

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO  
VEGETAL**

**DENIS DE MATOS SILVA**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA  
SOBRE A PRODUTIVIDADE E PARÂMETROS FENOLÓGICOS  
DA CULTURA DO ALGODÃO ADENSADO**

**CHAPADÃO DO SUL - MS  
2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO  
VEGETAL**

**DENIS DE MATOS SILVA**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA  
SOBRE A PRODUTIVIDADE E PARÂMETROS FENOLÓGICOS  
DA CULTURA DO ALGODÃO ADENSADO**

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**



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

DISCENTE: Denis de Matos Silva

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

**ADUBAÇÃO NITROGENADO SOBRE A PRODUTIVIDADE E PARÂMETROS  
FENOLÓGICOS DA CULTURA DO ALGODÃO ADENSADO.**

Prof.(a) Dr.(a) Fábio Henrique Rojo Baio

Prof.(a) Dr.(a) Cassiano Garcia Roque

Prof.(a) Dr. (a) Rafael Montanari

Chapadão do Sul, 03 de fevereiro de 2014

## **DEDICATÓRIA**

Dedico primeiramente a Deus, a meus Familiares, Amigos e principalmente ao Professor Doutor Fabio Henrique Rojo Baio, por ter acreditado em mim.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul por me proporcionar a oportunidade da realização do título de mestre, ao meu orientador Fabio Henrique Rojo Baio, pela dedicação e orientação, aos Professores Doutores Aguinaldo José Freitas Leal e Cassiano Garcia Roque, pela ajuda e comprometimento em toda minha trajetória acadêmica, aos meus amigos: George, Bruno, Mateus, Pedro e Herivelto pela ajuda na adubação de cobertura, a técnica de laboratorial Mônica, pela ajuda na análise foliar realizada no laboratório da UFMS, ao grupo PET, por ter ajudado na colheita do algodão, a empresa Agrichem por ter cedido o fertilizante nitrogenado NITAMIM e principalmente ao Grupo Wink por ter cedido a área e todos os tratamentos culturais.

## RESUMO

SILVA, Denis de Matos. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Adubação nitrogenada sobre a produtividade e parâmetros fenológicos da cultura do algodão adensado

O novo perfil tecnológico da lavoura algodoeira incluiu a introdução de cultivares mais produtivas consequentemente, vem ocorrendo melhoria nas técnicas de manejo da cultura, com destaque para a adubação nitrogenada.

O objetivo do trabalho foi avaliar a adubação nitrogenada sobre a produtividade de algodão em caroço e os parâmetros fenológicos da cultura do algodão adensado. O trabalho foi realizado em condições de campo, durante a segunda safra de 2012, no Município de Chapadão do Céu - GO, Fazenda Amambaí. O delineamento experimental foram o de blocos casualizados constituindo 5 repetições e 6 tratamentos. A dose de nitrogênio utilizada foi de  $110 \text{ kg ha}^{-1}$ , associando duas fontes de N: sólido e líquido. A dose foi parcelada em duas doses, a primeira foi aos 25 dias após emergência (DAE) e a segunda aos 45 DAE. Foram avaliados índices da vegetação por diferença normalizada (NDVI), altura de plantas, diâmetro de caule, número de nós, nitrogênio total nas folhas, número de maçãs, massa verde de maçãs, massa seca de maçãs, massa de 10 capulhos e produtividade. A adubação nitrogenada em cobertura influenciou positivamente em todos os parâmetros analisados. A regressão correlacionou positivamente entre produtividade de algodão em caroço e o NDVI, destacando-se o tratamento de  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, sendo 25% na forma sólida + 75% na forma líquida e foi o que mais influenciou os parâmetros teor médio de nitrogênio total, NDVI e a produtividade de algodão em caroço.

**Palavras-chave:** NDVI, nitrogênio, regressão, *Gossypium hirsutum*.

## ABSTRACT

SILVA, Denis de Matos. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Nitrogen fertilization on productivity and phenological of dense cotton

The new technological profile of cotton farming included the introduction of more productive cultivars, consequently there has been improvement in the techniques of crop management, especially nitrogen fertilization. The aim of this study was to analyze the nitrogen fertilization over the productivity and phenological culture of dense cotton. The work was carried out in field conditions during the second crop of 2012 in Chapadão do Céu – GO, Amambaí Farm. The experimental design was randomized blocks constituting 5 replications and 6 treatments, the dose was only 110 kg nitrogen ha<sup>-1</sup>, associated with N sources: solid and liquid, doses were split into two, the first dose at 25 days after emergence and second dose at 45. Vegetation indices were evaluated by normalized difference, plant height, stem diameter, number of knots, total nitrogen in leaves, number of cotton apples, green mass of cotton apples, dry mass of cotton apples, mass of 10 bolls and productivity. To the nitrogen fertilization in covering there was a positive influence in all the parameters analyzed, correlation between productivity and NDVI, especially the treatment of 110 kg ha<sup>-1</sup> N, being 25% in solid and 75% in liquid form and was the most influencing parameters the average content of total nitrogen, NDVI and productivity cotton seed.

**Key Words:** NDVI, nitrogen, regression, *Gossypium hirsutum*.

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Pg
1 Média da massa verde de maçãs por planta (MVM) (g), massa seca de maçãs por planta (MSM) (g) , massa de capulhos por planta (MC) (g), , diâmetro do caule aos noventa dias após emergência (DC) (m), altura de plantas na colheita (APC) (m) e número de nós por planta (NN), índice da vegetação da diferença normalizada (NDVI), teor de nitrogênio total na folha (NT) (kg g <sup>-1</sup> ), produtividade de algodão em caroço (PAC) (kg ha <sup>-1</sup> ) para o algodão de cultivo adensado em Chapadão do Céu – GO em função de diferentes tratamentos. Fazenda Amambaí “safrinha 2012”	23



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pg</b>
<b>1</b>	Média pluviométrica mensal Chapadão do Céu – GO	<b>18</b>
<b>2</b>	Correlação linear entre o NDVI mensurado aos noventa DAE e a produtividade do algodão em caroço kg ha <sup>-1</sup>	<b>24</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	01
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>	02
<b>2.1. Adubação Nitrogenada</b>	02
<b>2.2. Função do Nitrogênio na Planta</b>	03
<b>2.3. Fontes de Nitrogênio</b>	04
<b>2.4. Sensores Ópticos Ativos</b>	05
<b>3. REFERÊNCIAS</b>	07
<b>CAPÍTULO 1. ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A PRODUTIVIDADE E PARÂMETROS FENOLÓGICOS DA CULTURA DO ALGODÃO ADENSADO</b>	12
<b>RESUMO</b>	12
<b>ABSTRACT</b>	12
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	13
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b>	17
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	20
<b>4. CONCLUSÕES</b>	24
<b>5. REFERÊNCIAS</b>	25

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as espécies de algodoeiro cultivadas no Brasil, o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* var. *latifolium* Hutch) merece destaque não apenas pelo volume e valor da produção mas também pela elevada utilização de insumos como corretivos e fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas e reguladores de crescimento.

A cotonicultura brasileira apresenta significativas alterações em produtividade e distribuição geográfica. Ocorrem mudanças tecnológicas, constituídas principalmente pela adoção de novos cultivares, com características de maior potencial produtivo, melhor qualidade de fibra e também maior exigência nutricional (Freitas et al., 2007).

No Brasil, o algodoeiro é cultivado principalmente nos Estados de Mato Grosso, Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul, sendo que estes estados cultivaram o equivalente a 50,62%, 31,14%, 6,25% e 4,62%, respectivamente, da área estimada para a safra 2010/2011, que foi de 1.214.500 ha (CONAB, 2010). Analisando-se a produtividade de algodão em caroço por hectare, verifica-se que esta pode ter sido considerada elevada, superior a 3.900 kg ha<sup>-1</sup> nos quatro principais estados produtores. Entretanto, a estimativa de custo de produção da safra 2010/2011 foi avaliada no Município de Chapadão do Céu, em Goiás, e verificou-se que fertilizantes e agroquímicos corresponde a 24,69% e 25,50% do custo total, que foi estimado em R\$ 4.479,68, onde os percentuais do Estado variaram de 16,49% e 30,34% do custo total, para fertilizantes e agroquímicos, respectivamente (CONAB, 2010). Em Mato Grosso, fertilizantes e agroquímicos têm participação significativa no custo de produção, variando entre 22,675% e 26,53% do custo variável, respectivamente (BOLETIM SEMANAL DE ALGODÃO, 2010).

Esses dados evidenciam o elevado custo de produção de algodão no Brasil decorrente do uso de fertilizantes e agroquímicos, que são consequências do modelo de produção predominante, baseado na intensa movimentação do solo e ausência de rotação de culturas. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada sobre a produtividade e

parâmetros fenológicos da cultura do algodão cultivado adensado, utilizando um sensor óptico ativo para mensuração do NDVI.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Adubação Nitrogenada**

A cultivo de algodão no Brasil, possui alto potencial para produção de algodão em caroço. Entretanto, apenas este potencial não assegura bons rendimentos agrícolas e qualidade da fibra. Fatores externos à planta, como ambiente e ações de natureza antrópica no manejo da cultura, são fundamentais para, em conjunto, promoverem melhores resultados. Por outro lado, o conhecimento das características de crescimento e desenvolvimento durante o ciclo fenológico das plantas permite melhor planejamento e uso de técnicas de manejo mais adequadas, na busca destes rendimentos máximos possíveis. O sucesso da cultura do algodoeiro no cerrado tem sido impulsionado pelas condições de clima favorável, terras planas, que permitem mecanização total da lavoura e técnicas de manejo da cultura tais como correção do solo, adubação, controle de plantas daninhas, pragas, doenças e o uso de reguladores de crescimento, (Embrapa, 2003).

O cultivo do algodoeiro passou de uma atividade alternativa, para pequenos e médios produtores, a um sistema de produção em escala, com o uso de variedades com arquitetura favorável à colheita mecanizada, caracterizadas por altas produtividades e intenso uso de insumos, principalmente na região do Cerrado (Leal et al., 2009). Como os fertilizantes representam 28% do custo operacional total desta atividade, este merece grande atenção do produtor e da pesquisa, principalmente quanto a fertilizantes nitrogenados (Leal et al., 2011)

O nitrogênio é o nutriente mais requerido pelo algodoeiro, porém, sua recomendação tem sido feita, muitas vezes, de maneira empírica, não se levando em consideração a resposta da cultura e o solo Rosolém e Mellis (2010). Para maior redução de perdas e aproveitamento do fertilizante pela cultura, preconiza-se trabalhar com o seu fornecimento em aplicações parceladas. Neste sentido, Souza e Lobatto (2004) recomendam que a adubação nitrogenada em cobertura, para o algodoeiro cultivado no Cerrado,

seja feita em função da expectativa de produtividade, e que doses superiores a  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N devem ser parceladas em duas aplicações, aos 30 e 50 dias após a emergência. .

Como o algodoeiro é cultivado predominantemente em sistema convencional que tem por característica o revolvimento do solo por aração e gradagem. Nesse sistema de cultivo recomenda-se que a adubação nitrogenada seja aplicada parte no sulco de semeadura,  $10$  a  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, e parte em cobertura, em uma ou duas aplicações, dependendo da textura do solo e do histórico do talhão. Essa adubação em cobertura de solo deve ser realizada entre as fases de abotoamento e florescimento do algodoeiro (Silva, 1999).

Na adubação da cultura, ocorreram grandes mudanças, após o deslocamento do cultivo do algodoeiro de áreas produtoras tradicionais para a região dos cerrados. O cultivo nesta região é altamente tecnificado, tendo altos investimentos com insumos e maquinários, ou seja, custo muito elevado, remetendo a grande risco da atividade. Desta forma, alternativas que reduzam os riscos, é uma busca incessante pelos envolvidos na exploração desta cultura (Ferrari et al., 2005).

O nitrogênio é um dos insumos que freqüentemente têm causado problemas de mau uso, devido à variabilidade dos processos de mineralização, lixiviação, desnitrificação e absorção pela cultura (Booij et al., 2001). Em geral, este nutriente é considerado fator limitante para a produtividade do algodoeiro, tanto em áreas irrigadas como no cultivo de sequeiro; entretanto, aplicações excessivas podem reduzir a produção e a qualidade da fibra (Hutmacher et al., 2004).

## **2.2 Função do Nitrogênio na Planta**

Segundo Staut e Kurihara (2002), o nitrogênio é fundamental no desenvolvimento da planta, principalmente dos órgãos vegetativos; quando em doses adequadas, estimula o crescimento e o florescimento, regulariza o ciclo da planta, aumenta a produtividade e melhora o comprimento e a resistência da fibra e, em doses elevadas, verifica-se um aumento no

desenvolvimento vegetativo da planta em detrimento da produção e formação tardia dos frutos do algodoeiro.

Segundo Fridgen e Varco (2004) a aplicação de diferentes doses de N induziu a uma ampla variação na concentração de N foliar e na de clorofila, de forma que a distinção de plantas deficientes em N pode ser detectada pela refletância foliar na faixa do visível ao infravermelho próximo, desde que nenhum outro nutriente esteja em falta na cultura. Por participar diretamente na formação da molécula existe uma forte relação entre nitrogênio e clorofila. Assim, conforme relataram Bullock e Anderson (1998) com o aumento da disponibilidade de nitrogênio para a planta mais clorofila é produzida nas folhas, melhorando a percepção da cor verde da folha. Este aumento da clorofila, porém, atinge um patamar designado como ponto de maturidade fotossintética a partir do qual se mantém invariável, mesmo com o aumento da concentração de nitrogênio no tecido, o que explica o comportamento quadrático dos índices espectrais.

Para Frye e Kairuz (1990), o nitrogênio têm sido o elemento mais importante para a produção do algodão, já que, em quantidades baixas ou altas, a maioria dos solos necessita da adição de fertilizantes nitrogenados para a obtenção de produtividade satisfatória.

Mais de 95% do nitrogênio do solo se encontra na forma orgânica (matéria orgânica) não disponível para as plantas, enquanto apenas uma pequena parte está disponível nas formas de amônio e nitrato, que são absorvidas pelas plantas. Devido à dinâmica das transformações do nitrogênio no solo, a recomendação de adubação nitrogenada com base na análise do solo é uma tarefa muito difícil, razão por que as recomendações de adubação nitrogenada têm sido feitas com base em curvas de resposta da cultura à aplicação de doses crescentes, produtividade esperada e histórico da área (sistema de produção, culturas anteriores e produtividades obtidas nas últimas três safras) (Carvalho et al., 2006).

### **2.3 Fontes de Nitrogênio para o Algodão**

Para a cultura do algodoeiro um fator relevante se refere à fonte de nitrogênio adotada. De acordo com Cantarella e Marcelino (2006), a ureia é

o principal fertilizante sólido no mercado mundial. No Brasil, este produto responde por cerca de 60% dos fertilizantes nitrogenados comercializados, havendo clara preferência da indústria pela fabricação de uréia, em comparação com outras fontes sólidas de nitrogênio, em função do menor custo e maior facilidade de produção.

Segundo Legaz (1994), a uréia é o fertilizante sólido de maior concentração de nitrogênio e o mais utilizado, apresenta-se na forma de grânulos brancos que contêm 46% de nitrogênio (N) em seguida vem no nitrato de amônia, com concentração de 33% de N, o uso desse fertilizante é restrito pelas forças armadas, devido sua ação explosiva. A utilização das diversas fontes de N possibilita a complementação da quantidade necessária desse nutriente no solo, para que se obtenha melhor produtividade das culturas.

No entanto, para se produzir fertilizantes nitrogenados em forma líquida as matérias-primas utilizadas na produção, apresentam nitrogênio nas formas nítrica, amídica e amoniacal. Esta combinação permite ótimo aproveitamento do nutriente, diminuindo perdas por volatilização e maior absorção pela planta, sendo que a porcentagem de N no produto vai depender da fonte de N utilizada e das diferentes empresas fornecedoras do produto na forma líquida.

## **2.4 Sensores Ópticos Ativos**

O uso racional de corretivos e fertilizantes depende da disponibilidade de nutrientes no solo, da exigência nutricional da cultura, dos fatores que afetam sua eficiência, das relações econômicas entre os preços da pluma e dos insumos, além do impacto sobre o meio ambiente.

Klotz et al., (2003) afirmaram que o crescimento da adoção de práticas de agricultura de precisão e o monitoramento ambiental requerem novos sistemas e técnicas de aquisição de dados visando à informação detalhada do status da vegetação. Neste sentido, Kuckenberget al., (2009) relataram que medidas de refletância permitem estimativas rápidas e não invasivas do estado nutricional das plantas (referentes ao N), auxiliando a adubação de precisão.

Técnicas de sensoriamento remoto fornecem dados para o manejo regionalizado das culturas (Plant et al., 2000, 2001; Leon et al., 2003) e podem ser usados para caracterizar dados espaciais de uma cultura Younan e King, (1999); (Steven, 2004). A informação obtida pode ser usada para quantificar os danos causados pelas doenças de plantas e seus efeitos sobre a produção, melhorar a qualidade das culturas, monitorar a irrigação e processos de fertilização e o manejo de plantas daninhas Younan e King, (1999). Sensores acoplados em tratores que se deslocam pela lavoura podem coletar dados e são menos dependentes das condições climáticas do que dados orbitais ou sub-orbitais (Steven, 2004).

Freire e Bastos (1998), afirmam que, para o sensoriamento remoto, a reflexão da radiação eletromagnética é um fenômeno importante, uma vez que, normalmente, a base das informações é a radiação refletida pelos alvos na superfície terrestre. A reflectância espectral é o parâmetro utilizado para distinguir os diferentes alvos numa imagem e está associado às características intrínsecas de composição físico-química do alvo, o que possibilita discriminar e/ou identificar os alvos das cenas. A radiação refletida pelas folhagens é função de características da própria espécie vegetal estudada e das condições em que elas se encontram. Porém, pragas e doenças freqüentemente são responsáveis por muitos fatores que afetam a refletância.

Sui et al., (1998) desenvolveram um sensor óptico para diagnose de sanidade de plantas de algodoeiro. O sensor mede a reflectância do dossel nas bandas do visível e do infravermelho próximo (IVP). Os resultados mostram que a reflectância do dossel do algodoeiro é fortemente correlacionada com a produtividade e deficiência de nitrogênio.

No sensoriamento remoto, os sensores utilizados são equipamentos que captam dados de radiação eletromagnética refletida pelo alvo, em uma determinada faixa do espectro eletromagnético, e geram informações que podem ser transformadas num produto passível de interpretação, quer seja na forma de imagem, na forma gráfica ou de tabelas. Os sistemas sensores são basicamente formados por uma parte óptica (coletor), constituída por lentes e espelhos, que tem o objetivo de captar e direcionar a energia proveniente dos alvos para os detectores. Esses dispositivos podem ser



passivos ou ativos. Quando ativos, possuem uma fonte de luz própria que quando emitida, interage com o alvo e a parte refletida é captada pelo sensor. Esses sensores podem ser operados durante o dia ou à noite (Moreira, 2005). De acordo com Kim et al., (2005) a luz solar teve efeito sobre as leituras de um sensor ativo comercial (GreenSeeker Hand Held™, NTech Industries, Inc., Ukiah, CA) durante o dia, com valores dos índices da vegetação por diferença normalizada (NDVI) menores ao meio dia e aumentando gradualmente até a noite. Em um ensaio de 26 horas mostrou um desvio padrão menor que 0,051 no NDVI.

Segundo Galvão et. al., (1999) existem dois tipos de fatores que podem interferir na obtenção dos índices de vegetação e que, para as mesmas condições de superfície, podem conduzir à obtenção de valores diferentes: fatores relacionados com a superfície observada e fatores relacionados com o processo de obtenção dos dados.

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 de construção do sensor, como a largura e o posicionamento das bandas e a calibração do equipamento; a geometria de iluminação do Sol e de visada do sensor e os efeitos atmosféricos (absorção e espalhamento) (Moreira, 2005). Como os sensores óticos ativos ainda são recentes no nosso meio e o efeito da presença de luz solar no seu desempenho ainda não é perfeitamente compreendida.

### 3 REFERÊNCIAS

BOLETIM SEMANAL DE ALGODÃO. Cuiabá: IMEA, n. 65, 20 dez. 2010. 7 p. Disponível em: <<http://www.imea.com.br/>>. Acesso em: 28 dez. 2010.

BOOIJ, R.; UENK, D.; LOKHORST, C.; SONNEVELD, C. Monitoring crop nitrogen status in potatoes, using crop light reflection. In: European Conference on Precision Agriculture, 3., 2001, Montpellier. **Proceedings ...** Montpellier: Agro Montpellier, p. 5, 2001.

BULLOCK, D. G.; ANDERSON, D. S. Evaluation of the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p.741 - 755, 1998.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. O uso do inibidor de urease para aumentar a eficiência da ureia. In: Simpósio sobre informações recentes para otimização da produção agrícola, 1., Piracicaba, 2006. **Anais...** Piracicaba: IPNI, 2006. Disponível em: <[http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/\\$webcontentsbydate?OpenView&Start=1&Count=60&Expand=19#19](http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/$webcontentsbydate?OpenView&Start=1&Count=60&Expand=19#19)>. Acesso em: 20 nov. 2010.

CARVALHO, M. da C. S.; LEANDRO, W. M.; FERREIRA, A. C. de B.; BARBOSA, K. A. **Sugestão de adubação nitrogenada do algodoeiro para o Estado de Goiás com base em resultados de pesquisa**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. p. 4. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 268).

CONAB. 3º **Levantamento de grãos 2010/2011 – dezembro, 2010**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28 dez. 2010.

EMBRAPA. **Cultura do algodão no cerrado**. Sistema de Produção, Campina Grande, 2003.

FERRARI, S. E.; FURLANI, M. L.; SANTOS, J. V.; FERRARI, D. M. A.; SANTOS, E. B.; FELTRIN, A. R.; FERNANDES, F. S. 2005. Estudo sobre adubação potássica para diferentes cultivares de algodão na região do cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. **Algodão, uma fibra natural**: anais. Salvador: Abapa: Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 1 CD-ROM.

FREIRE, M. L. F. ; BASTOS, E. J. B. Simulation of spectral planetary reflectance of targets. **Revista Brasileira de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 2 - 3, 1998.

FREITAS, R.; LEANDRO, W.; CARVALHO, M. Efeito da adubação potássica via solo e foliar sobre a produção e a qualidade da fibra em algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 8, p. 10, 2007.

FRIDGEN, J. L.; VARCO, J. J. Dependency of cotton leaf nitrogen, chlorophyll, and reflectance on nitrogen and potassium availability. **Agronomy Journal**, v. 96, p.63 - 69, 2004.

FRYE, I. A. A.; KAIRUZ, I. A. G. **Manejo de suelos y uso de fertilizantes**. In: FEDERACIÓN NACIONAL DE ALGODONEROS. Bases técnicas para el cultivo del algodón en Colombia. Bogotá: Guadalupe, p. 113 - 202, 1990.

GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I.; FILHO, R. A. Effects of band positioning and bandwidth on NDVI measurements of tropical savannas. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 67, n. 2, p. 181 - 193, 1999.

HUTMACHER, R. B.; TRAVIS, R. L.; RAINS, D. W.; VARGAS, R. N.; ROBERTS, B. A.; WEIR, B. L.; WRIGHT, S. D.; MUNK, D. S.; MARSH, B. H.; KEELEY, M. P.; FRITSCHI, F. B.; MUNIER, D. J.; NICHOLS, R. L.; DELGADO, R. Response of recent Acala cotton cultivars to variable nitrogen rates in the San Joaquin valley of California. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 48 - 62, 2004.

KIM, Y.; EVANS, R. G. WADDELL, J.. Evaluation of in-field optical sensor for nitrogen assessment of barley in two irrigation systems. **ASAE** paper No. PNW05-1004, St. Joseph, MI. 2005.

KLOTZI, P.; BACH, H.; MAUSER, W. GVIS - Ground-operated visible/ near infrared imaging spectrometer. In: Stafford, J.; Werner, A. (ed) **European Conference on Precision Agriculture, 3**, Montpellier. Proceedings... Montpellier: Agro- Montpellier, p.35 – 39, 2003.

KUCKENBERG, J.; TARTACHNYK, I.; NOGA, G. Detection and differentiation of nitrogen-deficiency, powdery mildew and leaf rust at wheat leaf and canopy level by laser-induced chlorophyll fluorescence. **Biosystems Engineering**, v.103, p.121-128, 2009.

LEAL, A. J. F. Estimativa do custo de produção de algodão em caroço na região dos “Chapadões” safra 2011/12. **Pesquisa - Tecnologia - Produtividade**, Chapadão do Sul, v. 6, n. 1, p. 99 - 102, 2011.

LEAL, A. J. F. Comportamento de algodoeiro cultivado em região de Cerrado com diferentes espaçamentos e densidades de plantas. In: Congresso Brasileiro de Algodão , 7., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. 1 CD-ROM.

LEGAZ, F. Mejora de la eficiencia de la utilización de los fertilizantes nitrogenados. **CONGRESO DE LA CITRICULTURA DE LA PLANA**. 1994. Nules, Castellon. 137-155 p. (Serie de Estudios i investigacions n°4)

LEON, C. T.; SHAW, D. R.; COX, M. S.; ABSHIRE, M. J.; WARD, B.; WARDLAW III, M.C. Utility of remote sensing in predicting crop and soil characteristics. **Precision Agriculture**, v. 4, p. 359 - 284, 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª Edição, Editora UFV, Viçosa, p. 320, 2005.

PLANT, R. E.; MUNK, D. S.; ROBERTS, B. R.; VARGAS, R. N.; RAINS, D. W.; TRAVIS, R. L.; HUTMACHER R. B. Relationships between remotely sensed reflectance data and cotton growth and yield. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 43, p. 535 - 546, 2000.

PLANT, R. E.; MUNK, D. S.; ROBERTS, B. R.; VARGAS, R. N.; TRAVIS, R. L.; RAINS, D. W.; HUTMACHER, R. B. Applications of remote sensing to strategic questions in cotton management and research. **The Journal of Cotton Science**, Baton Rouge, v. 5, p. 3040, 2001.

ROSOLEM, C. A.; MELLIS, V. V. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1601-1607, 2010.

SILVA, N. M. da. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. dos. (Ed.). **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, p. 57 - 92, 1999.

STAUT, L. A.; LAMAS, F. M.; KURIHARA, C. H.; REIS JR, R. A. **Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do algodoeiro em sistema de Plantio Direto**. Dourados: Embrapa Algodão, 2002. p. 4. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 67).

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. 55 - 72, 2004.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SUI, R.; WILKERSON, J. B; HART, W. E.; HOWARD, D. D. **Integration of neural network with spectral reflectance sensor to detect nitrogen deficiency in cotton**. St. Joseph, Mich: ASAE, 1998.(Paper nº. 983104).

YOUNAN, N. H.; KING, R. L. Classification of hyperspectral data: a comparative study. **Precision Agriculture**, v. 5, p. 41-53, 1999.

## **CAPÍTULO 1 - ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A PRODUTIVIDADE E PARÂMETROS FENOLÓGICOS DO ALGODOEIRO ADENSADO**

**RESUMO:** O novo perfil tecnológico da lavoura algodoeira incluiu a introdução de cultivares mais produtivas conseqüentemente, vem ocorrendo melhoria nas técnicas de manejo da cultura, com destaque para a adubação nitrogenada. O objetivo do trabalho foi avaliar a adubação nitrogenada sobre a produtividade de algodão em caroço e os parâmetros fenológicos da cultura do algodão adensado. O trabalho foi realizado em condições de campo, durante a segunda safra de 2012, no Município de Chapadão do Céu - GO, Fazenda Amambaí. O delineamento experimental foram o de blocos casualizados constituindo 5 repetições e 6 tratamentos. A dose de nitrogênio utilizada foi de  $110 \text{ kg ha}^{-1}$ , associando duas fontes de N: sólido e líquido. A dose foi parcelada em duas doses, a primeira foi aos 25 dias após emergência (DAE) e a segunda aos 45 DAE. Foram avaliados índices da vegetação por diferença normalizada (NDVI), altura de plantas, diâmetro de caule, número de nós, nitrogênio total nas folhas, número de maçãs, massa verde de maçãs, massa seca de maçãs, massa de 10 capulhos e produtividade. A adubação nitrogenada em cobertura influenciou positivamente em todos os parâmetros analisados. A regressão correlacionou positivamente entre produtividade de algodão em caroço e o NDVI, destacando-se o tratamento de  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, sendo 25% na forma sólida + 75% na forma líquida e foi o que mais influenciou os parâmetros teor médio de nitrogênio total, NDVI e a produtividade de algodão em caroço.

**Palavras-chave:** NDVI, nitrogênio, regressão, *Gossypium hirsutum*.

### **Chapter 1 - NITROGEN FERTILIZATION ON PRODUCTIVITY AND PHENOLOGICAL OF DENSE COTTON**

**ABSTRACT:** The new technological profile of cotton farming included the introduction of more productive cultivars, consequently there has been improvement in the techniques of crop management, especially nitrogen

fertilization. The aim of this study was to analyze the nitrogen fertilization over the productivity and phenological culture of dense cotton. The work was carried out in field conditions during the second crop of 2012 in Chapadão do Céu – GO, Amambaí Farm. The experimental design was randomized blocks constituting 5 replications and 6 treatments, the dose was only 110 kg nitrogen ha<sup>-1</sup>, associated with N sources: solid and liquid, doses were split into two, the first dose at 25 days after emergence and second dose at 45. Vegetation indices were evaluated by normalized difference, plant height, stem diameter, number of knots, total nitrogen in leaves, number of cotton apples, green mass of cotton apples, dry mass of cotton apples, mass of 10 bolls and productivity. To the nitrogen fertilization in covering there was a positive influence in all the parameters analyzed, correlation between productivity and NDVI, especially the treatment of 110 kg ha<sup>-1</sup> N, being 25% in solid and 75% in liquid form and was the most influencing parameters the average content of total nitrogen, NDVI and productivity cotton seed.

**Key Words:** NDVI, nitrogen, regression, *Gossypium hirsutum*.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão baseia-se no gerenciamento localizado de sistemas agrícolas, utilizando recursos como mapeamento dos recursos de produção, sendo uma ferramenta de grande importância para aplicações localizadas de insumos. Em termos econômicos a utilização desta tecnologia possibilita a priorização de investimentos em áreas onde o potencial de produção seja mais efetivo, garantindo maior retorno econômico (Baio, 2005).

Atualmente, há um interesse crescente em agricultura de precisão e no desenvolvimento de sistemas especialistas para a gerência de recursos florestais e agrícolas. Estes novos sistemas auxiliam na avaliação das condições gerais da cultura conduzindo a um aumento da produtividade, otimização dos lucros e proteção do meio-ambiente. Assim, as técnicas de sensoriamento remoto vêm cada vez mais sendo aprimoradas por fornecer informações precisas e valiosas, devido a seu potencial na medição de

parâmetros biofísicos com detecção de sua variabilidade tanto temporal como espacial, (Moran et al., 1997; Daughtry et al., 2000).

Do ponto de vista ambiental, a racionalização e a redução do uso de insumos devem ser avaliadas como um dos principais benefícios da agricultura de precisão. Mantovani (2000) define o termo agricultura de precisão como sendo o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais em fatores que afetam a produtividade das mesmas. Essa nova filosofia de se fazer agricultura tem levado ao uso de três tecnologias, que são o SR (Sensoriamento Remoto), o SIG (Sistemas de Informações Geográficas) e o GPS. Stanfford (1996) define agricultura de precisão como sendo um conjunto de técnicas que pressupõem o gerenciamento localizado da cultura.

Essa tecnologia pode ser definida como uma tecnologia moderna para o manejo do solo, dos insumos, e das culturas de modo adequado e considerando as variações espaciais e temporais dos fatores que afetam a produtividade. Apesar da agricultura de precisão ser uma das mais importantes técnicas para a busca de maior eficiência na agricultura, Valentini e Molin (2000) salientam que ainda há grandes barreiras a serem enfrentadas para a efetiva implantação desta técnica no Brasil.

Diversas técnicas de agricultura de precisão podem ser utilizadas nas culturas comerciais, muitas delas ainda em desenvolvimento (como a aplicação localizada de defensivos), outras em plena operação. Uma técnica que já demonstrou economicamente viável é a aplicação de dosagens de fertilizantes e corretivos na instalação da cultura ou na manutenção de acordo com a necessidade ou recomendação para cada local do campo. Logo, essa técnica possibilita a redução do impacto ambiental no sistema de produção pela racionalização do uso de insumos.

Sob esta ótica a adubação nitrogenada das lavouras de algodoeiro deve merecer inovações. É uma das operações que mais demandam esforços de pesquisadores em todo o mundo, por se tratar de um elemento com dinâmica complexa no solo, sujeito a diversos mecanismos de perda e potencial causador de impactos ambientais. Desta forma, técnicas de sensoriamento remoto, aliadas às técnicas de agricultura de precisão, como a aplicação localizada de insumos em tempo real, de acordo com as



necessidades específicas dentro de cada lavoura, podem refletir consideravelmente na melhoria do processo, com potencial retorno econômico.

Uma das técnicas de se avaliar indiretamente o estresse causado pela deficiência de nitrogênio nas culturas é obtida pela mensuração da quantidade de clorofila nas folhas utilizando-se medidores de clorofila (Piekielek et al., 1995). Outras técnicas têm sido propostas para a determinação da demanda de nitrogênio pelas culturas, dentre elas o uso de imagens aéreas e orbitais, e o uso de sensores óticos terrestres, Wright et al., (2004) estudando essas técnicas em lavoura de trigo concluíram que mensurações de valores de refletância realizadas com sensores ótico terrestres, calculando-se o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), se correlacionam melhor com parâmetros da cultura (produtividade, teor de N foliar e de proteína nos grãos) do que a obtenção dos mesmos índices a partir de imagens de satélite e fotografias aéreas. Os referidos autores também apontaram que a aquisição de dados com sensores terrestres é menos dependente do clima sendo que, a coleta de dados pode ser feita aproveitando-se outras operações e os dados são disponibilizados em tempo real ou logo após sua coleta.

Entre os diversos índices disponíveis, o NDVI, proposto por Rouse et al., (1973), tem sido seguramente um dos mais utilizados e citados em trabalhos de pesquisa para a quantificação do crescimento da vegetação, conforme a Equação 1.

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_r}{\rho_{nir} + \rho_r} \quad (1)$$

em que:

$\rho_{nir}$  - reflectância no infravermelho próximo (770 nm); e

$\rho_r$  - reflectância no vermelho (650 nm).

O NDVI pode variar de -1 a +1. Os valores negativos representam as nuvens, ao redor de zero representam solo nu ou sem vegetação, e os valores maiores que zero representam a vegetação. Quanto maior o valor do NDVI, maior o vigor de crescimento da cultura (Liu, 2006).

Também é freqüente a comparação entre valores de NDVI para um mesmo tipo de cobertura vegetal obtidos de variados sensores, os quais

podem apresentar importantes diferenças em termos de resoluções espectrais, temporais, espaciais e radiométricas.

O Enhanced Vegetation Index (EVI) foi desenvolvido para promover a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (Justice et al., 1998). Além disso, alguns trabalhos sugerem que o EVI apresenta substancial melhora na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI, principalmente em áreas de maior densidade de biomassa (Huete et al., 2002). Apesar disso, a diferença entre a sensibilidade dos dois índices de vegetação (IVs) parece não ser tão evidente ao avaliar-se seu comportamento sobre o monitoramento de culturas agrícolas (Wardlow et al., 2007).

Em geral, a aparência da folhagem fornece boa indicação sobre o estado nutricional da planta no que se refere ao nitrogênio, portanto, diagnósticos que analisam propriedades ópticas das folhas podem ajudar no rápido exame do status de N na cultura (Tarpley et al., 2000). Neste sentido, Read et al., (2003) ressaltam que mudanças no estado nutricional do algodoeiro podem ser determinadas no campo pela medida de reflectância foliar, uma vez que a reflectância na região do visível do espectro eletromagnético (300 – 700 nm) varia em função da concentração de clorofila no tecido foliar, a qual é fortemente associada com o status de nitrogênio na folha.

Para a agricultura é fundamental a compreensão dessas variações do acúmulo de biomassa acima do solo, tanto para determinação da quantidade de carbono retido pela vegetação, como para determinação da produtividade das culturas agrícolas e a avaliação da necessidade hídrica das mesmas. Diferentes métodos têm sido desenvolvidos para estimar produtividades de culturas por meio de dados de satélite. Um deles é o desenvolvimento de relações entre o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e a produtividade da cultura (Sharma et al., 1993). Estas aproximações empíricas requerem excessivos programas de medição de campo para coletar dados da produtividade.

A produtividade e o NDVI estão relacionados mas podem ser expressos de formas diferentes, muitos fatores podem alterar o NDVI absoluto, como a umidade, a idade da lavoura, a calibração da câmera,

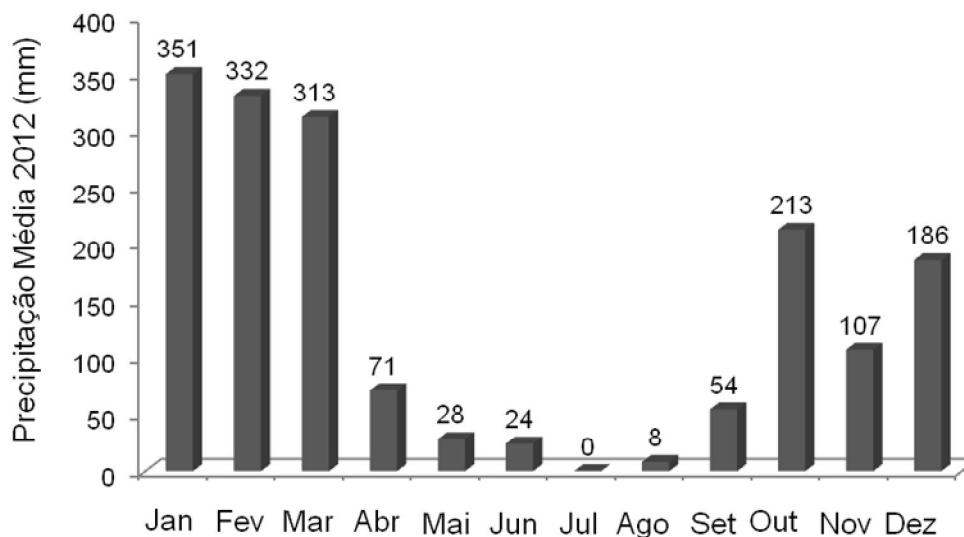
fatores específicos associados à expressão do crescimento da lavoura, etc., mas a relação entre a produção crescente e o crescente NDVI permanece constante. No entanto há situações em que a correlação pode ser rompida. Quando isso ocorre, há indicação de um problema na produção que deve ser corrigido. Segundo Sharp (2007), em trabalhos realizados no Tennessee (EUA) e Oklahoma (EUA), observou uma correlação linear entre o NDVI e a produtividade.

Com isso, a importância do sensoriamento remoto na agricultura se torna muito evidente, tendo em vista que as técnicas utilizadas para a aquisição dos dados espectrais são muito eficientes, rápidas e econômicas, principalmente quando o foco é previsão de safras. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada sobre a produtividade e parâmetros fenológicos da cultura do algodão cultivado adensado, utilizando um sensor óptico ativo para mensuração do NDVI.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado em condições de campo, durante a segunda safra do ano agrícola de 2012, na Fazenda Amambaí Município de Chapadão do Céu - GO, cujas coordenadas geográficas de, latitude 18°33'89"S, e de longitude 52°60'53"W, altitude média de 850 m, solos do tipo latossolo vermelho. De acordo com a classificação climática de Köppen, considerada como de clima tropical chuvoso, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Temperatura regional média em 20°C, com uma precipitação pluviométrica anual em torno dos 1500 mm e a umidade relativa média de 50% a 70% (Tomquelski, 2009). Os dados de precipitação encontra-se na (Figura 1).

**Figura 1.** Média pluviométrica mensal, Chapadão do Céu – GO.



O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com seis tratamentos e cinco repetições, utilizando-se uma dose única de nitrogênio de  $110 \text{ kg ha}^{-1}$ , combinando-se duas diferentes formas: uma sólida com nitrato de amônio e uma líquida com uréia, produto comercial NITAMIN<sup>®</sup> caracterizado pela liberação lenta de N. Dessa forma os seis tratamentos foram os seguintes: 0% de N sólido + 0% de N líquido; 100% de N sólido + 0% de N líquido; 75% de N sólido + 25% de N líquido; 50% de N sólido + 50% de N líquido; 25% de N sólido + 75% de N líquido e 0% de N sólido + 100% de N líquido. A adubação nitrogenada foi fracionada em duas aplicações sendo metade da dose aos vinte e cinco dias após emergência (DAE) e a outra metade da dose aos quarenta e cinco DAE. De acordo com Kaneko & Leal (2011), a adubação nitrogenada em cobertura como fonte o nitrato de amônio na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, proporcionou maior incremento na produtividade de algodão em caroço na região dos “Chapadões”.

Cada parcela (unidade experimental) foi composta por vinte e cinco fileiras de plantas, espaçadas de 0,45 m e com 10,0 m de comprimento totalizando trinta parcelas. Para a realização das avaliações foram consideradas as três fileiras de plantas centrais, desprezando-se 4 m nas respectivas extremidades, ou seja, uma área útil de  $2,7 \text{ m}^2$ .

O cultivo foi realizado na segunda safra ou “safrinha” em resteva de feijão cultivada na primeira safra ou “safra verão”. A semeadura ocorreu no dia 10/01/2012, a cultivar utilizada foi FiberMax 910, a adubação de semeadura e cobertura com  $K_2O$ , o regulador de crescimento e os tratos culturais como controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados segundo as técnicas adotadas pela propriedade agrícola.

Aos noventa dias após emergência DAE foram realizados as seguintes avaliações: índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), o diâmetro médio do caule, a média do teor de nitrogênio total na folha. Para leitura do (NDVI) foi utilizado um sensor óptico ativo comercial (GreenSeeker<sup>®</sup>), após o acionamento do sensor, ocorreu a leitura de um ponto a cada 0,1s, sendo geradas, nessa área, entre trinta e quarenta medições de NDVI, para medir o diâmetro médio do caule foi utilizado um paquímetro graduado em milímetros e para determinar a média do teor de nitrogênio total na folha foram coletadas cinco folhas por planta em cinco plantas das três fileiras centrais de cada parcela experimental, afim de determinar os teores de nitrogênio total contido na folha (limbo da quinta folha da haste principal), de acordo com as recomendações de Silva (1999).

Após a coleta, as folhas foram lavadas em água destilada, submetidas à secagem em estufa com circulação e renovação de ar, moídas encaminhadas ao laboratório da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). A seguir foram submetidas às digestões sulfúrica pelo para a determinação do teor de nitrogênio seguindo a metodologia proposta pela (Embrapa, 1999).

Para determinar a média da massa de maçãs verde, foram coletadas todas as maçãs de cinco plantas por parcela que foram posteriormente pesadas em uma balança de precisão. Em seguida foram levadas para secar em estufa a 103° C por um período de 24 h, para determinar a média da massa seca das maçãs em gramas.

Na ocasião da colheita foram avaliadas cinco plantas das três fileiras centrais de cada parcela, o número de nós, a massa média de dez capulhos em gramas.

Para determinação da produtividade de algodão em caroço, foram colhidos todos os capulhos das três fileiras centrais de cada parcela, pesados e transformados os valores em ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e verificada a significância dos tratamentos. O procedimento de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do melhor modelo, a magnitude dos coeficientes de regressão, a análise estatística foi realizada utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2000).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os valores médios entre os tratamentos aplicados à cultura e a resposta da variedade através do NDVI mensurado, observa-se uma regressão linear em função dos parâmetros analisados na (Figura 2).

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da média da massa verde de maçãs por planta (MVM) (g), massa seca de maçãs por planta (MSM) (g) massa de capulhos por planta (MC) (g), diâmetro do caule aos noventa dias após emergência (DC) (m), altura de plantas na colheita (APC) (m) e número de nós por planta (NN), índice da vegetação da diferença normalizada (NDVI), teor de nitrogênio total na folha (NT) ( $\text{kg g}^{-1}$ ), produtividade de algodão em caroço (PAC) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

A análise de variância revelou que o rendimento da cultura do algodoeiro respondeu significativamente aos diferentes tratamentos do sistema de cultivo adensado. Observa-se que a produtividade, índice da vegetação por diferença normalizada, o teor médio de nitrogênio na folha, a massa média de 10 capulhos por planta, a massa média de maçãs verde, a massa média de maçãs secas, o diâmetro médio de caule, altura média de plantas na colheita e o número médio de nós por planta foram significativamente influenciados pelos tratamentos aplicado (Tabela 1);

Analisando - se a MVM, MSM, MC, DC e NN observa-se que todas as avaliações obteve resultados significativos ( $p < 0,05$ ), sendo que os tratamentos 50% de N na forma sólida + 50% de N na forma líquida, 25% S + 75% L e 0% S + 100% L, apresentaram melhor resposta a associação das duas formas do fertilizante nitrogenado, não diferindo estatisticamente entre

si, sendo que a maior média apresentada para todos os parâmetros analisado foi o tratamento 25% S + 75% L.

Para os parâmetros avaliados NT, NDVI e PAC, observa-se que todas as avaliações obteve resultados significativos ( $p < 0,05$ ) e o tratamento que apresentou melhor resposta foi a associação de 25% S + 75% L, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

Observando a APC o resultado foi significativo ( $p < 0,05$ ), sendo que os tratamentos e 100% S + 0% L, 75% S + 25% L, 50% S + 50% L, 25% S + 75% L e 0% S + 100% L, apresentaram melhor resposta a associação das duas formas do fertilizante nitrogenado, diferindo estatisticamente com a testemunha, sendo que a maior média apresentada foi o tratamento 100% S + 0% L.

Para o parâmetro NDVI avaliado aos noventa DAE o sensor foi capaz de observar a resposta da quantidade de N assimilado pela planta em função do percentual das formas dos produtos aplicados (Tabela 1). Para Molin et al. (2010), o sensor diferenciou a resposta de NDVI mensurado em cana de açúcar avaliada aos noventa dias após o corte com relação as doses crescentes de N aplicados, dados estes que são semelhantes aos encontrados por Inamasu et al. (2006), ao testarem outro sensor de NDVI porém com bandas diferentes, centradas em 590 e 880 nm. Este tipo de constatação a partir de sensores ópticos é possível em razão da grande absorção pela clorofila de ondas do espectro na região do vermelho e à forte refletância no infravermelho, em virtude da dispersão no mesófilo das folhas e da ausência de absorção pelos pigmentos (Woolley, 1971).

Este fato se explica, segundo Argenta et al. (2001), porque em situações em que a disponibilidade de N é grande, o máximo potencial do sistema fotossintético se estabelece, sendo o excedente de N é armazenado na forma de outros compostos de reserva.

Para a produtividade de algodão em caroço (Tabela 1), observa-se, que os tratamentos correspondente a 25% S + 75% L apresentou maior resposta, isso ocorreu devido a liberação lenta do nitrogênio na forma líquida, onde a planta utiliza conforme sua necessidade, fator positivo devido as aplicações com porcentagens maiores de N sólido serem utilizadas pelos microorganismos para a decomposição da matéria orgânica, fato

comprovado por Leal et al. (2012), onde a maior parte do nitrogênio acumulado na planta de algodão são resultantes da mineralização da matéria orgânica do solo e ou dos resíduos vegetais de culturas antecessoras.

A maior resposta da massa média de capulhos é observada na (Tabela 1), que foi de 6,1g, o valor observado resultou devido a utilização de 25% de N sólido + 75% de N líquido, esse valor é semelhante aos valores encontrados por Leal et al. (2012) e Anselmo et al. (2009), onde estudaram a mesma cultivar de algodão FiberMax 910 apresentou massa média igual a 6,38g, em trabalhos realizados em condição edofoclimática parecidas.

Pela observação da tendência dos dados da (Figura 2) a regressão apresenta uma correlação é positiva entre produtividade com NDVI, demonstrando que o algodoeiro responde a adubação nitrogenada em determinada situação, o sensor terá capacidade de verificar essa resposta, como mostra também Molin, (2010).

Observando os modelos de regressão para a correlação produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$  versus NDVI verificou-se respectivamente um  $R^2$  de 52,2% sendo um bom indicativo da qualidade dos dados obtidos e da potencialidade da técnica. Kim et al. (2005), estudando dados de coleta com este mesmo sensor em três épocas diferentes e dois tipos de sistema de irrigação em cevada encontraram correlações entre o NDVI e a dose de nitrogênio aplicado na semeadura, de 63 a 90%.

O trabalho demonstra a viabilidade de utilizar um sensor óptico ativo como equipamento para auxiliar a aplicação em taxa variável em tempo real afim de economizar insumos agrícolas e conseqüentemente aumentar a produtividade a partir de algoritmos agrônômicos de fertilização, observa-se a possibilidade da utilização de equipamentos no auxílio a recomendação da adubação nitrogenada em tempo real, aplicando o nitrogênio na dose e local exato que a cultura necessita minimizando o custo e perdas do fertilizante nitrogenado, fato este semelhante ao encontrado por Molin et al. (2010) com a cultura da cana de açúcar.

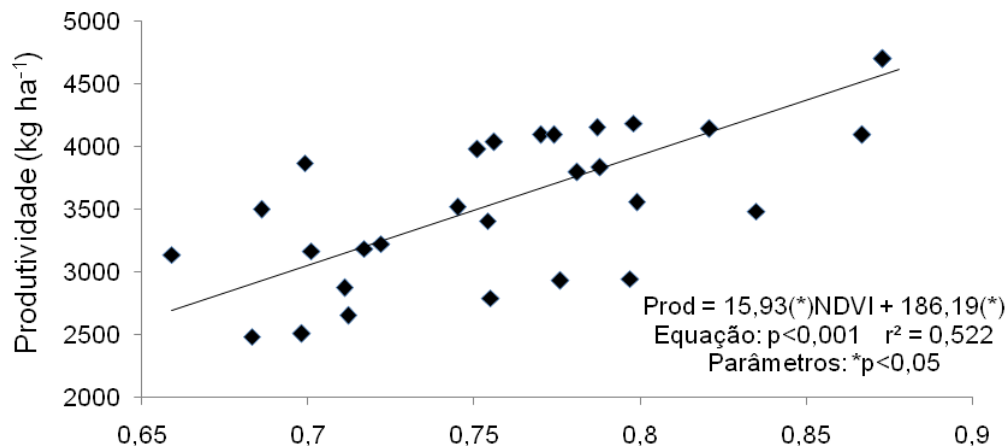


**Tabela 1.** Média da massa verde de maçãs por planta (MVM) (g), massa seca de maçãs por planta (MSM) (g) , massa de capulhos por planta (MC) (g) , diâmetro do caule aos noventa dias após emergência (DC) (m), altura de plantas na colheita (APC) (m) e número de nós por planta (NN), índice da vegetação da diferença normalizada (NDVI), teor de nitrogênio total na folha (NT) ( $\text{kg g}^{-1}$ ), produtividade de algodão em caroço (PAC) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para o algodão de cultivo adensado em Chapadão do Céu – GO em função de diferentes tratamentos. Fazenda Amambai “safrinha 2012”.

<b>Tratamentos (110 kg ha<sup>-1</sup> de N)</b>	<b>MVM</b>	<b>MSM</b>	<b>MC</b>	<b>DC</b>	<b>APC</b>	<b>NN</b>	<b>NT</b>	<b>NDVI</b>	<b>PAC</b>
0% S + 0% L	39,65 c	6,28 c	49,88 c	11,32 d	1,29 c	18,48 d	37,464 d	0,6958 e	2905,8 c
100% S + 0% L	58,40 bc	10,27 bc	52,23 bc	13,32 cd	1,51 a	19,68 c	41,524 cd	0,7210 de	3302,7 bc
75% S + 25% L	74,40 b	12,43 b	53,12 bc	14,12 bc	1,46 ab	20,40 bc	45,416 bc	0,7384 cd	3532,35 b
50% S + 50% L	82,10 ab	14,55 ab	57,18 ab	15,12 abc	1,43 ab	21,12 ab	47,936 b	0,7724 c	3666,75 b
25% S + 75% L	110,38 a	19,85 a	61,13 a	16,60 a	1,36 ab	22,20 a	56,420 a	0,8560 a	4576,5 a
0% S + 100% L	89,14 ab	15,47 ab	58,25 a	15,52 ab	1,38 ab	21,44 ab	50,400 b	0,8096 b	3786,0 b
DMS	31,35	5,52	5,05	2,01	0,13	1,15	5,15	0,03	35,45
F	12,17*	14,07*	14,02*	16,85*	6,42*	26,47*	6,71*	0,0003*	317,98*
CV%	20,83	21,11	4,59	7,07	4,96	2,82	5,57	2,4	7,37

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. DMS – Diferença Média Significativa. CV – Coeficiente de Variação. Médias seguidas de letra diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

**Figura 2.** Correlação linear entre o NDVI mensurado aos noventa DAE e a produtividade do algodão em caroço kg ha<sup>-1</sup>.



Portanto a dose de nitrogênio utilizada deve ser aplicada para repor as quantidades expostas anualmente pela colheita ou perdas por lixiviação ou volatilização (Carvalho, 2006), demonstrando a viabilidade de utilizar um sensor óptico ativo como equipamento para auxiliar a aplicação em taxa variável em tempo real afim de economizar em insumos agrícolas e conseqüentemente aumentar a produtividade.

Logo o trabalho oferece ferramentas para auxílio de estudos mais avançados sobre o manejo da adubação nitrogenada utilizando um sensor óptico ativo para mensurar o teor de NDVI. Esta técnica pode ser explorada a fim de reduzir o custo de produção, uma vez que os fertilizantes são os insumos mais custosos no sistema de produção agrícola da cultura do algodoeiro.

#### 4 CONCLUSÃO

A adubação nitrogenada em cobertura influenciou positivamente em todos os parâmetros.

Houve correlação entre produtividade e NDVI.

O tratamento que mais influenciou os parâmetros analisados teor médio de nitrogênio total e produtividade foi a aplicação de 110 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo 25% na forma sólida + 75% na forma líquida.

## 5 REFERÊNCIAS

ANSELMO, J. L.; COSTA, D. S.; LEAL, A. J. F. **Ensaio de competição de cultivares de algodoeiro em Chapadão do Sul-MS.** In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados: **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 975 - 980.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas. v. 13, n. 2, p. 158 - 167, 2001.

BAIO, F. H. R. **Metodologia para ensaios de sistemas de direcionamento via satélite em percursos retos e curvos.** Botucatu: FCA/UNESP, 2005, p. 100 (Tese de Doutorado)

CARVALHO, M. C. S.; LEANDRO, W. M.; FERREIRA, A. C. B.; BARBOSA, K. A. **Sugestão de adubação nitrogenada do algodoeiro para o Estado de Goiás com base em resultados de pesquisa.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. p. 4 (Comunicado Técnico, 268).

DAUGHTRY, C. S. T.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S.; BROWN, C. E.; MCMURTREY, J. E. Estimating corn leaf chlorofila concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing Environment.** New York, v. 74, n. 2, p. 229 - 239, 2000.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, p. 370, 1999.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4.0. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de

Biometria, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFScar, 2000. p. 2000. CD Rom.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, New York, n. 83, p. 195 - 213, 2002.

INAMASU, R. Y.; SOUSA, R. V.; PORTO, A. J. V.; FORTES, C.; LUCHIARI, A.; SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; Francis, D. D. Acesso ao estado nutricional da cana-de-açúcar por meio de sensor ativo de refletância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ESALQ/ USP, 2006. CD Rom.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, P. D.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, W. S.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway, v. 36, n. 4, p. 1228 - 1247, 1998.

KANEKO, F. H.; LEAL, A. J. F. Fontes e manejo de nitrogênio na cultura do algodoeiro cultivado na região dos chapadões. CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte: **Anais...** Campina Grande, Embrapa Algodão, p. 1610 - 1617, 2011. (CD-ROM)

KIM, Y.; EVANS, R. G.; WADDELL, J. Evaluation of in-field optical sensor for nitrogen assessment of barley in two irrigation systems. **ASAE paper No. PNW05-1004**, St. Joseph: ASAE, 2005. 12p.

LEAL, F. J. A.; FARAUN, S. R.; ROQUE, G. C.; BAILO, F. H. R. Doses de nitrogênio aplicado em cobertura na cultura do algodoeiro.; FERTBIO, 2012. Resumos da XXX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas: **Anais...** Maceió, v. 1, p. 1 - 5, 2012.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, p. 908, 2006.

MANTOVANI, E. C. **Agricultura de precisão e sua organização no Brasil**. Agricultura de Precisão. Viçosa, p. 79 - 92, 2000.

MOLIN, P. J.; FRASSON, F. R.; AMARAL, R. L.; POVH, P. F.; SALVIS, V. J. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.14, n. 12, p.1345 - 1349, 2010.

MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M.. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. **Remote Sensing of Environment**, St. Paul, v.61, n. 3, p. 319 - 346, 1997.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, P. J.; CHIAVEGATO, J. E. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 137 - 145, 2009.

PIEKIELEK, W. P.; FOZ, R. H.; TOTH, J. D.; MACNEAL, K. E. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 403 - 408, 1995.

READ, J. J.; WHALEY, E. L.; TARPLEY, L.; REDDY, R. Evaluation of a hand-held radiometer for field determination of nitrogen status in cotton. **American Society of Agronomy Special Publication**. Madson, v. 56, n. 66. p. 177 - 195, 2003.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3. NASA 351, p. 309 - 317. 1973.

SHARNA, T.; SUDHA, K. S.; RAVI, N.; NAVALGUND, R. R.; TOMAR, K. P.; CHAKRAVARTY, N. V. K.; DAS, D. K. Procedures for wheat yield prediction using Landsat MSS and IRS-1A data. **International Journal of Remote Sensing**. Bristol, v. 14, n. 13, p. 2509 - 2518, 1993.

SHARP, C. T. Combining NDVI and yield potencial for variable rate management decision in cotton. Tim Sharp, Oklahoma State University, 2007.

SILVA, N. M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: **Cultura do Algodoeiro**. Piracicaba. Potafós., p. 57 - 92, 1999.

STAFFORD, J. V. Essential Tecnology for Precision Agriculture. In: PRECISION AGRICULTURE, 1996, **Proceedings...** Madison: ASA-CSSA-SSSA, p. 595 - 604, 1996.

TARPLEY, L.; REDDY, K.R.; Sassenrath Cole, G.F. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. **Crop Science**. Madson, v. 1, n. 40, p. 1814 - 1819, 2000.

TOMQUELSKI, G. V. **Ocorrência de pragas e custo de produção em algodoeiro geneticamente modificado (Bt) e convencional**. 2009. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Ilha Solteira, 2009.

VALENTINI, M. L.; MOLIN, J. P. A agricultura de precisão nos campos gerais do Paraná. In: L. A. BALASTREIRE. **O Estado da Arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. p. 88 - 92, 2000.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L.; KASTENS, J. H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central

Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, Philadelphia, v. 108, p. 290 - 310, 2007.

WRIGHT, D. L.; RASMUSSEN, V. P.; RANSEY, R. D.; BAKER, D. J.; ELLSWORTHIII, J. W. Canopy reflectance estimation of wheat nitrogen content for grain protein management. **GIScience and Remote Sensing**, v. 41, n. 4, p. 287 - 300, 2004.

WOOLLEY, J. T. Reflectance and transmittance of light by leaves. **Plant Physiology**, Welasco, v. 47, p. 656 - 662, 1971.