

IMAGENS AÉREAS MULTIESPECTRAIS NA IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO EM ÁREAS DE ALGODÃO PARA APLICAÇÃO LOCALIZADA DE INSUMOS¹

ANDRÉ SALVADOR² & ULISSES ROCHA ANTUNIASSI³

RESUMO: Os fatores que afetam a produtividade das culturas apresentam variabilidade espacial e temporal nas áreas de produção e estão associados a variações no vigor das plantas. Esta variabilidade permite a identificação de zonas de manejo e tratamento localizado de diferentes regiões dentro do campo. A finalidade deste estudo foi o uso de imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo e sua implicação na aplicação localizada de insumos em área de produção comercial de algodão. Para tal, imagens aéreas multiespectrais de três anos foram usadas para a geração das classes de vegetação, pelo índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI), que dividiram a área em três regiões. Nestas regiões foram amostrados os atributos físicos das plantas de algodão para verificar a existência de diferenças entre as plantas encontradas em cada região e com isso identificar zonas de manejo. Os atributos físicos das plantas de algodão (estande, altura, número total de nós e número total de maçãs por planta) foram amostrados em 8 repetições com 10 plantas por classe de NDVI. A avaliação estatística dos atributos amostrados foi realizada pelo delineamento em parcelas subdivididas com teste de Tukey a 5% de probabilidade. As classes de NDVI dos vários anos foram sobrepostas para avaliação das áreas de estabilidade e de transição das imagens e verificar a estabilidade das zonas de manejo no tempo e no espaço. A avaliação da implicação do uso das zonas de manejo na aplicação localizada de insumos foi realizada pelo cálculo da porcentagem de acerto e erro entre a localização das classes de NDVI utilizadas como zonas de manejo em um ano para a aplicação localizada de insumos. Em outro, pelas seis combinações existentes entre os anos de 2001, 2002 e 2003. Os resultados demonstraram a possibilidade de se identificar zonas de manejo para a cultura do algodão com a utilização de imagens aéreas multiespectrais. A classificação das imagens multiespectrais pelo índice de vegetação com diferenças normalizadas (NDVI) permitiu a divisão da área em três classes com características semelhantes em todos os anos. Houveram diferenças estatísticas para todos os anos entre as classes de baixo e alto NDVI, sendo que as plantas das classes de alto NDVI apresentaram maior altura, maior número total de nós e maior número total de maçãs, que as plantas encontra-

¹ Parte da tese de doutorado do 1o autor intitulada: Imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo em áreas de algodão

² Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura, FCA/UNESP - Botucatu/SP - Brasil, Engenheiro Agrônomo, salbrasil@fca.unesp.br

³ Orientador e docente do Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP - Botucatu/SP - Brasil, ulisses@fca.unesp.br

das na classe de baixo NDVI. Não houve diferença no estande das plantas entre as classes de baixo e alto NDVI para os três anos, e todas as classes tiveram o mesmo estande de plantas nos anos de 2001 e 2003, conforme o esperado pela sementeira com distribuição uniforme de sementes.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, aplicação localizada, sensoriamento remoto.

MULTISPECTRAL IMAGE FOR MANAGEMENT ZONES IDENTIFICATION AND VARIABLE RATE APPLICATION IN COTTON AREAS

SUMMARY: *Crop yield is influenced by several factors with variability in time and space that are associated with the variations in the plant vigor. This variability allows the identification of management zones and site-specific applications to manage different regions of the field. The purpose of this study was the use of multispectral image for management zones identification and implications of site-specific application in commercial cotton areas. Multispectral airborne images from three years were used to classify a field into three vegetation classes via the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The NDVI classes were used to verify the potential differences between plant physical measurements and identify management zones. The cotton plant measurements sampled in 8 repetitions of 10 plants at each NDVI class were Stand Count, Plant Height, Total Nodes and Total Bolls. Statistical analysis was performed with treatments arranged in split plot design with Tukey's Test at 5% of probability. The images were classified into five NDVI classes to evaluate the relationship between cotton plant measurement results and sampling location across the field. The results have demonstrated the possibility of using multispectral image for management zones identification in cotton areas. The image classification into three NDVI classes showed three different zones in the field with similar characteristics for the studied years. Statistical differences were shown for plant height, total nodes and total bolls between low and high NDVI classes for all years. High NDVI classes contained plants with greater height, total nodes and total bolls compared to low NDVI classes. There was no difference in Stand Count between low and high NDVI classes for the three studied years. The final plant stand was the same between all NDVI classes for 2001 and 2003 as it was expected due to the conventional seeding application with the same rate of seeds for the entire field.*

Keywords: *Precision agriculture, site-specific application, variable rate, remote sensing, plant mapping.*

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão procura otimizar os benefícios de uma agricultura praticada com base na aplicação localizada de insumos com aumento da lucratividade e com redução de custos, do uso de insumos e dos impactos ambientais. A crescente demanda mundial por alimentos tem impulsionado a evolução da agricultura, que passa a ser mais empresarial que de subsistência, adotando novos métodos administrativos e gerenciais para as tomadas de decisões baseadas na informatização da atividade de produção (SALVADOR, 2002). A agricultura de precisão pode ser definida como um conjunto de técnicas que permite o gerenciamento localizado de culturas (BALASTREIRE, 1998).

Durante o crescimento de uma cultura é possível observar diferenças no vigor das plantas localizadas em diferentes regiões do campo em função das variações espaciais e temporais dos fatores de produção relacionados à planta, ao solo e as condições do meio. Doerge (1999) definiu zona de manejo como sendo uma sub-região de uma área que expressa uma combinação homogênea de fatores limitantes à produtividade, na qual a aplicação de uma dose uniforme de um insumo específico é apropriada.

A identificação de zonas de manejo dentro do campo com base na variabilidade dos fatores que limitam a produção pode ser realizada com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto. Thomasson et al. (2003), descreveram a possibilidade de observar, durante o desenvolvimento da cultura, variações no vigor das plantas de forma diferenciada dentro da área, as quais estavam associadas a vários fatores de estresses que influenciaram na produtividade.

Imagens aéreas multiespectrais podem ser realizadas em qualquer fase de desenvolvimento das culturas e usadas na identificação e categorização de diferenças e similaridades das culturas com a utilização de índices de vegetação baseados nas características espectrais das regiões do visível e do infravermelho. Segundo Schlemmer et al. (1999), a utilização das técnicas de sensoriamento remoto leva em consideração o entendimento dos limites e possibilidades de uso dessa ferramenta e de fatores relacionados à resolução (1) espectral, (2) espacial e (3) temporal.

As imagens multiespectrais podem ser úteis no monitoramento das plantas de algodão que é realizado pelos produtores durante o desenvolvimento da cultura para identificar problemas e padrões de desenvolvimento que permitam seu manejo adequado, além de fornecer informações suficientes para a prescrição de zonas de manejo na aplicação localizada de insumos. Ojala et al. (2003) apresentaram os resultados de um projeto multidisciplinar envolvendo diversas entidades governamentais e empresas prestadoras de serviços comerciais na área de sensoriamento remoto com o objetivo de desenvolver, testar, demonstrar e adaptar tecnologias de sensoriamento na produção de algodão. As imagens foram usadas para (i) determinar doses ou taxas para aplicação localizada de insumos como regulador de crescimento (Pix), nitrogênio, inseticidas, sementes, (ii) estimar a produtividade da cultura, (iii) estimar as propriedades físi-

cas e químicas do solo, (iv) identificar zonas de estresses por nitrogênio, água, insetos, e outros, (v) assistir o calendário de irrigação. O trabalho demonstrou como a tecnologia da Agricultura de Precisão auxiliada pelo sensoriamento remoto pode ser usada num gerenciamento de decisão mais eficiente e efetivo, incluindo aplicações localizadas em taxas variadas de insumos em áreas de produção comercial.

O presente trabalho teve por objetivo geral o uso de imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo e sua implicação na aplicação localizada de insumos em área de produção comercial de algodão. Seus objetivos específicos foram: (a) classificar imagens aéreas multiespectrais de três anos pelo índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) para divisão da área em três classes de manejo e; (b) verificar a existência de diferenças entre as plantas encontradas em cada classe de NDVI pela amostragem dos atributos físicos das plantas de algodão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante os anos de 2001, 2002 e 2003 no Condado Fayette, localizado no oeste do Estado do Tennessee, Estados Unidos da América, em área de produção comercial de algodão de 4,3 hectares denominada Moose Lodge 2 (ML2), com localização representada pelas coordenadas geográficas 35,2552695 graus de Latitude Norte e 89,3914724 graus de Longitude Oeste. Toda a condução da cultura foi realizada pelos proprietários da área com aplicações uniformes de insumos em todo o local.

Os dados referentes à precipitação pluvial total mensal e temperatura média do ar para os meses dos anos de 2001 a 2003 e os dados referentes à média histórica (normal) dos valores de precipitação e temperatura para os anos de 1961 a 1990 foram fornecidos pela estação climatológica de Memphis, Tennessee (Memphis Climatological Data, 2004).

A aquisição comercial de imagens pela contratação de empresas especializadas na prestação deste serviço é uma prática muito desenvolvida nos Estados Unidos. As imagens aéreas multiespectrais utilizadas neste trabalho foram obtidas comercialmente pela contratação dos serviços da empresa Global Positioning Solutions Inc., com sede no Estado do Mississippi, EUA.

A empresa contratada para aquisição das imagens utilizou uma câmera digital multiespectral marca Duncantech 2100 CIR com lentes Tokina 17mm F3,5 na obtenção das imagens da área de algodão nas bandas do verde (G), vermelho (R) e infravermelho próximo (NIR), com resolução espectral de 540 a 560 nm, 660 a 680 nm, 830 a 870 nm, respectivamente. A câmera foi montada em uma aeronave Cessna 182, utilizando um DGPS marca Trimble Trimflight 3 para a localização da área de interesse. Os vôos foram

realizados a uma altitude entre 1700 e 2600 metros acima do solo e a resolução espacial obtida foi de 2,0 metros para as imagens de 2001 e 2003 e de 1,0 metro para a imagem de 2002.

A aquisição das imagens ocorreu entre os meses de agosto e setembro, com o algodão em estágio de desenvolvimento caracterizado pela fase de abertura das maçãs (Marur & Ruano, 2001), tendo acumulado entre 550 DD60 e 750 DD60 após NAWF=5 (cinco nós acima da última flor branca em seu ramo principal). O acúmulo de graus dia de calor foi obtido com utilização do programa Cotman (2003) pela entrada diária dos valores de temperaturas máximas e mínimas fornecidas pela estação climatológica de Memphis, Tennessee (MEMPHIS CLIMATOLOGICAL DATA, 2004).

As aquisições das imagens ocorreram nos dias 2 de agosto para 2001, 7 de agosto de 2002 e 5 de setembro de 2003.

Para a navegação até as coordenadas dos pontos no campo onde os dados físicos das plantas de algodão foram amostrados, foi utilizado um DGPS marca Navman conectado a um palmtop Compaq-iPAQ contendo um programa computacional específico para mapeamentos de campo denominado Farm Site Mate. As antenas da guarda costeira americana supriram o sinal de correção diferencial para este sistema DGPS.

As coordenadas dos pontos de controle para o georreferenciamento das imagens foram demarcadas ao redor do campo em locais de fáceis visualização nas imagens e localização na área, representados principalmente por cantos da área cultivada, cantos ou curvas da estrada que circulava a área, início de ruas de plantio de algodão, placas de sinalização, postes e cruzamentos na estrada de acesso à área.

Com a imagem em mãos caminhou-se até os pontos de interesse e com o equipamento DGPS com correção diferencial e precisão submétrica DGPS marca Starlink 210-A, acoplado ao palmtop, e realizada a aquisição estática das coordenadas de 15 a 20 pontos de controle.

As imagens foram georreferenciadas pelas coordenadas dos pontos de controle da área por metodologia própria de georreferenciamento do programa Erdas Imagine (ERDAS Inc, 1997), adotando-se o sistema UTM (Universal Transverse Mercator) na superfície WGS-84 (World Geodetic Survey 1984), Zona 16.

A classificação das imagens em zonas de manejo foi realizada pelo programa SSToolbox (2001) com uso do índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI - normalized difference vegetation index) pelo processo de classificação não supervisionada sobre a imagem. Desta maneira, a área foi dividida em 3 classes de mesmo tamanho representadas pelos valores de NDVI denominados: baixo (L ou low), médio (M ou medium) e alto (H ou high). Para que apenas a área de algodão dentro da imagem fosse classificada, foi criado no SST um arquivo com o perímetro da área pela digitalização de uma linha de contorno sobre suas divisas.

A amostragem a campo para obtenção dos atributos físicos das plantas de algodão foi realizada para confirmar as diferenças existentes entre as plantas de diferentes classes de NDVI. As plantas de algodão foram amostradas no final dos seus ciclos de desenvolvimento, quando o número de nós acima da última maçã aberta (NACB) estava ao redor de 4 a 6, poucos dias antes da aplicação de desfolhantes.

Para a amostragem foi realizada adaptação da metodologia descrita por Tugwell et al. (1998) utilizada pelo programa Cotman (2003). As amostras foram coletadas aleatoriamente em 8 pontos para cada uma das 3 classes de NDVI, baixo (L), médio (M) e alto (H), observadas nas imagens. Cada ponto de amostragem teve 10 plantas coletadas. Com o uso do DGPS acoplado ao palmtop foi realizada a navegação até os pontos de amostragem. Os atributos físicos das plantas de algodão amostrados foram estande de plantas, altura das plantas, número total de nós e número total de maçãs.

O estande de plantas de cada ponto foi realizado de maneira aleatória pela contagem do número de plantas em 91,4 cm por linha ou fileira de plantio, para 10 linhas consecutivas, para obtenção de uma média do estande (TUGWELL et al., 1998), sendo esta medida convertida para número de plantas por metro para cada ponto amostral coletado.

A altura de cada planta amostrada foi medida no caule principal da planta a partir do nó cotiledonar até o nó apical com folha totalmente aberta. Foi calculada a média da altura das 10 plantas coletadas por ponto amostral e o resultado expresso em unidades de centímetros.

O número total de nós de cada planta amostrada foi obtido pela contagem de todos os nós do caule principal da planta a partir do nó cotiledonar, para o qual foi atribuído o valor zero. Foi calculada a média do número total de nós das 10 plantas coletadas por ponto amostral e o resultado expresso em número de nós por planta.

O número total de maçãs foi obtido pela contagem de todas as maçãs viáveis presentes em cada uma das plantas amostradas. Foi calculada a média do número total de maçãs das 10 plantas coletadas por ponto amostral, e o resultado expresso em número de maçãs por planta.

A avaliação estatística dos atributos físicos das plantas de algodão amostradas foi realizada de maneira a elaborar um delineamento estatístico em parcelas divididas (split plot) representadas pelas 3 classes de NDVI, com 8 repetições representadas pelos pontos amostrados, compostas pela média de 10 plantas cada, ou 10 linhas de plantio no caso do estande de plantas.

A análise dos dados foi realizada com uso do programa SAS (SAS INSTITUTE, 1990), tendo como modelo o GLM ou “general linear model procedure”. O teste de significância utilizado foi o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens georreferenciadas com base nos pontos de controle demarcados a campo para os anos de 2001, 2002 e 2003 são apresentadas pelas Figuras 1, 3 e 5, respectivamente. A visualização da área de estudo e suas características ficaram melhor ilustradas nas imagens georreferenciadas quando comparadas com as imagens antes do georreferenciamento, uma vez que a área de interesse foi colocada no centro das figuras e as áreas vizinhas isoladas da imagem.

Foi possível observar um padrão de similaridade entre cor e forma das imagens obtidas para os três anos ao serem comparadas regiões com as mesmas características de vegetação de algodão. Na porção oeste das imagens, em uma estreita faixa que acompanhava toda sua divisa de norte a sul, foi possível observar vegetação de verde mais intenso, característica que se repetiu em quase todo o contorno das imagens. Dividindo-se as imagens ao meio de norte a sul, foi possível verificar que em cada porção existia a presença de um mancha de vegetação de coloração arroxeadada, quase tão clara quanto às estradas de solo exposto ao redor de toda a área. Na porção central das imagens existia uma faixa descoberta que vai do centro para o sul da área, onde não foi cultivado o algodão em função da elevada umidade do solo do local, o qual recebeu água proveniente da estrada localizada ao sul das imagens, sendo possível observar a coloração arroxeadada nestes locais de solo descoberto de elevada umidade.

As imagens aéreas multiespectrais georreferenciadas foram classificadas pelo índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) no programa SST para que a área fosse dividida em três classes distintas capazes de representar de maneira relativa às diferenças entre a vegetação de algodão a ser amostrada a campo. As classes divididas em intervalos representados pelos valores de baixo (L), médio (M) e alto (H) NDVI para os anos de 2001, 2002 e 2003 são apresentadas pelas Figuras 2, 4 e 6, respectivamente.

Quando se compara as imagens georreferenciadas obtidas nos anos de 2001, 2002 e 2003 (Figuras 1, 3 e 5, respectivamente) com as classes de NDVI obtidas por sua classificação (Figura 2, 4 e 6, respectivamente), observam-se elevadas correlações visuais entre as classes de NDVI e as diferentes tonalidades da vegetação da imagem, o que segundo Schlemmer et al. (1999), pode ser explicado pela elevada sensibilidade dos índices que comparam porções do espectro do visível nas bandas do vermelho e do verde com o infravermelho próximo às variações na cobertura foliar das culturas e condições de vigor da vegetação.

Entre a divisa cultivada e o carreador a oeste da imagem obtida no ano de 2001 (Figura 1) existiam pequenas áreas arroxeadadas de solo exposto que foram classificadas como regiões de baixo NDVI (Figura 2). Esta interpretação também ocorreu em outras porções das divisas da área, e se repetiu na classificação das imagens de 2002 (Figura 4) e de 2003 (Figura 6). A interpretação deste detalhe é importante na utilização das classes de NDVI como zonas de manejo para a aplicação localizada de insumos, uma vez

que a vegetação existente nas proximidades do perímetro da área pode ser classificada de maneira incorreta.

Na imagem georreferenciada de 2003 (Figura 5) se observa um elevado sombreamento da área por árvores localizadas na região nordeste da imagem. Na Figura 6 é possível observar que o formato da área sombreada foi classificado como região de médio NDVI, o que pode representar outro erro de interpretação.

Comparando as imagens georreferenciadas com as classes de NDVI obtidas após sua classificação fica clara a relação entre as áreas de baixa cobertura foliar e elevada exposição do solo nas imagens e a classe de baixo NDVI. Este resultado também foi observado por Schlemmer et al. (1999), que atribuíram um forte relacionamento entre a reflectância da região do infravermelho próximo e a cobertura foliar da cultura.

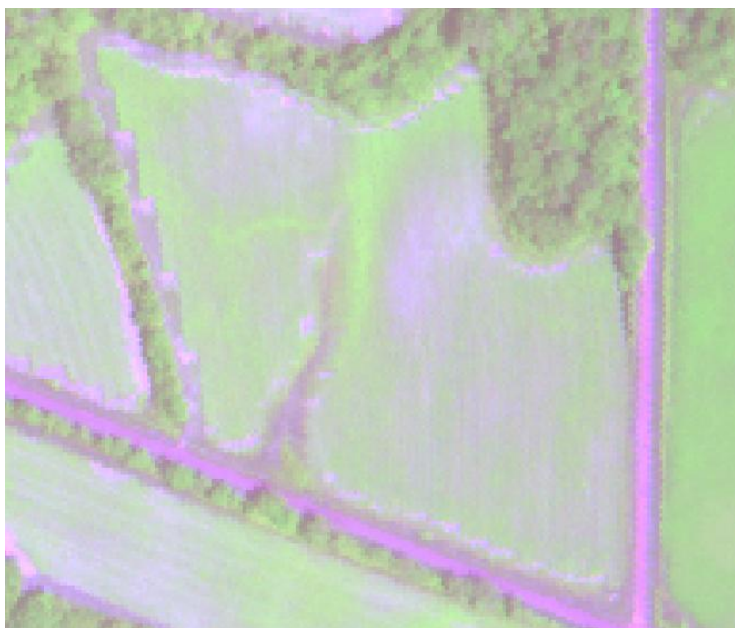


Figura 1 – Imagem aérea multiespectral georreferenciada obtida no ano de 2001.

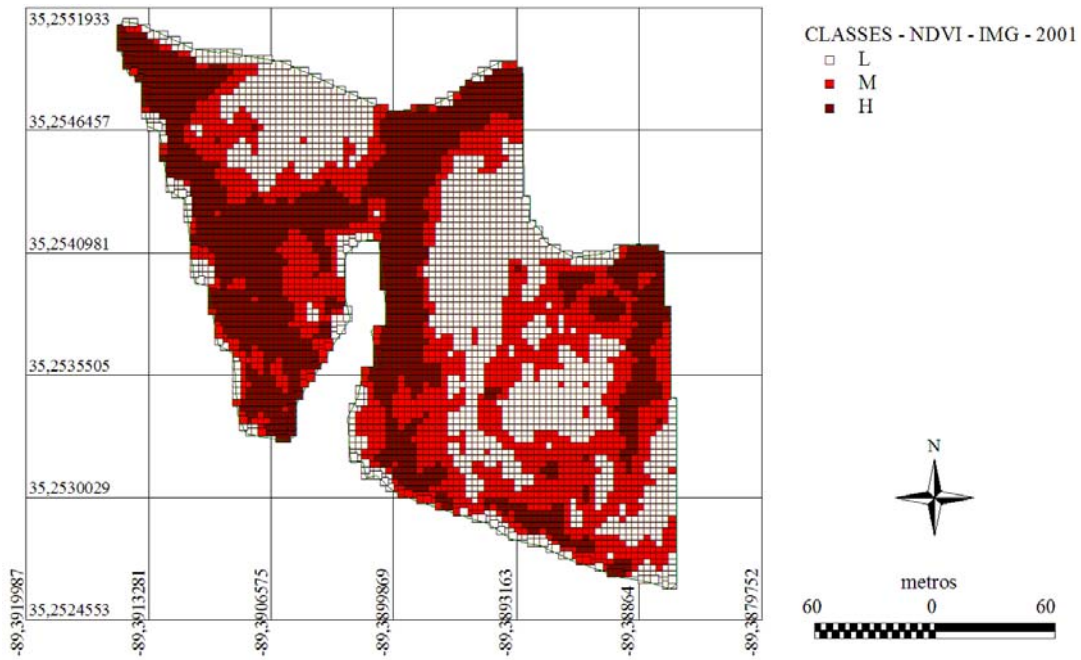


Figura 2 – Classes de NDVI (L-baixo, M-médio, H-alto) obtidas pela classificação da imagem aérea multiespectral georreferenciada do ano de 2001.

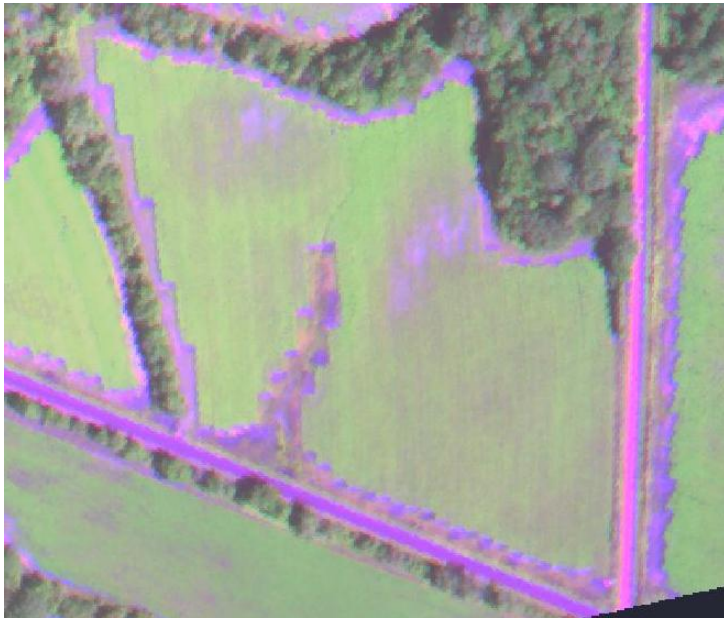


Figura 3 – Imagem aérea multiespectral georreferenciada obtida no ano de 2002.

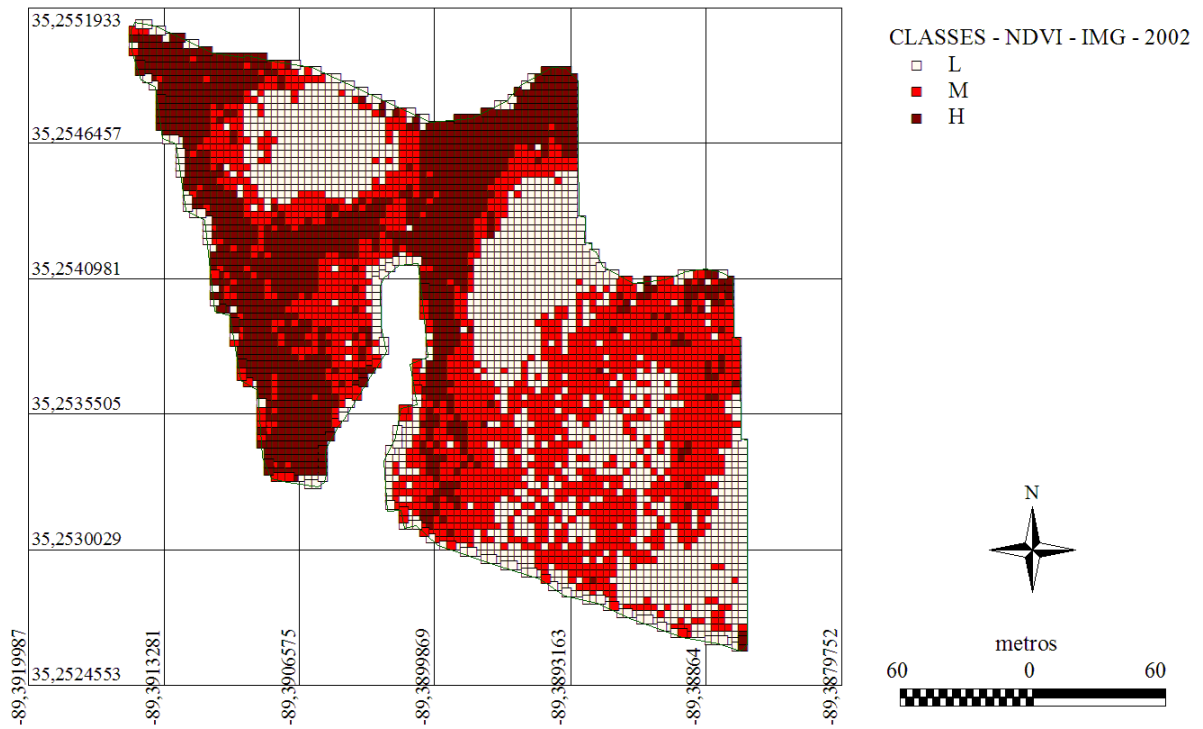


Figura 4 – Classes de NDVI (L-baixo, M-médio, H-alto) obtidas pela classificação da imagem aérea multiespectral georreferenciada do ano de 2002.

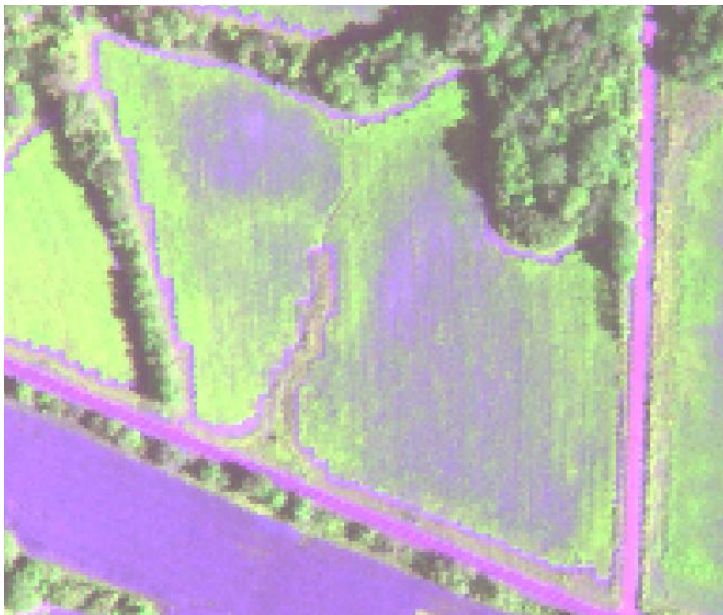


Figura 5 – Imagem aérea multiespectral georreferenciada obtida no ano de 2003.

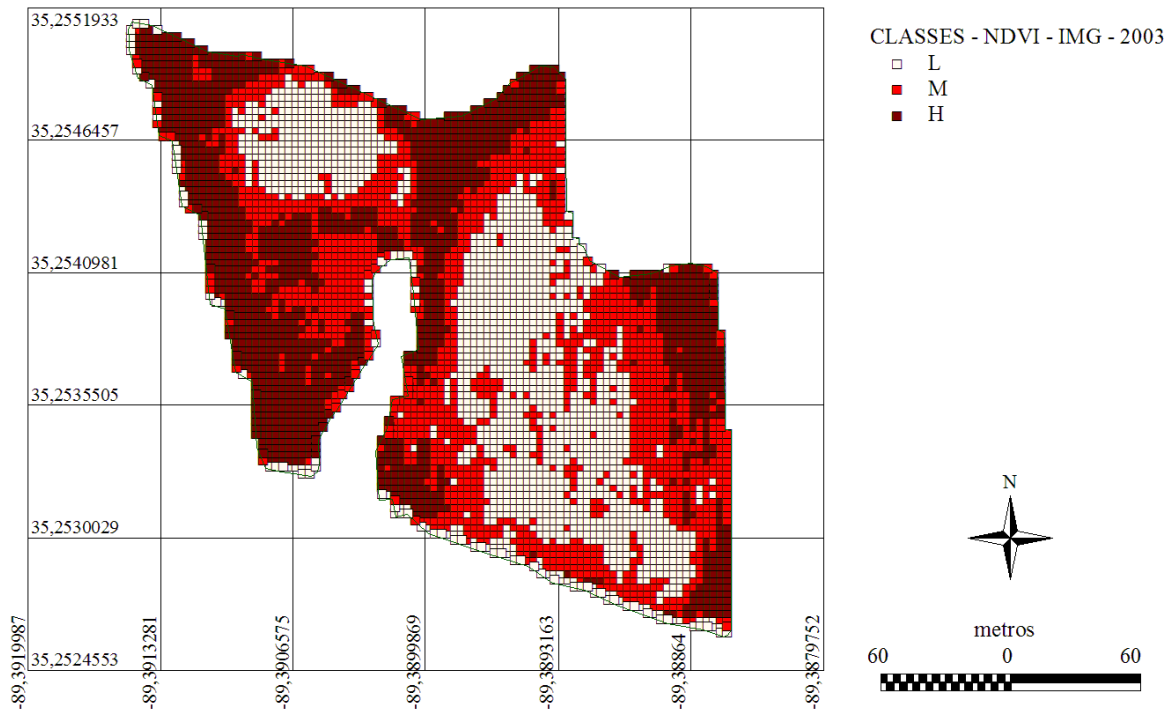


Figura 6 – Classes de NDVI (L-baixo, M-médio, H-alto) obtidas pela classificação da imagem aérea multiespectral georreferenciada do ano de 2003.

O mesmo padrão de similaridade de características de vegetação observado entre as imagens obtidas para os três anos (Figuras 1, 3, 5) pode ser visto pela comparação entre as classes de NDVI obtidas pelas imagens dos três anos (Figuras 2, 4, 6). Tanto as classes de baixo como as de alto NDVI tiveram sua presença nas mesmas regiões com o passar dos anos, sendo cercadas pela classe de médio NDVI. As maiores variações na posição das classes ocorreram na região ao nordeste da área, classificada como alto NDVI nos anos de 2001 e 2003 (Figuras 2 e 6, respectivamente) e como médio NDVI no ano de 2002 (Figura 4), e na região ao sudeste da área, que apresentou variação nas classes de baixo e médio NDVI com o passar dos anos.

A classificação das imagens multiespectrais pelo índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) é uma classificação relativa para cada ano, uma vez que não leva em consideração as características espectrais absolutas da vegetação de algodão encontrada em cada ano, e sim, analisa toda a imagem e distribui os valores de NDVI em intervalos que representam as classes obtidas. No Quadro 1 são apresentados os intervalos de valores de NDVI para as três classes de NDVI obtidas pela classificação das imagens multiespectrais dos anos de 2001, 2002 e 2003. A classe de baixo NDVI teve valores de 0,00 a 0,22 para 2001, de 0,00 a 0,59 para 2002, e de 0,00 a 0,24 para 2003, enquanto a classe de médio NDVI variou

de 0,23 a 0,29 para 2001, de 0,60 a 0,63 para 2002, e 0,25 a 0,43 para 2003, e a classe de alto NDVI variou de 0,30 a 0,45, de 0,64 a 0,70, e de 0,44 a 0,63 para 2001, 2002 e 2003 respectivamente. Os intervalos totais dos valores de NDVI observados foram de zero no limite inferior para todos os anos, tendo variação no limite superior, que correspondeu a 0,45 para 2001, a 0,70 para 2002, e a 0,63 para 2003, o que denotou numa maior variabilidade espectral para os anos de 2002, seguido de 2003 e 2001. A classe com maior intervalo de valores de NDVI foi a de baixo NDVI para o ano de 2002, englobando a vegetação com variação de 0,00 a 0,59 de NDVI.

Quadro 1 – Intervalos de valores de NDVI para as três classes de NDVI obtidas pela classificação das imagens multiespectrais dos anos de 2001, 2002 e 2003.

Classes de NDVI	Intervalos de valores de NDVI obtidos para os anos de		
	2001	2002	2003
L – baixo	0,00 – 0,22	0,00 – 0,59	0,00 – 0,24
M – médio	0,23 – 0,29	0,60 – 0,63	0,25 – 0,43
H – alto	0,30 – 0,45	0,64 – 0,70	0,44 – 0,63

Os resultados obtidos pela avaliação estatística dos atributos físicos das plantas de algodão são apresentados na forma de Quadros e Figuras, onde as médias seguidas de mesmas letras não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As diferenças entre as plantas das classes de NDVI do ano de 2001 são demonstradas pelos resultados do estande de plantas, altura das plantas, número total de nós por planta e número total de maçãs por planta de algodão que se encontram no Quadro 2, onde pode ser observado que a classe de alto NDVI apresentou plantas com maior altura, maior número total de nós e maior número total de maçãs em relação à classe de baixo NDVI.

Não houve diferença significativa para o estande de plantas entre as classes de NDVI, confirmando o resultado que havia sido esperado em função do plantio convencional da área, que aplica a mesma quantidade de sementes na área toda com o objetivo de obter estande de plantas uniforme.

A altura das plantas foi diferente em todas as classes, sendo encontradas na classe de alto NDVI plantas mais altas, seguida pelas classes de médio e baixo NDVI. O resultado confirmou a alta correlação do NDVI com a altura das plantas observada por Peterson e Varco (2001). Estes resultados demonstram a possibilidade da adoção do manejo localizado com aplicação de doses variadas de regulador de crescimento de acordo com a altura das plantas encontradas em cada classe de NDVI. O controle de insetos também pode-

ria ser realizado de maneira localizada com doses variadas de inseticidas. Sudbrink Jr. et al. (2002) encontraram diferenças estatísticas significativas entre o número de insetos distribuídos em função da altura das plantas, sendo maior a quantidade de insetos em locais com plantas mais altas, com maior vigor vegetativo, obtendo redução de até 35% do volume de inseticidas com sua aplicação localizada com taxas variadas.

Quadro 2 – Estande de plantas, altura das plantas, número total de nós por planta e número total de maçãs por planta de algodão amostradas em três classes de NDVI obtidas pela classificação da imagem multiespectral do ano de 2001.

Classes de NDVI	Estande (plantas/m)	Altura das plantas (cm)	Número total de nós por planta	Número total de maçãs por planta
L – baixo	8,1 A	55,9 C	13,8 B	3,9 B
M – médio	9,1 A	80,9 B	17,7 A	7,1 A
H – alto	9,7 A	91,7 A	17,0 A	7,5 A
Média	9,0	76,2	16,2	6,1
DMS	2,3	3,5	1,4	1,2
CV (%)	22,1	4,0	7,3	17,8
R2	0,28	0,98	0,79	0,82

As classes de alto e médio NDVI não apresentaram diferença no número total de nós no caule principal das plantas e no número total de maçãs das plantas, sendo diferentes da classe de baixo NDVI, que apresentou plantas com menor número de nós e de maçãs.

Segundo Albers (1999), a altura e o número de nós no caule principal das plantas de algodão estão diretamente relacionados ao vigor e ao estresse das plantas, sendo possível usar os valores de aproximadamente 4,3 a 5,1 cm por nó como referência ao índice altura/nós na fase inicial de florescimento, sendo pequenas as plantas com índice abaixo da referência, em função de possível estresse hídrico sofrido, e altas as plantas com índice acima da referência, em função de possível excessivo uso de fertilizantes nitrogenados. Pelos resultados apresentados no Quadro 2 para a altura e número de nós das plantas foi possível calcular a relação altura/nós e obter os valores de 4,1, de 4,6, e de 5,4 cm/nó para as classes de baixo, médio e alto NDVI, respectivamente. Verificou-se que as plantas da classe de baixo NDVI são muito baixas enquanto que as plantas da classe de alto NDVI são muito altas. Estes resultados demonstram a possibilidade da adoção do manejo localizado de insumos, como por exemplo a aplicação variada de fertilizantes

nitrogenados, com doses maiores nas regiões de baixo NDVI e menores nas de alto NDVI, ou aplicação variada de reguladores de crescimento, com doses menores nas regiões de baixo NDVI e maiores nas de alto NDVI.

As diferenças entre as plantas das classes de NDVI do ano de 2002 são demonstradas pelos resultados do estande de plantas, altura das plantas, número total de nós por planta e número total de maçãs por planta de algodão que se encontram no Quadro 3, onde pode ser observado que a classe de alto NDVI apresentou plantas com maiores alturas, maior número total de nós e maior número total de maçãs em relação à classe de baixo NDVI.

Quadro 3 – Estande de plantas, altura das plantas, número total de nós por planta e número total de maçãs por planta de algodão amostradas em três classes de NDVI obtidas pela classificação da imagem multiespectral do ano de 2002.

Classes de NDVI	Estande (plantas/m)	Altura das plantas (cm)	Número total de nós por planta	Número total de maçãs por planta
L – baixo	10,1 AB	76,0 C	15,4 B	5,0 B
M – médio	10,9 A	97,4 B	16,4 AB	6,4 A
H – alto	9,5 B	117,2 A	17,3 A	7,0 A
Média	10,2	96,9	16,4	6,1
DMS	1,0	8,4	1,3	0,8
CV (%)	7,6	6,7	6,1	10,4
R2	0,54	0,92	0,68	0,81

Para o estande de plantas os resultados demonstraram haver diferença entre as classes de médio e alto NDVI, com valores mais altos para o estande da classe de médio NDVI. A classe de baixo NDVI não apresentou diferença significativa do estande de plantas quando comparada com as classes de médio e alto NDVI. Segundo Gwathmey, citado por Reed (2002), o estande de plantas é a expressão da uniformidade de semeadura e do vigor das sementes que resulta na germinação das sementes e emergência das plântulas. Uma vez que o plantio da área foi realizado com a semeadura convencional com distribuição da mesma quantidade de sementes em toda a área, a diferença entre estande de plantas poderia ser explicada pela excessiva precipitação pluvial que ocorreu neste ano, com interferência no vigor das sementes e redução de sua germinação, porém, os valores de precipitação pluvial são normais para os meses de maio e junho, meses onde ocorrem a germinação e emergência das plântulas, não sendo provável a ocorrência de danos

ao vigor das sementes. As falhas no estande final das plantas distribuídas sobre a área podem ser explicadas mais facilmente pelo elevado volume de precipitação pluvial que ocorreu no mês de setembro, quase quatro vezes superior a média esperada para o período, com efeitos sobre a oxigenação das raízes, principalmente em regiões com solo de maior capacidade de retenção de água.

A altura das plantas apresentou diferença significativa entre todas as classes, sendo encontradas plantas mais altas na classe de alto NDVI, seguida pelas classes de médio e baixo NDVI. Mais uma vez o resultado confirmou a alta correlação entre o NDVI e a altura das plantas (Peterson e Varco, 2001) e a possibilidade de aplicação localizada em taxa variadas de regulador de crescimento, fertilizantes nitrogenados, inseticidas e sementes para o controle do vigor das plantas de algodão (Ojala et al., 2003), com bons resultados econômicos e ambientais, com por exemplo os valores obtidos por Fridgen et al. (2002), na redução de 33% do custo da aplicação de inseticidas e quase 50% da quantidade de inseticidas utilizada.

As classes de alto e baixo NDVI apresentaram diferença significativa no número total de nós no caule principal das plantas, sendo encontrado na classe de alto NDVI o maior número de nós por planta. A classe de médio NDVI não diferiu das de alto e baixo NDVI para o número total de nós por planta. As classes de alto e médio NDVI não apresentaram diferença no número total de maçãs das plantas, sendo diferentes da classe de baixo NDVI, com menor número de maçãs.

Aplicando o índice altura/nós e sua referência proposta por Albers (1999) nos resultados de altura e número total de nós por planta, apresentados no Quadro 3, foi possível obter os valores de 4,9, de 5,9, e de 6,8 cm/nó para as classes de baixo, médio e alto NDVI, respectivamente. Verificou-se que as plantas da classe de baixo NDVI seguiram um ótimo padrão de crescimento em relação à referência proposta quando comparadas com a mesma classe no ano de 2001, o que pode ser relacionado à elevada precipitação pluvial ocorrida no ano de 2002, tendo como consequência a redução do estresse hídrico expressado pela classe de baixo NDVI no ano de 2001. As classes de médio e alto NDVI apresentaram crescimento superior à referência proposta, demonstrando a possibilidade da adoção de manejo variado de insumos como fertilizantes nitrogenados e reguladores de crescimento para corrigir o excessivo vigor das plantas.

As diferenças entre as plantas das classes de NDVI do ano de 2003 são demonstradas pelos resultados do estande de plantas, altura das plantas, número total de nós por planta e número total de maçãs por planta de algodão que se encontram no Quadro 4, onde pode ser observado que a classe de alto NDVI apresentou plantas com maior altura, maior número total de nós e maior número total de maçãs em relação à classe de baixo NDVI.

Não houve diferença significativa entre o estande de plantas entre as classes de NDVI, confirmando o resultado esperado em função do plantio convencional com distribuição uniforme na quantidade de sementes de toda a área.

As classes de baixo e médio NDVI não apresentaram diferença significativa na altura das plantas, sendo diferentes da classe de alto NDVI que apresentou plantas mais altas.

O maior número total de nós por planta foi observado na classe de alto NDVI, seguido das classes de médio e baixo NDVI que não apresentaram diferença significativa entre si.

Quadro 4 – Estande de plantas, altura das plantas, número total de nós por planta e número total de maçãs por planta de algodão amostradas em três classes de NDVI obtidas pela classificação da imagem multiespectral do ano de 2003.

Classes de NDVI	Estande (plantas/m)	(plan- tas/m)	Altura das plantas (cm)	Número total de nós por planta	Número total de maçãs por planta	
L – baixo	10,8	A	55,8	B	13,3	B
M – médio	10,7	A	69,1	B	15,2	B
H – alto	10,0	A	101,5	A	19,3	A
Média	10,5		75,4		15,9	
DMS	2,5		17,4		2,0	
CV (%)	17,8		17,6		9,7	
R2	0,15		0,79		0,82	

As classes de alto e médio NDVI não apresentaram diferença no número total de maçãs por planta, sendo diferentes da classe de baixo NDVI com menor número de maçãs.

Aplicando a referência do índice altura/nós proposta por Albers (1999) nos resultados apresentados no Quadro 4, foi possível obter valores aproximados de 4,2, de 4,6, e de 5,3 cm/nó para as classes de baixo, médio e alto NDVI, respectivamente. Observou-se que as plantas da classe de baixo NDVI seguiram um padrão de baixo desenvolvimento vegetativo, apresentando baixa estatura, enquanto que as plantas da classe de alto NDVI tiveram um desenvolvimento muito vigoroso, apresentando elevada altura para sua idade. Estes resultados comprovaram as diferenças entre as classes de NDVI e demonstraram a possibilidade de sua adoção como zonas de manejo com aplicações localizadas de insumos para uniformizar o vigor de crescimento das plantas.

4 CONCLUSÕES

Para as condições de realização deste trabalho são válidas as conclusões seguintes.

Foi possível identificar zonas de manejo para a cultura do algodão com a utilização de imagens aéreas multiespectrais.

A classificação das imagens multiespectrais pelo índice de vegetação com diferenças normalizadas (NDVI) permitiu a divisão da área em três classes com características semelhantes em todos os anos.

A classe de alto NDVI dos três anos avaliados foi caracterizada por plantas mais altas, com maior número total de nós no caule principal e maior número total de maçãs por planta, quando comparadas com as plantas da classe de baixo NDVI.

Não houve diferença no estande das plantas entre as classes de baixo e alto NDVI para os três anos e todas as classes tiveram o mesmo estande de plantas nos anos de 2001 e 2003, conforme o esperado pela semeadura com distribuição uniforme de sementes.

A aplicação localizada de insumos pode ter início a qualquer ano com base em uma imagem multiespectral obtida em um ano qualquer.

É possível a utilização das classes de NDVI como zonas de manejo para aplicação localizada de insumos (como fertilizantes, inseticidas, reguladores de crescimento, desfolhantes) para o controle das diferenças no vigor de crescimento apresentado pelas plantas de algodão das diferentes classes de NDVI.

5 REFERÊNCIAS

ALBERS, D. W. Cotton plant development and plant mapping. Columbia: University of Missouri, 1999. 7 p. Disponível em: <<http://muextension.missouri.edu/explore/agguides/crops/g04268.htm>>. Acesso em: 23 set. 2003.

BALASTREIRE, L. A. Histórico, definições e conceitos básicos. In:_. Agricultura de precisão. Piracicaba: [s. n.], 1998. p. 1-8

COTMAN. Pocket field guide. Fayetteville: University of Arkansas, 2003. p. 1-8. Disponível em: <http://www.uark.edu/depts/cotman/COTMAN_Pocket_Field_Guide.pdf>. Acesso em: 23 set. 2003.

DOERGE, T. A. Management zone concept. **Site-Specific Management Guidelines**, n. 2, p. 1-4, 1999. Disponível em: <<http://ppi-far.org/ssmg>>. Acesso em: 10 abr. 2000.

ERDAS INC. Erdas imagine: tour guide. Version 8.0. Atlanta, 1997.

MARUR, C. J.; RUANO, O. A reference system for determination of cotton plant development. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 5, n. 2, p. 243-7, 2001.

FRIDGEN, J. J. et al. Farm level spatially-variable insecticide applications based on remotely sensed imagery. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCE, 2002, Atlanta. Proceedings... Memphis: National Cotton Council, 2002. 13 p.

MEMPHIS CLIMATOLOGICAL DATA. Preliminary local climatological data. Memphis: SRH NOAA GOV., 2004. Disponível em: <<http://www.srh.noaa.gov/meg/memcli.html>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

OJALA, J. et al. Ag 20/20 Project in California: adapting remote sensing technology to cotton production. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCE, 2003, Nashville. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 2003. p. 650-5.

PETERSON, W. M.; VARCO, J. J. Utilization of remote sensing to detect fertilizer nitrogen effects on cotton growth. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCE, 2001, Anaheim. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 2001. p. 568-9.

REED, J. Good stands, earliness, high yields demonstrate the value of vigor. Cotton Farming, “não pag.”, 2002. Disponível em: <http://www.cottonfarming.co/home/2002_AprCF-Lead.html>. Acesso em: 23 set. 2003.

SALVADOR, A. **Comparação de métodos de mapeamento da distribuição espacial da infestação de plantas daninhas**. 2002. 109 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

SAS INSTITUTE. SAS procedures guide. Version 6, 3 ed.. Cary, 1990. 705 p.

SCHLEMMER, M.; HATFIELD, J.; RUNDQUIST, D. C. Remote sensing: photographic vs. non-photographic systems. **Site-Specific Management Guidelines**, n. 16, p. 1-4, 1999. Disponível em: <<http://ppi-far.org/ssmg>>. Acesso em: 10 abr. 2000.

SST DEVELOPMENT GROUP INC. SSToolbox user guide. Version 3.3. Stillwater, 2001. 474 p.

SUDBRINK JR., D. L. et al. Site specific management in Mississippi Delta cotton: Experimental field studies and on-farm application. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCE, 2002, Atlanta. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 2002. 6 p.

THOMASSON, J. A. et al. Multitemporal remote sensing for predicting cotton yield. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCE, 2003, Nashville. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 2003. p. 604-24.

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