

Universidade de São Paulo – USP  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ

Avaliação do desempenho de um sensor óptico ativo sob diferentes condições  
de iluminação

Relatório Final – Bolsa de Iniciação Científica

Orientador: Prof. Dr. José Paulo Molin  
Aluno: André Freitas Colaço

PIRACICABA  
Estado de São Paulo – Brasil  
Novembro – 2007

## 1. Introdução

A agricultura de precisão é um conjunto de tecnologias e práticas de produção, que considera a variabilidade espacial dos fatores que afetam a produtividade como a fertilidade do solo, objetivando o uso racional de insumos e um melhor gerenciamento da lavoura. A racionalização de insumos traz benefícios para o produtor, pois otimiza a rentabilidade além de proteger o meio ambiente (Haboudane et al., 2002). Para tanto a agricultura de precisão adota técnicas não usais na agricultura convencional como a aplicação de fertilizantes a taxa variada de acordo com uma demanda local pelo insumo.

Neste contexto o nitrogênio (N) é um insumo que merece grande atenção, pois é um dos elementos mais exigidos pelas plantas e a maior parte da demanda é suprida pela adição de fertilizantes nitrogenados ao solo. Quando o suprimento de N excede a necessidade da cultura, o excesso é perdido por escoamento superficial e lixiviação, podendo contaminar ecossistemas aquáticos e o lençol freático (Wood et al., 1993), além de causar uma perda econômica para o produtor. Porém quando aplicada uma quantidade inferior àquela necessária ao bom desenvolvimento da cultura, causa perda de produtividade e conseqüentemente queda na lucratividade. Dessa maneira é necessário o desenvolvimento de métodos adequados de avaliar os teores de nitrogênio e a sua variabilidade na lavoura.

Para esse propósito, as técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para avaliar as condições das culturas em relação ao nitrogênio por meio da análise de propriedades espectrais, reflectância e transmitância das folhas, que são fatores afetados pela deficiência de nitrogênio (Blackmer et al., 1996). Tais técnicas permitem a obtenção de informações de objetos alvo a partir de plataformas remotas, montadas em tratores ou outros veículos (Lamparelli et. al. 2001),

Métodos diagnósticos que analisam propriedades ópticas das folhas podem ajudar no rápido exame do estatus de N na cultura do algodoeiro (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 ao teor do nitrogênio foliar.

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<sup>TM</sup>, NTech Industries, Inc., Ukiah, CA) durante o dia, com valores de 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, 2000). 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, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sensor ótico ativo na detecção do teor de nitrogênio na cultura do algodão sob o efeito de diferentes condições de iluminação.

## 2. Material e Métodos

Foi utilizado o sensor óptico ativo comercial (GreenSeeker Hand Held<sup>TM</sup>, NTech Industries, Inc., Ukiah, CA) (Figura 1). Funciona emitindo uma faixa de ondas eletromagnéticas em dois comprimentos de onda, o vermelho (660nm) e no infravermelho próximo (770nm), que ao atingirem o seu alvo (dossel vegetativo), são refletidas e captadas pelo aparelho. A refletância é então medida pelo valor do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que é dado pela razão entre a diferença e a soma das refletâncias da vegetação nas faixas espectrais do infravermelho próximo e vermelho (LAMPARELLI et. al. 2001), segundo a equação 1:

Equação 1:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)}$$

(1)

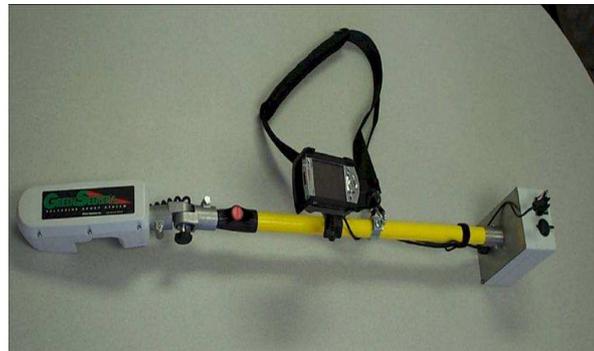
Em que:

$\rho_{IVP}$  = reflectância no infravermelho próximo;  
 $\rho_V$  = reflectância no vermelho.

Esse índice é diretamente proporcional à quantidade de clorofila, e plantas com alto teor de nitrogênio normalmente possuem elevados níveis de clorofila (nitrogênio é parte integrante da molécula de clorofila). Dessa forma é relacionada ao NDVI a quantidade de N na cultura.



(a)



(b)

Figura 1: Leitura de NDVI em algodão utilizando sensor um óptico ativo (a); sensor óptico ativo GreenSeeker Hand Held™ (b).

O estudo foi conduzido na área experimental do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, em Piracicaba, SP, com coordenadas geográficas 22°42'30" S e 47°38'00" W, com altitude média de 546 m e relevo suave ondulado. O solo da área de estudo pertence à classe Nitossolo Eutrófico, textura argilosa. As medições de NDVI foram realizadas nos dias 10/05/06 e 31/01/07.

Na primeira ocasião o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela teve as dimensões de 3,6 m x 5,0 m, (área total de 18 m<sup>2</sup>). Foram descartadas uma linha de bordadura de cada lado da parcela e 0,5 m nas outras duas extremidades. Desta forma, os dados foram coletados em duas linhas centrais de 4,0 m de comprimento.

A semeadura do algodão, cultivar Delta Opal, foi realizada manualmente, em espaçamento de 0,90 m, no dia 14/03/2006. A adubação de semeadura foi realizada de acordo com a análise do solo, sendo aplicado o correspondente a 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16. Os tratamentos fitossanitários e demais tratamentos culturais foram realizados para garantir o bom desenvolvimento das plantas, de maneira uniforme em todos os tratamentos. A emergência das plantas ocorreu no dia 20/03/06.

Os tratamentos consistiram das seguintes doses de N, aplicadas em cobertura e parceladas em três aplicações: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando como fonte o fertilizante uréia. As adubações de coberturas com uréia foram realizadas aos 22, 37 e 45 dias após a emergência das plantas e sempre seguidas de capina manual, incorporação do adubo e irrigação.

Na segunda ocasião o delineamento experimental utilizado, os tratamentos e a forma de coleta de dados foram iguais às do primeiro experimento. A semeadura do algodoeiro, cultivar DeltaOpal, foi realizada mecanicamente, em espaçamento de 0,90 m, no dia 09/11/2006. A adubação de semeadura foi realizada de acordo com a análise do solo, sendo aplicado 350 kg ha<sup>-1</sup> de 04-20-20. Os tratamentos fitossanitários e demais tratamentos culturais foram realizados para garantir o bom desenvolvimento das plantas, de maneira uniforme em todos os tratamentos. A emergência das plântulas ocorreu no dia 18/11/2006.

As adubações em coberturas com uréia foram realizadas aos 20, 30 e 40 dias após a emergência das plântulas e sempre seguidas de incorporação do adubo e irrigação.

As leituras de NDVI foram realizadas ao longo do dia a cada duas horas, começando às 6:00h e terminando às 22:00h. Em cada horário foi feita uma coleta com o sensor em todas as parcelas, obtendo assim um valor de NDVI para cada uma, sendo esse a média aritmética das leituras feitas nas duas linhas utilizadas para coleta. Em cada linha foi obtido de quarenta a cinquenta valores de NDVI devido à frequência de coleta de dados do sensor (10 leituras/s), e da velocidade de caminamento (aproximadamente 1m/s). Assim, o NDVI de cada parcela é a média aritmética de oitenta a cem valores. A altura do sensor foi de 0,80m a 1,20m segundo recomendado pelo fabricante.

Os valores de NDVI coletados em campo foram organizados utilizando-se o programa computacional Microsoft® Office Excel 2003 calculando-se em cada horário de coleta, o NDVI para cada dose de N, por meio da média aritmética do NDVI obtido nas quatro parcelas de cada tratamento de N.

Além da coleta de dados nas parcelas de algodão, foram também realizados ensaios em condições de iluminação controladas e de modo estático utilizando como alvo objetos de cor verde que simularam a cultura. Este passo tem a finalidade de entender os fatores do próprio sensor que podem ser responsáveis por uma possível variação do NDVI em função da intensidade luminosa, isolando assim as variações que podem ocorrer na cultura no campo.

Dessa maneira, foram utilizados para as leituras quatro alvos diferentes: papel crepom de cor verde claro, papel crepom de cor verde escuro, tecido de cor verde e gramado. A coleta de dados no papel crepom e no tecido foi submetida aos seguintes tratamentos: leituras realizadas a pleno sol (sem nuvens), em ambiente fechado durante o dia (luz difusa) e na ausência de luz (durante a noite). Já a obtenção do NDVI no gramado, foi submetida aos seguintes tratamentos: leituras realizadas a pleno sol (sem nuvens), leituras com sombra e na ausência de luz.

A coleta de dados se deu no dia 07/02/2007 para todos os alvos, e no dia 19/07/2007 foi realizada uma repetição das leituras feitas na grama. As leituras foram realizadas sempre em horários próximos ao meio dia, com exceção do tratamento em ausência de luz que foi realizado às 20:00h.

A forma de aquisição dos dados se deu da seguinte maneira: o sensor foi montado em cima de uma mesa coletando dados a uma altura fixa do alvo de 1,10m, visando o alvo perpendicularmente e de maneira estática. O conjunto foi transportado para dentro do laboratório para as leituras em ambiente fechado, mantendo as mesmas condições das leituras feitas a céu aberto. As leituras na grama foram realizadas sempre a céu aberto e no mesmo local.

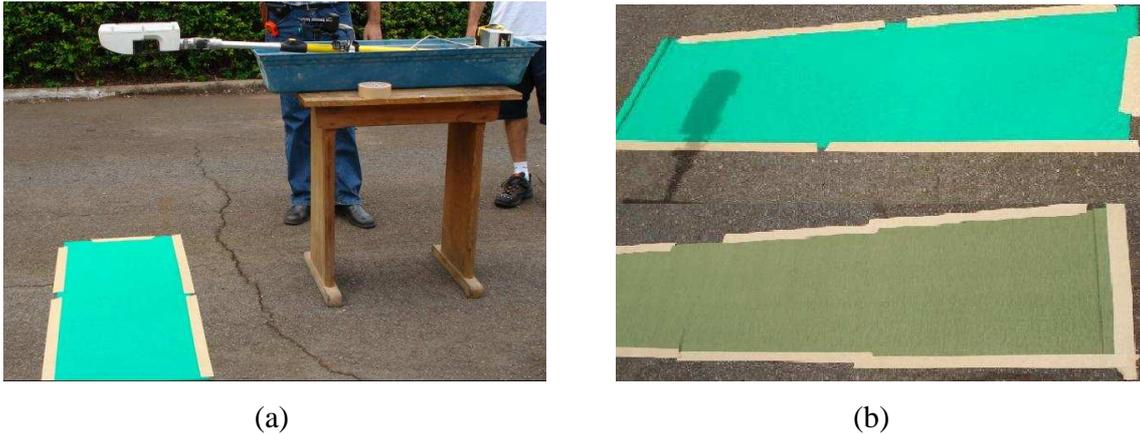


Figura 2: Leitura de NDVI em papel crepom com sensor óptico ativo (a); Tonalidades de verde utilizadas de papel crepom (b).

Cada leitura teve duração de 1 minuto, repetida três vezes, certificando-se que não houvesse nuvens no momento da coleta. Posteriormente os dados foram organizados no programa computacional Microsoft® Office Excel 2003 de forma a obter um valor médio das três leituras para cada alvo em cada tratamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey no programa computacional SAS®, a fim de verificar se há diferenças significativas entre os horários de coleta de dados pelo sensor óptico ativo, e entre os tratamentos utilizados nos ensaios controlados.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra os valores de NDVI obtidos para cada dose de N ao longo dos dias 10/05/2006 e 31/01/2007. No primeiro dia pode-se observar que os maiores valores de NDVI, em todas as doses de N, foram obtidos às 6h. A partir de então houve uma queda do

índice até às 16h, e um aumento até às 20h nas doses de 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>, voltando a cair às 22h. As maiores doses de N, normalmente apresentaram maiores valores de NDVI.

No dia 31/01/2007, observa-se, segundo a Figura 3, que nem sempre, para todos os horários, as maiores doses correspondiam aos maiores valores de NDVI. Um exemplo é quando em alguns horários, as doses 100 ou 150 kg ha<sup>-1</sup> apresentaram índices de NDVI maiores que a dose 200 kg ha<sup>-1</sup>. Isso pode ter ocorrido pois em alguns lugares da área, o adubo aplicado não foi absorvido pela planta devido ao escoamento superficial e lixiviação causada pelo excesso de chuvas que ocorreu na época de adubação, fazendo com que algumas parcelas não representassem adequadamente a dose de N aplicada.

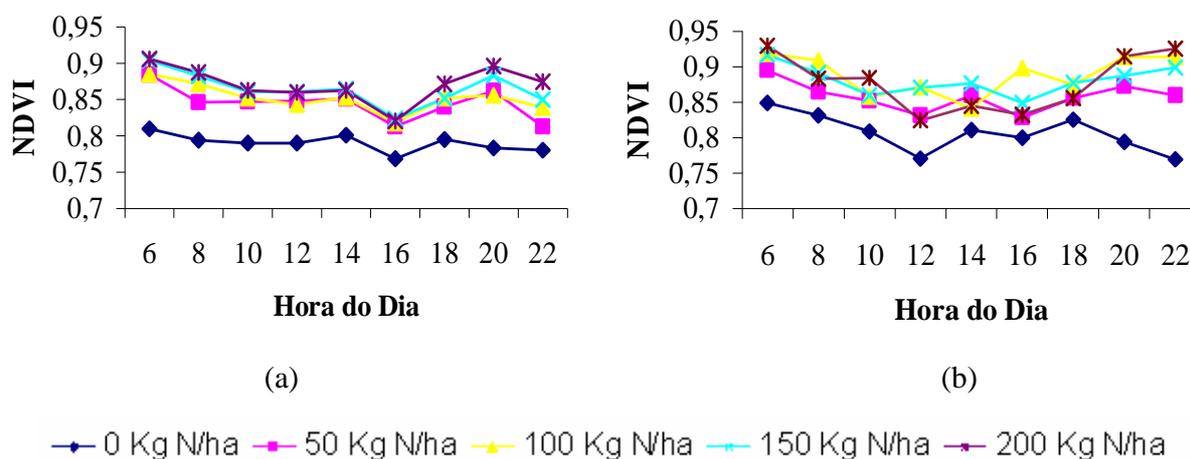


Figura 3: Gráfico do NDVI ao longo do dia 10/05/2006 em cinco doses de N (a); NDVI ao longo do dia 31/01/2007 em cinco doses de N (b).

Observou-se também que normalmente, os menores valores de NDVI foram obtidos próximos ao meio dia. Segundo Kim et al. (2005) isso ocorre, pois a intensidade de raios solares nesse horário é maior, o que aumenta a reflectância. O aumento da reflectância matematicamente reduz o NDVI.

Nas parcelas onde não foi realizada a adubação se encontrou os menores valores de NDVI em todos os horários e nos dois dias de leitura. O maior aumento de NDVI se deu quando se passou da dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> para 50 kg ha<sup>-1</sup>, mostrando uma maior resposta da planta a essa dose do nutriente.

O resultado da análise estatística pode ser visualizado na Tabela 1. O teste de Tukey para a primeira coleta foi realizado com um grau de significância de 1%. Observou-se nesse dia, que não houve diferença significativa do NDVI ao longo do dia em todas as doses de N com exceção da 200 kg ha<sup>-1</sup>, onde o valor mais baixo foi obtido às 16h e se diferiu da leitura coletada às 6h e às 20h.

Tabela 1: Resultado do teste de Tukey a 1% de significância na primeira coleta (10/05/2006) e a 5% de significância no segundo dia de coleta (31/01/2007), e coeficiente de variação (CV).

Data	Kg N/ha	Hora do Dia (h)									CV (%)
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	
10/05/2006	0	0,81(a)	0,79(a)	0,79(a)	0,79(a)	0,80(a)	0,77(a)	0,79(a)	0,78(a)	0,78(a)	1,5
	50	0,88(a)	0,85(a)	0,85(a)	0,85(a)	0,85(a)	0,81(a)	0,84(a)	0,86(a)	0,81(a)	2,6
	100	0,89(a)	0,87(a)	0,85(a)	0,84(a)	0,85(a)	0,82(a)	0,85(a)	0,86(a)	0,84(a)	2,3
	150	0,90(a)	0,88(a)	0,86(a)	0,86(a)	0,86(a)	0,82(a)	0,85(a)	0,88(a)	0,85(a)	2,7
	200	0,91(a)	0,89(ab)	0,86(ab)	0,86(ab)	0,86(ab)	0,82(b)	0,87(ab)	0,90(a)	0,87(ab)	2,9
31/01/2007	0	0,85(a)	0,83(a)	0,81(a)	0,77(a)	0,81(a)	0,80(a)	0,83(a)	0,79(a)	0,77(a)	3,3
	50	0,89(a)	0,86(a)	0,85(a)	0,83(a)	0,86(a)	0,83(a)	0,86(a)	0,87(a)	0,86(a)	2,4
	100	0,92(a)	0,91(a)	0,86(ab)	0,87(bc)	0,84(b)	0,90(ab)	0,87(ab)	0,91(a)	0,91(a)	3,2
	150	0,92(a)	0,89(abc)	0,86(bc)	0,87(bc)	0,88(abc)	0,85(c)	0,88(abc)	0,89(abc)	0,90(ab)	2,3
	200	0,93(a)	0,88(a)	0,88(a)	0,82(a)	0,85(a)	0,83(a)	0,86(a)	0,91(a)	0,93(a)	4,6

Os dados obtidos no dia 31/01/2007 foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de significância. Nas doses de 0, 50 e 200 kg ha<sup>-1</sup> os valores de NDVI encontrados se mantiveram estatisticamente iguais ao longo do dia. Já na dose 100 kg ha<sup>-1</sup> o valor mais baixo encontrado foi às 14h que se diferiu dos valores obtidos às 6h, 8h, 20h e 22h. Com 150 kg ha<sup>-1</sup> o menor valor ocorreu às 16h, que se diferiu das leituras das 6h e 22h.

Os maiores coeficientes de variação encontrados foram nas parcelas adubadas com 200 kg ha<sup>-1</sup> tanto no primeiro quanto no segundo dia de coleta, 2,9% e 4,6% respectivamente.

As leituras de NDVI no gramado podem ser observadas na figura 4. Os valores de NDVI se mostraram menores quando coletados a pleno sol para as duas ocasiões (Fev/2007 e Jul/2007), confirmando os resultados encontrados por Kim et al. (2005). Porém, através do teste de Tukey realizado a 1% de significância (Tabela 2), observou-se que independente da intensidade luminosa, os valores de NDVI não se diferem entre si estatisticamente.

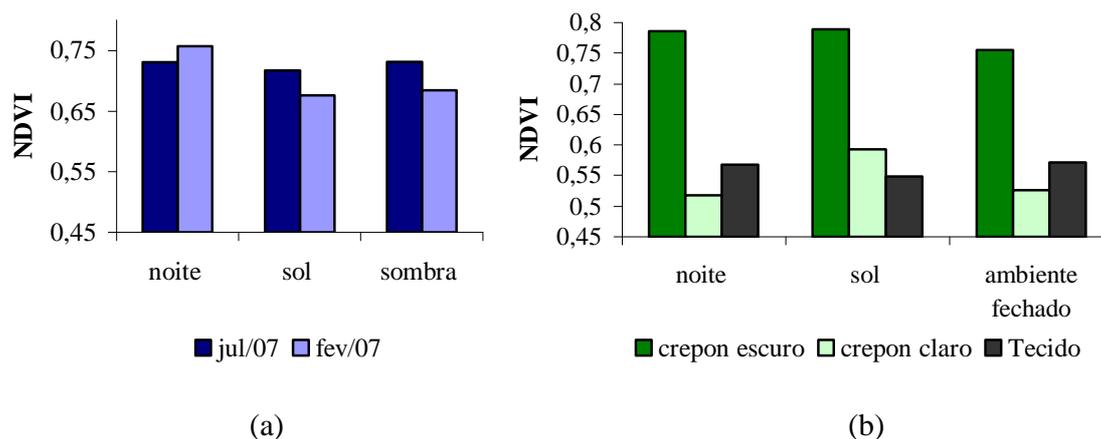


Figura 4: NDVI na grama coletado em duas datas em três condições de iluminação (a); NDVI em papel crepom e tecido em diferentes tonalidades de verde e em três condições de iluminação (b).

A coleta de dados de forma estática e em alvos artificiais se mostrou adequada no sentido de manter sempre constantes as características da superfície observada. Dessa maneira os resultados encontrados neste ensaio são influenciados principalmente pelas características do sensor e pela forma de coleta de dados.

As leituras em tecido verde (Figura 4) apresentaram resultado semelhante àquele observado no gramado, ou seja, os valores obtidos a pleno sol foram menores do que aqueles coletados na ausência de luz e em ambiente interno, sendo que nesse caso a diferença foi significativa perante o teste de Tukey (Tabela 2).

Tabela 2: Resultado do teste de Tukey a 1% de significância e coeficiente de variação (CV) para a coleta de dados em condições controladas.

Alvo Observado	Noite	Sol	Sombra	Ambiente Fechado	CV (%)
Gramma fev/07	0,73 (a)	0,72 (a)	0,73 (a)		1,1%
Gramma jul/07	0,76 (a)	0,68 (a)	0,68 (a)		6,3%
Crepom escuro	0,79 (a)	0,79 (a)		0,76 (b)	2,4%
Crepom claro	0,52 (c)	0,59 (a)		0,53 (b)	7,5%
Tecido	0,57 (a)	0,55 (b)		0,57 (a)	2,3%

Os valores de NDVI em papel crepom podem ser visualizados na figura 4. Observa-se que o sensor foi capaz de reconhecer as diferentes tonalidades de verde utilizadas, porém encontrou-se variação entre os tratamentos estudados (Tabela 2). Para o papel de tonalidade verde escuro, os menores valores de NDVI se deram em ambiente fechado se diferindo significativamente dos demais tratamentos. Para o papel de tonalidade verde claro os três tratamentos se diferiram significativamente entre si, apresentando também o maior CV do estudo.

#### 4. Conclusão

Pode-se considerar que as leituras de NDVI utilizando o sensor óptico ativo GreenSeeker Hand Held™ são resultado das características espectrais do alvo e das condições de coleta de dados, de forma que alterações nesse cenário resultam valores de NDVI diferentes.

As leituras do sensor apresentam variações quando se altera a condição de iluminação. Para a maioria dos tratamentos utilizados, tanto as leituras em algodão, quanto nos demais alvos utilizados, os valores de NDVI mais baixos foram obtidos quando a intensidade luminosa era maior, porém na maioria dos casos essa diferença não se mostrou significativa perante a análise estatística.

Dessa maneira o sensor se mostrou adequado na detecção da dose de N aplicada no algodoeiro, independente do horário da leitura.

## 5. Bibliografia Citada

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VARVEL, G.E.; WALTER-SHEA, E.A. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. **Agronomy Journal**, v.88, p.1-5, 1996.

DEXTRAZE, L. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v.81, p.416-426, 2002.

HABOUDANE, D.; MILLER, J.R.; TREMBLAY, N. ZARCO-TEJADA, P.J.; KIM, Y.; EVANS, R.G.; WANDDELL, J. Evaluation of In-Field Optical Sensor for Nitrogen Assessment of Barley in Two Irrigation Systems. Lethbridg, Alberta, Canada. 2005

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

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.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. Geoprocessamento e Agricultura de Precisão: fundamentos e aplicação. Série Engenharia Agrícola, v.2, p. 09-11, 56-71. 2001.

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

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** Number 66. p. 177-195, 2003.

TARPLEY, L.; REDDY, K.R.; SASSENATH COLE, G.F. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. *Crop Science*. 2000

WOOD, C.W.; REEVES, D.W.; HIMELRICK, D.G. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: a review. In: **Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand**, v.23, p.1-9, 1993.