

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

HELOISA BUENO DE SOUZA

**REGULADOR DE CRESCIMENTO E MATURADOR VEGETAL EM TAXA
VARIÁVEL NA CULTURA DO ALGODOEIRO**

CHAPADÃO DO SUL – MS
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

HELOISA BUENO DE SOUZA

**REGULADOR DE CRESCIMENTO E MATURADOR VEGETAL EM TAXA
VARIÁVEL NA CULTURA DO ALGODOEIRO**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

Co- Orientador: Prof. Dr. Hélio Ricardo Silva

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia, área
de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS
2014



Ministério da Educação
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul**
Câmpus de Chapadão do Sul



CERFIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Heloisa Bueno de Souza

ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Fábio Henrique Rojo Baio

**REGULADOR DE CRESCIMENTO E MATURADOR VEGETAL EM
TAXA VARIÁVEL NA CULTURA DO ALGODOEIRO**

Prof.(a) Dr.(a) Presidente Fabio Henrique Rojo Baio

Prof.(a) Dr.(a) Aguinaldo Jose Freitas Leal

Prof.(a) Dr.(a) Fernando Mendes Lamas

Chapadão do Sul, 11 de Dezembro de 2014.

DEDICATÓRIA

*A Deus por estar sempre me abençoando e me amparando nos momentos difíceis.
A toda minha família, especialmente minha mãe Darlene por todo amor, carinho,
dedicação fazendo dos meus sonhos realidade, ao meu pai Manuel pelo apoio e
carinho, às minhas irmãs Eliane e Hérica pelo apoio incondicional durante minha
jornada e ao meu sobrinho Davi por me proporcionar dias melhores.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente ao meu professor e orientador Fábio Henrique Rojo Baio pela oportunidade de trabalharmos juntos, pelas orientações, confiança e por todo conhecimento compartilhado durante todo desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais Darlene e Manuel e irmãs Eliane e Hérica pelo apoio indispensável em todos os momentos.

Aos amigos André e Otieres por me ajudarem em etapas importantes do trabalho.

Ao engenheiro agrônomo Danilo e ao técnico Jorge da Fazenda Amanbaí pela paciência, disponibilidade, cooperação, acesso e confiança.

Aos alunos de agronomia pelo apoio durante as coletas de dados em campo.

A todos os professores e funcionários da UFMS que contribuíram para realização de diversas etapas deste trabalho.

A CAPES e a Fundect pelo aporte financeiro.

RESUMO

SOUZA, Heloisa Bueno. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Avaliação de índices de vegetação na cultura do algodoeiro.

Professor Orientador: Fábio Henrique Rojo Baio.

O investimento em tecnologias na área de agricultura de precisão está em ascendente expansão, e uma dessas tecnologias é o desenvolvimento de sensores de índices de vegetação com diferentes tipos de obtenção de dados. Este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de diferentes sensores na obtenção de índices de vegetação na cultura do algodoeiro. O Índice de Vegetação (IV) dado pelo sensor ativo N-sensor foi utilizado como base para avaliação do efeito aplicação em taxa variável (VRT) de regulador de crescimento e de maturador. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) dado pelo sensor ativo Greenseeker® (GS) e pelo sensor passivo da câmara multiespectral Tetracam® (TCAM) foram correlacionados com dados fenológicos do algodoeiro. O trabalho foi realizado em área de algodão na Fazenda Amambaí no município de Chapadão do Céu, GO na safra 2013/14. As coordenadas geográficas correspondentes são: 18° 21' S e 52° 37' O. Também foram avaliadas três aplicações em taxa variável de acordo com classes formadas pela interpolação dos dados de índice de vegetação. Foram analisadas as correlações entre os índices fenológicos da cultura do algodoeiro com o NDVI de diferentes sensores ativo e passivo. A utilização do IV para divisão de zonas de manejo e a aplicação em VRT no algodão obteve resultados estatisticamente adequados. Houve diferença de correlação entre os sensores ativo GS e passivo TCAM.

PALAVRAS-CHAVE: NDVI, Greenseeker, N-Sensor, Tetracam

ABSTRACT

The investment in technologies in precision farming area is in an upward expansion, and one such technology is the development of vegetation indices sensors with different types of data collection. This study aimed to evaluate the use of different sensors to obtain vegetation indices on cotton crop. The Vegetation Index (VI) given by the active sensor N-sensor was used to evaluate the effect of the variable rate technology (VRT) application of growth regulator and ripening agent. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) given by Greenseeker[®] active sensor (GS) and by the multispectral camera Tetracam[®] (TCAM) passive sensor were correlated with phenological cotton data. The work was carried in a cotton field at Amambaí Farm in Chapadao do Ceu, GO, in 2013/14 crop season. The corresponding geographical coordinates are 18 ° 21 'S and 52 ° 37' W. Three variable rate applications were evaluated according to classes formed by the interpolation procedure of vegetation index data. Correlations between phenological indices of cotton crop and NDVI were performed by the use of active and passive sensors. The use of VI to the management zones division and the VRT application achieved appropriate results statistically. There was difference over the correlation between the data from GS active and TCAM passive sensors.

Souza, Heloisa Bueno. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Vegetation index evaluation on cotton crop.

Author: Heloisa Bueno de Souza.

Adviser: Fábio Henrique Rojo Baio.

KEYWORDS: NDVI. GreenSeeker. N-Sensor. Tetracam

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Sensoriamento Remoto.....	11
2.2 Sensores Terrestres e Imagens Aéreas.....	13
2.3 Regulador de crescimento e maturador vegetal no algodoeiro	14
2.4 Aplicação localizada de insumos.....	15
REFERÊNCIAS.....	17
CAPÍTULO 1 - Aplicação de regulador de crescimento e maturador vegetal em taxa variável na cultura do algodoeiro	21
Resumo	21
1 INTRODUÇÃO	22
2 MATERIAIS E MÉTODOS	24
2.1 Local do Experimento.....	24
2.2 Divisão das classes.....	25
2.3 Medições de campo e procedimento de amostragem.....	26
2.4 Aplicação em taxa variável (VRT)	28
2.5 Avaliação estatística.....	29
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.1 Divisão das classes.....	30
3.2 Aplicação em VRT e avaliação dos parâmetros da cultura	30
4 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS.....	38
CAPÍTULO 2 – USO DE SENSORESDE NDVI PASSIVO E ATIVONA CORRELAÇÃO COM ÍNDICES FENOLÓGICOS NO ALGODOEIRO.....	43
1 INTRODUÇÃO	45
2 MATERIAL E MÉTODOS	46
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
Sensores	51
4 CONCLUSÕES	55

AGRADECIMENTOS.....	55
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro é uma planta de ciclo indeterminado, podendo chegar até aos duzentos dias, sendo seu desenvolvimento bastante complexo por acontecer competições por fotoassimilados entre a fase vegetativa e a reprodutiva.

A aplicação de regulador de crescimento visa o controle do crescimento vegetativo, favorecendo o desenvolvimento reprodutivo. Ao final do ciclo a uniformização da abertura de maçãs das plantas é importante para obter sucesso na colheita e melhor beneficiamento das fibras. Assim a aplicação de maturador pode contribuir com esse processo.

Na maioria dos sistemas de produção diversos são os fatores que os definem. As variações de solo, topografia, e incidência de pragas e plantas daninhas resultam em diferenças de vários fatores inerentes à cultura relacionados ao crescimento e produtividade, ainda que no mesmo talhão. Esse fato é bem conhecido, entretanto, as práticas agrícolas tradicionalmente são empregadas de modo uniforme, baseadas em recomendações que seguem uma média para o talhão. Nas últimas décadas vêm ocorrendo o desenvolvimento de tecnologias e princípios para gerenciar a variabilidade espaço-temporal de atributos da produção, com a finalidade de melhorar a eficiência produtiva e aperfeiçoar o uso de insumos (KEMERER, 2011). Esse conjunto de estratégia e ações é frequentemente denominado de agricultura de precisão (AP). Nas diversas fases da AP, o levantamento de dados é o que fornece suporte para uma boa interpretação da variabilidade espacial. As técnicas de sensoriamento remoto têm se mostrado uma relevante alternativa na coleta de dados em AP. Segundo Steven 2004, o desenvolvimento de sensores ativos de NDVI fornece maior independência de condições climáticas e flexibilidade no levantamento de dados.

Uma das ferramentas em AP é a aplicação de insumos agrícolas em taxas variáveis. Suas prescrições podem ser provenientes de recomendações baseadas em análises de solo ou mapas de produtividade, como também podem ser provenientes de monitoramento com sensores visando a aplicação em tempo real. Técnicas de sensoriamento remoto, como a utilização de sensores remotos ativos ou passivos, têm sido utilizadas para estimar a taxa fotossintética das plantas pela diferença de reflectância, facilitando a divisão de zonas para a realização de aplicação localizada.

Existem no mercado diversos sensores óticos disponíveis como: N-Sensor, Greenseeker, Tetracam, utilizados em diferentes culturas para estimar “massa vegetal”, a produtividade e a aplicação em tempo real de insumos como o nitrogênio, o regulador de crescimento e o maturador. Assim, há diferentes sensores de NDVI e de outros índices de vegetação, com diferentes resoluções espaciais e diferentes resoluções espectrais, levando a incertezas na aplicação mais adequada desses índices na tecnologia em agricultura de precisão.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de diferentes sensores na obtenção de índices de vegetação na cultura do algodoeiro e o potencial de desses sensores para a recomendação de regulador de crescimento e maturador vegetal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sensoriamento Remoto

A ciência do sensoriamento remoto envolve a obtenção de informações sobre determinado alvo, por meio da análise de dados coletados por sensores terrestres, aéreos ou instalados em satélites (STEVEN, 2004; NOVO, 2010). De acordo com Molin (1997), o sensoriamento consiste em medir com a devida precisão as quantidades que definem a variabilidade e que normalmente dizem respeito à cultura e ao solo.

Segundo Schlemmer et al. (1999) a reflectância nas bandas do verde e do vermelho está normalmente associada com as clorofilas, enquanto que a reflectância da região do infravermelho próximo está fortemente relacionada com a estrutura celular e cobertura foliar das culturas. As folhas são verdes por refletirem a maior parte da luz verde, absorvendo a energia das outras porções do visível. Plantas saudáveis normalmente refletem grande parte da radiação da região do infravermelho (SHARP, 2002).

Vários índices de vegetação têm sido utilizados para identificar taxas fotossintéticas de plantas, a partir dos valores de reflectância espectral da cultura, tais como, NDVI – Índice de Vegetação por diferença normalizada; SAVI - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo; EVI ou AVI – Índice de Vegetação Ajustado; IV – Índice de Vegetação (WOEBBECKE et al., 1995).

O NDVI é um índice bastante utilizado em pesquisas com uso de imagens multiespectrais e sensores, tendo sua representação gráfica descrita em diversos trabalhos (SALVADOR, 2005 e WANT et al., 2012) como mostra a equação abaixo.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Equação 1

onde:

NDVI = Índice de Vegetação com Diferença Normalizada, adimensional, varia de -1 a +1;

NIR = refletância no comprimento de onda na faixa do Infravermelho próximo

R = reflectância no comprimento de onda na faixa do vermelho.

O índice de vegetação pelo sensor N-sensor foi desenvolvido visando a realização de aplicações de insumos em tempo real e vêm sendo avaliado em cana-

de- açúcar por Portz (2011) e Amaral et al. (2014). Esse índice é baseado no valor da reflectância espectral nos comprimentos de onda do infravermelho próximo, geralmente determinada pela posição do ponto de conversão do comprimento de onda do vermelho (R) para o infravermelho próximo (IR), entre os valores 680 – 750 nm, denominado de borda do vermelho por Shafri et al. (2006) e Weis e Sökefeld, (2010). A função principal desse índice é detectar a diferença de reflectância para estimar a taxa fotossintética da planta, como mostrado na Equação 2 (JASPER et al., 2009).

$$IV = (\ln \rho_{760} - \ln \rho_{730}) * 100$$

Equação 2

Onde:

IV = Índice de vegetação;

ln = Logaritmo natural;

ρ_{760} = Reflectância do comprimento de onda 760 nm;

ρ_{730} = Reflectância do comprimento de onda 730 nm.

Para Schlemmer et al. (1999), uma aplicação comum é o uso de índices de vegetação com base na combinação de comprimentos de bandas, sendo os mais comuns desses índices os que comparam porções do espectro do visível (nas bandas do vermelho e verde) com o infravermelho próximo. Estas combinações de comprimentos de onda são extremamente sensíveis às variações na cobertura foliar das culturas e condição de vigor da vegetação.

Existem diversos fatores que interferem na obtenção dos índices de vegetação e que, para as mesmas condições de superfície, podem conduzir a valores diferentes. Esses fatores podem ser separados em dois grupos: fatores relacionados com a superfície observada e fatores relacionados com o processo de obtenção dos dados (SCHLEMMER et al., 1999).

Moreira (2000) relata que fatores relacionados com a superfície observada incluem os aspectos intrínsecos à vegetação, que influenciam as medidas espectrais dos sensores. Fatores relacionados com o processo de obtenção dos dados envolvem as características da construção do sensor, como a largura e o posicionamento das bandas e a calibração do equipamento, bem como a geometria de iluminação do Sol e de visada do sensor e os efeitos atmosféricos.

2.2 Sensores Terrestres e Imagens Aéreas

A aquisição de dados com sensores terrestres é menos dependente do clima; a coleta de dados pode ser feita aproveitando outras operações agrícolas e os dados são disponibilizados logo em seguida, não sendo necessário esperar o seu processamento (STEVEN, 2004).

Para Want et al. (2012), a utilização de classes de rendimento de arroz pelo uso de sensoriamento remoto ajudou a determinar locais apropriados para amostragem do solo e da planta. De acordo com Porz et al. (2011) os dados recolhidos por sensor de NDVI foram capazes de detectar a variação de biomassa da cana de açúcar e N acumulado ao ser afetado por características de variedade, tipo de solo e sazonais condições de crescimento. Walsh et al. (2012) utilizaram sensor de NDVI para estimar a biomassa de trigo avaliando potencial de produção e rendimento de grãos no inverno, concluindo que o NDVI pode ser um preditor de rendimento de grão de trigo.

Povh (2007) encontrou maior correlação entre o índice de vegetação NDVI do sensor GreenSeeker[®] do que os índices de vegetação de imagens do satélite Quickbird II e imagens aéreas, para a quantidade de nitrogênio aplicada na época da semeadura, quantidade de nitrogênio presente na folha bandeira (última folha emitida pela planta), produtividade e teor de proteína em grãos de trigo.

Wright et al. (2005) analisando fotografias aéreas e imagens de satélite encontraram menor correlação com as variáveis da cultura do trigo do que sensores terrestres, além de não ser possível obter sempre as imagens de satélite com a qualidade desejada devido às condições climáticas, como a presença de nuvens.

De acordo com Yang et al. (2001), imagens aéreas multiespectrais têm a capacidade de fornecer informações contínuas e estreitas entre as bandas espectrais nas regiões do espectro eletromagnético do visível, infravermelho próximo (*near-infrared*, NIR) e infravermelho médio (*mid-infrared*, MIR). Os autores realizaram estudo com uma câmera digital infravermelha colorida para adquirir imagens aéreas durante três fases do algodoeiro: antes da floração, na produção de maçãs e na maturação das maçãs; também foram realizadas observações no campo sobre as plantas, sendo possível concluir que o uso de imagens pode ser útil no mapeamento de atributos físicos das plantas e sua produtividade, sendo este sistema eficaz na determinação de zonas de manejo.

Samseemoung et al. (2012) trabalhando com sensoriamento de soja em baixa altitude de captação de imagem em diferentes plataformas, o guindaste (estável) e o veículo aéreo não tripulado (instável), observaram que as imagens com maior qualidade foram aquelas acopladas no guindaste a 5 m, devido a sua maior estabilidade.

Segundo Salvador e Antuniassi (2011), com a geração de classes de NDVI é possível tomar decisões relacionadas à aplicação localizada de insumos como nitrogênio, reguladores de crescimento e desfolhantes, obtendo 81 % de acerto.

2.3 Regulador de crescimento e maturador vegetal no algodoeiro

A planta do algodoeiro é considerada por vários autores como umas das plantas de fisiologia mais complexa entre as cultivadas pelo homem. O sucesso na exploração dessa espécie depende de adoção de varias estratégias que reconheçam características singulares da cultura e do ambiente agrícola (BELTRÃO et al., 1997; AZEVEDO et al., 2004).

O algodão é uma espécie perene, com hábito de crescimento indeterminado, em constante emissão de estruturas reprodutivas após período vegetativo, podendo encontrar em uma determinada fase do ciclo botões, flores, frutos e capulhos (ROSOLEM, 2001).

Para se obter uma planta de algodoeiro com características ideais para colheita mecanizada, a utilização de reguladores de crescimento é uma técnica muito empregada, pois podemos adequar o tamanho da planta de acordo com a colheitadeira a ser utilizada (ECHER et al., 2014).

Para Lamas e Ferreira (2006), em algumas situações, tais como condições climáticas favoráveis e adequada disponibilidade de nutrientes, o algodoeiro pode ter crescimento vegetativo excessivo, podendo contribuir para a obtenção de baixas produtividades em razão não só da demanda de nutrientes pela parte vegetativa da planta e o auto sombreamento, bem como pelas dificuldades existentes na execução dos tratos culturais e fitossanitários e ainda na operação de colheita.

A utilização de reguladores vegetais é uma das estratégias agrônômicas para a manipulação da arquitetura das plantas, que pode contribuir para o aumento da produtividade (HODGES et al., 1991). Segundo Taiz e Zeiger (2004), a ação do

regulador se dá pela inibição da síntese de giberilinas nas plantas, hormônio que tem a função de divisão e expansão das células. O cloreto de mepiquat inibe uma das enzimas que está envolvida na biossíntese de ácido giberélico, a caureno sintase.

Outra técnica utilizada é a aplicação de maturador vegetal para uniformizar a abertura das maçãs, facilitando a colheita. De acordo com Echer et al. (2014), a utilização de maturador vegetal na cultura do algodoeiro uniformiza a abertura de maçãs reduzindo a umidade da fibra e das sementes permitindo um melhor beneficiamento do produto. Com ciclo de cerca de 200 dias na região Central do Brasil (Cerrado) há formação de maçãs na planta dos 70 até 140 dias após emergência. Com a diferença de idade das maçãs formadas, torna-se necessário o uso de maturador a base de hormônios sintéticos para acelerar abertura das últimas maçãs formadas no ápice das plantas ou dos ramos. Além disto, apresentam como ação secundária o estímulo à abscisão foliar, outro fator positivo (RITCHIE et al., 2004), facilitando a colheita e reduzindo as impurezas na pluma.

Embora os produtos utilizados como maturadores tenham algum efeito como desfolhante, o objetivo da sua aplicação é acelerar a maturação e a conseqüente abertura dos frutos. (ROSOLEM, 2001)

2.4 Aplicação localizada de insumos

A agricultura de precisão baseada no conhecimento da variabilidade espacial e temporal de uma lavoura administra as operações de manejo de forma que os insumos sejam ajustados localmente, em nível adequado permitindo a uniformidade da produção, minimizando custos de produção e dos impactos ambientais (SALVADOR, 2005).

Através da agricultura de precisão é possível a identificação de zonas de manejo a campo e a geração de mapas de prescrição para as atividades de aplicação localizada de insumos baseada na variabilidade dos fatores de produção (ANTUNIASSI, 2000).

Segundo Baio e Antuniassi (2011), a aplicação localizada de defensivos pode ser realizada de duas maneiras: a primeira aplicação com uso de mapas de prescrição, na qual a identificação das zonas de manejo é realizada em uma

primeira etapa pela coleta e análise de informações para elaboração de um mapa georreferenciado, sendo a aplicação localizada do defensivo feita posteriormente. A segunda pela aplicação em tempo real ou instantânea, na qual a detecção ou identificação do alvo é feita por sensores durante o deslocamento do equipamento de pulverização dentro da área ao mesmo tempo em que a aplicação do defensivo é realizada somente sobre os pontos desejados.

De acordo com Antuniassi (2000), a variação do volume é realizada pela variação da pressão de aplicação, que pode ser realizada com um conjunto de bicos na barra (com variação máxima de vinte por cento do volume aplicado) ou com dois conjuntos de bicos com vazões diferentes (permitindo uma ampla variação do volume aplicado). Na aplicação de taxas zero ou total o volume de calda e a dose de defensivos são mantidos constantes e a aplicação somente ocorre nos locais onde existe um alvo (como manchas de plantas daninhas, presença de insetos, etc), sendo desligada quando o pulverizador se desloca em áreas sem alvos.

Resalta-se que é importante o planejamento da pulverização que inclui a determinação da velocidade, do volume de calda e do tamanho das gotas, mantendo-se a variação dentro da faixa possível em que ocorre a manutenção do tamanho das gotas (BAIO; ANTUNIASSI, 2011).

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L.; R.; MOLIN, J. P.; PORTZ, G.; FINAZZI, F.; B.; CORTINOVE, L. Comparison Of Crop Canopy Reflectance Sensors Used To Identify Sugarcane Biomass And Nitrogen Status. **Precision Agriculture**, n.2, p.77-93, 2014.
- ANTUNIASSI, U. R.; GADANHA JÚNIOR, C. D. Aplicação localizada de produtos fitossanitários. In: BORÉM, A.; **Agricultura de precisão**. Viçosa - UFV, 2000. p. 181-202.
- AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N.E. de M.; SEVERINO, L.S. **Uso de desfolhantes, maturadores e dessecantes na cultura do algodoeiro irrigado**. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, n.78. p. 7, 2004. (Circular Técnica).
- BAIO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. R. Sistema de controle eletrônico para pulverizadores. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Botucatu, SP, FEFAF, 2011, p123-141.
- BELTÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P.; NÓBREGA, L. B.; e SANTOS, J. W. Modificações no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo sob saturação hídrica do substrato em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n 7 p.701-707, 1997.
- DODDS, D. M.; BANKS, J. C.; BARBER, L. T.; BOMAN, R. K.; BROWN, S. M.; EDMISTEN, K. L.; FAIRCLOTH, J. C.; JONES, M. A.; LEMON, R. G.; MAIN, C. L.; MONKS, C.D.; NORTON, E. R.; STEWART, A. M.; NICHOLS, R. L. Beltwideevaluation Of Commercially Available Plant Growth Regulators. **Journal Of Cotton Science**, v.3, p.119-130, 2010.
- ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A.; WERLE, R. Estimativa da dose de regulador a ser aplicada no algodoeiro em função da condição de crescimento. Instituto Mato-Grossense do algodão – Brasil, n.149, p.34-36, 2013.
- ECHER, F. R.; BOGIANI, J. C.; ROSOLEM, C. **A. Considerações técnicas sobre o manejo de regulador de crescimento no algodoeiro**. Instituto Mato Grossense do algodão. Brasil, n.4, 2014. (Circular Técnica).

HODGES, H. F.; REDDY, V. R.; REDDY, K. R. Mepiquat chloride and temperature effects on photosynthesis and respiration of fruiting cotton. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 5, p. 1302-1308, 1991.

JASPER, J.; REUSCH, S.; LINK, A. Active sensing of the N status of wheat using optimized wavelength combination – impact of seed rate, variety and growth stage. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 7., **Anais...** Madison: ASSA, p.23-30, 2009. (1 CD ROM).

KEMERER, A. Procedimientos para la delimitacion de zonas de manejo mediante imagenes satelitales. INTA, **Ciudad Autonoma**, Buenos Aires, 85 p. 2011.

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A.C. B.; **Reguladores de crescimento, desfolhantes e maturadores**. Algodão no cerrado do Brasil. Aparecida de Goiânia, n.2, p.777-790, 2011 (Circular Técnica).

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B. **Reguladores de crescimento na cultura do algodoeiro**. Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 2006

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte 1: o que é estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, p. 97-107, 1997.

MOREIRA, Romero da Costa. Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação. São José dos Campos, SP. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4.ed., São Paulo: Edgard, p.351-357, 2010.

PORTZ, G.; MOLIN, J. P.; JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, EUA, v. 13, p. 33-44, 2011.

POVH, F. P. Utilização de sensor ótico ativo em culturas de cereais. Piracicaba, SP Originalmente apresentada como dissertação de mestrado Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo. p. 87, 2007.

RITCHIE, G.L.; BEDNARZ,C.W.; JOST, P.H.; BROWN,S.M. Cotton growth and development. [S.l.]: University of Georgia, **College of Agricultural and Environmental Sciences**, p.14, 2004.

SALVADOR, A., Imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo em áreas de algodão. Dissertação Doutorado em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, p.138, 2005.

SALVADOR, A.; ANTUNIASSI, U. R. Imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo em áreas de algodão para aplicação localizada de insumos. **Revista Energia na Agricultura**, v. 2 n. 26, p. 1-19, 2011.

SAMSEEMOUNG, G.; SONI, P.; JAYASURIYA, H. P. W.; SALOKHE, V. M. Application of low altitude remote sensing (LARS) platform for monitoring crop growth and weed infestation in a soybean plantation. **Precision Agriculture**, v.13, p. 611-627, 2012.

SCHLEMMER, M.; HATFIELD, J.; RUNDQUIST, D. C. Remote sensing: photographic vs non-photographic systems. **Site-Specific Management Guidelines**, n. 16, p. 1-4, 1999.

SHAFRI, H. Z. M.; SALLEH M. A. M.; GHIYAMAT, A. (2006). Hyperspectral remote sensing of vegetation using red edge position techniques. **American Journal of Applied Science**, n.3, p.1864-1871, 2006.

SHARP, T. C. Remote sensing: radiation and spectral signature. Jackson State Community College, p. 167, 2002.

STEVEN, M. D. Correcting the effects of field of view and varying illumination in spectral measurements of crops. **Precision Agriculture**, New York, v. 5, p. 50-75, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Giberelina: reguladores da altura dos vegetais. In:----- **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artimed, 2004. Cap. 20, p.485-516.

YANG, C.; BRADFORD, J. M.; WIEGAND, C. L. Airborne multispectral imagery for mapping variable growing conditions and yields of cotton, grain sorghum and corn.

Transaction of American Society of Agricultural Engineering, v. 44, p. 1983-94, 2001.

WALSH, O. S.; KLATT, A. R.; SOLIE J. B.; GODSEY, C. B.; RAUN W. R. Use of soil moisture data for refined GreenSeeker sensor based nitrogen recommendations in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) **Springer Science**, 2012.

WANG, Y.P.; CHEN, S.H.; CHANG, K.W.; SHEN, Y. Identifying and characterizing yield limiting factors in paddy rice using remote sensing yield maps. **Springer Science**, 2012.

WEIS, M.; SÖKEFELD, M. Detection and identification of weeds. **Precision crop protection- the challenge and use of heterogeneity** New York: Springer. p. 119-123, 2010.

WRIGHT, I.J.; REICH, P.B.; CORNELISSEN, J.H.C.; FALSTER, D.S.; GARNIER, E.; HIKOSAKA, K.; LAMONT, B.B.; LEE, W.; OLEKSYN, J.; OSADA, N.; POORTER, H.; VILLAR, R.; WARTON, D.I. & WESTOBY, M. Assessing the generality of global leaf trait relationships. **New Phytologist**. n. 166, p. 485-496, 2005.

WOEBBECKE, D.; MEYER, G.; BARGEN, K.; MORTENSEN D. Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions. **American Society Agricultural Engineers**, St. Joseph, p. 259-269, 1995.

CAPÍTULO 1 - Aplicação de regulador de crescimento e maturador vegetal em taxa variável na cultura do algodoeiro

Resumo

As técnicas de sensoriamento remoto pela utilização de sensores ópticos de índices de vegetação (IV) possuem correlação positiva com vários atributos de crescimento das plantas de algodoeiro. Esse trabalho tem como objetivo avaliar por meio do índice de vegetação dado por um sensor ativo o efeito da aplicação em taxa variável (VRT) do regulador de crescimento e do maturador na cultura do algodoeiro. O trabalho foi desenvolvido em um talhão de 90 ha na Fazenda Amambaí, município de Chapadão do Céu-GO, Brasil, na safra 2013/14. As coordenadas geográficas correspondentes são: 18°21' S e 52°37' O. Avaliando duas aplicações do regulador de crescimento cloreto de mepiquat, e uma aplicação do maturador vegetal etefon + ciclanilina em taxa variável de acordo com classes formadas pela interpolação dos dados de índice de vegetação obtidos pelo sensor N-Sensor[®]. Foi possível identificar zonas de manejo para a cultura do algodão com a utilização de IV. As aplicações em VRT do regulador de crescimento proporcionaram uma uniformização de altura das plantas de algodão nas zonas de manejo. A aplicação do maturador em VRT diminuiu o Coeficiente de Variação das leituras de aberturas das maçãs entre as zonas de manejo, levando a obter produtividade igual nessas zonas.

Palavra chave: Cloreto de Mepiquat · Etefom · VRT · N-Sensor

CHAPTER 1 - VARIABLE RATE APPLICATION OF GROWTH REGULATOR AND VEGETAL RIPENING ON COTTON CROP

Abstract

The remote sensing techniques by the use of optical sensors to acquire vegetation indexes (VI) have correlation with several attributes of cotton plants growth. The aim of this work was to evaluate the application rate technology (VRT) of growth regulator and vegetal ripening by the use of a vegetation index using an active sensor on the cotton crop. The work was carried at Amambai Farm in a field of 90 ha, in the

2013/14 crop season. The corresponding geographical coordinates are 18 ° 21 'S and 52 ° 37' W. Two growth regulator applications of mepiquat chloride and one vegetation ripening of ethephon ciclanilina using variable rate technique were applied and evaluated according to classes formed by the interpolation procedure of vegetation index data gathered by N-Sensor. Cotton management zones were identified using VI. The VRT applications of the growth regulator provide a height standardization of the cotton plants on the zones. The VRT application of the vegetation ripening decrease the Variation Coefficient of the cotton bowls readings in between the management zones, inducing to the same crop yield on these zones.

Keyword: Mepiquat chloride · Etefom · VRT · N-Sensor.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação em taxa variável de insumos (VRT) é uma técnica bastante utilizada na agricultura de precisão, que viabiliza a utilização dos insumos de maneira otimizada. Essa técnica pode ser aplicada em tempo real, pelo uso de sensores, ou a partir do mapeamento do atributo de interesse seguido de uma prescrição.

O algodoeiro é uma planta de crescimento indeterminado e durante grande parte do seu ciclo ocorre competição por fotoassimilados entre a fase reprodutiva e a fase vegetativa. Assim, a aplicação de regulador de crescimento tem o papel de controlar o crescimento vegetativo e equilibrar essa competição entre estruturas vegetativas e reprodutivas (Dodds et al., 2010; Ferreira e Lamas, 2006; Echer et al., 2013).

Vários trabalhos de pesquisas são elaborados com objetivo de gerar modelos de crescimento adequados para as variedades de algodão cultivadas na região. Um exemplo foi o estudo desenvolvido por Ferreira e Lamas (2006), no qual descrevem a taxa de crescimento em altura de variedades de porte baixo e alto em diferentes condições ambientais e a necessidade de aplicações de cloreto de mepiquat como regulador de crescimento. Bem como elaboração modelos matemáticos que alimentados com altura e/ou taxa de crescimento fornecem a dose necessária desse insumo.

De acordo com Ritchie et al. (2004), a utilização de maturador vegetal na cultura do algodoeiro uniformiza a abertura de maçãs reduzindo a umidade da fibra e das sementes permitindo um melhor beneficiamento do produto. Com ciclo de cerca de 200 dias na região Central do Brasil (Cerrado) há formação de maçãs na planta dos 70 até 140 dias após emergência. Com a diferença de idade das maçãs formadas, torna-se necessário o uso de maturador a base de hormônios sintéticos para acelerar abertura das últimas maçãs formadas no ápice das plantas ou dos ramos. Além disto, apresenta como ação secundária o estímulo à abscisão foliar, outro fator positivo para colheita e qualidade da fibra.

A colheita por se tratar de uma operação extremamente onerosa no custo total nesse sistema de produção, se bem empregada, maturadores vegetais permitem planejar e melhorar a eficiência. Os parâmetros utilizados para determinar o momento de aplicação do maturador são: o grau de maturação das últimas maçãs formadas com possibilidade de colheita; a porcentagem de abertura das maçãs; e a quantidade de folhas nas plantas (Rosolem, 2001; Lamas e Ferreira, 2011). Portanto poderá ser estimado utilizando IV. Apesar dessa hipótese não estar comprovada na literatura.

Os dados de reflectância podem ser usados para avaliar o estado nutricional da planta (Zhao et al., 2005), e estimar o parâmetros fisiológicos (Li et al., 2001; Zhao et al., 2003) e prever a produtividade das culturas (Boydell e McBratney, 2002; Vellidis et al., 2004).

As técnicas de sensoriamento remoto, assim como, a utilização de sensores ópticos de índice de vegetação têm boa correlação com vários atributos de crescimento das plantas tais como biomassa e nitrogênio (Portz, 2011; Amaral et al., 2014). Pelo uso dessa ferramenta, pode-se dividir a área em zonas de manejo de acordo com a variabilidade espacial de altura, número maçãs e números de capulhos, considerados para prescrição de regulador e maturadores. O que viabiliza aplicação racionalizada a partir de uma recomendação baseada em leitura de IV, melhor eficiência dos produtos, redução dos custos e incremento na produtividade da cultura (Salvador e Antuniassi, 2011; Amaral, 2014).

Partimos da hipótese de que o uso de regulador de crescimento, aplicado em taxa variável deverá controlar e uniformizar a altura das plantas. Assim como o uso em VRT de maturador levará ao máximo percentual de abertura de maçãs. Portanto,

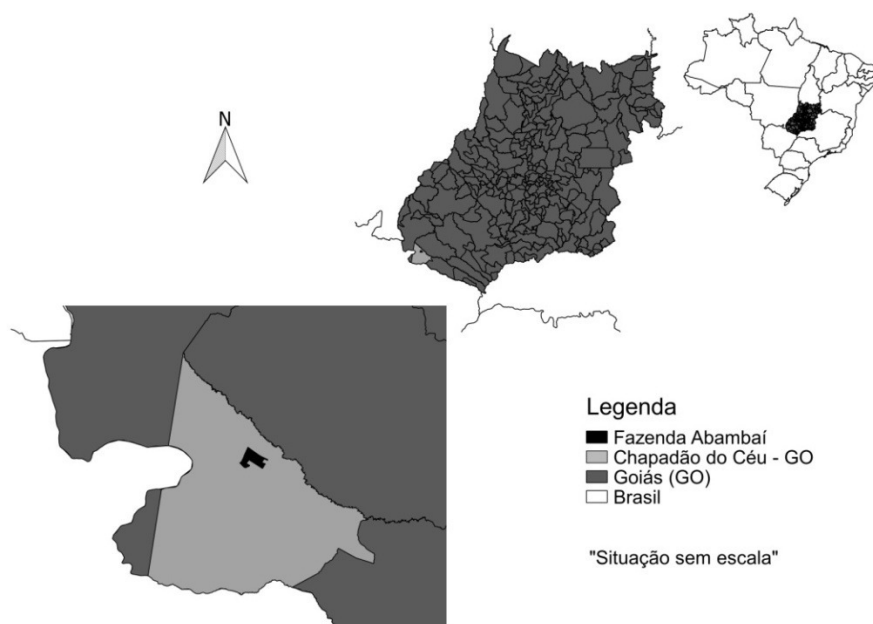
tem-se por objetivo avaliar o efeito da aplicação em taxa variável do regulador de crescimento e do maturador vegetal na cultura do algodoeiro em zonas de manejo criadas a partir de dados de índices de vegetação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local do Experimento

O trabalho foi desenvolvido em um talhão de 90 ha na Fazenda Amambaí, no município de Chapadão do Céu-GO, mostrado na Figura 1, safra 2013/14. As coordenadas geográficas aproximadas correspondentes são: 52°37'17.79"O e 18°21'21.40"S.

Figura 1 Mapa de localização do experimento em Chapadão do Céu – GO – Brasil.



A precipitação anual média é de 2.196 mm e temperatura média de 22,5°C, respectivamente. O clima da região é caracterizado de acordo com a classificação Köppen, como clima tropical com estação seca no inverno. O solo da área é classificado como Haplutox Soil (Soil Taxonomy, 1999) ou LATOSSOLO Vermelho distrófico (Sistema Brasileiro de classificação de solo EMBRAPA, 2006). A altitude média é de 815 m, com relevo predominantemente suave de inclinação entre 1 e 2%.

A semeadura foi realizada no dia 02 de janeiro de 2014, sem segundo cultivo, tendo como cultura anterior o feijão, o cultivar utilizado foi FM 975WS com espaçamento entre linha de 0,80 m e uma população de cem mil plantas por hectare. A adubação de base foi 15 kg de Nitrogênio, 81 kg de P_2O_5 no sulco de plantio, 90 kg ha^{-1} de K_2O aplicado a lanço e 22 kg ha^{-1} de Nitrogênio em cobertura. As aplicações de insumos agrícolas durante o desenvolvimento da cultura foram realizadas pelo monitoramento e padrões para controle de pragas e doença da região.

2.2 Divisão das classes

A divisão das classes foi baseada nos índices de vegetação (IV) aos 23 dias após emergência (DAE), plantas no estágio fenológico V5 - quinta folha verdadeira segundo classificação proposta por Marur e Ruano (2001), nas zonas com valores menores de IV representam a classe baixa, as zonas com valores intermediários de IV representam a classe média e nas zonas com valores alto de IV representam a classe alta, sendo alocados 10 pontos amostrais por classe, conforme adaptação da metodologia descrita por Tugwell et al. (1998) utilizada por Salvador; Antuniassi (2011). Em cada ponto foram mensuradas cinco plantas e a média dessas representou aquele ponto. A navegação até os pontos de amostragem foi com a utilização do GPS Trimble Nomad, utilizando o programa de amostragem a campo Farm Works Mobile (TRIMBLE, 2014).

Portanto, foram determinadas três classes de zonas de manejo (alto médio e baixo índice de vegetação), a partir do processo de interpolação dos mapas em função de um maior agrupamento de células semelhantes. Isso possibilitou a visualização de manchas, as quais foram coincidentes com as que ocorreram em campo. A divisão por três classes foi realizada após a interpolação, utilizando a distribuição pelo método dos quartis dos valores dos índices de vegetação.

O sensor utilizado para a coleta de dados do Índice de Vegetação (IV) foi o N-Sensor® ALS (Yara International ASA, Duermen, Alemanha). Sendo um sensor óptico ativo de dossel, com leituras nos comprimentos de onda do infravermelho próximo 730 nm e 760 nm (Jensen, 1949; Hill et al., 2010). A função principal desse sensor é detectar a diferença de reflectância para fazer inferência sobre a taxa fotossintética por um IV, como mostrado na Equação 1 (Jasper et al., 2009).

$$IV = (\ln \rho_{760} - \ln \rho_{730}) * 100$$

Equação 1

Onde:

IV = Índice de vegetação;

ln = Logaritmo natural;

ρ_{760} = Reflectância do comprimento de onda 760 nm;

ρ_{730} = Reflectância do comprimento de onda 730 nm.

2.3 Medições de campo e procedimento de amostragem

O sensor foi montado no topo da cabine de um pulverizador autopropelido marca John Deere 4730, a altura de 3,10 m do solo. A faixa escaneada pelo sensor tem largura média de 3 m ao longo do deslocamento da máquina com largura de barra de 30 m. Com essa proposta foi escaneado o talhão de algodão em quatro momentos. A primeira leitura foi realizada aos 23 DAE (Dias Após Emergência da cultura), sendo utilizada como base para divisão de classes das plantas em alta, média e baixa. As outras três aconteceram anteriores a cada aplicação de regulador de crescimento e de maturador. Sendo que a segunda leitura próximo ao estágio F1 - primeira flor aberta (53 DAE), a terceira leitura aconteceu estágio FC plantas no período entre a última flor e o primeiro capulho (91 DAE) e a quarta leitura no estágio C2 plantas com primeiro capulho no segundo ramo frutífero (165 DAE), segundo a escala de Marur e Ruano (2001). Para mapear a variabilidade espacial e realizar aplicação com taxas variada do regulador de crescimento e maturador empregado, as amostragens de campo foram acontecendo antes e depois de cada aplicação em VRT (Tabela 1).

Tabela 1 Períodos em dias após emergência (DAE) de cada operação realizada e avaliada para as aplicações em VRT.

VRT	Escaneamento N-Sensor	Amostragem anterior à aplicação	Aplicação VRT	Amostragem posterior à aplicação	Dose Média* (kg ha ⁻¹)
1ª Aplicação de Regulador	53 DAE	51 DAE	63 DAE	82 DAE	0,013
2ª Aplicação de Regulador	91 DAE	82 DAE	91 DAE	107 DAE	0,011
Aplicação de Maturador	165 DAE	180 DAE	181 DAE	207 DAE	0,836

*Doses médias de ingrediente ativo utilizada nas aplicações em VRT de regulador de crescimento e maturador.

As variáveis mensuradas em campo, em cada ponto de amostragem foram: altura de plantas, número de maçãs, número de capulhos e porcentagem de abertura. A altura de cada planta foi medida no caule principal entre a superfície do solo até o ponto de inserção da última folha totalmente expandida. O número total de maçãs e capulhos foi obtido pela contagem de todas as maçãs e capulhos viáveis presentes nas plantas amostradas e o resultado expresso em número de maçãs e capulho por planta. A porcentagem de abertura foi obtida pela média da divisão do valor total de capulhos, abertos pela soma de maçãs e capulhos de cada planta, como mostra a equação a seguir:

$$\% \text{Abertura} = \text{N}^{\circ} \text{Capulhos} / \text{N}^{\circ} \text{Capulhos} + \text{N}^{\circ} \text{Maçãs} \quad \text{Equação (2)}$$

No final do ciclo foram avaliados os dados de produtividade do algodão, sendo esses obtidos na colheita realizada com máquina contendo sensores de rendimento com dados georreferenciados. Com base nos quartis superior e inferior calcularam-se o limite superior e inferior para os valores de IV e da produtividade, de acordo com metodologia sugerida por Tukey (1977), para a determinação de limites para dados discrepantes. Realizou-se a geoestatística para interpolação dos dados por meio do método da krigagem, (SSToolbox, Grupo de Desenvolvimento SST, Stillwater, OK, EUA) em células de 20 m de lado.

2.4 Aplicação em taxa variável (VRT)

Antes de cada aplicação em VRT do regulador de crescimento foi realizada uma aplicação em dose única correspondente a menor dose, em área total, pois, para se garantir uma boa qualidade da aplicação em taxa variável e manter o tamanho das gotas o mais uniforme possível, a maior variação da taxa de aplicação deve ser próxima a 20 % em relação à taxa de aplicação mediana (Baio, 2011). Assim, a menor dosagem do insumo foi aplicada em área total e, em uma segunda aplicação realizou-se a aplicação da dosagem mediana e da maior em VRT.

A quantidade total de cloreto de mepiquat aplicado durante todo o ciclo do algodoeiro foi de 50 g por ha^{-1} , sendo 15 % em dose única um dia anterior a primeira aplicação em VRT, 27 % na primeira aplicação de regulador em VRT, 35% em aplicação em dose única um dia anterior a segunda aplicação em VRT e 23 % na segunda aplicação de regulador em VRT. Cia et al. (1984) estudando o efeito do regulador de crescimento na cultura do algodão observaram que a aplicação em duas etapas obteve as melhores produções, provocando aumento na massa dos capulhos. Wallace et al. (1993) concluíram que o parcelamento teve efeito mais marcante sobre a altura das plantas, número de nós, comprimento de entrenós e que a retenção de frutos foi maior nas aplicações parceladas. Segundo Lamas e Ferreira (2011) o parcelamento de regulador de crescimento possibilita melhor ajuste da dose necessária para controle da taxa de crescimento das plantas, a qual pode sofrer alterações em curtos intervalos de tempo devido aos vários fatores que a compõem (precipitação, luminosidade, umidade do solo, pragas, fertilizações, aplicação de herbicida, etc).

Para aplicação em taxa variável foram atribuídas doses maiores nas classes de valor de IV mais altas e doses menores de regulador e/ou maturador nas classes mais baixas de IV. As doses utilizadas foram baseadas nas condições climáticas do período da aplicação, principalmente aferindo a temperatura que é o fator climático que mais afeta a atividade dos reguladores (ROSOLEM, 2001). O mapa de prescrição foi inserido no sistema de gerenciamento do pulverizador John Deere 4730 equipado com GreenStar 3. Esse mapa determina a taxa de aplicação utilizada nas zonas de manejo (L ha^{-1}). O regulador e/ou maturador foi adicionado ao tanque de calda que teve uma concentração fixa (g ingrediente ativo L da calda), a variação de dose deu-se pela variação da taxa de aplicação aplicada. Segundo Antuniassi et

al. (2011), a aplicação localizada de defensivos pode ser por meio de variação tanto da dose de defensivo quanto do volume de aplicação aplicada.

A primeira aplicação de regulador realizada em VRT aos 63 DAE estágio, baseado no IV obtido aos 53 DAE, variando a dose 25 % entre a classe média e a alta, não aplicando nada na classe baixa. De acordo com Ferreira e Lamas, (2006) a primeira aplicação de regulador deve acontecer entre o aparecimento dos primeiros botões florais (B1) e as primeiras flores (F1). A segunda aplicação de regulador realizada em VRT foi realizada aos 91 DAE, período em que se observou a retomada do crescimento das plantas, medindo-se altura das plantas periodicamente, baseada no IV obtido aos 91 DAE, com variação de 10 % entre a classe média e a alta, sem aplicação na classe baixa de IV. A aplicação do maturador foi realizada aos 181 DAE com mais de 95% dos frutos maduros, baseado no Índice de Vegetação monitorado aos 168 DAE. A variação dessa aplicação foi de 20 % entre a classe baixa e a média e 17 % entre a classe média e a alta, utilizando o sistema de variação próximo aos 20 % dependendo dos atributos fisiológicos da cultura em campo. Segundo Lamas e Ferreira (2011), aplicação de maturador deve acontecer quando 100% dos frutos atingem maturidade fisiológica ou 90% de abertura de maçãs. Para realizar a aplicação do maturador as dosagens foram baseadas na leitura do N-Sensor aos 168 DAE período em que se iniciou o aparecimento do primeiro capulho aberto C1, segundo Marur e Ruano (2001). A variação de dosagem do ingrediente ativo etefom + ciclamilida foi de $0,65 \text{ kg ha}^{-1}$ em um volume de calda de 40 L ha^{-1} para a classe baixa de IV, $0,85 \text{ kg ha}^{-1}$ em um volume de calda de 50 L ha^{-1} para a classe média e $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ em um volume de calda de 60 L ha^{-1} para a classe de alto IV.

2.5 Avaliação estatística

A avaliação estatística dos atributos físicos das plantas de algodão amostradas foi realizada de maneira a elaborar um delineamento estatístico inteiramente casualizado, representado pelas três classes de IV, com dez repetições, pontos amostrados. Sendo que cada ponto amostral foi composto pela média dos atributos de cinco plantas ao redor do ponto georreferenciado. Avaliando duas aplicações do regulador de crescimento Pix[®] (cloreto de mepiquat 250 g L), e uma aplicação do maturador comercial Finish[®] (etefom 480 g L + ciclanilida 60 g L)

no final do ciclo da cultura para acelerar e uniformizar a maturação e a abertura das maçãs.

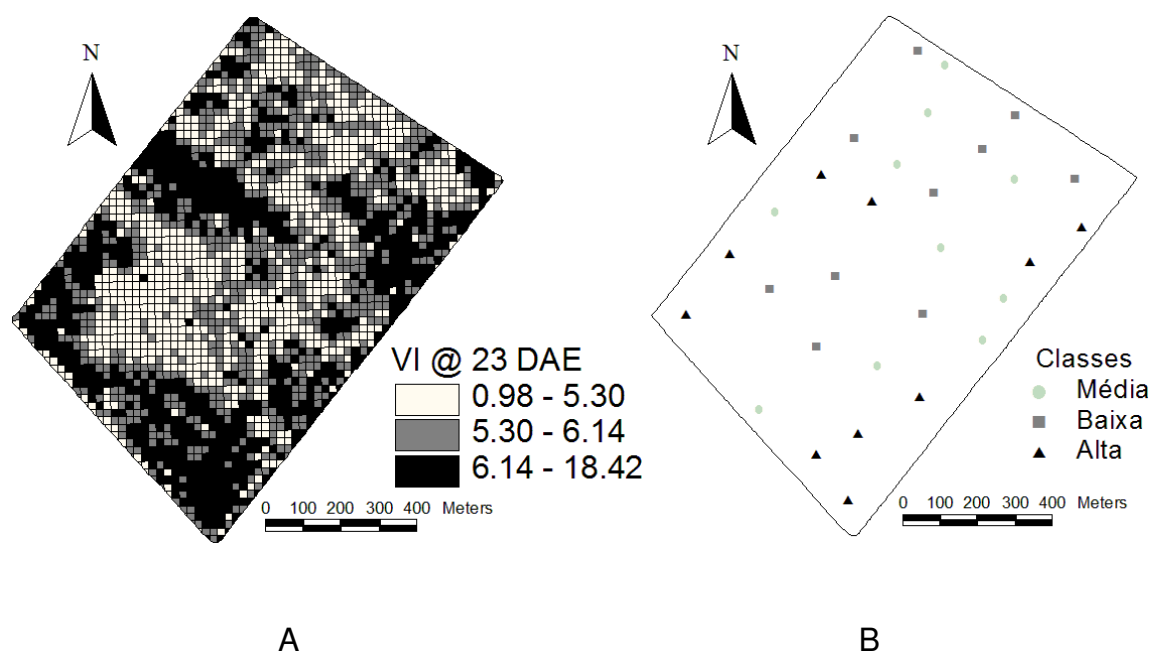
Os dados coletados em cada classe foram comparados teste de Tukey ($P < 0,05$). A estatística foi realizada pelo programa Sisvar e a geoestatística pelo programa GS+.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Divisão das classes

A locação dos dez pontos por cada classe está ilustrada no mapa 'B', da Figura 2.

Figura 2 Mapa de IV do sensor N-Sensor aos 23 DAE e o mapa com a divisão das três classes: alto médio e baixo.



3.2 Aplicação em VRT e avaliação dos parâmetros da cultura

De acordo com Ferreira e Lamas (2006) a dosagem para aplicação de cloreto de mepiquat varia de 50 g ha para cultivares de porte baixo e 75 g ha para cultivares de porte alto, podendo ser parcelada em até quatro aplicações. Montomiya et al. (2014) trabalharam com diferentes doses de regulador de crescimento sendo elas 0, 30 e 60 gramas do ingrediente ativo cloreto de chlormequat por hectare. Nos resultados geoestatísticos da Tabela 2 observa-se que os dados de altura e

porcentagem de abertura possuem baixos valores de efeito pepita e forte grau de dependência espacial.

Tabela 2 Parâmetros semivariográficos para os dados de altura antes e depois das aplicações em VRT.

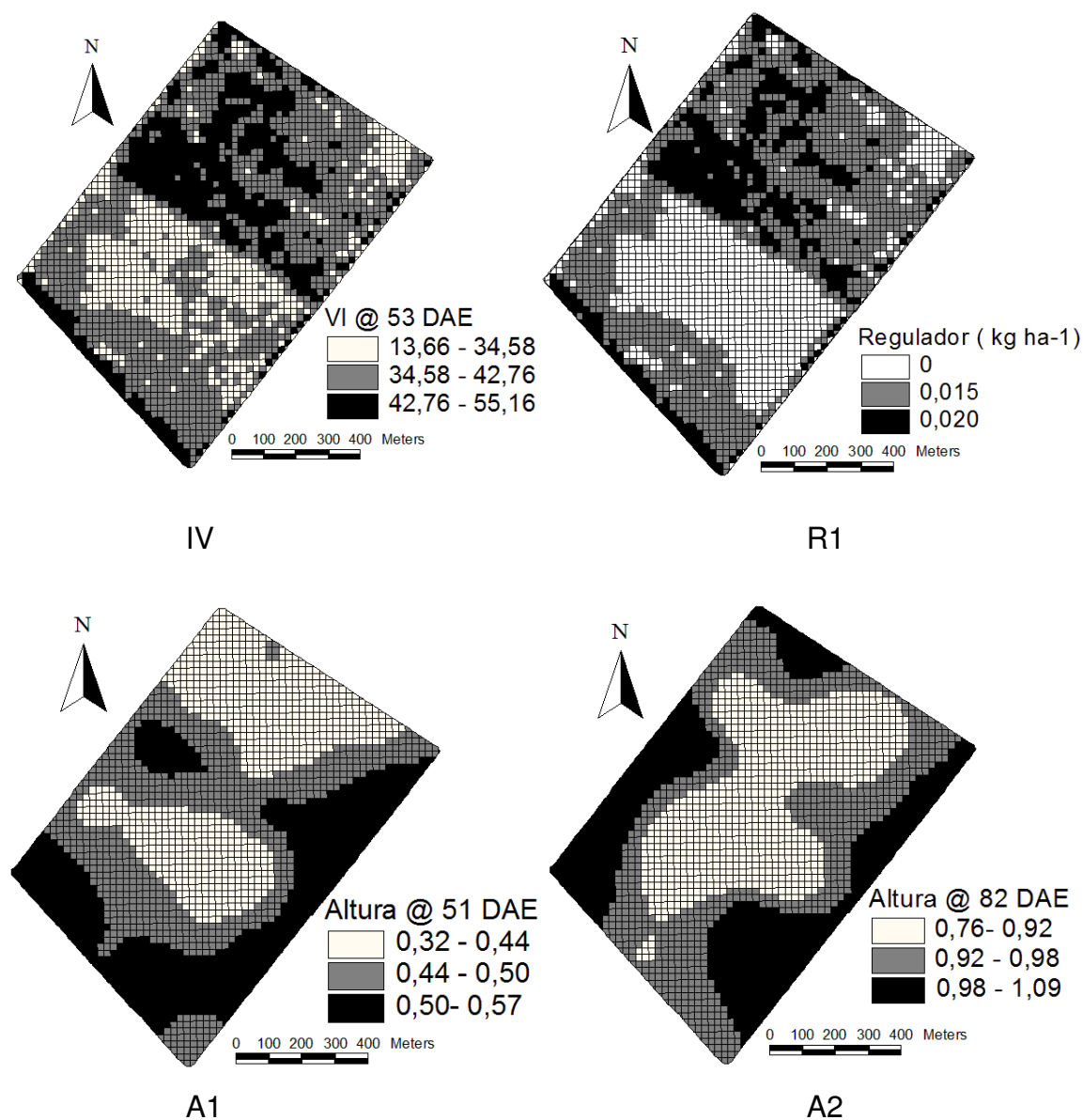
VRT	Período	DAE	Modelo	Co	(Co+C)	A (m)	R ²	C/(Co+C)	GDE
1ª Aplicação de Regulador	IV	53	Esférico	0,82	27,79	172,00	0,50	0,98	forte
	Altura	51	Gaussiano	0,10	37,69	258,07	0,84	0,99	forte
	Altura	82	Gaussiano	0,10	93,70	280,59	0,86	0,99	forte
2ª Aplicação de Regulador	IV	91	Esférico	0,06	8,87	195,00	0,38	0,99	forte
	Altura	82	Gaussiano	0,10	93,70	280,59	0,86	0,99	forte
	Altura	107	Esférico	2,00	47,00	200,00	0,17	0,96	forte
Aplicação de Maturador	IV	168	Exponencial	0,10	0,10	216,00	0,10	0,99	forte
	%Abertura	185	Esférico	0,10	264,30	394,00	0,84	1,00	forte
	%Abertura	217	Gaussiano	0,01	29,96	213,04	0,94	1,00	forte
Produtividade			Gaussiano	1,00	1390,00	230,36	0,72	0,99	forte

DAE- Dias após emergência; Co – Efeito pepita; (Co+C) – patamar; A – alcance; R² – Coeficiente de determinação; GDE – Grau de dependência espacial.

Alguns dados obtiveram valor baixo de coeficiente de determinação, porém todos se mantiveram com forte dependência espacial.

As dosagens foram calculadas de acordo com a altura média da planta por classe, utilizando como base o ingrediente ativo (ia) cloreto de mepiquat. A variação de dose para as diferentes classes observadas no mapa de prescrição 'IV' da Figura 3 foi de 0 kg ha⁻¹ para a classe baixa, 0,015 kg ha⁻¹ para a classe intermediária de IV sendo aplicada em um volume de calda de 45 L ha⁻¹ e 0,0275 kg ha⁻¹ para a classe alta de IV com volume de calda de 60 L ha⁻¹. Não se aplicou regulador na classe baixa em taxa variável, pois foi aplicado regulador em dose única de 0,0075 kg ha⁻¹ no dia anterior. Com o parcelamento do regulador de crescimento foi obtido uma distribuição homogeneia de altura das plantas no campo e entre as classes, como pode ser observado na Figura 3. Já para Azevedo et al. (2004), o parcelamento do cloreto de mepiquat não afetou as características de fibra, exceto a porcentagem de fibra que foi menor nos parcelamentos em duas e três vezes.

Figura 3 Mapas do índice de vegetação do N-Sensor aos 53 DAE (IV), mapa da primeira aplicação em VRT de regulador de crescimento (R1) e os mapas interpolados das alturas das plantas de algodão antes (A1) e depois (A2) a aplicação.



Na Tabela 3 estão apresentados os dados de altura de plantas depois da aplicação em VRT de regulador de crescimento. Esses mantiveram-se com diferença entre as classes significativa a 5% pelo teste de Tukey. Porém o coeficiente de variação diminuiu de 15% para 9%, e com valores de desvio padrão baixo, com melhor distribuição dos dados ao redor da média, pois o desvio padrão

mostra como uma distribuição está espalhada, quanto menor seu valor menor a variabilidade.

Tabela 3 Análise de altura das três classes de plantas de algodão antes e depois a primeira aplicação de regulador de crescimento em taxa variável.

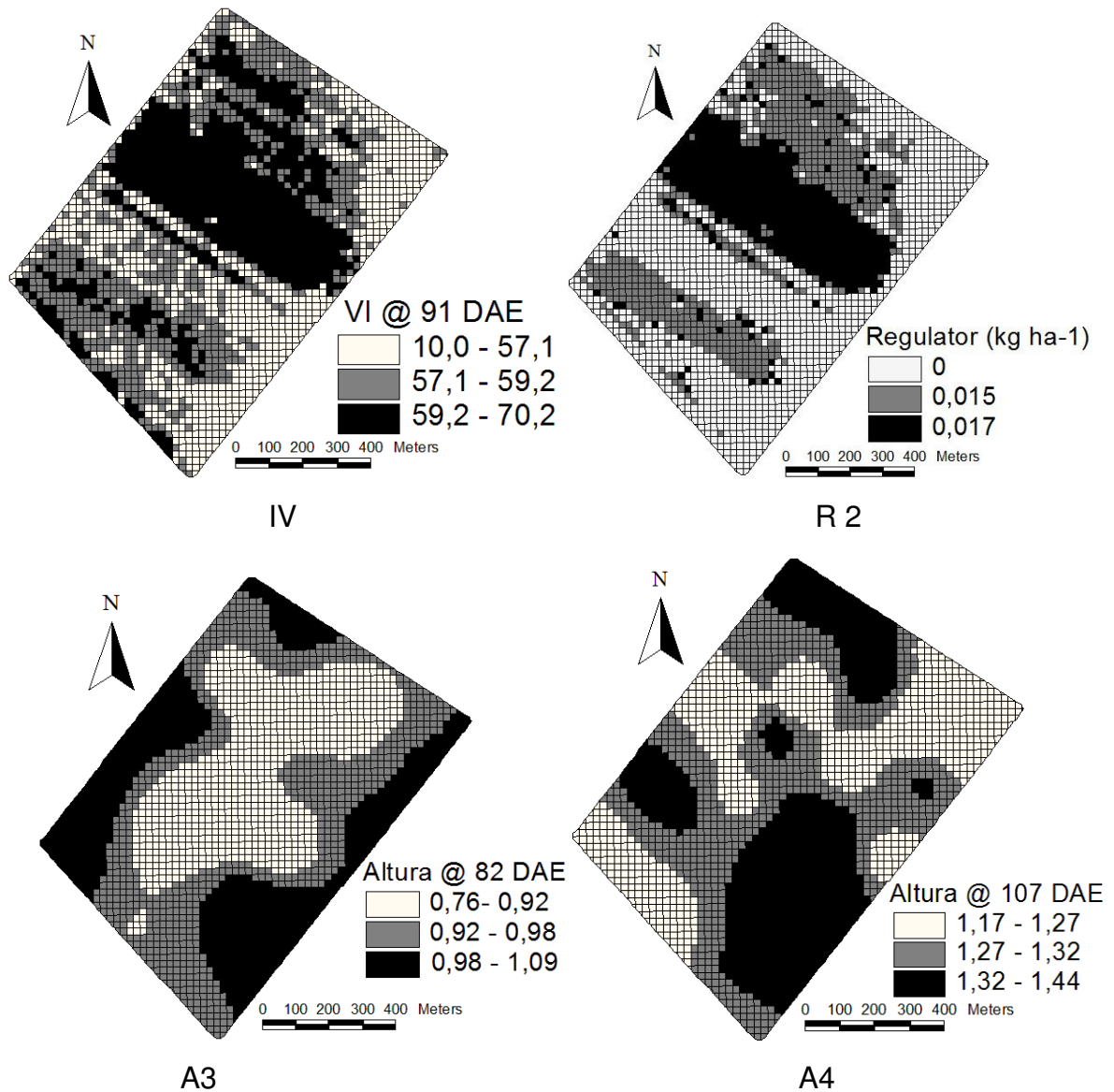
VRT	DAE	ALTO	MÉDIO	BAIXO	F	DMS	V	DP	V
Altura (m)									
Antes aplic.	51	0,52 a	0,46 a	0,40 b	0,0001	5,6	15,05	7,01	49,15
Depois aplic.	82	1,01 a	0,97 a	0,87 b	0,0002	7,58	9,04	9,03	81,60

VRT: aplicação em taxa variável; DAE: Dias após emergência; F: Fator de significância; DMS: Diferença mínima significativa; CV: Coeficiente de variação; DP: Desvio padrão; V: Variância.

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%

A segunda aplicação do regulador de crescimento aconteceu quando o comprimento de entre nó superou a taxa de crescimento verificando a necessidade de novo controle. Além disso, as condições ambientais estavam favoráveis ao crescimento, sendo aplicada aos 91 DAE. Para recomendação da VRT de regulador utilizou-se a leitura de N-sensor aos 91 DAE. Com as variações de dosagem de 0 kg ha⁻¹ para a classe baixa, 0,015 kg ha⁻¹ distribuído em um volume de calda 45 L ha⁻¹ para a classe média e 0,017 kg ha⁻¹ distribuído em um volume de calda 50 L ha⁻¹ para classe alta, observado no mapa 'VRT' na Figura 4. A dose adotada entre a classe alta e média teve pequena variação, pois as alturas nesse momento eram iguais estatisticamente. No entanto, para a classe baixa por possuir variabilidade grande com as demais classes e ser diferente estatisticamente não se aplicou regulador em taxa variável sendo aplicado apenas 0,0175 kg ha⁻¹ em dose única. Nos mapas de altura antes "A3" e após "A4" (Figura 4) observa uma mudança entre as zonas, onde era baixo ficou alto e onde era baixo ficando alto, havendo o controle de altura.

Figura 4 Mapas do índice de vegetação do N-Sensor aos 91 DAE (IV), mapa da segunda aplicação em VRT de regulador de crescimento (R2) e os mapas interpolados das alturas das plantas de algodão antes (A3) e depois (A4) a aplicação.



Para dados estatísticos de altura de planta após a segunda aplicação. Tabela 4, não houve diferença significativa, com diminuição do coeficiente de variação de 9,04 % para 6,63% e desvio padrão com valores baixos, portanto os dados se concentraram ao redor da média, ocorrendo o controle de altura da planta do algodoeiro, como esperado.

Tabela 4 Análise estatística dos dados de altura das três classes de plantas de algodão antes e depois da segunda aplicação de regulador de crescimento em taxa variável.

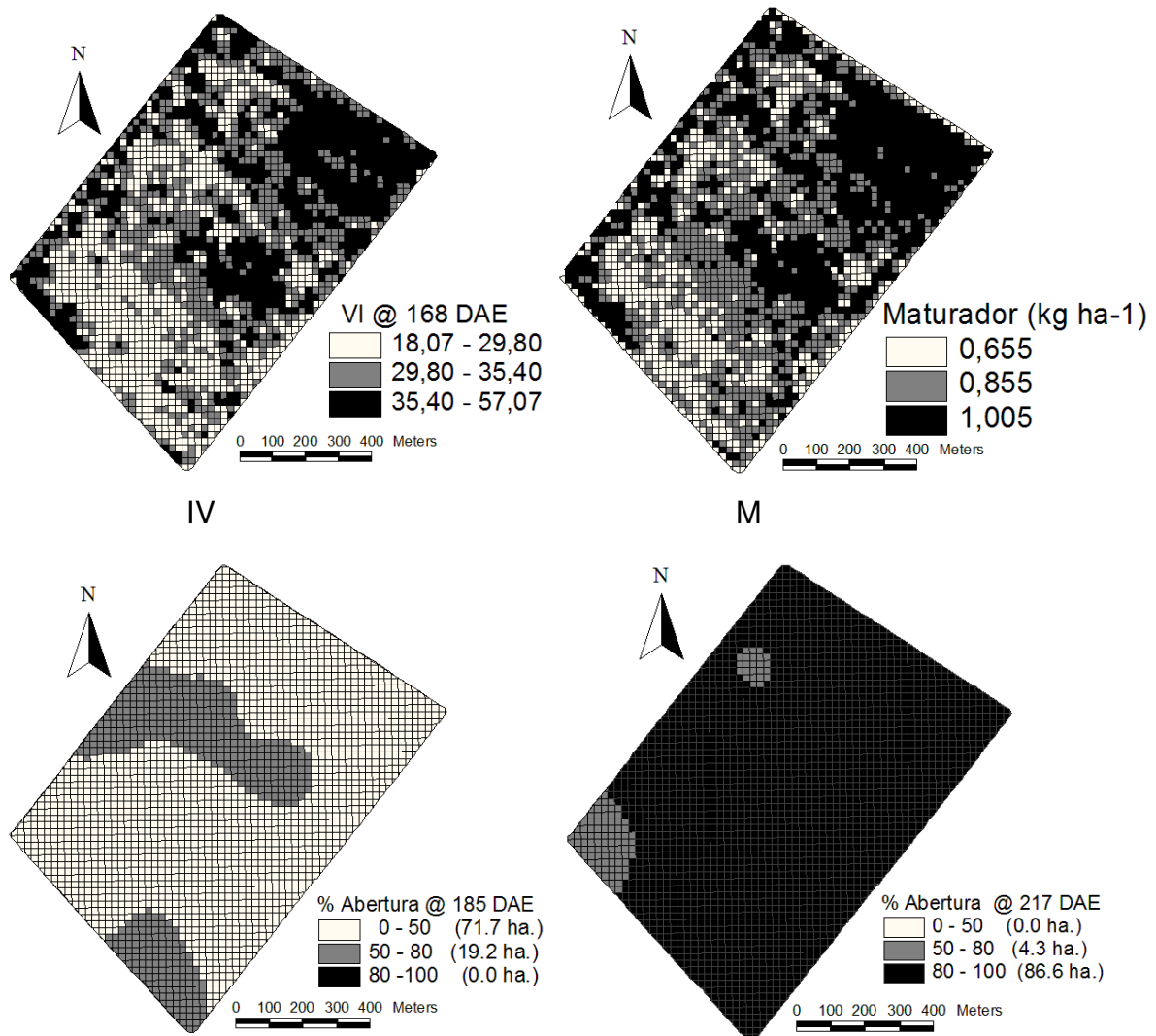
VRT	DAE	ALTO	MÉDIO	BAIXO	F	DMS	CV	DP	V
		Altura (m)							
Antes Aplic.	82	1,01 a	0,97 a	0,87 b	0,0002	7,58	9,04	9,03	81,60
Depois Aplic.	107	1,31 a	1,27 a	1,32 a	0,4025	9,64	6,63	8,67	75,30

VRT: Aplicação em taxa variável; DAE: Dias Após Emergência;; F: Fator de significância; DMS: Diferença Mínima Significativa; CV: Coeficiente de Variação; DP: Desvio Padrão; V: Variância.

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

O mapa 'M' da Figura 5 esta apresentada à recomendação de maturador em taxa variável baseado no mapa de 'IV', com pequenos ajustes para facilitar a aplicação em campo. Comparando os mapas de porcentagem de abertura antes a aplicação aos 185 DAE e após a aplicação aos 217 DAE houve uma mudança grande entre as zonas baixa e alta, onde antes da aplicação de maturador, a área abaixo de 50 % de abertura era de 71,7 hectares, após a aplicação do maturador a porcentagem de abertura foi acima de 80% em mais de 80 hectares.

Figura 5 Mapas das leituras do N-Sensor 168 DAE, mapas das aplicações em VRT do Maturador M, e mapas da porcentagem de abertura antes e depois da aplicação do maturados em VRT.



Na análise estatística da Tabela 5, foi obtido que após a aplicação de maturador os dados de coeficiente de variação diminuíram de 36,03% para 8,02% e o desvio padrão caiu de 14,66 para 7,15, a porcentagem de abertura foi igual estatisticamente em todas as classes, obtendo, portanto, maior uniformidade de abertura de maçãs, permitindo uma melhor eficiência da colheita.

Tabela 5 Análise estatística dos dados porcentagem de abertura antes e depois de cada aplicação em VRT e dados de produtividade de algodão em caroço. Chapadão do Céu, GO, 2014.

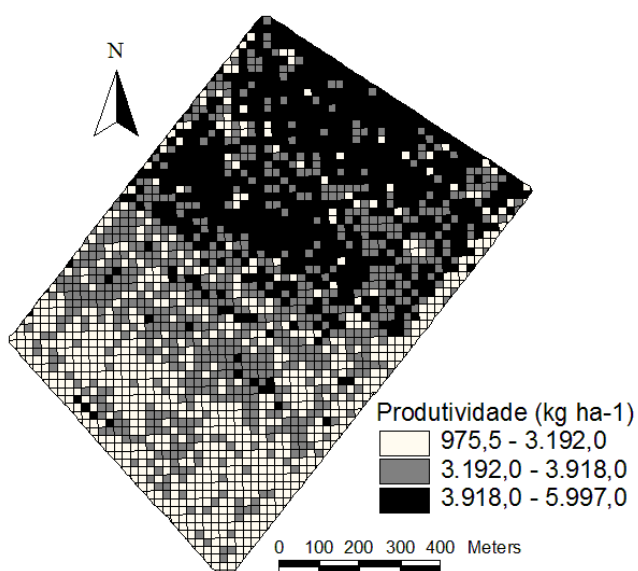
VRT	DAE	ALTO	MÉDIO	BAIXO	F	DMS	CV	DP	V
Abertura de maçãs (%)									
Antes aplic.	185	46.55 a	44.97 a	30.29 b	0.0187	14.63	36,03	14,66	215,06
Depois aplic.	217	87.38 a	91.94 a	87.99 a	0.3141	7.87	8,02	7,15	51,17
Produtividade (kg ha)									
Algodão em caroço		3947,53 a	3571,84 a	3572,40 a	0.9734	919.91	22,58	801	641614,50

VRT: aplicação em taxa variável; DAE: Dias após emergência; F: fator de significância; DMS: Diferença mínima significativa; CV: Coeficiente de variação; DP: Desvio Padrão; V: Variância.

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%

Em relação aos dados de produtividade não houve diferença significativa dentro de cada classe formada mostrado no mapa da Figura 6. Devido ao manejo eficiente de altura com a aplicação de regulador e uma uniformidade na porcentagem de abertura com a aplicação do maturador. Trabalho realizado por Azevedo et al. (2004), o cloreto de mepiquat não interferiu no rendimento de algodão em caroço, o teste F foi não significativo ($P < 0,05$) na análise de variância.

Figura 6. Mapa de produtividade de algodão em caroço, 2014.



Analisando as mesmas aplicações feitas em doses únicas as duas aplicações de regulador em VRT obtiveram economia média de 8,55% de ingrediente ativo cloreto de mepiquat, além da economia de produto obteve a diminuição do CV e controle efetivo da altura. Já o maturador não obteve economia, utilizando 3,4% a mais do que a Etefon em VRT, porém na aplicação em doses únicas provavelmente obteríamos os mesmos resultados, com possibilidade de menor porcentagem de abertura de maçãs, prejudicando na colheita e na produtividade.

4 CONCLUSÃO

Foi possível identificar zonas de manejo para recomendação de regulador de crescimento e maturador no algodoeiro com a utilização de IV. As aplicações em VRT do regulador de crescimento proporcionaram uma uniformização de altura das plantas de algodão entre as zonas de manejo. A aplicação do maturador em VRT diminuiu o Coeficiente de Variação da porcentagem de abertura das maçãs entre as distintas zonas de manejo. A uniformização do desenvolvimento da planta de algodoeiro e da abertura de capulhos propiciou colheita semelhante nas diferentes zonas.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L.; R.; MOLIN, J. P.; PORTZ, G.; FINAZZI, F.; B.; CORTINOVE, L. Comparison Of Crop Canopy Reflectance Sensors Used To Identify Sugarcane Biomass And Nitrogen Status. **Precision Agriculture**, n.2, p.77-93, 2014.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R.; SHARP.; T. C. Agricultura de Precisão. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão - ABRAPA. p.1051-1082, 2011.
- AZEVEDO, D.M.P.; BEZERRA, J. R. C.; SANTOS, J. W.; DIAS, J. M.; BRANDÃO, Z. N. efeito do parcelamento do cloreto de mepiquat em algodoeiro irrigado no nordeste brasileiro. **Revista brasileira oleaginosas e fibrosas**, Campina Grande, n.2/3, p.823-830, 2004.
- BAIO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. R. Sistema de controle eletrônico para pulverizadores. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Botucatu, SP, FEFAF, 2011, p123-141.

BOYDELL, B.; MCBRATNEY, A. B. Identifying Potential Within-Field Management Zones from Cotton-Yield Estimates. **Precision Agriculture**, n.3, p.9-23, 2002.

CIA, E.; CARVALHO, L.H.; KONDO, I.; FUZATTO, M.G.; BORTOLETTO, N.; GALLO, P.B.; CRUZ, L.S.P.; SABINO, N.P.; PTTNELLI JUNIOR, A.; MARTINS, A.L.M.; SILVEIRA, J.C.D. Efeito do cloreto de clorocolina e cloreto de mepiquat na cultura do algodão. **Planta Daninha**. Campinas, n.7 p. 23-36, 1984.

DODDS, D. M.; BANKS, J. C.; BARBER, L. T.; BOMAN, R. K.; BROWN, S. M.; EDMISTEN, K. L.; FAIRCLOTH, J. C.; JONES, M. A.; LEMON, R. G.; MAIN, C. L.; MONKS, C.D.; NORTON, E. R.; STEWART, A. M.; NICHOLS, R. L. Beltwide evaluation Of Commercially Available Plant Growth Regulators. **Journal Of Cotton Science**, n. 3, p. 119-130, 2010.

ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A.; WERLE, R. **Estimativa da dose de regulador a ser aplicada no algodoeiro em função da condição de crescimento**. Instituto Mato-Grossense do algodão, Cuiabá, MT, n.1, 2013 (Circular técnica).

ECHER, F. R.; BOGIANI, J. C.; ROSOLEM, C. A. **Considerações técnicas sobre o manejo de regulador de crescimento no algodoeiro**. Instituto Mato - Grossense do algodão – Cuiabá, MT, n. 7, 2014 (Circular técnica).

ECHER, F. R. O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes . Instituto Mato-Grossense do Algodão Cuiabá, MT, 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de classificação do solo. 2nd ed. EMBRAPA, Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, A. C. B.; LAMAS, F. M. **Uso de reguladores de crescimento, desfolhantes, desseccantes e maturadores na cultura do algodoeiro**. MAPA, Campina Grande – PB, 95, 2006 (Circular Técnica).

HILL, J.; UDELHOVEN, T.; VOHLAND, M.; STEVENS, A. The use of laboratory spectroscopy and optical remote sensing for estimating soil properties. **Precision crop protection- the challenge and use of heterogeneity**. New York, p. 67-70 2010.

JASPER, J.; REUSCH, S. AND LINK, A. Active sensing of the N status of wheat using optimized wavelength combination – impact of seed rate, variety and growth stage. **Proceedings of the 7th European Conference on Precision Agriculture**, p.23-30, 2009.

JENSEN, JOHN R. Remote sensing of vegetation. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Ed. Parêntese, California, p. 358-360, 1949.

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B. **Reguladores de crescimento, desfolhantes e maturadores**. Algodão no cerrado do brasil, p. 777-790, 2011. (Circular Técnica).

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B. **Reguladores de crescimento na cultura do algodoeiro**. Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 2006.

LI, H.; LASCANO, R.J.; BARNES, E.M.; BOOKER, J.; WILSON, L.T.; BRONSON, K.F.; SEGARRA, E. Multispectral reflectance of cotton related to plant growth, Soil Water And Texture, And Site Elevation. **Agronomy Journal** n. 93, p.1327-1337, 2001.

MARUR, C. J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosa**, p.313-317, 2001.

MOTOMIYA, A. V. A.; VALENTE, I. M. Q.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BISCARO, G. A.; JORDAN, R. A. Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. *Revista Semina*, Londrina - PR, v. 35, n. 1, p. 169-178, 2014.

PORTZ, G.; MOLIN, J. P.; & JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, n. 13, p. 33-44, 2011.

RAPER, T. B.; VARCO, J. J. Canopy - scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. **Precision Agriculture**, n. 4, p. 83-93, 2014.

RITCHIE, G. L.; BEDNARZ, C. W.; JOST, P. H.; BROWN, S. M.; Cotton Growth And Development. University of Georgia, **College of Agricultural And Environmental Sciences**, n. 14, 2004.

ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. Informações Agronômicas, n. 95, 2001 (Encarte Técnico).

SALVADOR, A.; ANTUNIASI, U. R. Imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo em áreas de algodão para aplicação localizada de insumos. **Revista Energia na Agricultura**, v. 2 n. 26, p. 1-19, 2011.

SHAFRI, H. Z. M.; SALLEH M. A. M.; GHIYAMAT, A. (2006). Hyperspectral remote sensing of vegetation using red edge position techniques. **American Journal of Applied Science**. n.3 p. 1864-1871, 2006.

TARPLEY, L.; REDDY, K. R.; SASSENATH-COLE, G.F. (2000). Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. **Crop Science**. n. 40, p. 1814–1819, 2000.

TRIMBLE, Information Management Solutions – Farm Works Software. Disponível em: <<http://farmworks.com/products/mobile>> acesso em: 27 out. 2014.

TUKEY, J.W. Exploratory data analysis. 1 ed. Reading, Massachusetts, 1977.

TUGWELL, N. P. et al. Cotton sampling and data collection. In: Cotton Expert System 5.0 Handbook Fayetteville, p. 7-12, 1998.

VELLIDIS, G.; TUCKER, M. A.; PERRY, C. D.; THOMAS, D. L.; WELLS, N.; KVIEN, C. K. Predicting Cotton Lint Yield Maps from Aerial Photographs. **Precision Agriculture**, n.5, p. 547-564, 2004.

WALLACE, T.P.; SNIPES, C.E.; WHITE, B.W. Effects Of Single-Multiple Applications Of Mepiquat Chloride On Mississippi Cotton. Research Reports-Mississippi Agricultural Forestry Experiment Station, Mississippi, v.5, n. 5, 1993.

WEIS, M.; SÖKEFELD, M. Detection and identification of weeds. **Precision crop protection- the challenge and use of heterogeneity**. New York: Springer. p. 119-123, 2010.

ZHAO, D.; REDDY, K. R.; KAKANI, V.G.; READ, J. J.; KOTI, S. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field grown cotton. **Agronomy Journal**. n. 97, p. 89-98, 2005.

ZHAO, D.; REDDY, K. R.; KAKANI, V. G.; READ, J. J.; CARTER, G.A.; (2003). Corn (*Zea Mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. **Plant Soil**, n. 257, p.205-217, 2003.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS D. M. Pix Plus and Mepiquat Chloride Effects on Physiology, Growth, and Yield of Field-Grown Cotton. **Plant Growth Regul Journal** n.

CAPÍTULO 2 – USO DE SENSORES DE NDVI PASSIVO E ATIVO NA CORRELAÇÃO COM ÍNDICES FENOLÓGICOS NO ALGODOEIRO

RESUMO: O investimento em tecnologias na área de agricultura de precisão está em expansão, e uma dessas tecnologias é o desenvolvimento de sensores de índices de vegetação com diferentes tipos de obtenção de dados. Esse experimento teve como objetivo analisar e correlacionar esse índice proveniente de dois sensores, sendo um ativo e outro passivo, em diferentes altitudes sobre o dossel da cultura do algodoeiro, correlacionando-os com seus índices fenológicos. O experimento foi realizado em talhão de algodoeiro na fazenda Amambaí, na safra 2013/14. O sensor ativo foi montado em suporte manual, operando a 0,80 m acima do dossel da planta. A captura das imagens pelo sensor ativo foi dividida em duas etapas: acoplado-a em um avião convencional com altitude de 1.000 m acima do solo; e a outra acoplado-a em um suporte manual a 4 m. Os valores brutos de NDVI obtidos pelo uso do sensor passivo acoplado em suporte a 4 m acima do solo possui maior correlação com a fenologia do algodoeiro. Sua correlação também é elevada quando comparado com o índice obtido pelo sensor ativo. Todas as correlações obtidas pelo uso do sensor passivo instalado em plataforma aérea são menores. A variabilidade espacial obtida pelo uso desse sensor em plataforma aérea leva a uma discrepância das demais. O NDVI mensurado pelo sensor passivo acoplado em suporte acima do solo é menor por possuir maior resolução espacial, acarretando em maior interferência do solo na cena.

PALAVRAS CHAVE: índice de vegetação, variabilidade, sensores multiespectrais.

CHAPTER 2 - USE OF PASSIVE AND ACTIVE NDVI SENSORS ON THE CORRELATION WITH PHENOLOGICAL INDICES ON COTTON CROP

ABSTRACT:

The investment in technologies in precision agriculture is expanding in ascending, and one of these technologies is the development of sensors vegetation indices with different types of data collection. This study aimed to analyze and correlate the result of two sensors NDVI (Vegetation Index Normalized Difference): the business asset GreenSeeker® sensor (GS) and the passive sensor for multispectral camera

Tetracam® (TCAM) at different altitudes, correlating -os with phenological data o cotton. The work was carried in a cotton field at Amambaí Farm in Chapadao do Ceu, GO, in 2013/14 crop season. The GreenSeeker sensor was mounted manual support, operating at 0.80 m above the plant. The capture of images from the Tetracam sensor was divided into two stages, one coupled it to a conventional airplane with altitude close to 1000 m, and the other coupled to a manual will support 4 m above ground soil. The highest correlation with the phenological indices of culture was between the sensor and the support Tetracam the lowest was with the same sensor will 1.000m. So the Tetracam sensor altitude of 4 m has higher spatial resolution being the most suitable for experiments on small plots.

KEYWORDS: NDVI, altitude, multispectral sensor.

1 INTRODUÇÃO

A arquitetura favorável para a mecanização do algodoeiro, a adoção de tecnologias atuais e o uso de insumos, fez com que o cultivo do algodoeiro se concentrasse na região central do país e também na região dos “Chapadões” (LEAL et al., 2009). Como inovações adotadas atualmente nessa região, destaca-se o uso de técnicas de agricultura de precisão. Dentro dessa uma ferramenta passível seria a utilização de sensores ópticos para captação de índices de vegetação. Sendo o NDVI (Índice Vegetativo por Diferença Normalizada), o mais conhecido e utilizado para estudos de caracterização e monitoramento da vegetação (SOUSA e PONZONI, 1998), possibilitando um mapeamento da cultura e posterior aplicação insumos em taxa variável, como destacado por HILL et al. (2010)

Segundo MA et al. (2001), as técnicas de sensoriamento remoto, em particular a reflectância multiespectral do visível e do infravermelho, podem proporcionar dados para realizar correlações entre esse índice tomado sobre o dossel da planta e a biomassa existente acima do solo, possibilitando a obtenção de estimativas da produtividade das culturas. WALSH et al. (2012) observaram essa correlação trabalhando com um sensor de NDVI estimando biomassa de trigo e avaliando potencial de produção e produtividade de grãos no inverno. Esses autores concluíram que o NDVI possui um grande potencial como estimador da produtividade da cultura do trigo.

Sensores de NDVI podem ser instalados em VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) para a aquisição de dados em diferentes altitudes de voo, contudo, ao alterar sua altitude a resolução espacial da imagem formada é também alterada, podendo levar a diferenças no índice de vegetação. GEHRKE e GREIWE (2013) utilizaram uma câmera multiespectral Tetracam ADC Lite adaptada em um multirrotor para o mapeamento agrícola aéreo. Os autores observaram que a velocidade do vento pode interferir na qualidade do mapa resultante, uma vez que pode ocorrer o deslocamento do veículo aéreo durante a missão de voo. VALENTE et al. (2013) relatam que os multirrotos possuem capacidade de sobrevoo com uma carga útil maior do que outros VANTS, como também possibilitam a tomada de imagens com maior estabilidade de voo em áreas de vinhedo. Esses autores desenvolveram um procedimento para determinar o trajeto de vôo com maior eficiência de forma a tornar mais rápido o processo de mosaicagem e horectificação das imagens.

Para SALVADOR& ANTUNIASSI(2011) a utilização do NDVI é viável, uma vez que, em condições de desuniformidade dos fatores que afetam a produção das culturas, permite mensurá-los de maneira localizada dentro das áreas, permitindo um tratamento individualizado dessas pequenas porções de áreas dentro de um campo de produção.

Há diferentes sensores de NDVI, com diferentes resoluções espaciais e diferentes resoluções espectrais, levando a incertezas na aplicação mais adequada desse índice na tecnologia em agricultura de precisão. Esse experimento teve como objetivo analisar e correlacionar esse índice proveniente de dois sensores, sendo um ativo e outro passivo, em diferentes altitudes sobre o dossel da cultura do algodoeiro, correlacionando-os com seus índices fenológicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em um talhão cultivado com algodoeiro na fazenda Amambaí no município de Chapadão do Céu, GO na safra 2013/14, com coordenadas geográficas 52°37'17.79"O e 18°21'21.40"S.O solo da área é classificado como LATASSOLO Vermelho Amarelo distrófico, textura média (EMBRAPA, 2006). A altitude média é de 815 m, com relevo predominantemente suave de inclinação entre 1 e 2%. A semeadura da cultura do algodoeiro foi realizada no dia 02/01/2014, com o cultivar FM 975WS.

O delineamento foi conduzido em cinco blocos casualizados e com nove repetições para cada tratamento. Cada parcela possui 10 m de comprimento e a largura com seis fileiras de plantas com espaçamento de 0,80 m. As coletas de fenologia e as leituras do NDVI foram realizadas aos 82 DAE(Dias Após Emergência).

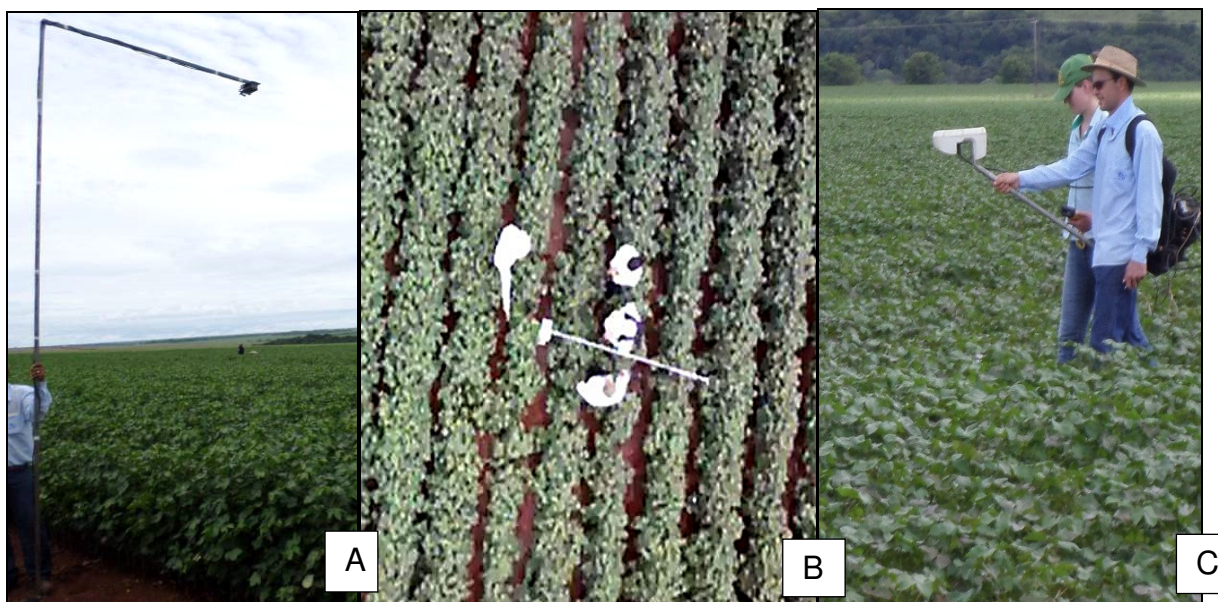
Os dados de NDVI foram coletados nas duas fileiras centrais, descartando-se duas fileiras de bordadura de cada lado da parcela. As leituras foram adquiridas pelo sensor ativo Greenseeker® RT 200 (NTECH Industries, Inc.Ukiah, CA) e pelo sensor passivo por câmara multiespectral Tetracam® ADC Lite (TETRACAM Industries, Inc. Chatsworth,CA).

O sensor comercial GS (Greenseeker) foi montado em suporte manual, trabalhando a 0,80 m acima da planta, como pode ser observado na Figura 1c. O georeferenciamento desse sensor foi obtido pelo uso de um GNSS Trimble, modelo Nomad® 2014. O sensor é composto por uma caixa de controle contendo um

computador portátil e dois LED's que emitem radiação ativa em dois comprimentos de onda centralizada no vermelho (660 nm) e no infravermelho próximo (770 nm), com largura de banda 25 nm. A magnitude da luz refletida pelo alvo é medida por fotodiodo detector, onde determina os valores de refletância para as duas bandas e calcula o NDVI (NTECH Industries, 2014).

A câmara multiespectral Tetracam (TCAM) possui as bandas Verde/GREEN (520-600nm), Vermelho/RED (630-690nm) e Infravermelho/NIR (760-900nm) e necessita da luz do sol para obter as imagens, sendo classificada como sensor passivo (TETRACAM Industries, 2014). A captura das imagens pelo sensor da Tetracam foi dividida em duas etapas: uma acoplando-a abaixo da asa de um avião convencional e com altitude de vôo próxima a 1000 m acima do solo, denominando-se de Tetracam aérea (TCAMar); e a outra acoplando-a em um suporte metálico manual a 4 m de altura, conforme Figura 1a, denominado de Tetracam suporte (TCAMsup).

FIGURA 1. Câmera multiespectral Tetracam ADC Lite instalada em suporte a 4 m (a); aquisição da imagem em posição relativa acima de duas fileiras da cultura (b); e sensor ativo Greenseeker acoplado em suporte a 0,80 m acima da linha da cultura (c).



Foram comparados os valores de NDVI brutos e filtrados obtidos pela Tetracam instalada no suporte a 4 m (TCAMsupB e TCAMsupF, respectivamente). A filtragem de cada imagem da câmera foi realizada eliminando-se os valores de NDVI

referentes ao solo, segundo uma classificação supervisionada dessa imagem utilizando o programa de SIG Spring 5.1.8. Segundo essa classificação, foram eliminados os valores de NDVI inferiores a 0,299 em cada cena, segundo uma amostragem de pontos ou pixels da entrelinha da cultura, visível em cada cena tomada. Os valores de NDVI considerados em cada repetição para cada imagem foi a média de todos os pixels em cada imagem. As imagens multiespectrais em falsa-cor obtidas pela câmera Tetracam foram processadas pelos programas Autopano-Pro para o processo de retificação e mosaicagem e Spring 5.1.8 no georeferenciamento e cálculo do NDVI. A Equação 1 foi utilizada para calcular o NDVI.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

em que,

NIR - Valor de reflectância na banda do infravermelho;

RED - Valor de reflectância na banda do vermelho.

Os resultados das análises estatísticas foram obtidas pelo uso do programa Infostat, versão 2013. Realizou-se um teste de normalidade dos dados por Shapiro-Wilk.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva para os valores das leituras de NDVI aos 82 DAE está apresentada na Tabela 1. A maior média de NDVI foi obtida pelo sensor ativo GS em 0,89, sendo próximo ao valor das imagens aéreas Tetracam, as quais obtiveram a média do NDVI em 0,84. As imagens adquiridas com auxílio do suporte apresentaram média inferior a 0,58. Todos os dados obtiveram um coeficiente de variação baixo e apresentaram distribuição de frequência normal pelo teste de Shapiro-Wilk. Os valores de NDVI médios obtidos pela Tetracam foram menores quando essa câmera foi instalada no suporte de solo, independente da filtragem de valores de solo ou não, e valor médio maior quando foi instalado em plataforma aérea. Os dados coletados acima das linhas de cultivo do algodoeiro pelo sensor ativo Greenseeker pode ter apresentado minimização da interferência do solo pela aproximação e pelo ângulo de escaneamento acima da linha, capturando em maior proporção a massa vegetal do que solo, gerando maiores valores de NDVI. O maior

coeficiente de variação foi obtido pelos dados brutos da Tetracam instalada em suporte, já que contém valores mais baixos de NDVI referente ao solo em cada cena tomada. Além de ter diminuído o coeficiente de variação, a filtragem realizada dos valores de NDVI obtidos pela câmera instalada em suporte mudou a assimetria da distribuição, passando de negativa para positiva já que foram eliminados os valores referente ao solo, entretanto, não alterou a normalidade dos dados.

TABELA 1. Análise descritiva das leituras médias de NDVI das parcelas obtidas pelo sensor Tetracam em plataforma aérea e instalada em suporte e do sensor Greenseeker na cultura do algodoeiro.

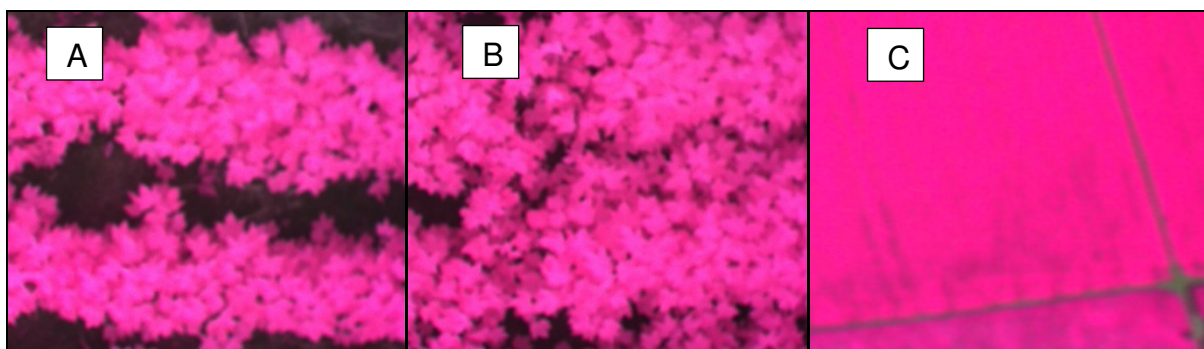
Equipamento			NDVI			Coeficiente			Teste W ¹	
	Média	Mediana			Desvio	Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	D
			Max	Min	Padrão					
TCAMar	0,84	0,83	0,86	0,81	0,01	0,01	-0,73	0,48	p> 0,05	NO
TCAMsupB	0,52	0,53	0,60	0,39	0,05	8,91	0,00	-0,62	p>0,05	NO
TCAMsupF	0,58	0,57	0,63	0,54	0,02	3,72	0,07	0,46	P>0,05	NO
GS	0,89	0,89	0,90	0,87	0,01	0,83	-0,72	-0,37	p>0,05	NO

¹Pr - Probabilidade; D – Distribuição; NO – Normal; TCAMar – Tetracam plataforma aérea; TCAMsupB – Tetracam suporte e valores brutos; TCAMsupF – Tetracam suporte e valores filtrados de solo; e GS – Greenseeker.

As imagens tomadas pela câmera Tetracam com maior interferência do solo (Figura 2a), devido ao menor enfolhamento da planta e menor fechamento do dossel, resultaram em parcelas com menores valores médios de NDVI, uma vez que o valor desse índice para o solo é baixo. Salienta-se que as bandas espectrais de cada sensor avaliado possuem intervalos distintos. O valor médio do NDVI calculado em cada imagem da Tetracam é obtido perante a média de todos os pixels na cena, assim, elevada área relativa de solo leva à diminuição desse índice. As imagens obtidas pela câmera Tetracam ao nível do solo (Figuras 2a e 2b) resultaram em uma maior resolução espacial (0,002 m) do que as imagens aéreas (0,700 m – Figura 2c). Essa diferença refletiu-se na quantidade de pontos amostrais para o cálculo do NDVI

médio da cena, diferindo de 24 mil pontos amostrais por parcela e 50 pontos amostrais por parcela. A aquisição de dados pelo sensor ativo Greenseeker proporcionou 20 pontos por parcela.

FIGURA 2. Imagens multiespectrais falsa cor do sensor passivo de duas parcelas experimentais e da imagem aérea: (a) com NDVI 0,50 (mais solo, pelas manchas escuras); (b) com NDVI 0,60 (maior enfolhamento e fechamento de entrelinhas, pelas cores claras); e (c) com NDVI 0,84 (menor interferência do solo).



Segundo EITEL (2008), o NDVI está correlacionado com algumas variáveis biofísicas das plantas, tais como a área e a massa de folhas verdes, o conteúdo de água das folhas e a clorofila total. Os valores de NDVI dos sensores foram correlacionados com os índices fenológicos do algodoeiro pelo Coeficiente de Correlação Pearson (r), que possui valores adimensionais e variando de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. De acordo com COHEN (1988), os valores positivos dessa correlação considerados como fraco vão de 0,10 a 0,29, como moderado de 0,30 a 0,49 e forte de 0,50 a 1. A maior correlação obtida e considerada forte entre o NDVI e a fenologia do algodoeiro foi de 0,63 (Tabela 2), proveniente dos valores obtidos pela TCAMsupB correlacionados com a altura da planta. A menor correlação e considerada fraca foi de 0,10, obtida pela correlação entre a altura da planta e os valores dados pela TCAMar. Dessa forma, o uso da câmera Tetracam em suporte ao nível do solo é mais adequado do que quando essa é instalada em plataforma aérea e sendo aplicada para a estimativa da altura do algodoeiro. As correlações obtidas pelo uso do sensor ativo Greenseeker em relação à estimativa da altura de plantas e do número de ramos foram menores do que pelo uso da câmera multiespectral instalada em suporte e sem a filtragem de seus dados, entretanto, ainda foram

maiores do que pelo uso dessa mesma câmera instalada em plataforma aérea. ALMEIDA et al. (2012), trabalhando com a variabilidade espacial da produção de biomassa e produtividade de grãos, obtiveram correlação elevada pelo uso do mesmo sensor ativo Greenseeker. Corroborando com os resultados de VIAN et al. (2014), os quais obtiveram correlação de 0,71 do NDVI com a produtividade das plantas de milho.

TABELA 2. Correlações de Pearson entre NDVI dos diferentes sensores com dados fenológicos do algodoeiro: altura e número de ramos.

Sensores	Altura da planta (m)	Nº de Ramos
TCAM aérea	0,10*	0,19*
TCAM suporte_Brutos	0,63*	0,46*
TCAM suporte_Filtrados	0,55*	0,44*
Greenseeker	0,55*	0,32*

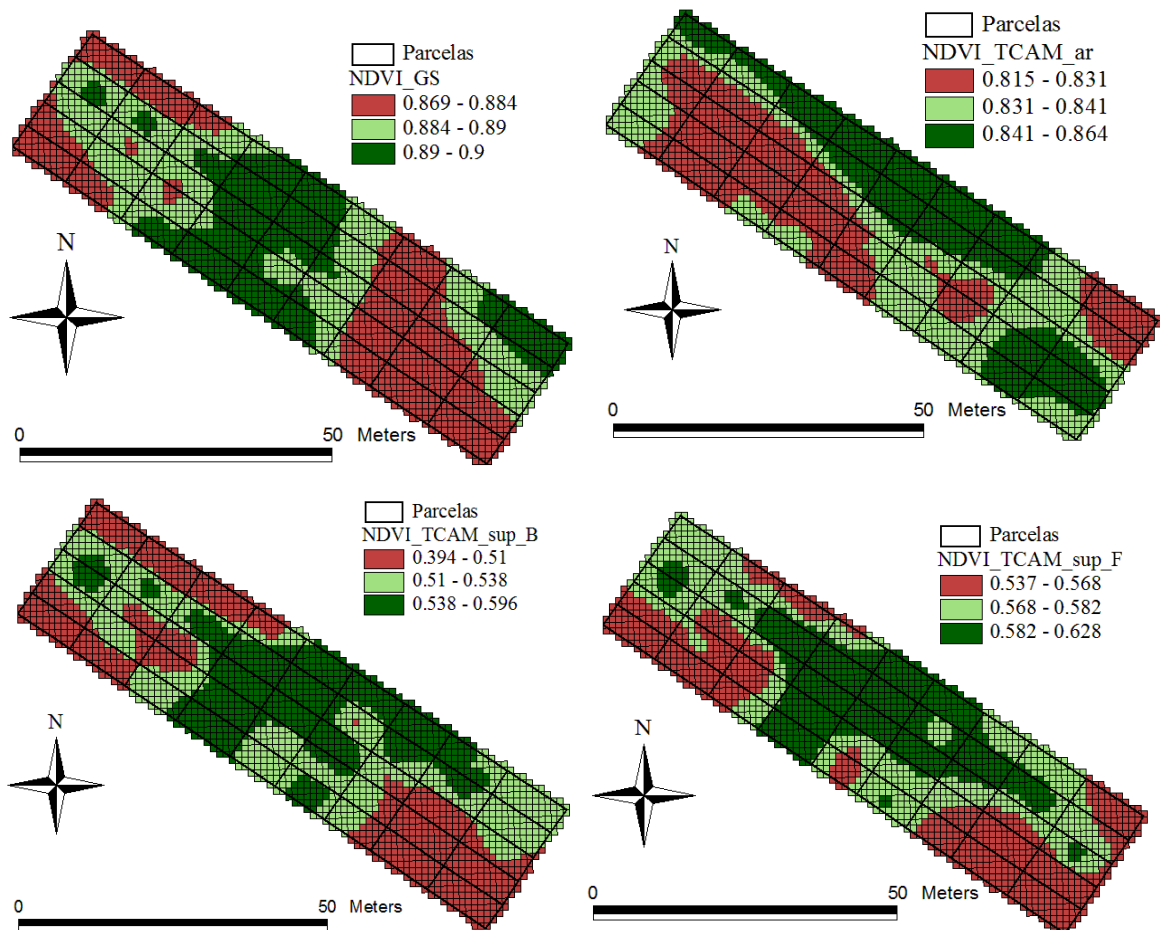
*valores significativos para o nível de 5% pela correlação de Person.

Os dados de correlação entre os valores de NDVI obtidos pelo sensor Greenseeker e da fenologia do algodoeiro se mantiveram próximos aos valores de NDVI obtidos pela imagem com o sensor passivo Tetracam instalado em suporte, tanto pelos seus valores brutos quanto filtrados. Entretanto, as correlações desse índice de vegetação obtidas pelo uso da câmera Tetracam instalada em suporte foram maiores do que quando essa mesma câmera foi instalada em plataforma aérea. Esse fenômeno pode ter sido devido ao fato das imagens obtidas pela plataforma aérea possuírem uma resolução espacial menor (*pixels* maiores), acarretando em uma mistura dos valores desse índice nas representações das bordas das folhas da cena tomada, ou seja, um valor do índice mesclando parte da representação de folha e parte do solo. Assim, quando do uso da câmera multiespectral em experimentos com culturas agrícolas instaladas em pequenas parcelas, sugere-se que esse dispositivo seja instalado em um suporte fixo acima do dossel da planta e não em plataforma aérea, em função da maior resolução espacial da cena resultante. Para KOUNDAURI et al. (2006), uma imagem com maior

qualidade e maior resolução são requisitos básicos para aplicações em agricultura de precisão, de forma a obter resultados confiáveis. VIAN et al. (2014), trabalhando com imagens digitais na cultura do milho para a classificação de solo, palha e cobertura da planta de milho, obtiveram correlação elevada entre a porcentagem da cobertura dessa planta em relação ao solo e sua produtividade. Os autores observaram que porcentagem alta de cobertura da planta acarretou em menor interferência do solo e da palha no resultado final.

Os mapas da Figura 3 apresentam uma representação da variabilidade espacial dos valores de NDVI nas parcelas obtidas pelas diversas aplicações dos sensores. Houve uma similaridade pela análise visual na tendência da distribuição dos valores desse índice de vegetação, com exceção do mapa de NDVI obtido com o uso da câmera Tetracam instalada em plataforma aérea. SAMSEEMOUNG et al. (2012), trabalhando com o sensoriamento remoto em baixa altitude na captação de imagens por diferentes plataformas na cultura da soja, observaram que o guindaste como suporte é mais estável na aquisição das cenas, levando a uma maior qualidade do resultado final, quando comparado ao uso de veículo aéreo não tripulado.

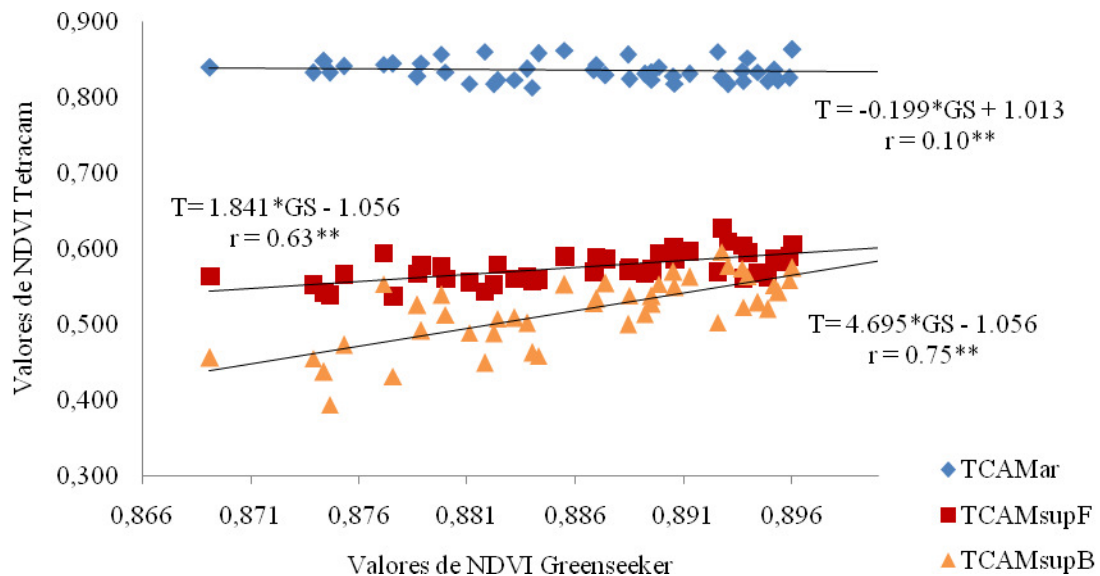
FIGURA 3. Representação da variabilidade espacial dos valores de NDVI nas parcelas obtidas pelas diversas aplicações avaliadas dos sensores: sensor ativo Greenseeker (GS); sensor passivo Tetracam em plataforma aérea (TCAMar); Tetracam em suporte e valores brutos (TCAMsupB); e Tetracam em suporte e valores filtrados (TCAMsupF).



A Figura 4 apresenta as correlações entre os valores de NDVI obtidos pelo uso do sensor ativo Greenseeker e pela câmera multiespectral Tetracam nas diferentes plataformas. Houve uma maior correlação ($r = 0,75$) entre os valores de NDVI obtidos pelo uso do sensor ativo correlacionado com os valores brutos obtidos pelo sensor passivo Tetracam. Ainda, houve uma correlação negativa obtida entre os sensores, quando a câmera foi instalada em plataforma aérea. Esse resultado corrobora com os anteriores os quais ilustram uma perda de representação do índice de vegetação obtido quando do uso da câmera em plataforma aérea. A negatividade

da correlação representa que valores maiores obtidos por um sensor em uma parcela foram menores por outro sensor (Figura 3).

FIGURA 4. Correlações entre os valores de NDVI obtidos pelo uso do sensor ativo Greenseeker(GS) e pela câmera multiespectral Tetracam (T) nas diferentes plataformas (** p > 0,05).



Vários autores utilizaram o NDVI em estudos correlacionando esse índice de vegetação com alguns índices fenológicos em diversas culturas agrícolas, como EITEL (2008), SALVADOR& ANTUNIASSI (2011), ALMEIDA et al. (2012), WALSH et al.(2012) e GEHRKE & GREIWE (2013), todavia, esse índice sobre variações muitas vezes causadas pela condição local, pelo modo de aplicação ou por características intrínsecas aos sensores, como resolução espacial e resolução espectral. Dessa forma, os estudos envolvendo o NDVI devem caracterizar devidamente sua condição de uso e comparativos entre resultados de experimentos devem ser tecidos com cuidado, mesmo que tenham sido realizados em uma mesma cultura agrícola.

4 CONCLUSÕES

Os valores brutos de NDVI obtidos pelo uso do sensor passivo acoplado em suporte a 4 m acima do solo possui maior correlação com a fenologia do algodoeiro. Sua correlação também é elevada quando comparado com o índice obtido pelo sensor ativo.

Todas as correlações obtidas pelo uso do sensor passivo instalado em plataforma aérea são menores. A variabilidade espacial obtida pelo uso desse sensor em plataforma aérea leva a uma discrepância das demais.

O NDVI mensurado pelo sensor passivo acoplado em suporte acima do solo é menor por possuir maior resolução espacial, acarretando em maior interferência do solo na cena.

AGRADECIMENTOS

À FUNDECT e ao CNPq pelo aporte financeiro. À Fazenda Amanbaí pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D.; BREDEMEIER, C.; ROSA, A.T.; PERIN, J.; SCHMITZ, J.F. Sensor óptico ativo para estudo da variabilidade espacial da biomassa e sua relação com a produtividade em trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2012, Ribeirão Preto. **Anais...**Jaboticabal: SBEA, 2012. 1 CD-ROM.

COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2.ed. Hillsdale: Routledge, 1988.590p.

EITEL, J. U. H. Combined spectral index to improve ground-based estimates of nitrogen in dryland wheat. **AgronomyJournal**, Madison, v.100, n.6, p.1694-1702, 2008.

EMBRAPA *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed., Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. 306p.

GEHRKE, R.; GREIWE, A. Multispectral image capturing with foveon sensors. *International Archives of the Photogrammetry*, London, v.15, n.2, p.151-156, 2013.

HILL, J.; UDELHOVEN, T.; VOHLAND, M.; STEVENS, A. The use of laboratory spectroscopy and optical remote sensing for estimating soil properties. In: OERKE,

E.C.; GERHARDS, R.; MENZ, G.; SIKORA, R.A. **Precision crop protection - the challenge and use of heterogeneity**. New York, Springer, 2010. p.67-70.

KOUNDAURI, P.; NAUGES, C.; TZOUVELEKAS, V. Technology adoption under production uncertainty: theory and application to irrigation technology. **American Journal of Agricultural Economics**, Oxford, v.88, n.3, p.657–670, 2006.

LEAL, A. J. F.; TOSTA, F. S.; ANSELMO, J. L.; FURLANI J. E. Comportamento de do algodoeiro cultivado em região de cerrado com diferentes espaçamentos e densidades de plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. CD-ROM.

MA, B.L.B.; DWYER, L.M; COSTA, C.; COBER, E.R.; MORRISON, M.J. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. **Agronomy Journal**, Madison, v.93, n.6, p.1227-1234, 2001.

NTECH Industries. *Model 505GreenSeeker Hand Held TMOptical Sensor Unit: Operating Manual*. Disponível em:<<http://www.ntechindustries.com/pdf/Model-505-Hand-Held-Manual-rev-l.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2014.

SALVADOR, A.; ANTUNIASSI, U. R. Imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo em áreas de algodão para aplicação localizada de insumos. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.26, n.2, p.01-19, 2011.

SAMSEEMOUNG, G.; SONI, P.; JAYASURIYA, H. P. W.; SALOKHE, V. M. Application of low altitude remote sensing (LARS) platform for monitoring crop growth and weed infestation in a soybean plantation. **Precision Agriculture**, Madison, v.13, n.6, p.611-627, 2012.

SOUSA, C.L.; PONZONI, F.J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de pinus spp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 1998, Curitiba. **Anais...**São José dos Campos: INPE, p.1537-1547, 1998.

TETRACAM Industries *Agricultural Digital Camera User's Guide*: Inc. Chatsworth, USA. Disponível em:

<http://www.tetracam.com/pdf/ADC/ADC%20User%20Manual.pdf>. Acesso em: 18 maio 2014.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, London, v.8, n.2, p.127–150, 1979.

VALENTE, J.; SANZ, D.; CERRO, J.D.; BARRIENTOS, A.; FRUTOS, M.A. Near-optimal coverage trajectories for image mosaicing using a mini quad-rotor over irregular-shaped fields. **Precision Agriculture**, Madison, v.14, n.2, p.115–132, 2013.

VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; ALMEIDA, D.; GIORDANO C. P. S.; JESUS, M. H. Uso de imagens digitais e sensor de vegetação para estimativa do potencial produtivo e estado nutricional em milho, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2014. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2014. 1 CD-ROM.