion: a plot level geodatabase from 1976 to 2012. *Journal of Arid Environments* 123, 3–11.
- Weng, Q., 2010. *Remote Sensing and GIS Integration: theories, methods, and applications*. McGraw-Hill, New York.