



ISSN 1518-4277

Dezembro, 2005

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 49

Laboratório Móvel para Monitoramento, Avaliação e Gerência de Atributos de Sistemas de Produção Agrícola

Reinaldo Lúcio Gomide
Ricardo Yassushi Inamasu
Mauro Koji Kobayashi
Gisela de Avelar
Evandro Chartuni Mantovani

Sete Lagoas, MG
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3779 1000
Fax: (31) 3779 1088
Home page: www.cnpms.embrapa.br
E-mail: sac@cnpms.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Antônio Carlos de Oliveira
Secretário-Executivo: Paulo César Magalhães
Membros: Camilo de Lélis Teixeira de Andrade, Cláudia Teixeira
Guimarães, Carlos Roberto Casela, José Carlos Cruz e Márcio
Antônio Rezende Monteiro

Supervisor editorial: Clenio Araujo
Revisor de texto: Dilermando Lúcio de Oliveira
Normalização bibliográfica: Maria Tereza Rocha Ferreira
Editoração eletrônica: Dilermando Lúcio de Oliveira

1ª edição

1ª impressão (2005): 200 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Gomide, Reinaldo Lúcio.

Laboratório móvel para monitoramento, avaliação e
gerência de atributos de sistemas de produção agrícola /
Reinaldo Lúcio Gomide...[et al.]. – Sete Lagoas: Embrapa Milho
e Sorgo, 2005.

31 p. ; 21 cm. - (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN
1518-4277 ; 49).

1. Agricultura de precisão. 2. Sensoriamento remoto. 3.
Variabilidade espacial. I. Título. II. Série

CDD 620.82

© Embrapa 2005

Autores

Reinaldo Lúcio Gomide

Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal
151. CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG,
gomide@cnpms.embrapa.br

Ricardo Yassushi Inamasu

Pesquisador da Embrapa Instrumentação
Agropecuária, 13560-970 São Carlos, SP ,
ricardo@cnpdia.embrapa.br

Mauro Koji Kobayashi

Professor do Curso de Agronomia da Unimontes,
39440-000 Janaúba, MG, mauro.koji@unimontes.br

Gisela de Avelar

Embrapa Milho e Sorgo. gisela@cnpms.embrapa.br

Evandro Chartuni Mantovani

Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.
evandro@cnpms.embrapa.br

Sumário

Introdução	7
Descrição do Laboratório Móvel	10
Material e Métodos Usados no Laboratório Móvel	13
Resultados e Discussão do Monitoramento e Avaliação de Atributos de Áreas de Produção com o Laboratório Móvel	21
Conclusões e Recomendações	27
Referências Bibliográficas	28

Laboratório Móvel para Monitoramento, Avaliação e Gerência de Atributos de Sistemas de Produção Agrícola

Reinaldo Lúcio Gomide

Ricardo Yassushi Inamasu

Mauro Koji Kobayashi

Gisela de Avelar

Evandro Chartuni Mantovani

Introdução

Uma das dificuldades encontradas na avaliação de sistemas de produção agrícola é a medida e o registro de atributos relacionados a solos, plantas, água e atmosfera, envolvendo características físicas, químicas, hídricas, biológicas e fisiológicas das áreas cultivadas. O grau dessas dificuldades aumenta quando se trata da automação e controle da aquisição de dados e informações de áreas de produção agrícola remotas, afastadas de toda infra-estrutura existente nos laboratórios de universidades e centros de pesquisa. A inexistência ou limitação de medida e registro destes atributos tem sido a razão dos maiores problemas que os técnicos e agricultores enfrentam para traçar estratégias de gerência, suporte a tomada de decisão e manejo destes sistemas de produção. Acompanhar e monitorar o crescimento e desenvolvimento de uma cultura com amostragens diretas de atributos de solos, plantas e meio ambiente, em condições de campo, é

uma das ações imprescindíveis para a tomada de decisões e o estabelecimento de critérios, visando o manejo racional de recursos naturais, a otimização de uso de insumos agrícolas, a sustentabilidade do empreendimento e a preservação do meio ambiente.

As áreas de produção agrícola vêm sendo manejadas de maneira uniforme com relação aos principais atributos dos sistemas de produção. Isso traz a tona um problema que os técnicos e agricultores enfrentam no estabelecimento de estratégias de gerenciamento e manejo desses sistemas, a variabilidade espacial e temporal de alguns destes atributos. Geralmente essas áreas apresentam uma variação e uma desuniformidade de níveis de fertilidade e remoção de nutrientes dos solos pelas culturas de um ponto para outro dentro de uma mesma área (Mallarino e Wittry, 2004). Da mesma forma, o conteúdo de umidade do solo, a disponibilidade de água do solo e a remoção ou extração dessa água pelas culturas, normalmente não é uniforme em toda a extensão da área agricultável (Noborio, 2001; Rial e Han, 2000). Para contornar essa dificuldade, há necessidade de se desenvolver sistemas automático de coleta e registro da variação espacial e temporal desses atributos nas áreas de produção.

No caso das áreas agrícolas irrigadas, de modo geral, a reposição da água requerida pelas culturas por meio da irrigação é feita com base em um valor médio para toda a área. Com isso, dependendo da disponibilidade de água no solo, parte da área pode receber excesso de aplicação de água e parte menos água que o requerido. Esta prática pode resultar perdas econômicas para os agricultores, como também provocar danos ao meio ambiente, sobretudo devido à lixiviação de agroquímicos. A reposição da água requerida pelas culturas é conhecida como evapotranspiração das culturas (ETc). Técnicas de sensoriamento remoto de superfície (Wanjura & Upchurch, 2000; Kostrzewski et al., 2002) têm sido utilizadas na determinação da variabilidade de ETc e estatus hídrico das culturas. A porção do infravermelho termal do espectro tem sido usada para acessar e

avaliar a ETC e o estado hídrico de culturas, baseado na correlação direta existente entre as temperaturas do dossel da cultura (T_c) e do ar (T_a) e o estresse hídrico (Jackson, 1982). Além disso, outros fatores ambientais de clima (déficit de pressão de vapor do ar, saldo de radiação, resistência aerodinâmica e resistência do dossel da cultura) precisam ser considerados para uma boa medida e caracterização de ETC e dos níveis de estresse hídrico da cultura (Jackson, 1982; Sadler et al., 2002). O registro de T_c tem sido obtido com termômetros a infravermelho portáteis. Mais recentemente, métodos para integrar índices de vegetação espectral com temperatura têm sido estudados para estimativas de ETC remotamente (Carlson et al., 1995; Moran et al., 1994).

O presente trabalho objetivou descrever um Laboratório Móvel, versátil, modulado e compacto, para monitoramento, avaliação e gerência de atributos de sistemas de produção agrícola. Técnicas de registro automático de dados, fazendo uso de instrumentos portáteis, microprocessadores, sensores, atuadores, microcomputadores portáteis e uso de sistema de posicionamento global diferencial (DGPS) via satélite, foram usadas na descrição do laboratório. Técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas no laboratório móvel com o objetivo principal de mapeamento de índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) em pivô central por meio de termometria a infravermelho, buscando integrar os dados de IEHC, altimetria da área de produção e produtividade de grãos a um sistema de informação geográfica (SIG) para posterior acesso, processamento, análise e comparação dos mapas de IEHC gerados. Alguns resultados de atributos físicos, hídricos e biológicos medidos e registrados em algumas áreas de produção são apresentados. Ênfase especial é fornecida a questão de registro e avaliação da variabilidade espacial e temporal desses atributos de algumas áreas de produção de cereais.

Descrição do Laboratório Móvel

O Laboratório Móvel deve ser modulado e os módulos devem utilizar tecnologia avançada de controle e aquisição automática de dados, em tempo real, de áreas produção agrícola, durante as operações de amostragens e medições de atributos de solos, plantas e clima. Para isso há necessidade de uso de dispositivos de microeletrônica, técnicas de microprocessamento, sensores, atuadores, controladores, caixas de coleta de dados ("dataloggers"), microcomputadores portáteis, links de comunicação por meio de frequência de radio e sistemas diferencial de posicionamento global (DGPS) via satélites (Gomide et al., 2001). Um aspecto importante é que o laboratório constitui uma ferramenta de gerência de sistemas de produção, que auxilia o estabelecimento de critérios e estratégias de tomada de decisões, com o uso de programas de geoprocessamento e geoestatística para elaboração de mapas de áreas de produção, visando principalmente a otimização de uso de insumos agrícolas.

O diagrama esquemático da Figura 1 mostra os módulos constituintes do Laboratório Móvel, a saber: a) uma central de gerência (um veículo Van); b) um veículo de gerência de áreas de produção (Camionete); c) equipamentos, sensores e atuadores móveis, montados e instalados com DGPS em maquinaria e implementos agrícolas; e d) instrumentação e equipamentos fixos instalados nas áreas de produção.

A central de gerência é equipada com um servidor para coleta, armazenamento e transferência de dados e constitui todo o apoio e suporte ao processo de automação e controle da aquisição de dados e informações entre o veículo de gerência e equipamentos, sensores e atuadores móveis e fixos operando nas áreas de produção (Gomide et al., 2001), onde se encontra instalado o centro de comando de toda coleta e análise dos atributos dos sistemas de produção, operado com base em computadores, programas de gerência e aquisição automática de dados envolvendo

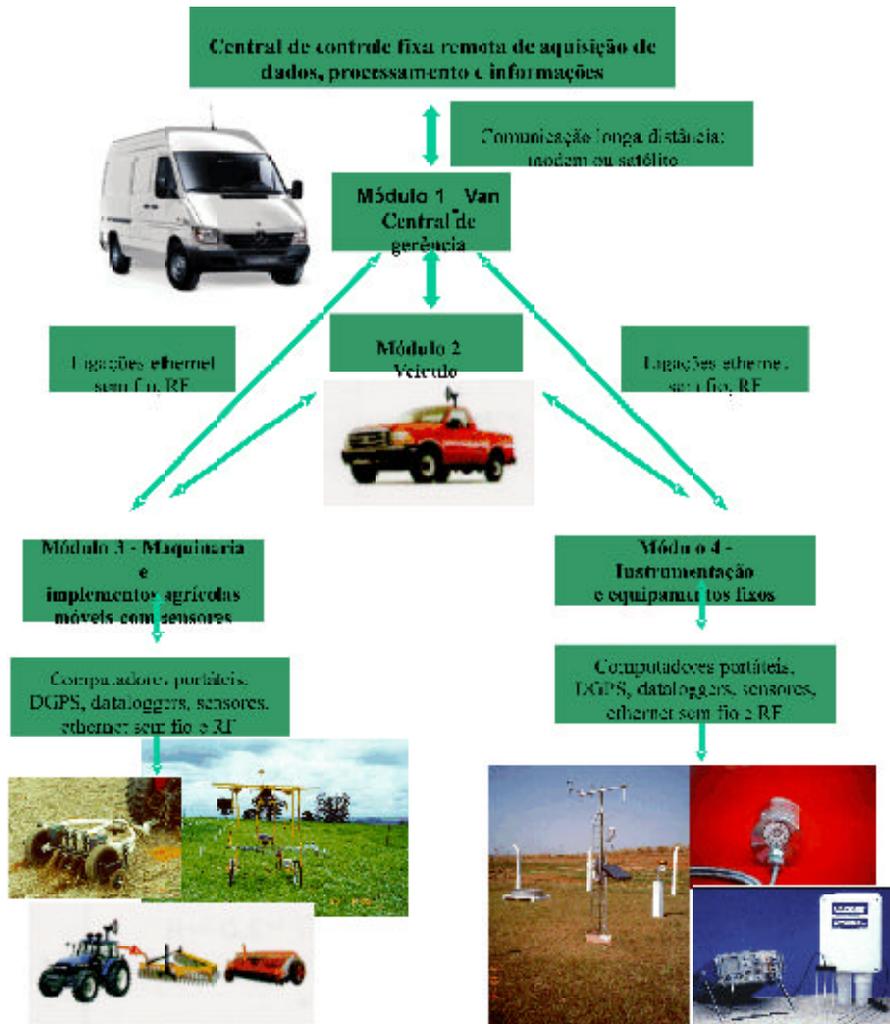


Figura 1. Diagrama esquemático dos módulos constituintes do Laboratório Móvel para automação e controle da aquisição de dados e informações de áreas de produção agrícola, mostrando a central de gerência (veículo Van), o veículo de gerência de (Camionete), os equipamentos, sensores e atuadores móveis montados em maquinaria e implementos agrícolas com DGPS e a instrumentação e equipamentos fixos instalados nas áreas de estudo.

ligações e conexões de comunicação de curta ou média distância por meio de “ethernet” sem fio ou frequência de radio (RF) (Figura 1). Dessa central é que parte as ligações de longa distância através de modem, celular ou satélite com os centros de pesquisa, laboratórios, universidades, institutos, etc.

O veículo de gerência de áreas de produção da propriedade agrícola é constituído por uma camionete Ranger, cabine estendida, e possui atividades relacionadas diretamente com os equipamentos, sensores e atuadores móveis, montados e instalados com DGPS em maquinaria e implementos agrícolas para caracterização e mapeamento de atributos de sistemas de produção (Gomide et al., 2001).

Os equipamentos, sensores e atuadores móveis são montados em maquinaria e implementos agrícolas, com sistemas de medições de posicionamento global diferencial (DGPS) e são responsáveis pelas medições em tempo real de sinais digitais gerados pelos diferentes atributos em estudo nas áreas de produção. Nesse grupo de sensores móveis foi usada a porção do infravermelho termal do espectro para detectar e avaliar a condição de estado hídrico de culturas com base na correlação direta existente entre a diferença de temperaturas das folhas do dossel de uma cultura (T_c) e do ar (T_a) logo acima do dossel (1,5 m). O registro de T_c foi obtido com sensores remotos utilizando a técnica de termometria a infravermelho acoplada a um DGPS. Posteriormente é realizada a transmissão desses sinais digitais do ponto de medida ou atuação nas áreas agrícolas até a central de gerência.

A instrumentação e equipamentos fixos são compostos de coletores automáticos de dados, sensores e atuadores e sistema de telemetria (Figura 1) e constituem os sistemas de monitoramento e avaliação automática de atributos relacionados aos solos, às culturas e à atmosfera, que são instalados fixos nas áreas de produção onde são mantidos permanentemente ou então durante o ciclo de duração de uma cultura.

Enquadra-se nesse módulo as plataformas automáticas com os sensores e dataloggers para monitorar as condições climáticas locais.

Material e Métodos Usados no Laboratório Móvel

O Laboratório Móvel foi testado em duas áreas de produção, uma irrigada por pivô central, localizada na Embrapa Milho e Sorgo, de 38 ha, em Sete Lagoas, MG, cujas coordenadas são 19° 28' Sul de latitude e 44°15' Oeste de longitude, e outra localizada na Fazenda Recanto, em Sidrolândia, MS, constituindo uma área comercial de 115 ha. Os solos das duas áreas são classificados como Latossolo Vermelho-Escuro álico, fase cerrado.

Gazziro et al. (2002) desenvolveram um sistema de medição automática de posicionamento global diferencial (DGPS), baseado em receptores e antenas DGPS Agp-114 da TRIMBLE (Trimble, 2001), interligado a um computador de mão Palm IIIe (3Com Corporation, 2001) por interface padrão RS232-C e a uma bateria (Figura 2). O sistema foi utilizado no georreferenciamento de amostragens e medidas de atributos de sistemas de produção ("Scouting") com o veículo de gerência (Camionete) e os equipamentos, sensores e atuadores móveis, montados e instalados em maquinaria e implementos agrícolas. O sistema também foi usado na navegação, para o caso da necessidade de se retornar a pontos previamente amostrados e monitorados. O computador de mão usado possui um sistema operacional aberto e uma plataforma de desenvolvimento Pocket Studio. Um pacote de programas computacionais, com base no aplicativo da Patchwork Palm software foi desenvolvido e ajustado para "Scouting" específico em sistemas de produção agrícola, composto de módulos de navegação, mapeamento e interface com sistema de informação geográfica (SIG) (Gazziro et al., 2002).

Dois sistemas de registro automático de condutividade elétrica (CE) dos solos, com base em contato físico direto ou em indução eletromagnética, foram empregados no veículo de gerência do Laboratório Móvel para o

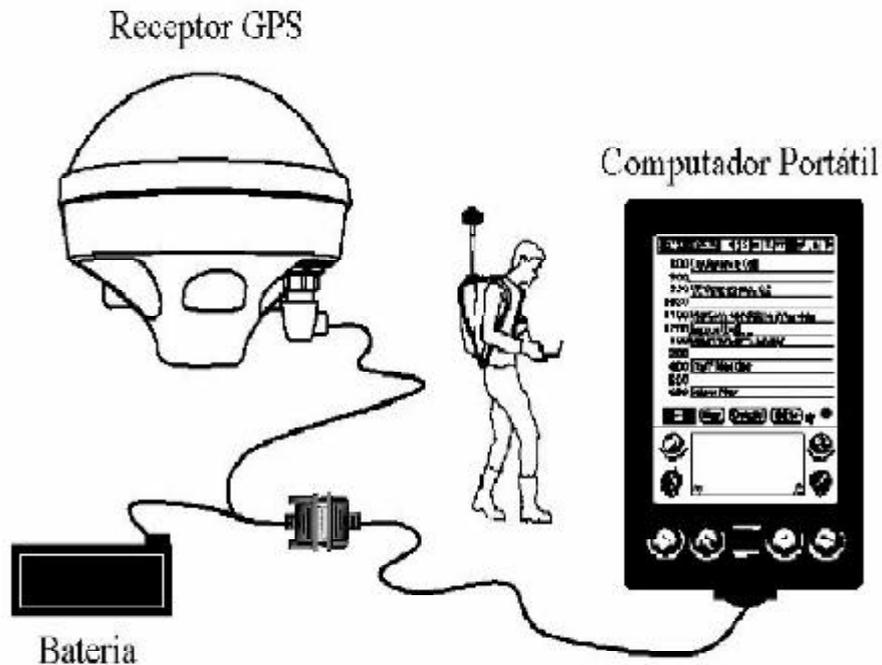


Figura 2. Sistema para "scouting" e navegação baseado em computador portátil de mão, receptores e antenas DGPS, interface padrão RS232-C e bateria (Fonte: Gazziro et al., 2002).

mapeamento de variabilidade geofísica de solos. Os dois modelos de equipamentos de registro de CE de solos utilizados foram o "Veris 3100" e o "EM-38" foram acoplados e conectados a receptores e antenas Ag-DGPS 114 da Trimble (Trimble, 2001) com sinal de correção diferencial recebido de satélites da Racal para o georreferenciamento das medidas, que foram realizadas após a colheita em duas áreas de produção em condições de plantio direto: uma na Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas, MG, pivô central de 38 ha, e outra em área comercial de 115 ha da Fazenda Recanto, em Sidrolândia, MS, conforme mostram as Figuras 3 a 5.

O "Veris 3100" mede a CE de solos por meio de sistemas de lâminas de discos em contato direto com os solos, que operam como eletrodos em

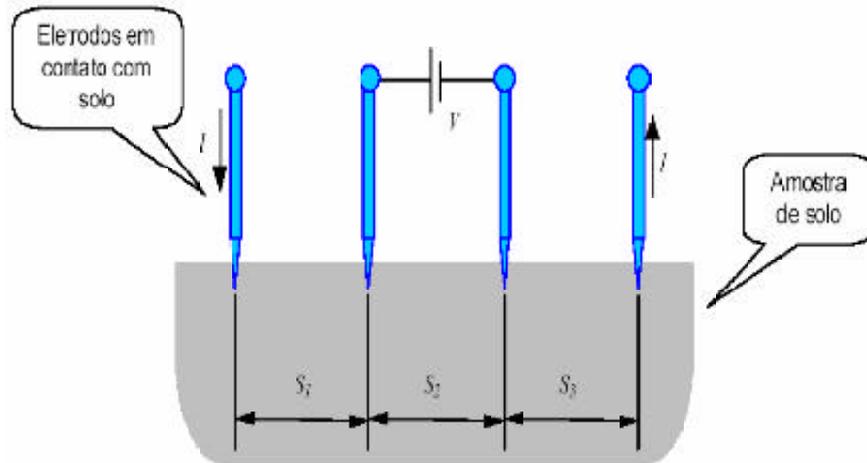


Figura 3. Sistema de medição de condutividade elétrica do solo de quatro pontos da Veris 3100 (Fonte: Inamasu et al., 2002)



Figura 4. Mapeamento de uma área agrícola de condutividade elétrica do solo com o Veris 3100 tracionado por um trator (esquerda) e vista de perto do equipamento montado com DGPS e lastros (direita) (Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2000).

contato de quatro pontos com o solo (Figuras 3 e 4) e o "EM-38" registra a CE sem contato direto com o solo por meio de correntes induzidas por bobinas (Figura 5) (Inamasu et al., 2002). No sistema Veris foram adicionados pesos para facilitar a penetração dos discos (Figura 4).

Desenvolveu-se um carrinho de madeira para servir de apoio ao sensor EM-38 (Figura 5). Os dois sistemas de medidas da CE do solo foram tracionados



Figura 5. Mapeamento de uma área agrícola de condutividade elétrica do solo com o EM-38 rebocado pelo veículo de gerência com DGPS (esquerda) e vista de perto do equipamento montado sobre o carrinho de madeira (direita). Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2000.

por meio de trator e veículo de gerência (camionete) a uma velocidade de 7 a 10 Km/h, que se mostrou adequada para as leituras.

O sensor EM-38 usado no trabalho foi em parceria com o USDA-ARS de Nebraska, Estados Unidos, junto com a Embrapa Labex. Esses dois métodos de mapeamento de solos com base em medições de CE vêm sendo usados em vários países da Europa e América do Norte, dentro do conceito de tecnologia avançada de agricultura de precisão.

Técnica de sensoriamento remoto foi usada no laboratório móvel para registrar a temperatura do dossel da cultura (T_c) de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) automaticamente com um transdutor de temperatura a infravermelho (TTIR), fabricado pela Everest Interscience, modelo 510B, com ângulo de visada de 1° , faixa de espectro de 8 a $14 \mu\text{m}$ e emissividade de 0,98 (Gomide et al., 2004). A cultivar utilizada foi o Carioca e a semeadura foi realizada em 03/07/2002 com o espaçamento entre fileiras de plantio de 45 cm, distribuindo-se de 12 a 14 sementes por metro de fileira. Os tratamentos culturais (adubação, controle de pragas e doenças) foram realizados de acordo com as recomendações técnicas do cultivo do feijão. O cálculo da lâmina de água aplicada em cada irrigação foi realizado pelo método do tanque classe A (Doorenbos & Pruitt, 1977). A colheita foi efetuada em 08/11/2002 e os dados de produtividade da área foram

obtidos por meio de uma automotriz, dotada de antena, receptor DGPS e monitor automático de produtividade grãos.

As leituras de T_c foram realizadas aos 74 dias após a semeadura (12/09/2002), estágio fenológico R6 ou floração (escala do Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT), no horário de 9 às 16 h, sob condição de céu claro, com o TTIR distanciado de 2 a 3 m dos alvos e o eixo de visada do instrumento formando um ângulo de cerca de 45° em relação a superfície do dossel da cultura. As leituras de T_c foram realizadas próximo às direções de deslocamento das torres do pivô central com visadas do TTIR nos sentidos leste-oeste e norte-sul. O transdutor, mantido sempre a 1,5 m de altura acima do dossel da cultura, registrou também os valores de temperatura do ar (T_a), déficit de pressão de vapor do ar (DPV) e radiação solar. Com o auxílio de um sistema de posicionamento global diferencial (DGPS), via satélite, da Trimble (modelo AG114), de precisão submétrica, foram georreferenciados as áreas de amostragem de leituras do TTIR e os dados de altimetria da área, obtidos com uma estação total a laser em uma malha de 25 m x 25 m.

O índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) foi calculado com base na seguinte equação (Idso, 1982; Jackson, 1982):

$$IEHC = 1 - ETr / ETp = (dT - dT_i) / (dT_s - dT_i)$$

em que, ETr e ETp são a evapotranspiração real e potencial da cultura, respectivamente, dT é a diferença $T_c - T_a$ atual, dT_i e dT_s são os limites inferior e superior de $T_c - T_a$, respectivamente. Estes limites constituíram as linhas básicas não estressada (dT_i) e estressada (dT_s), ajustadas por meio de equações de regressão que relacionaram a diferença $T_c - T_a$ com o DPV.

A integração dos dados georreferenciados de elevação, IEHC e produtividade da cultura ao sistema de informação geográfica (SIG) foi realizada com o software SPRING, versão 4.0, para posterior acesso, processamento e análises de variabilidade destes dados na área do pivô.

A Figura 6 mostra sensores óticos móveis de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) montados em uma estação móvel de coleta automática de dados desenvolvida pela Embrapa Instrumentação Agropecuária (Cruvinel et al., 2001), que medem reflectância de dossel de culturas nos comprimentos de onda de 550, 600, 632, 680 e 800 nm, em área de produção com a cultura de milho. Nas parcelas da área de teste da unidade foram aplicados níveis de N de 0, 30, 60, 90 e 120 Kg/ha. O trabalho de pesquisa foi desenvolvido em parceria com o USDA-ARS de Nebraska, Estados Unidos, junto com a Embrapa-LABEX. Os sensores utilizados foram de diodos com bandas definidas para leitura de N e P.



Figura 6. Estação móvel de coleta automática de dados ilustrando o trabalho com os sensores de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) (espectrorradiômetro ótico com bandas definidas por meio de diodos) (Fonte: Cruvinel et al., 2001).

Diagnósticos visuais são muito utilizados na agricultura, de modo que sistemas de visão artificial (SVA) apresentam grande potencial de utilização como sensores móveis (Pinto et al., 2002), integrando câmeras a computadores e extraíndo das imagens as informações necessárias. No entanto, o desafio do desenvolvimento de um SVA para agricultura é grande, especialmente devido às condições ambientais e de iluminação a que são submetidos os equipamentos. Um sistema de amostragem, medição e avaliação automática de ataque praga na cultura do milho foi desenvolvido com uma câmera digital de alta resolução. O trabalho foi conduzido em condições de ambiente controlado, visando o ajuste de metodologia, utilizando uma câmera digital Duncantech, modelo MS3100, conectada a um microcomputador por meio de uma placa de aquisição de vídeo da National Instruments, modelo PCI 1424 (Pinto et al., 2002; Sena Jr. et al., 2002). A metodologia foi desenvolvida com base em imagens binárias obtidas com limiar fixo para classificação de plantas de milho atacadas pela lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*). As imagens originais foram processadas com o pacote de ferramentas do programa computacional MATLAB usando o índice do excesso de verde normalizado, de acordo com a equação:

$$Evd = \frac{2 \cdot Vd - Vm - Az}{Vm - Vd + Az}$$

em que, Evd representa o excesso de verde normalizado; Vd o valor do pixel na banda verde; Vm o valor do pixel na banda vermelha; e Az o valor do pixel na banda azul.

Para as medições e registros de parâmetros climáticos, um sistema automático de aquisição de dados da atmosfera, totalmente integrado, envolvendo dataloggers, sensores e computadores portáteis foi instalado em Sete Lagoas, MG, e Sidrolândia, MS (Figura 7). Esse sistema constitui a parte de equipamentos fixos do laboratório móvel, que utilizou um link de

comunicação direta (via interface RS232) com um computador portátil por meio de um software de gerenciamento de todo o processo de aquisição automática de dados climáticos. A fonte de energia usada nesse sistema é proveniente de painel solar e baterias recarregáveis.

Quando em funcionamento, as estações automáticas de registro de parâmetros climáticos são programadas para fazer leituras nos sensores a intervalos de tempo de um minuto e calcular as médias dos parâmetros registrados a cada intervalo de 30 minutos. Apenas as médias dos dados são armazenadas nos dataloggers, para futura transferência, na forma de arquivo de dados para disquete ou transmissão à distância. A partir dos dados a cada 30 minutos é possível obter os valores diários relativos à média, máxima, mínima e outros parâmetros climáticos e informações de interesse para o sistema de produção. O intervalo de varredura dos sensores e o cálculo de médias dos parâmetros podem ser alterados, por

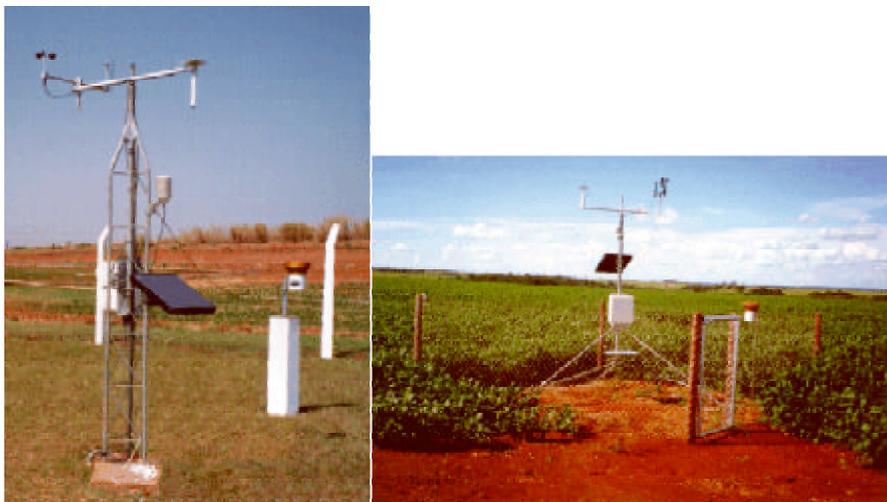


Figura 7. Sistemas automáticos de aquisição de dados climáticos da atmosfera (estações climatológica automática), instalados na Embrapa Milho e Sorgo (esquerda), em Sete Lagoas, MG, e na Fazenda Recanto (direita), em Sidrolândia, MS.

meio de programação adequada, de acordo com a necessidade local e do usuário. Os dois sistemas foram configurados com os seguintes sensores climáticos: temperatura e umidade relativa do ar, irradiância solar global, velocidade e direção do vento, precipitação e evaporação da água do tanque classe A (Figura 7).

Resultados e Discussão do Monitoramento e Avaliação de Atributos de Áreas de Produção com o Laboratório Móvel

Alguns resultados de monitoramento e avaliação de variabilidade espacial e temporal de atributos físicos, hídricos e biológicos medidos e registrados com o laboratório móvel em áreas de produção são apresentados. Para isso foram selecionadas duas áreas de estudo de caso, uma na região Centro-Oeste, na fazenda Recanto, em Sidrolândia, MS e outra na região Sudeste, na unidade da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, visando a caracterização de sítios específicos desses atributos e o estabelecimento de zonas de manejo diferenciadas. Um aspecto importante na escolha e definição dessas duas áreas foi o fato das mesmas já possuírem uma infraestrutura, histórico e informações adequados ao trabalho de teste do laboratório móvel, principalmente no que diz respeito a dados relativos aos solos, plantas e condições climáticas (Gomide et al., 2001).

Os resultados da condutividade elétrica do solo, obtidos por contato (Veris 3100) ou por indução eletromagnética (EM-38), estão auxiliando o diagnóstico da variabilidade espacial de características do solo, devido ao fato de estarem diretamente relacionados a alguns parâmetros químicos e físicos do solo, tais como granulometria, matéria orgânica e conteúdo de umidade.

As Figuras 8 e 9 mostram os resultados relativos aos mapas de condutividade elétrica de duas camadas de solo, uma rasa e outra profunda, de duas áreas cultivadas sob condições de plantio direto, uma de

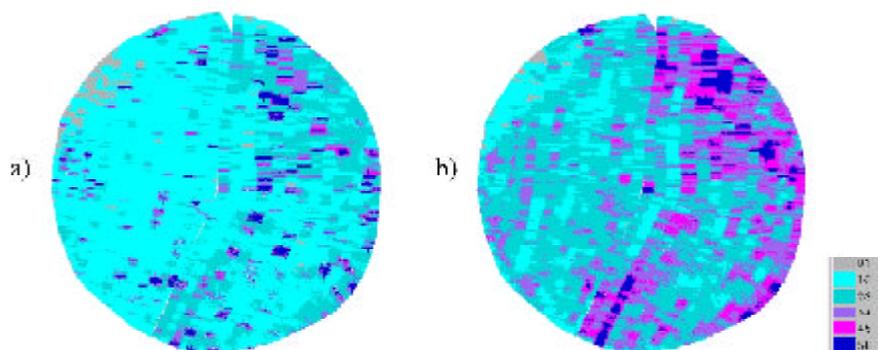


Figura 8. Mapas de condutividade elétrica de duas camadas de solo a) 30 cm e b) 15 cm, gerado com os dados registrados com o equipamento Veris 3100 após a colheita do milho em junho de 2001, na área de 38 ha irrigada por pivô central da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG (Fonte: Inamasu et al., 2002).

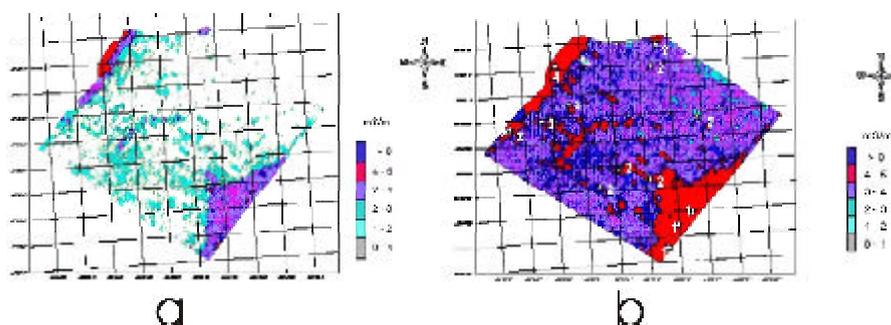


Figura 9. Mapas de condutividade elétrica de duas camadas de solo, a) 30 cm e b) 15 cm, gerado com os dados registrados automaticamente com o equipamento Veris 3100 após a colheita da soja em agosto de 2001, na área de 115 ha da Fazenda Recanto, Sidrolândia, MS (Fonte: Inamasu et al., 2002).

38 ha cultivada com milho e irrigada por pivô central na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, e outra de 115 ha cultivada com soja na fazenda Recanto, em Sidrolândia, MS (Inamasu et al., 2002). Os dados referente a essas duas áreas foram registrados automaticamente por

coleta direta com equipamento Veris 3100 acoplado ao veículo de gerência e DGPS em junho e agosto de 2001, um mês após a realização das colheitas das culturas, respectivamente. Os mapas indicam como é possível estabelecer e definir a diferenciação das regiões ou zonas de manejo homogêneas nessas áreas para uso em investigações de manejo de sítio específicos na agricultura de precisão. Verifica-se que é possível estabelecer pelo menos de duas a três zonas de manejo distintas nessas áreas. Esses mapas também vão possibilitar investigar as relações existentes entre a condutividade elétrica do solo e produtividade de lavouras de diferentes áreas de produção.

A Figura 10 mostra o mapa de elevação da área do pivô central de Sete Lagoas, MG, com curvas de nível a cada 5 m. A área irrigada apresenta superfície uniforme, suavemente ondulada, com declividade média de 7,9 % na direção ao eixo leste-oeste e desnível total de 55 m. O diâmetro do pivô é de 696 m.

Os mapas de variação do índice de estresse hídrico de cultura (IEHC) e da produtividade de grãos de feijão na área do pivô central encontram-se nas Figuras 11 e 12, respectivamente. Quando uma cultura sem estresse hídrico (bem suprida de água) transpira, a água transportada devido ao processo de evaporação mantém a temperatura das folhas abaixo da temperatura do ar da atmosfera ao redor da folha (esfriamento). Assim que a cultura começa a ficar estressada hidricamente, a sua taxa de transpiração reduz e, por conseguinte, a temperatura de suas folhas aumenta. De um modo geral, os valores de IEHC variaram de 0,0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 em 65,3 % e 15,3 % da área irrigada, respectivamente. Para a cultura irrigada, os níveis de produtividade foram baixos. Isto pode ser justificado pela baixa uniformidade de distribuição de água do pivô, principalmente nas áreas mais elevadas (aclive) onde avaliações de campo forneceram valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen da ordem de 68 %.

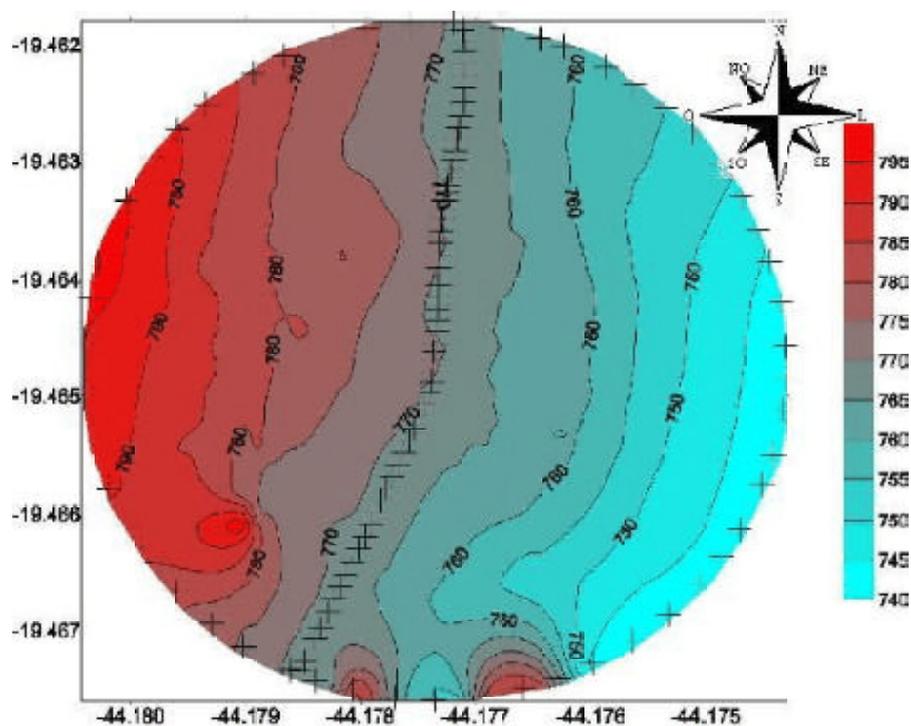


Figura 10. Variação de elevação da área de 38 ha do pivô central localizado na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, com curvas de nível a cada 5 m.

A produtividade de grãos variou de 200 a 3000 kg/ha. A região da parte mais elevada (oeste) do pivô apresentou as menores produtividades e os maiores IEHC (Figuras 10, 11 e 12). Nesta região, verificou-se a predominância de um rendimento de grãos de 200 a 750 kg/ha e uma variação de IEHC de 0,6 a 1,0, que corresponderam a 4,6 % e 9,8 % da área irrigada, respectivamente. Registrou-se produtividade da ordem de 750 a 1400 kg/ha e 1400 a 2000 kg/ha em 53,5 % e 35 % da área irrigada, respectivamente, onde prevaleceram valores de IEHC de 0,2 a 0,4. Apenas 7 % da área irrigada forneceu os maiores rendimentos (2000 a 3000 kg/ha) com valores de IEHC de 0,0 a 0,2.

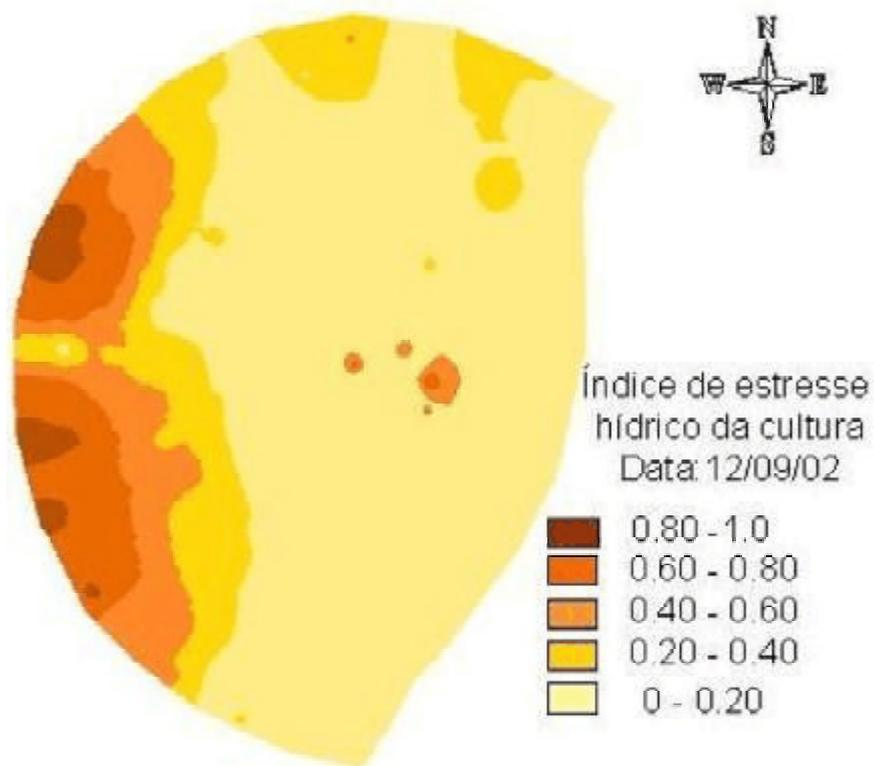


Figura 11. Variação espacial do índice de estresse hídrico de cultura (IEHC) durante a floração do feijão na área do pivô central localizada na Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas, MG (Fonte: Gomide et al., 2004).

Os resultados do trabalho de calibração dos sensores óticos móveis de Nitrogênio (N), montados em uma estação móvel de coleta automática de dados, para a cultura do milho mostraram que o comprimento de onda de 550 nm foi o mais sensível para variação de conteúdo de clorofila nas folhas de milho quando comparado com as leituras do medidor portátil de clorofila da Minolta, o SPAD 502.

Parte dos dados da medição e avaliação automática de ataque praga na cultura do milho obtido com a câmera digital de alta resolução Duncantech,

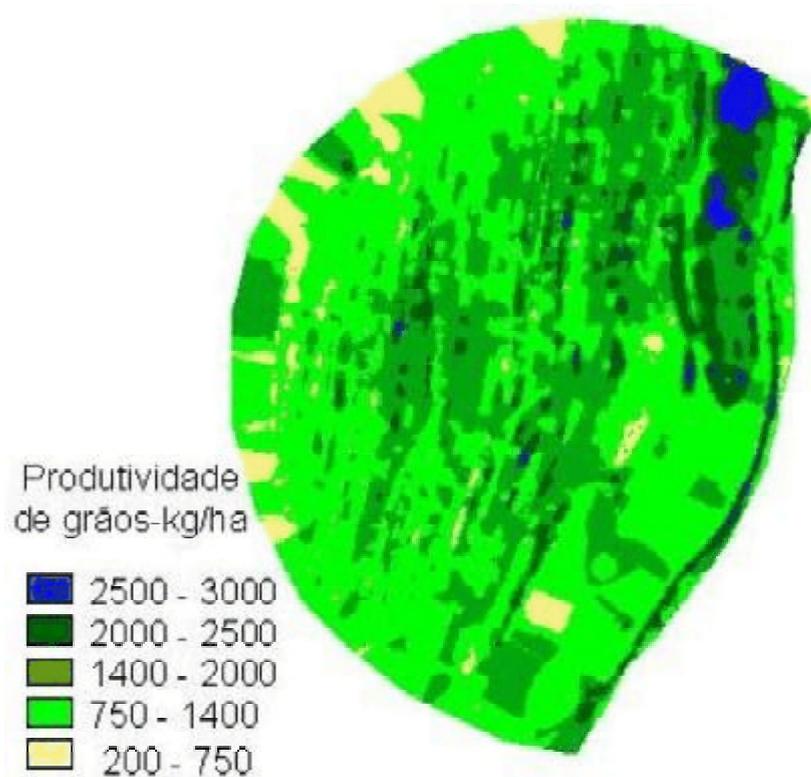


Figura 12. Variação espacial da produtividade de grãos de feijão na área do pivô central localizada na Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas, MG (Fonte: Gomide et al., 2004).

modelo 3100, encontra-se ilustrado na Figura 13 (Sena Jr. et al., 2002). Os resultados indicam que foi possível, a partir de imagens binárias obtidas com limiar fixo, classificar plantas de milho atacadas e não atacadas pela lagarta do cartucho em três intensidades de iluminação. As imagens criadas com o limiar fixo foram comparadas com as imagens criadas pelo método iterativo de limiarização e apresentaram exatidão global superior a 99% em 720 imagens. As imagens binárias do limiar fixo permitiram a classificação das plantas como atacadas e não atacadas com exatidão acima de 95%.

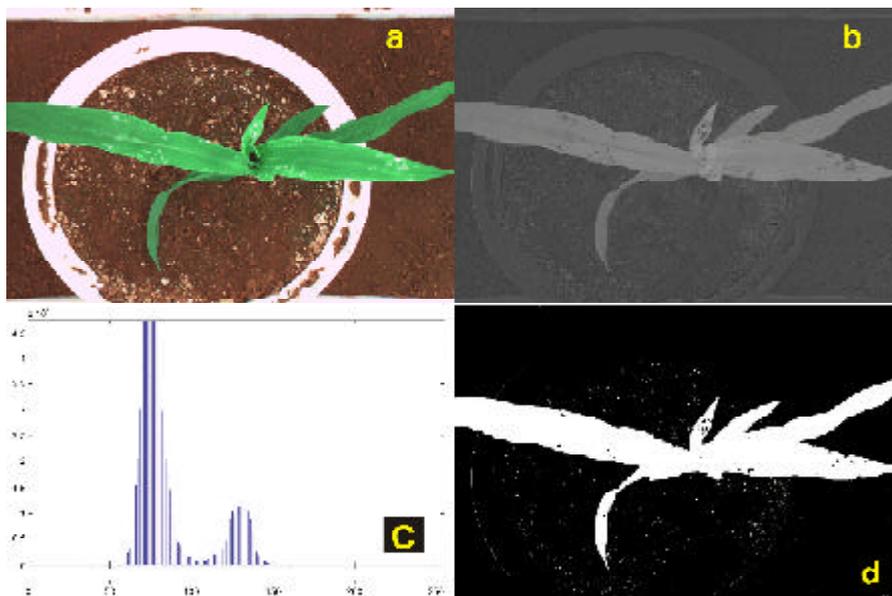


Figura 13. Avaliação e classificação automática do ataque de lagarta do cartucho de plantas de milho registrado com uma câmera digital de alta resolução (Duncantech, modelo 3100), sob três intensidade de iluminação [Imagem original (a); imagem processada com o índice do excesso de verde normalizado e transformada para valores de 0 a 255 (b); histograma da imagem transformada(c); imagem binária criada pela segmentação com o limiar fixo (d)] (Fonte: Sena Jr. et al., 2002).

Conclusões e Recomendações

Os dados coletados pelo laboratório móvel possibilitaram gerar mapas de variabilidade de alguns atributos dos sistemas de produção. Com a utilização desses mapas é possível traçar estratégias de gerenciamento e manejo dos sistemas de produção, visando o manejo de sítios específicos ou o estabelecimento de zonas diferenciadas de manejo das áreas de produção.

Os mapas de condutividade elétrica do solo obtidos com o Veris 3100 indicam que é possível estabelecer e definir a diferenciação das regiões ou zonas de manejo homogêneas nas áreas de produção.

O uso do sensor móvel transdutor de temperatura a infravermelho no registro de dados georreferenciados de diferenças de temperatura entre o dossel das plantas e o ar logo acima desse dossel ($T_c - T_a$) e de déficit de pressão de vapor (DPV) do ar mostrou-se eficaz no mapeamento de IEHC da cultura do feijoeiro e possibilitou a caracterização e análise de variabilidade de estresse hídrico da cultura e produtividade de grãos na área do pivô central de Sete Lagoas, MG.

A utilização da câmera digital de alta resolução Duncantech, modelo 3100, na obtenção de imagens para medição e avaliação automática de ataque da lagarta do cartucho na cultura do milho mostrou que é possível, a partir de imagens binárias obtidas com limiar fixo, identificar e classificar as plantas de milho atacadas por essa praga.

Referências Bibliográficas

3COM CORPORATION. Disponível em: <http://www.3com.com>. Acesso em junho de 2001.

CARLSON, T.N., W.J. CAPEHART; R.R. GILLIES. A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. *Remote Sens. Environ.* 54:161-167, 1995.

CRUVINEL, P. E.; INAMASU, R. Y.; TORRE NETO, A. Relatório técnico de subprojeto "Instrumentação e integração de sistemas para o monitoramento espaço-temporal de variáveis ambientais e do sistema de produção". In: Relatório do Projeto Prodetab 030-01/99, ano 2, 2001, 4-103 pp.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. Crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 24).

FRANÇA, G. E.; OLIVEIRA, A. C.; INAMASU, R. Y.; MANTOVANI, E. C.; AVELLAR, G. de; GOMIDE, R. L.; LUCHIARI JÚNIOR, A.. Análise da variabilidade de atributos do solo e altitude dentro de zonas de manejo. In: III SIMPÓSIO SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2002, Piracicaba, SP. Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no Período 1999-2001. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2002. v. 1, p. 82-89.

GAZZIRO, M. A.; SOUSA, R. V.; INAMASU, R. Y.; TORRE NETO, A.; MANTOVANI, E. C.; CRUVINEL, P. E. Sistema portátil de aquisição de dados baseado em computadores de mão no auxílio a SIG. In: **III Simpósio Sobre Agricultura de Precisão: Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999 a 2001**, Piracicaba, SP, USP/ESALQ, L. A. Balastreire ed., 2002, pp. 324-328.

GOMIDE, R. L., INAMASU, R. Y., QUEIROZ, D. M. de, MANTOVANI, E. C., SANTOS, W.. An Automatic Data Acquisition and Control Mobile Laboratory Network for Crop Production Systems Data Management and Spatial Variability Studies in the Brazilian Center-West Region. In: 2001 ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, PAPER NUMBER: 01-1046, 2001, Sacramento, California, USA. CD Rom do 2001 ASAE Annual International Meeting. St Joseph, Michigan, USA: The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems, 2001. v.1. p.282-292.

GOMIDE, R. L.; KOBAYASHI, M. K.; AVELLAR, G. de. Mapeamento de índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* L.) em pivô central por meio de termometria a infravermelho. In: XIV Cong. Nacional de Irrigação e Drenagem, ABID, outubro de 2004, Porto Alegre, RS, Anais em CD-Room, 2004, 3 pp.

IDSO, S.B. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. **Agricultural Meteorology** 27:59-70, 1982. INAMASU, R. Y.; FRANÇA, G. E.; TORRE NETO, A.; MANTOVANI, E. C.;

CRUVINEL, P. E.; GOMIDE, R. L.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; RABELLO, L M; SOUSA, R. V de. Condutividade elétrica do solo: primeiros mapas no Brasil. In: III SIMPÓSIO SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2002, Piracicaba, SP. Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no Período 1999-2001. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2002. v. 1, p. 32-37.

JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. In: HILLEL, D. **Advance in irrigation**. New York, Academic Press, v. 1, p.43-85, 1982.

KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; GUERTIN, P.; HABERLAND, J.; COLAIZZI, P.; BARNES, E.; THOMPSON, T.; CLARKE, T.; RILEY, E.; CHOI, C. Ground-based remote sensing of water & nitrogen stress. *ASAE. Trans. of the ASAE* 46(1): 29-38. 2002.

MALLARINO, A. P.; WITTRY, D. J. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Kluwer Acad. Pub., Precision Agriculture, Netherlands*, v. 5, 2004. pp. 131-144.

MORAN, S.M., T.R. CLARKE, Y. INOUE; A. VIDAL. Estimating crop water deficit using the relationship between surface-air temperature and spectral vegetation index. **Remote Sens. Environ.** 49:246-263, 1994.

NOBORIO, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 31, 2001. pp.213-237.

PINTO, F.A.C.; SENA JR, D.G.; QUEIROZ, D.M.; GOMIDE, R.L.; Visão artificial na agricultura de precisão. In: III Simpósio sobre agricultura de precisão, Piracicaba, SP, Anais em CD-Rom, 2002, pp 309-315.

RIAL, W. S.; HAN, Y. J. Assessing soil water content using complex permittivity. **Trans. Of the ASAE**, 2000. v. 43, pp. 1979-1985.

SADLER, E.J.; CAMP, C.R.; EVANS, D.E.; MILLEN, J.A.. Corn canopy temperature measured with a moving infrared thermometer array. *ASAE. Transaction of the ASAE* 45(3): 581-591. 2002.

SENA JÚNIOR, D. G. de; PINTO, F. de A de C.; QUEIROZ, D. M.de;
GOMIDE, R. L. Metodologia com base em imagens binárias obtidas com
limiar fixo para classificação de plantas de milho atacadas por *Spodoptera*
frugiperda. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA
AGRÍCOLA - XXXI CONBEA, 2002, Salvador, BA. Anais do XXXI
CONBEA: A Engenharia Agrícola para o Desenvolvimento Sustentável -
Água, Energia e Meio Ambiente. Salvador, BA: CD_Rom Multimídia, 2002.
v. 1, p. 2673-2676.

TRIMBLE. Trimble Navigation Ltda. Disponível em <http://www.trimble.com> .
Acesso em junho de 2001.

WANJURA, D.F.; UPCHURCH, D.R. Canopy temperature characterization
of corn and cotton water status. *ASAE. Transaction of the ASAE* 43(4):
867-875. 2000.