

EFEITO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS E SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO NO VIGOR DE PLANTAS DE ALGODÃO DETERMINADO ATRAVÉS DE DOIS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

LUCAS CORTINOVE¹, LEANDRO GIMENEZ², CLAUDINEI KAPPES³

¹ Engenheiro Agrônomo, Fundação Mato Grosso, (66)34394100, Rondonópolis, MT, lucascortinove@fundacaomt.com.br;

² Engenheiro Agrônomo, Fundação Mato Grosso, (66)34394100, Rondonópolis, MT, leandrogimenez@fundacaomt.com.br;

³ Engenheiro Agrônomo, Fundação Mato Grosso, (66)34394100, Rondonópolis, MT, claudineikappes@fundacaomt.com.br;

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014
14 a 17 de setembro de 2014 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: Sistemas de rotação de culturas e preparo de solo estão sendo avaliados para obtenção de melhores resultados no algodoeiro. O vigor dessas plantas pode ser mensurado pelo NDVI obtendo-se indicativos do estado nutricional das plantas, alturas de plantas e produtividade. Os objetivos do trabalho foram: avaliar o efeito de sistemas de rotação de culturas e preparos de solo no vigor de plantas; verificar se o NDVI pode ser uma alternativa na avaliação dos tratamentos e analisar o efeito de duas combinações de comprimento de onda para o cálculo do NDVI. Para isso, foram feitas avaliações com um sensor ótico ativo em um experimento de longa duração de rotação de culturas e preparo de solo. Os valores de NDVI não apresentaram diferença significativa entre sistemas de preparo do solo. O vigor do algodoeiro, a altura final de plantas e produtividade foram maiores quanto mais complexo o sistema de rotação de culturas. Ambas as combinações de comprimentos de onda para o cálculo do NDVI conseguiram diferenciar os sistemas de rotação de culturas. A mensuração do NDVI aos 45 DAE pode ser considerada como método alternativo para avaliar a rotação de culturas e a altura final de plantas, mas não permitiu inferir sobre a produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: NDVI, fenotipagem, comprimento de ondas, método de refletância

EFFECT OF CROP ROTATION AND SOIL TILLAGE IN COTTON PLANTS VIGOR DETERMINED THROUGH TWO VEGETATION INDEX

ABSTRACT: Crop rotation and tillage systems are being evaluated to achieve better results in the cotton. The vigor of these plants can be measured by NDVI obtaining assessments of nutritional status of plants, plant heights and yield. The aims of this work were: to evaluate the effect of crop rotation and soil tillage systems in the vigor of plants; verify if NDVI can be an alternative in the assessment of treatments and analyze the effect of two combinations of wavelength to calculate the NDVI. For such purpose, assessments were carried with an active optical sensor in an experiment of crop rotation and tillage systems. The NDVI values showed no significant differences between tillage systems. The vigor of the cotton plant, the final plant height and yield were higher as more complex the system of crop rotation. Both combinations of wavelengths to calculate the NDVI were able to differentiate crop rotation systems. The measurement of NDVI 45 DAE can be considered as an alternative method for assessing crop rotation and the final plant height, but does not allow inferences about productivity.

KEYWORDS: NDVI, fenotyping, wavelength, reflectance method

INTRODUÇÃO

O cultivo do algodoeiro é usualmente realizado em sistema de sucessão de culturas na região do Brasil central. Sistemas de rotação de culturas, que levam em consideração outras espécies de interesse econômico, vêm sendo avaliados como estratégias para melhores resultados no cultivo do algodoeiro. Um exemplo é o uso da crotalária (*Crotalaria spectabilis*), que como cultura antecessora reduz a severidade de nematoides sobre as raízes do algodoeiro resultando em aumento de produtividade (GALBIERI, et al., 2011).

Os sensores óticos ativos permitem obter indicações sobre o vigor e nutrição das culturas, havendo exemplos de seu emprego para identificar a nutrição por nitrogênio em tempo real, sem danos às culturas. Para o algodoeiro, Motomyia et al. (2012) conseguiram identificar diferentes níveis de adubação nitrogenada e obter boas correlações da produtividade com o índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN ou NDVI normalized difference vegetation index). O NDVI é obtido através da mensuração da refletância do dossel das plantas e do cálculo da razão da diferença pela soma dos comprimentos de onda na região do infravermelho próximo e do vermelho.

As leituras de NDVI podem ser influenciadas por outros fatores além da aplicação de nitrogênio (N). Vellidis et al. (2011) propondo um algoritmo para a aplicação de N em taxa variável no estado da Geórgia, nos Estados Unidos, também encontrou resposta do NDVI para aplicação de N, mas a dificuldade do desenvolvimento do algoritmo para a aplicação de N foi a presença de variabilidade no algodoeiro que não estava correlacionada com a deficiência de N e sim a outros fatores intrínsecos do solo, como a condutividade elétrica do solo. Para o algoritmo ser viável foi necessário considerar o potencial de produção de cada local e não apenas as leituras de NDVI.

O NDVI apresenta flexibilidade no seu uso, possibilitando alterar os comprimentos de onda para o seu cálculo. Zhao et al. (2007a) demonstraram a importância da seleção do comprimento de onda específico para o cálculo de índices de vegetação no algodão. Demonstraram que com a alteração dos comprimentos de onda utilizados no cálculo do NDVI, tanto na região do infravermelho próximo como para a região do vermelho, é possível aumentar a relação com o índice de área foliar das plantas e o conteúdo de clorofila no dossel das plantas.

Os objetivos do trabalho foram avaliar o efeito de diferentes sistemas de rotação de culturas e preparos de solo no vigor de plantas, altura final de plantas (AFP) e produtividade empregando o NDVI mensurado com sensor ativo; verificar se o índice pode ser utilizado como alternativa na avaliação dos tratamentos e analisar o efeito de duas combinações de comprimento de onda para o cálculo do NDVI.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento em que se tomaram as medidas foi conduzido na estação experimental da Fundação Mato Grosso, localizada no município de Itiquira, Mato Grosso, sobre um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, de textura muito argilosa, numa altitude de 490 m. O experimento está no sexto ano de condução e apresenta diversos sistemas de rotação de culturas e de plantas de cobertura de solo como antecessoras do algodão e dois sistemas de preparo de solo, convencional e direto. As culturas de interesse econômico no sistema de produção são: algodão (*Gossypium hirsutum* L.) milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*, (L.) Merrill). Enquanto que as culturas de cobertura de solo são: braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), crotalária (*Crotalaria ochroleuca*) e milheto (*Pennisetum glaucum*) (Tabela 1).

Tabela 1. Relação das culturas nos sistemas de rotação para cada tratamento

Tratamento	Preparo de solo	Rotação de culturas		
		Ano 1	Ano 2	Ano 3
1	Direto	Algodão	---	---
1	Convencional	Algodão	---	---
2	Direto	Milheto / algodão	---	---
2	Convencional	Milheto / algodão	---	---
3	Direto	Braquiária / algodão	---	---
3	Convencional	Braquiária/algodão	---	---
4A, 4B, 4C*	Direto	Crotalária/algodão	Milheto / algodão	Soja / milho+braquiária
4A, 4B, 4C*	Convencional	Crotalária/algodão	Milheto / algodão	Soja / milho+braquiária
5A, 5B*	Direto	Milheto / algodão	Soja / milho	---
5A, 5B*	Convencional	Milheto / algodão	Soja / milho	---
6A, 6B, 6C*	Direto	Milheto / algodão	Soja / crotalária	Milho + braquiária
6A, 6B, 6C*	Convencional	Milheto / algodão	Soja / crotalária	Milho + braquiária

*As letras A, B e C representam os mesmos tratamentos, mas em ano de rotação diferentes

O preparo de solo é realizado antes da semeadura da cultura de cobertura, anualmente, com uma grade aradora. A semeadura das plantas de cobertura foi realizada em 01/10/2013 e a dessecação desses em 04/12/2013. A semeadura do algodão (TMG 81 WS) foi realizada no dia 19/12/2013 com um espaçamento de 0,9 m entre fileiras almejando uma população final de 90000 plantas ha⁻¹. A adubação do algodoeiro é mesma para todos os tratamentos, independente do sistema de rotação. As aplicações de herbicida, inseticida e fungicida foram feitas assim que houve necessidade. As parcelas possuem uma largura de 10 m e comprimento de 45 m. O delineamento experimental utilizado é de blocos ao acaso com três repetições.

O vigor de plantas de algodoeiro foi avaliado com um sensor ótico ativo terrestre (Crop Circle® ACS-470, Holland Scientific, Inc. Lincoln, NE, EUA) aos 45 DAE. Esse é um sensor multiespectral portátil, que permite calcular a refletância de três comprimentos de onda simultaneamente. A partir dos valores de refletância, é possível fazer o cálculo do NDVI (equação 1). Os comprimentos de onda utilizados na avaliação foram centrados em 670 nm, 700 nm e 760 nm. Com largura de banda de ±11 nm, ±20 nm e ±20 nm, respectivamente. O primeiro comprimento de onda está na região do vermelho, do espectro de ondas, o segundo em uma região de transição entre o vermelho e o infravermelho próximo, enquanto que o terceiro está na região do infravermelho próximo. A partir dos dados de refletância, foi calculado o NDVI₆₇₀ utilizando o comprimento de onda de 670 nm e o NDVI₇₀₀ com o comprimento de onda de 700 nm.

$$NDVI = \frac{IV_r - V_r}{IV_r + V_r} \quad (1)$$

em que,

NDVI – valor do NDVI que pode variar de -1 até +1

IV_r - refletância do comprimento de onda do infravermelho próximo

V_r - refletância do comprimento de onda de 670 nm ou 700 nm

As leituras foram feitas de forma manual em quatro fileiras de cada parcela com o sensor posicionado a 1,00 m do dossel das plantas, com frequência de coleta de dados de 10 Hz. A velocidade média de deslocamento foi de 1,6 m s⁻¹, obtendo-se em média 1080 leituras para

cada parcela avaliada. Houveram diferenças em cobertura do solo pela palha em função do tratamento avaliado, entretanto considerou-se este efeito desprezível dado que já ocorria o fechamento das entrelinhas pelas plantas. Na fase de processamento dos dados eliminaram-se valores discrepantes com refletância igual ou abaixo de zero.

A colheita foi realizada entre os dias 23/06/2014 e 27/06/2014 em uma área de 31,5 m² da parcela obtendo-se a produtividade de algodão em caroço. Foi feita uma avaliação adicional de AFP em dez plantas da parcela de colheita. Os dados de NDVI, AFP e produtividade foram submetidos à análise de variância e na ocorrência de efeito significativo no teste F ao nível de 5 % de probabilidade, procedeu-se a comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. A partir dos dados de produtividade e AFP foram obtidas correlações de Pearson e ajustes de regressão lineares com as leituras de NDVI.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de NDVI utilizando o comprimento de onda de 670 nm foram numericamente superiores do que quando se utilizou o comprimento de onda de 700 nm. Isso acontece devido ao comportamento espectral da refletância de materiais vegetais saudáveis. Quanto mais se afasta da região do vermelho, que é um comprimento de onda muito absorvido pelas clorofilas das folhas para o processo da fotossíntese, para a região do infravermelho próximo mais se elevam os valores de refletância. Os comprimentos de onda na região do infravermelho não são absorvidos pela clorofila para a fotossíntese, assim, eles são refletidos principalmente pela diferença de partículas no mesófilo das folhas. (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007). Não houve efeito do preparo de solo sobre o NDVI calculado com ambos os comprimentos de onda (Figura 1). Esse fato pode ter ocorrido porque algumas espécies de cobertura como milho e braquiária aprofundam os seus sistemas radiculares, anulando um possível efeito negativo de maior densidade dos solos no sistema de semeadura direta (TAVARES FILHO et al. 2012). A produtividade de algodão também não apresentou diferença entre os métodos de preparo de solo. Entre as variáveis mensuradas, a AFP foi a única que apresentou diferença entre os métodos de preparo de solo (Figura 3).

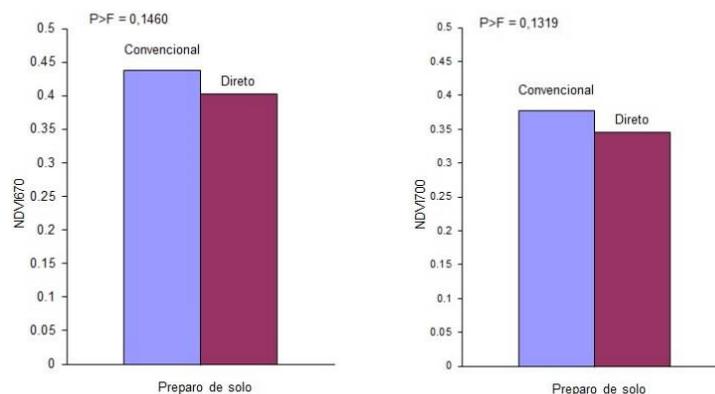


Figura 1. Efeito do preparo do solo sobre o NDVI670 e NDVI700

Os valores de NDVI para ambos os comprimentos de onda, apresentaram o mesmo resultado na identificação das rotações de culturas, além de apresentarem uma correlação forte entre eles (Tabela 2). Isso permite uma maior flexibilidade no uso dos sensores óticos ou de imagens de satélite, quando não é possível obter a refletância no comprimento de onda do vermelho. O uso de comprimento de onda maior, em substituição ao do vermelho, apresenta a vantagem de menor saturação nas leituras, recorrente em culturas com índice de área foliar

elevado, como o algodão. Em concordância ao observado visualmente no experimento, nos tratamentos em que havia sistemas de rotação de culturas, o NDVI inicial do algodão foi superior ao mensurado nos tratamentos em que o cultivo foi realizado sem plantas de cobertura. Embora não tenha apresentado diferença significativa, houve uma tendência do NDVI de plantas ser maior quanto maior a complexidade do sistema de rotação de culturas. O monocultivo de algodão sem plantas de cobertura apresentou menores valores de NDVI, seguido daquele em que se emprega apenas a Braquiária como cobertura.

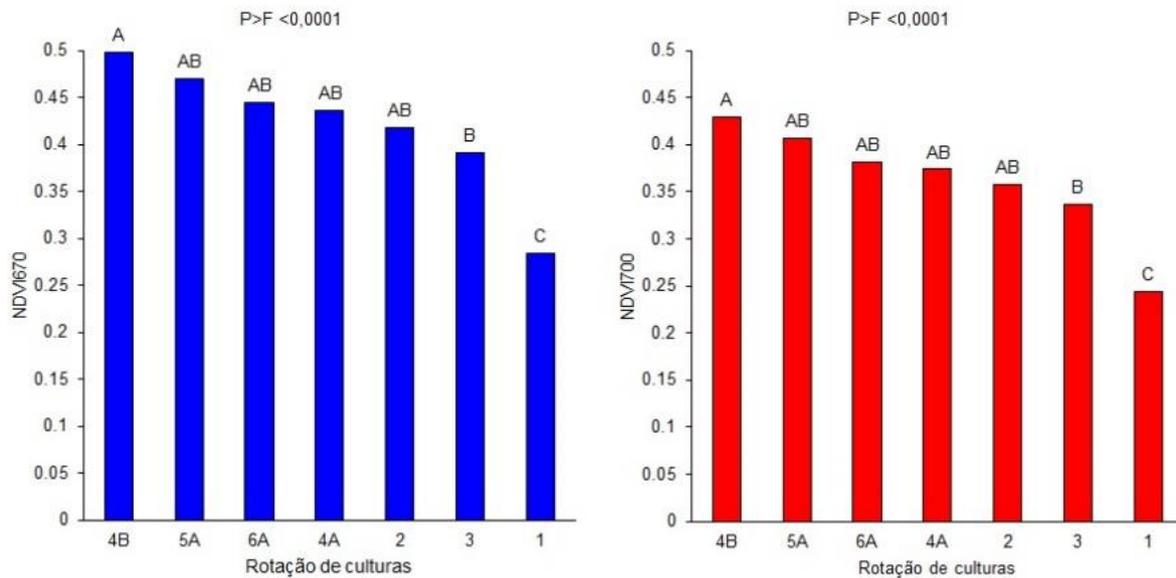


Figura 2. Efeito dos diferentes sistemas de rotação de cultura no valor do NDVI670 e NDVI700, letras iguais não diferem ao teste de Tukey ao nível de 5 % de significância

Para o tratamento quatro, que apresenta a mesma complexidade na rotação de culturas, porém sobre duas culturas de cobertura distintas, milho (4B) e crotalária (4A), não houve diferença significativa sobre os valores de NDVI. O efeito da rotação de culturas no vigor de plantas foi o mesmo independente da cultura de cobertura de solo. O uso de uma ou outra cultura estaria condicionado à facilidade de implantação e sua eficiência quanto ao manejo de nematoides.

Tabela 2. Correlações obtidas com os dados de NDVI, AFP e produtividade.

Parâmetro	Parâmetro			
	AFP	Produtividade	NDVI 670	NDVI 700
AFP	1	-	-	-
Produtividade	0,48	1	-	-
NDVI 670	0,71	0,32	1	-
NDVI 700	0,71	0,32	0,99	1

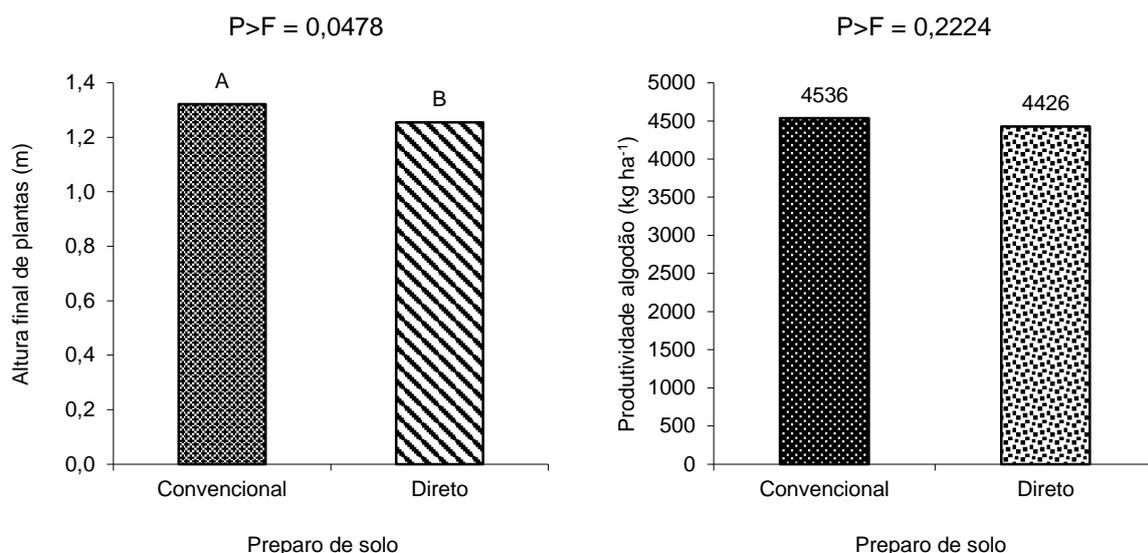


Figura 3. Efeito do preparado de solo na AFP e produtividade do algodão, letras iguais não diferem ao teste de Tukey ao nível de 5 % de significância

A correlação entre os índices de vegetação aos 45 DAE e a produtividade apresentou valor moderado. Esse resultado corrobora o que foi apresentado por Motomyia et al. (2012), que apresentou correlação fraca entre produtividade e NDVI aos 41 DAE. A correlação entre NDVI e produtividade foi forte quando a leitura foi feita aos 56 DAE, sendo esse o valor máximo de correlação obtido entre produtividade e NDVI. Reddy et al. (2004) obtiveram uma correlação significativa entre NDVI e a produtividade de algodão quando o algodão estava acima dos 50 DAE. Zhao et al. (2007b) em uma avaliação com vários índices de vegetação, alguns deles hiperespectrais não correlacionou a produtividade com os índices de vegetação antes dos 50 DAE. As correlações entre os índices de vegetação com a produtividade só foram significativas entre 50 a 100 DAE. A baixa correlação entre produtividade e NDVI aos 45 DAE está provavelmente relacionada ao baixo índice de área foliar em que o algodoeiro apresenta no momento da avaliação (ZHAO et al. 2007b).

Tabela 3. Coeficientes lineares, angulares, coeficiente de determinação (R^2) e significância dos ajustes lineares da análise de regressão entre AFP e produtividade com ambos NDVI calculados.

Parâmetro	NDVI 670				NDVI 700			
	C. angular*	C. linear*	R^2	Prob > t	C. angular*	C. linear*	R^2	Prob > t
AFP	116,5	79,4	0,50	<0,0001	133,5	80,1	0,51	< 0,0001
Produtividade	1316,2	3937,4	0,10	0,0395	1493,1	3950,9	0,10	0,0403

*C. angular e C. linear representam os coeficientes angulares e lineares dos ajustes de regressão respectivamente, R^2 representa o coeficiente de determinação da regressão, Prob > t representa a probabilidade da análise de regressão ser significativa ao teste t de Student

De modo semelhante ao apresentado pelo NDVI, a produtividade de algodão foi maior, quanto mais complexo o sistema de rotação de culturas, contudo as diferenças de produtividade entre os sistemas de rotação de cultura não foi a mesma diferença apresentada pelo NDVI aos 45 DAE. Para o tratamento quatro, a produtividade apresentou diferença entre as culturas de cobertura anteriores (Figura 4) e essa diferença não foi apresentada pelo NDVI. A escolha da planta de cobertura afeta a produtividade do algodoeiro e não foi possível identificar essa

diferença até os 45 DAE, possivelmente o efeito de uma planta de cobertura diferente da outra seja mais perceptível quando o ciclo da cultura estiver mais próximo do fim. O resultado demonstra que com uma avaliação de NDVI aos 45 DAE do algodão não é possível inferir sobre a produtividade, sendo essa uma avaliação equivocada e precoce (Tabela 3).

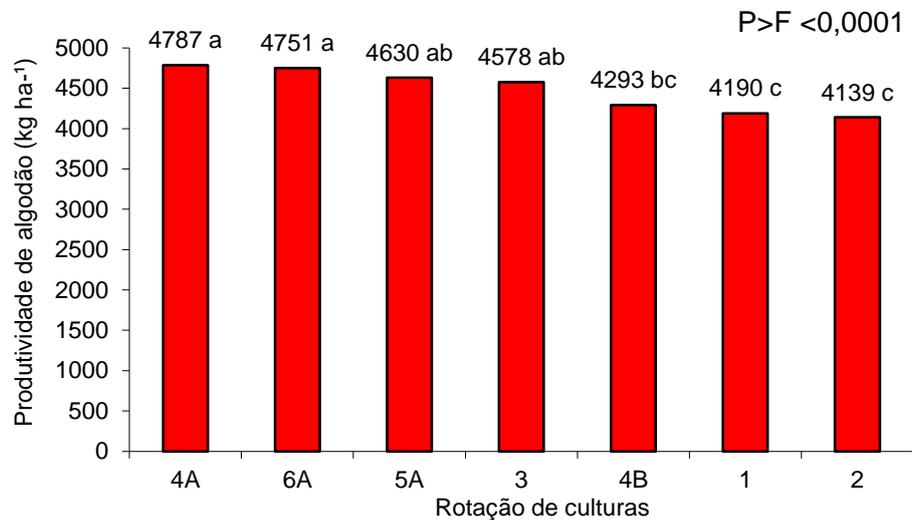


Figura 4. Efeito dos diferentes sistemas de rotação de culturas na produtividade, letras iguais não diferem ao teste de Tukey ao nível de 5 % de significância

A AFP também apresentou o mesmo comportamento que as leituras de NDVI e a produtividade, sendo que sistemas de rotação de cultura mais complexos apresentaram maiores valores de AFP. Foi obtida uma correlação moderada com a produtividade, enquanto que para os índices de vegetação os valores de correlação apresentados foram fortes. A correlação forte entre AFP e NDVI aos 45 DAE possibilita o uso do NDVI como ferramenta para manejo de reguladores de crescimento no algodoeiro. Vellidis et al. (2009) utilizou o NDVI em leituras antes dos 50 DAE para demarcar regiões para a aplicação diferenciada de controlador de crescimento no algodoeiro, com economia na aplicação do insumo. A aplicação de regulador de crescimento apresentou uma economia de 7% em relação à aplicação uniforme em três talhões.

Em todas as avaliações realizadas no ciclo do algodão, NDVI, AFP e produtividade, os sistemas de rotação de culturas foram positivos ao algodoeiro. Isso mostra que para um desenvolvimento de uma agricultura sustentável para o algodoeiro, o sistema de rotação de culturas se torna uma técnica importante para o produtor.

Uma avaliação de NDVI aos 45 DAE permite obter uma correlação forte com AFP, podendo-se explorar esses índices para o manejo de regulador de crescimento, mas não foi possível obter correlação com a produtividade, sendo uma leitura precoce para esse propósito.

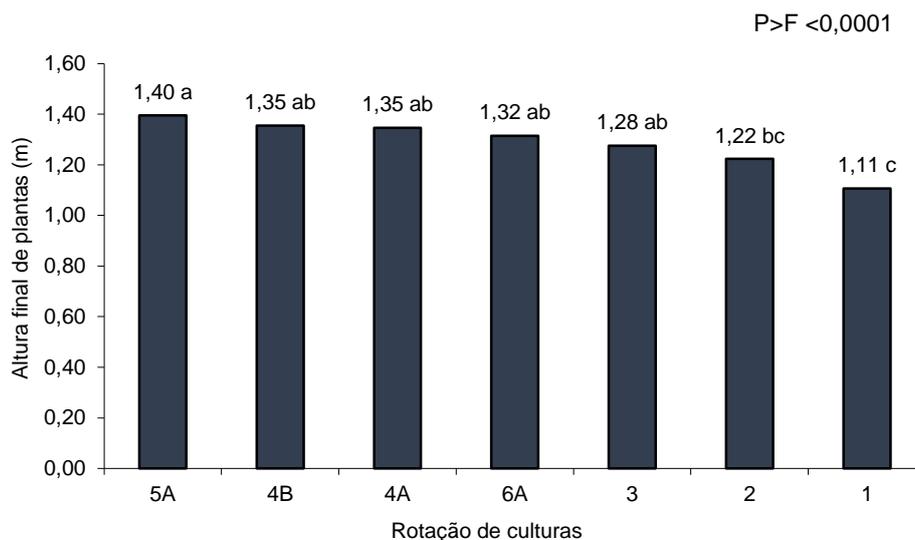


Figura 5. Efeito dos diferentes sistemas de rotação de culturas na AFP, letras iguais não diferem ao teste de Tukey ao nível de 5 % de significância

CONCLUSÕES

O NDVI não apresentou diferença significativa nos diferentes sistemas de preparo de solo. O vigor do algodoeiro, a AFP e produtividade foram maiores quanto mais complexo o sistema de rotação de culturas avaliado. Ambas as combinações de comprimentos de onda na região do vermelho para o cálculo do NDVI conseguiram diferenciar de forma semelhante os sistemas de rotação de culturas. A mensuração do NDVI de plantas de algodão aos 45 DAE pode ser considerado como método alternativo para avaliar a AFP, mas não permitiu inferir sobre a produtividade do algodoeiro.

REFERÊNCIAS

- GALBIERI, R.; FUZZATTO, M. G.; CIA, E.; WELTER, A. M.; FANAN, S. Desempenho de genótipos de algodoeiro na presença ou não de rotação de cultura com *Crotalaria spectabilis*, em área infestada com *Meloidogyne incognita*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 303-307, Out. 2011.
- MOTOMIYA, A. V. de A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BISCARO, G. A. Diagnose nutricional com o uso de sensor óptico ativo em algodoeiro. **Revista brasileira engenharia agrícola ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 11, p 1159-1165, Nov. 2012.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007.
- REDDY, K., R.; ZHAO, D.; KAKANI, V. G.; READ, J., J.; SAILAJA, R. Estimating cotton growth and development parameters through remote sensing. In: SPIE Ecosystems' Dynamics, Agricultural Remote Sensing and Modeling and Site Specific Agriculture, 2004, San Diego. **Proceeding...** San Diego, 2004. p. 277-288.

TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; CURMI, P.; TESSIER, D. Physical properties of an Alfisol and no-till soybean yield. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 253-260, Feb. 2012.

VELLIDIS, G.; ORTIZ, B.; RITCHIE, G.; PERISTEROPOULOS, A.; PERRY, C.; RUCKER, K. Using GreenSeeker® to drive variable rate application of plant growth regulators and defoliant on cotton. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 7th, Wageningen. **Proceedings...** Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2009, p. 55-72.

VELLIDIS, G.; SAVELLE, H.; RITCHIE, R. G.; HARRIS, G.; HILL, R.; HENRY, H.; NDVI response of cotton to nitrogen application rates in Georgia, USA. 2011. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 8th, Prague. **Proceedings...** Prague: PRECISION AGRICULTURE, 2011, p. 358-368.

ZHAO, D.; HUANG, L.; LI, J; QI, J. A comparative analysis of broadband and narrowband derived vegetation indices in predicting LAI and CCD of a cotton canopy, **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 62, n. 1, p. 25-33, May. 2007a.

ZHAO, D.; REDDY, K. R.; KAKANI, V. G.; READ, J. J.; KOTI, S. Canopy reflectance in cotton for growth assessment and lint yield prediction, **European Journal of Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 335-344, April, 2007b.