



# Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação<sup>1</sup>



Antonio O. Santos<sup>2</sup>, José V.G. Maziero<sup>3</sup>, Antonio C. Cavalli<sup>4</sup>, Márcio M. Valeriano<sup>4</sup>, Henrique de Oliveira<sup>5</sup>, Jener F.L. Moraes<sup>4</sup> & Kiyoshi Yanai<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Desenvolvido com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP

<sup>2</sup> Instituto Agrônômico IAC. Av. Barão de Itapura 1481, C.P. 28, CEP 13001-970, Campinas, SP. Fone: (11) 4582-8155. E-mail: odairsan@cec.iac.br (Foto)

<sup>3</sup> Instituto Agrônômico IAC - Centro de Mecanização e Automação Agrícola. Rod. Gabriel P. B. Couto, Km 65, C.P. 26, CEP 13201-970, Jundiá, SP. Fone: (11) 4582-8184

<sup>4</sup> Instituto Agrônômico IAC - Centro de Solos e Recursos Ambientais. Fone: (19) 3231-5422

<sup>5</sup> Embrapa-CPAO. BR 163, Km 253,6, Trecho Dourados-Caarapó, C.P. 661, CEP 79804-970, Dourados, MS

Protocolo 081 - 11/07/2000

**Resumo:** O aprimoramento do poder de gerenciamento agrícola, através do aumento do nível de informação sobre etapas da produção, tem sido discutido como estratégia de decisão/manejo. O georreferenciamento obtido em tempo real na lavoura, pode permitir o estudo localizado das variáveis de solo e planta. No Brasil, a produção de grãos apresenta grande demanda nesta linha, por ser expressiva e de grande potencial de absorção tecnológica. Com o objetivo de se abordar alguns aspectos do aumento do nível de informação tecnológica em um ambiente agrícola, um experimento foi instalado no ano de 1998, com a perspectiva de abordagem de lavoura de grãos. O experimento foi estabelecido em Angatuba, SP. Em uma área de 34,3 ha, onde está instalado um sistema de irrigação tipo pivô central, monitorou-se a produtividade do milho na estação de crescimento 99/00, além do parâmetro fertilidade do solo. Os resultados evidenciaram regiões distintas na lavoura, com padrão de variabilidade diferenciado, que suscita discussão sobre suas causas de variação. Dados preliminares de análise química do solo apresentaram baixa correlação com a produtividade, em áreas localizadas. A observação da variação de produtividade sugere o desenvolvimento de estratégias de manejo por zonas de atuação, com base numa análise de tendência dos fatores mais importantes que compõem a produtividade.

**Palavras-chave:** agricultura de precisão, informação tecnológica, GPS, *Zea mays* L.

## Site-specific monitoring of corn yield cultivated under irrigation

**Abstract:** Improvement of agricultural management through the increased knowledge on production activities has been discussed as decision-making strategies. Real-time field level positioning may allow site-specific investigation of soil and plant variables. In Brazil, the grain crops show great need for research in this area, due to their importance and technological demand. Aimed at discussing some aspects of the increased level of information on an agricultural environment, a field experiment was installed in 1998 in Angatuba, SP, on a grain crop. In an area of 34,3 ha, irrigated by a center-pivot system, monitoring of maize yield was done in the growing season 99/00 besides the soil fertility parameter. Results showed different patterns of yield distribution inside the field, and the causes of observed yield variability. Preliminary analysis of soil data showed low correlation between yield and soil chemical properties in a site-specific base. Observation of yield data suggests the development of strategic management zones, based on trend analysis of the most influent yield components.

**Key words:** precision farming, information technology, GPS, *Zea mays* L.

## INTRODUÇÃO

O crescimento da conscientização sobre impactos ambientais do uso agrícola dos solos e a busca de maior sustentabilidade em mercados competitivos, vêm impulsionando o aprimoramento

de métodos de manejo na agricultura. Neste contexto, a agricultura de precisão tem sido discutida como possível estratégia para abordagem de agrossistemas (Schumacher et al., 1999; Molin et al., 2000). A variação espacial de atributos de solo-planta cresceu em importância nas discussões sobre manejo

agrícola, enquanto a noção de tratamento homogêneo, para lidar com recursos da produção, tem sido amplamente questionada (Viscara-Rossel & McBratney, 1998; Schoroder et al., 2000). O tratamento uniforme de áreas agrícolas, para o manejo de agroquímicos, pode resultar em superdosagens ou em áreas mal-corrigidas, o que seria impactante do ponto de vista econômico e ecológico (Viscara-Rossel & McBratney, 1998).

As ações enquadradas na discussão anterior devem acontecer através do aumento das informações sobre os agrossistemas, com o objetivo de se conhecer e atuar sobre suas propriedades específicas. Este fato foi amplamente facilitado pela possibilidade de referenciamento de elementos no solo, a partir de sinal de satélite, liberado para uso civil e melhor implementado a partir do início da década de 90 (Parkinson & Spilker, 1996).

Aparentemente, existe um grande potencial para aplicação de maior nível de informação na agricultura, visando maior controle sobre as variáveis influentes na produção, tanto em pequena como em grande escala. A incerteza e a necessidade de sustentabilidade, inerentes à atividade agrícola, justificam a busca do detalhamento da informação, visando maior poder de gerenciamento.

No início, a discussão nesta área esteve fortemente ampliada pela ótica da indústria do setor, que tratou de capitalizar sobre a questão, numa visão de “marketing” tecnológico (Schueller et al., 1999); no entanto, maior crescimento científico-tecnológico quanto a esta questão é esperado no nosso meio, o que requer muito esforço em pesquisa e desenvolvimento. A coleta, interpretação de dados e a aplicação prática e integrada de resultados, nesta área, necessitam ainda ser mais explorados (Scheper, 2000)

O mapeamento contínuo e detalhado de parâmetros de solo-planta, além do acompanhamento microclimático, forma a base cadastral para a agricultura de precisão que, em última análise, permite guiar estratégias de decisão, para a melhor condução do agronegócio.

Para se estudar algumas dessas questões experimentalmente, a produtividade de uma lavoura de milho irrigado sob pivô central foi monitorada e algumas relações empíricas entre produtividade e elementos de química do solo, foram verificadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Local, época e cultivar

O experimento foi conduzido em Angatuba, SP, na região do Vale do Paranapanema (23°33'S; 48°18'W; 670 m) durante a estação de crescimento de 1999/2000. Utilizou-se uma lavoura comercial de milho híbrido precoce (Pioneer 30F33) cultivado sob sistema de irrigação pivô central.

O milho foi semeado em 25 de setembro de 1999, em plantio direto, sob palhada de trigo, numa densidade média de 65.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Previamente ao plantio do milho, efetuou-se a dessecação do trigo sobre a área, utilizando-se herbicida de ação total.

A adubação de plantio e de cobertura seguiu a recomendação de órgãos da pesquisa da área, com base em análise de fertilidade do solo realizada em três divisões idênticas na área, e em duas profundidades, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. O solo da área recebeu 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário no ano de 1995.

### Irrigação

As lâminas de água, aplicadas sobre a área, obedeceram aos critérios adotados pelo proprietário da área, que observa as recomendações do fabricante do sistema de irrigação. Uma lâmina de 225 mm foi a quantidade total fornecida no ciclo do milho, distribuída em 9 aplicações. Um teste foi efetuado na área, para verificação da quantidade e da uniformidade de distribuição da lâmina de irrigação, tendo-se observado coerência nos parâmetros de calibração do fabricante, para lâmina e uniformidade.

### Monitoramento da produtividade

**Sensores:** O mapeamento da produtividade na área experimental foi executado através de uma colhedora automotriz, devidamente instrumentada.

O sensoramento da produtividade se deu com base na medição do fluxo de grãos, trafegando no elevador, utilizando-se um sensor ótico, do tipo foto-emissor e foto-receptor (Hummel et al., 1995; Birrell et al., 1996; Moore, 1998) instalado no topo do elevador de grãos, dentro do tanque graneleiro.

O monitoramento da umidade de grãos foi feito através de sensor instalado na saída de grãos para o tanque graneleiro, conforme procedimento descrito em Pierce et al. (1997).

A velocidade da máquina colhedora foi monitorada por sensor instalado no eixo de transmissão e constou de um sistema contador de pulso. Por outro lado, para controlar a entrada de dados nas manobras de cabeceira e onde havia necessidade de levantamento da plataforma de corte, um sensor de altura de corte foi instalado na base da plataforma; assim, controlou-se a entrada de dados no sistema, pela altura da plataforma.

Como a medição do fluxo de grãos sofre influência de eventuais inclinações da máquina colhedora, um sensor foi instalado na base da cabine de operação, obtendo-se dados de inclinação nos quatro quadrantes do círculo trigonométrico imaginário, para eventuais correções.

Tabela 1. Análise do solo realizada antes do plantio

Elemento Químico	Área Oeste (cm)		Área Central (cm)		Área Leste (cm)	
	0 – 20	20 – 40	0 – 20	20 – 40	0 – 20	20 – 40
pH solução CaCl <sub>2</sub>	4,7	4,4	4,9	4,5	5,1	4,8
P (resina) mg dm <sup>-3</sup>	26	4	31	6	55	16
K mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,5	0,5	2,0	1,2	3,9	1,0
Ca mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	25	11	32	15	40	22
Mg mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	9,0	6,0	9,0	7,0	12,0	11,0
Saturação com base (V%)	40	19	45	26	59	41
Matéria Orgânica g dm <sup>-3</sup>	30	25	33	42	30	29
Al + H mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	52	72	52	65	38	47

O georreferenciamento dos dados gravados foi obtido através de antena rastreadora de sinal de satélite (constelação GPS) instalada sobre a colhedora. Todo o rastreamento da posição teve correção simultânea através de satélite geostacionário (Bell, 2000). Os dados dos sensores foram coletados em “data logger” instalado dentro da cabine do operador.

**Leitura do fluxo de grãos:** A estimativa volumétrica do fluxo de grãos em trânsito, em direção ao tanque graneleiro, teve por base medição da altura da coluna de grãos, trafegando nas canecas do elevador de grãos. Fundamentos teóricos desta metodologia foram apresentados por Birrel et al. (1995 e 1996), Moore (1998) e Stombaugh & Shearer (2000). Os dispositivos de fonte e leitura de luz, colocados diametralmente opostos, no topo do elevador de grãos, fazem o sensoriamento do tempo em que o feixe luminoso é obstruído pela passagem das canecas e de grãos. A velocidade das canecas ( $V$ ) e a altura de grãos em cada caneca ( $h$ ) podem ser calculadas obtendo-se os períodos de escuro ( $T_e$ ) e claro ( $T_c$ ) e o espaçamento entre as canecas ( $E$ ) equacionando-se do seguinte modo:

$$V = \frac{E}{C_t} \quad (1)$$

onde  $C_t$  é igual ao período  $T_e + T_c$ . Desprezando-se a altura das canecas vazias, a altura de grãos em cada caneca representa o produto do período escuro (em percentagem de sombreamento) e a velocidade linear da correia do elevador:

$$h = T_e V \quad (2)$$

Os períodos claros e escuros são obtidos por contagem de pulso a frequências conhecidas.

Considerando-se que o volume de grãos em cada caneca se acomoda num retângulo sólido de dimensões altura ( $h$ ), largura ( $w$ ) e profundidade ( $d$ ) o volume de grãos em cada caneca é o produto  $h.w.d$ .

A massa de grãos, em cada caneca, é o produto do volume descrito pela densidade ( $\rho$ ) da espécie sob medição. A densidade de fluxo é obtida da razão entre massa de grãos e período  $C_t$  (período claro mais escuro). Assim, obtém-se:

$$df = \frac{(hwd\rho)}{C_t} \quad (3)$$

em que  $df$  é a densidade de fluxo de grãos por caneca.

**Correção da correia transportadora de grãos:** Os fundamentos descritos para a leitura do fluxo de grãos, consideram um retângulo sólido para a forma volumétrica da acomodação de grãos, em elevador vertical. Trata-se, no presente caso, de um elevador inclinado.

Placas de ferro galvanizado foram soldadas em cada suporte das canecas do elevador de grãos, com vistas a compensar o efeito da inclinação do elevador de grãos sobre a leitura do sensor ótico. O embasamento teórico desta questão pode ser

depreendido de Hummel (1995), Birrel et al. (1996) e Pierce et al. (1997).

**Aquisição de dados:** A coleta de dados de produtividade baseou-se em algoritmo, que tem a seguinte estrutura: os dados gravados em curto intervalo representam a posição da máquina em certo tempo, no qual o dado pontual de produtividade é armazenado em toneladas por hectare. A massa de grãos ( $P_T$ ) é calculada pelo somatório da massa instantânea de grãos ( $P_i$ ) que passa pelo sensor de fluxo, no intervalo entre duas leituras:

$$P_T = \sum_0^t P_i \quad (4)$$

A distância percorrida ( $D_p$ ) é calculada pelo somatório de pulsos  $P_n$ , no eixo da máquina, multiplicado pelo raio da roda ( $r$ )

$$D_p = \left( \sum_0^t P_n \right) r \quad (5)$$

A área de onde foi efetuada a medição ( $A_t$ ) é calculada pela largura efetiva da barra de corte ( $L$ ) que é multiplicada pela distância percorrida ( $D_p$ ) desde a última leitura realizada pelo sensor.

$$A_t = LD_p \quad (6)$$

A densidade de grãos é, então, gravada e corrigida em função da calibração do sistema, obtendo-se toneladas por ha, no intervalo entre duas leituras:

$$P_i = \frac{P_T}{A_t} \quad (7)$$

**Procedimento experimental:** Preliminarmente, o monitoramento do milho foi iniciado com a colheita de uma pequena faixa dentro da área experimental, na qual se fez, em seguida, a calibração do sistema, verificando-se a densidade de grãos atual na lavoura (valor de peso em hectolitro) e a umidade atual (medidor universal) comparando-as com os valores estimados pelo sistema; posteriormente e com a colheita do primeiro tanque graneleiro, procedeu-se à calibração para massa de grãos colhida, comparando-se o peso estimado pelo sistema e aquele obtido em balança de plataforma; este ajustamento foi realizado ao longo da colheita, no ciclo diário.

#### Amostragem de solo

Foi demarcada uma malha quadrada de pontos espaçados 100 m, procedendo-se à amostragem nos pontos da malha (Wollenhaupt et al., 1997, Oliveira et al., 1999). Para análise de fertilidade do solo, retiraram-se amostras de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm de profundidade, aleatoriamente e de modo circular, ao redor dos pontos demarcados, a fim de se verificar nuanças da localização superficial de nutrientes. As amostras foram coletadas em tubos de PVC adaptados ao cilindro-mestre de

um amostrador dinâmico de acionamento hidráulico. As amostras foram retiradas próximo à região de influência das raízes e, posteriormente, compostas em laboratório, constituindo-se em amostras de contaminação zero. 99 amostras foram coletadas em toda a área experimental e analisadas, em cada amostra, P, K, Ca, Mg, MO, pH, soma de bases (V%), CTC e micronutrientes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento de dados de produtividade, com alta frequência de gravação (3 s) gerou uma malha de alta densidade, com cerca de 40.000 pontos. Na Figura 1 estão representados 7.000 pontos, amostrados aleatoriamente, na malha citada. Se, por um lado, tem-se uma malha de pontos bastante representativa para interpolação cria-se, por outro, a necessidade de filtragem dos dados para eliminação de eventuais “outliers”.

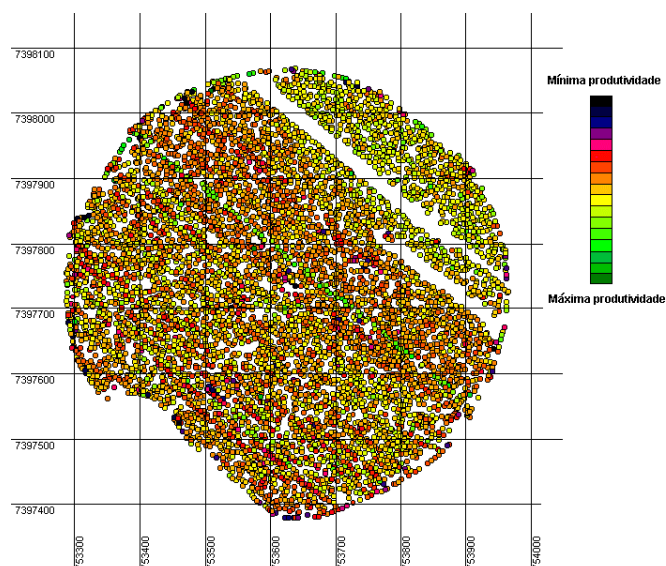


Figura 1. Dados pontuais de produtividade de milho irrigado, gravados ao longo de 34,3 ha de lavoura de milho irrigado, em Angatuba, SP

Durante o processo de armazenamento dos dados de produtividade, ao longo da colheita, vários são os valores discrepantes produzidos no sistema, principalmente nas cabeceiras. A eliminação desses valores é de fundamental importância para a qualidade da informação produzida. A filtragem manual executada em planilhas eletrônicas, nos moldes deste trabalho, mostrou ser tarefa penosa. Uma metodologia melhor de filtragem foi discutida por Blackmore & Larscheid (1997) e Gimenez & Molin (2000).

Observam-se, na Figura 1, duas pequenas manchas, que representam vazios no mapa de pontos de produtividade, causados pela perda na gravação de dados, em função de pane no sistema elétrico da colhedora.

Observou-se que não houve perda de dados por ausência de sinal para posicionamento, em função da turbidez atmosférica, que apresentou variações durante os dias da colheita, entre alta (nuvens espessas) e baixa (céu claro). Erros em função disto foram apontados por Lechner & Baumann (2000) que discutiram interferências na acurácia do sinal.

A acurácia de recepção do sinal corrigido variou entre 1 a 3 m. Estes valores foram obtidos fazendo-se a comparação entre medidas instantâneas (intervalos de 1 s) com a média das leituras, obtidas por 10 min, estando a colhedora parada. Este procedimento foi repetido ao longo do experimento, variando-se a hora do dia e se utilizando somente a antena de recepção conectada a um computador portátil. Ressalta-se que esta apuração de erro se refere à precisão de medida do GPS e não da acurácia absoluta de rastreamento da posição. Esta última análise deveria ser feita sobre pontos que tivessem coordenadas verdadeiras conhecidas, para efetuar a comparação.

A Figura 2 representa o rastreamento das rotas da colhedora dentro da área de milho. Este tipo de rastreamento é útil na verificação do padrão de operação, principalmente nas cabeceiras, que deve servir, em última análise, para melhor planejamento da operação de colheita.

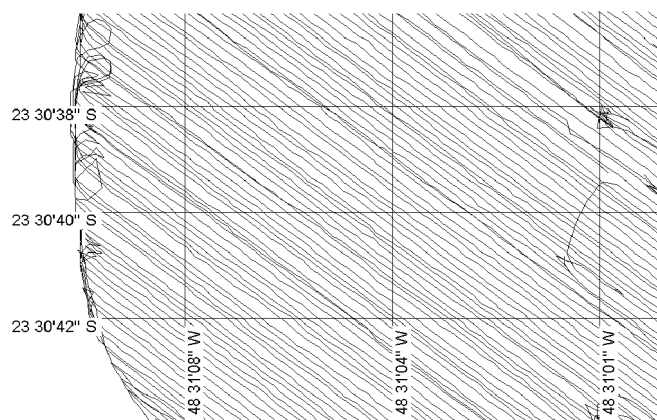


Figura 2. Corte com aumento de escala do rastreamento de rotas da colhedora em lavoura de milho, em Angatuba, SP

O sistema de leitura do fluxo de grãos utilizado com base na estimativa volumétrica, apresenta a necessidade do controle paralelo constante da variação da densidade de grãos, ao longo da operação de colheita, assim como a umidade. Qualquer descuido neste item pode acarretar erros importantes na medição (Eq 3). Em contraste com sistemas de medidas diretas, em base de peso (Stombaugh & Shearer, 2000) observa-se, neste aspecto, vantagem neste último, em função da dispensa do monitoramento da densidade, o que é particularmente importante em grandes áreas, com alta variabilidade nas condições da cultura.

De modo geral, os erros na medição da produtividade estiveram relacionados às medições de curto intervalo que, por seu turno, estão relacionadas aos fatores que afetam o fluxo de grãos, como mudanças bruscas de velocidade e nível de produtividade. Particularmente, para pequeno fluxo de grão existe uma dificuldade maior em se detectar a umidade de grãos, em função do tipo de sensor instalado. Melhores leituras de umidade de grãos foram observadas para densidade de fluxo de grãos maiores e contínuos.

Para o caso de erros de intervalo mais longo, a imperícia do operador e a falta de acuracidade dos sensores, foram os fatores mais importantes; por outro lado, observações preliminares acusaram erros finais de 1 a 4% na medição da produtividade, quando da comparação contínua entre estimativas feitas pelo sistema e pesagens em balança de plataforma. Outros autores

relataram faixa de erros semelhantes, muito embora para métodos e condições experimentais diferentes, dentre eles Perezmunoz & Colvin (1996) e Arslan & Colvin (1999).

A análise de amostra de 1000 dados pontuais, para a metade da área a nordeste, evidencia anisotropia (Issaks & Srivastava, 1989) na distribuição dos dados de produtividade, conforme mostrado na Figura 3. Um padrão anisotrópico dos dados nessa região da lavoura poderia acusar um padrão de retenção de água diferenciado; de fato, para esta metade da área experimental observou-se a ocorrência de uma área de baixada (de sudeste para noroeste), onde podem ocorrer problemas de drenagem. Apesar dos dados da amostragem neste aspecto ainda estarem sendo analisados, pode-se verificar este fato pela análise visual e pelo histórico da área. Com isto, a região da baixada tende a nivelar dados de produtividade, acusando situações de continuidade (Issaks & Srivastava, 1989). Este fato tem grande importância quando se analisa a área sob o aspecto de manejo diferenciado, principalmente porque a área está sob pivô central. Assim como surge uma oportunidade de ação diferenciada, surge também uma dificuldade, já que não se tem, nesta área, o controle espacializado sobre a vazão do sistema de irrigação e estresse hídrico pode ocorrer por falta ou excesso de água (Kramer & Boyer, 1995).

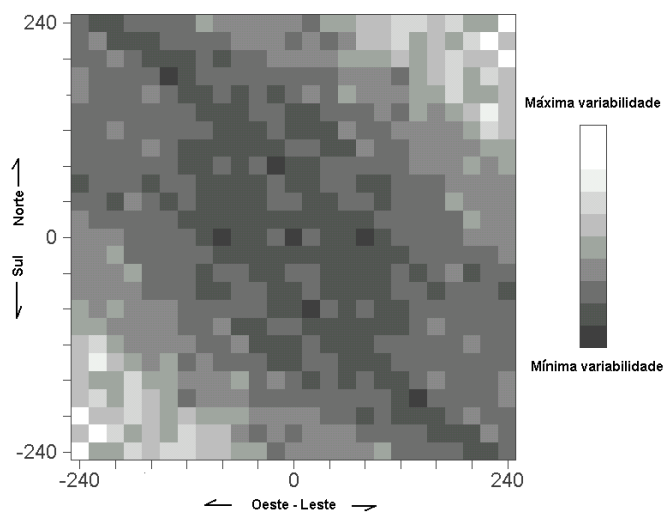


Figura 3. Superfície de variogramas (0 a 240 m) para os dados de produtividade de milho irrigado. Dados são referentes à metade da área experimental, a nordeste

O mapeamento da produtividade do milho, após a filtragem dos dados e interpolação por krigagem (Issaks & Srivastava, 1989) está apresentado na Figura 4. A média da lavoura seguiu a média histórica relatada pelo proprietário. Dentro da lavoura, porém, observa-se uma superfície que apresenta um padrão comportamental diferenciado, para os níveis de produtividade encontrados na área. É evidente que a área a extremo do Nordeste, produziu mais que a área a extremo sudoeste e que existem três áreas com padrões mais definidos. De fato, a região da baixada, já discutida, acusou uma faixa de menor produtividade em relação a todo o lado orientado a nordeste e, muito mais ainda, em relação ao lado sudoeste; no entanto, os dados de produtividade localizada observados na área, seriam melhor avaliados numa perspectiva de tendência, para o que se necessitaria obter mais dados, no tempo, a respeito deste

atributo; melhor seria, ainda, obter-se dados de produtividade de espécies diferentes, sucedendo-se na área em questão. Este raciocínio advém do conhecimento prévio sobre a instabilidade da interação planta-clima, dentre outras.

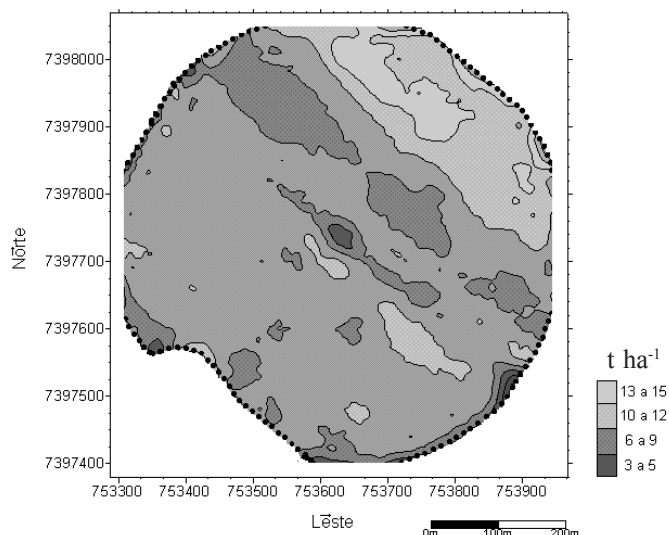


Figura 4. Mapeamento da produtividade de 34,3 ha de milho irrigado, em Angatuba, SP, na estação de crescimento de 1999/2000. Krigagem de 10 m e umidade média na colheita de 15%

A área experimental tem um histórico de manejo baseado na sucessão milho/feijão em rotação com aveia/trigo, sendo cultivada sob plantio direto; mesmo assim, encontrou-se coeficiente de variação de 20,5%, o que, para uma lavoura irrigada, pode ser considerado como variabilidade alta (Gandah et al., 1998).

Trabalhos semelhantes em lavouras de sequeiro têm apresentado coeficientes de variação superiores a 40%, quando se trata de solos com baixa fertilidade (Gandah et al., 1998). Por outro lado, Pierce et al. (1997) relacionaram baixa produtividade acompanhada de baixa variabilidade com, também, baixo potencial produtivo do solo, enquanto baixa produtividade acompanhada de alta variabilidade foi relacionada com problemas de manejo de solo ou incidência de pragas. No caso presente, em que se observa alta produtividade acompanhada de variabilidade considerável em toda a lavoura, infere-se, a partir da Figura 4, que ocorram problemas de manejo, acompanhados de problemas de variabilidade natural de propriedades de solo e clima. Um dos problemas observados durante o plantio da lavoura foi o estabelecimento do “stand”, que acusou falhas decorrentes de regulagem da plantadeira. Conclusões mais aprofundadas neste contexto dependeriam de um monitoramento mais preciso do crescimento e desenvolvimento do stand.

Na Tabela 2 está o resultado da frequência dos dados da produtividade monitorada dentro da lavoura. Os valores de assimetria e curtose para a distribuição dos dados mostraram valores próximos de 0 e 3, respectivamente, aproximando-se, portanto, de uma distribuição normal.

Observa-se que a maior parte dos valores obtidos ficou entre 8 e 10 t ha<sup>-1</sup>, sendo a média da lavoura de 9,5 t ha<sup>-1</sup>. Existe, entretanto, uma porcentagem considerável de células acusando valores abaixo de 8 t ha<sup>-1</sup>, assim como se nota relativamente

Tabela 2. Distribuição da produtividade por classes de frequência

Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	Frequência (%)
≤ 4	1,19
4 – 6	2,10
6 – 8	15,89
8 – 10	41,72
10 – 12	31,38
12 – 14	6,7
> 14	0,52

baixa porcentagem de células com valores acima de 12 t ha<sup>-1</sup>. Essas questões remetem a um questionamento sobre o potencial produtivo de híbrido de milho, cultivado sob irrigação. Valores médios de produtividade de milho, de 7-8 t ha<sup>-1</sup>, são observáveis em lavouras de sequeiro, com alta absorção tecnológica (Muzilli et al. 1983).

A Figura 5 apresenta a amostragem realizada sobre os dados do mapa de produtividade (Figura 4) utilizando-se ferramentas de SIG (Sistema de Informação Geográfica). Tal procedimento baseou-se na coleta dos dados de produtividade, na área de influência de cada ponto da malha amostral estabelecida para coleta de dados do solo. Esta área, para dados de produtividade, foi estabelecida em 900 m<sup>2</sup>, já que cada amostra de solo foi composta de 5 subamostras, retiradas numa área de valor semelhante, ao redor de cada ponto.

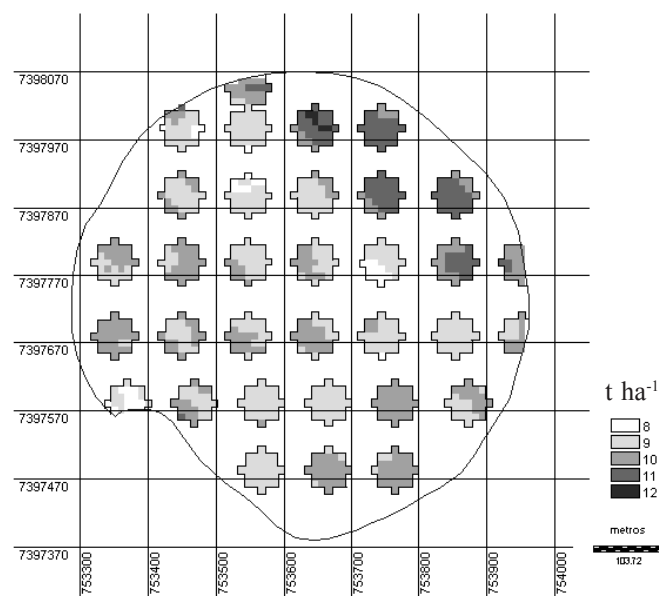


Figura 5. Amostragem sobre dados de produtividade em lavoura de milho irrigado, em Angatuba, SP, na estação de crescimento de 1999/2000

A Tabela 3 mostra resultados da correlação entre os dados de produtividade e alguns dados de fertilidade do solo. Observa-se que houve baixa correlação com todos os elementos, em todas as profundidades amostradas, havendo até correlação negativa. Everet & Pierce. (1996) e Swayer (1997) dentre outros, encontraram resultados semelhantes em trabalhos com milho e outras graníferas. Provavelmente uma verificação melhor neste aspecto seja aquela em que se analisam transportes de solutos na interface solo-planta, considerando-se o ciclo completo nos aspectos de crescimento, desenvolvimento e produtividade. Para isso, modelos de simulação poderiam ser utilizados (Sadler & Russel, 1997).

Tabela 3. Coeficiente de correlação (h) entre produtividade e elementos químicos do solo

Elemento Químico	Profundidade (cm)		
	0 – 20	20 – 40	40 – 60
Matéria Orgânica	- 0,39	- 0,17	- 0,04
pH	- 0,12	0,28	0,23
P	0,14	0,02	0,18
K	- 0,22	0,08	0,09
Ca	- 0,32	- 0,12	0,10
V%	- 0,18	0,10	0,18
B	0,17	0,50	- 0,02
Zn	0,29	0,07	0,18

Na Tabela 4 encontram-se os coeficientes de variação (CV) para as propriedades químicas mais importantes do solo, encontrados na área experimental.

Tabela 4. Coeficientes de variação (%) dos elementos químicos do solo

Elemento Químico	Profundidade (cm)		
	0 – 20	20 – 40	40 – 60
Matéria Orgânica	9,03	12,55	17,36
pH	3,02	3,45	2,40
P	32,44	42,41	80,33
K	38,82	23,00	30,18
Ca	18,15	28,31	53,66
V%	13,95	29,78	42,82
B	28,03	26,97	40,69
Zn	51,12	79,57	124,73

Para a camada mais superficial, a matéria orgânica apresentou CV baixo, se comparado aos relatados por Vieira et al. (1998); zinco, fósforo e potássio apresentaram valores de CV altos, em todo o perfil. Souza et al. (1997) relataram CV de até 109% e 50,5 %, respectivamente, para fósforo e potássio.

Para pH, os valores de CV são baixos em todo o perfil, mostrando o poder-tampão do solo da área experimental. De fato, vários autores encontraram valores baixos de CV para pH, para vários tipos de solo, entre eles Mulla (1993) e Wollenhaupt et al. (1994).

O valor de CV não é, necessariamente, o melhor indicador da variabilidade de parâmetros de solo (Mulla, 1993). Uma análise melhor seria aquela que contemplasse a modelagem espacial dos atributos (Issaks & Srivastava, 1989); neste caso, uma malha de menor distância precisaria ter sido estabelecida, visando à obtenção de maior número de pontos mas, para a verificação pontual da produtividade, feita nos moldes deste trabalho, uma malha de 100 m é suficiente. Por outro lado, as correlações encontradas neste trabalho, entre produtividade e atributos químicos do solo, sugerem que, partindo-se de dados de produtividade, atributos químicos do solo não são necessariamente importantes no delineamento de estruturas diferenciadas de manejo, dentro da lavoura. Provavelmente, seja mais útil buscar-se este relacionamento em outros atributos do meio, entre eles parâmetros de física do solo e dinâmica da água e feições topográficas, além da incidência de variáveis extremas do microclima, que podem ser sinérgicas ou antagônicas na ação daqueles primeiros.

## CONCLUSÕES

1. A precisão de monitoramento da produtividade, com base em estimativa volumétrica, depende do tipo de adaptação de sensores e da qualidade do controle paralelo, da variação da densidade e umidade ao longo da lavoura e da dimensão do fluxo de grãos.

2. A área estudada apresenta variabilidade nos dados de produtividade e sugere ações de manejo por zonas de atuação e a inclusão de análises temporais, com objetivo de mapeamento de tendências.

3. A baixa correlação entre produtividade e parâmetros químicos do solo evidencia a necessidade de se buscar, através de outros atributos do meio, o suporte para o delineamento de zonas de atuação.

## LITERATURA CITADA

- Arslan, S.; Colvin, T.S. Laboratory performance of a yield monitor. *Applied Engineering in Agriculture*, Oxford, v.15, n.3, p.189-195, 1999.
- Bell, T. Automatic tractor guidance using carrier-phase differential GPS. *Computer and Electronics in Agriculture*, Oxford, v.25, p.53-66, 2000.
- Birrel, S.J.; Borgelt, S.C.; Suduth, K.A. Crop yield mapping: Comparison of yield monitors and mapping techniques. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1995. p.15-31.
- Birrel, S.J.; Sudduth, K.A.; Borgelt, S.C. Comparison of sensors and techniques for crop yield mapping. *Computers and Electronics in Agriculture*, Oxford, v.14, n.2, p.215-233, 1996
- Blackmore, B.S.; Larscheid, G. Strategies for managing variability. In: *Proceedings European Conference on Precision Agriculture*, I, 1997, Warwick. *Proceedings...* Warwick, 1997. p. 851-859.
- Everet, M.W.; Pierce, F.J. Variability of corn yield and soil profile nitrates in relation to site-specific management. In: Robert, P.C. (ed). *Precision agriculture*. Madison, ASA, CSSA, SSSA, 1996. p.43-53.
- Gandah, M.; Bouma, J.; Brouwer, J.; van Duivenbooden, N. Use of a scoring technique to assess the effect of field variability on yield of pearl millet grown on three Alfisols in Niger. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Amsterdam, v. 46, n.1, p.39-51, 1998.
- Gimenez, L.M.; Molin, J.P. Desenvolvimento de um algoritmo para redução de erros em mapas de rendimento obtidos em agricultura de precisão. In: *Congresso e Mostra de Agroinformática*, I, 2000, Ponta Grossa, PR, Anais...Ponta Grossa: Fundação ABC, 2000, CD-Rom
- Hummel, J.W.; Pfeiffer, D.W.; Miller, N.R. Sensing grain volumes on individual elevator flights. In: Robert, P.C. (Ed.) *Site-specific management for agricultural system*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1995. p.69-86.
- Isaaks, E.H.; Srivastava, R.M. *Applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- Kramer, P.J.; Boyer, J.S. *Water relation of plant and soils*. Orlando:Academic Press, 1995. 495p.
- Lechner, W.; Baumann, S. Global navigation satellite system. *Computer and Electronics in Agriculture*. Oxford, v.25, p.67-85, 2000.
- Molin, J.P.; Menegatti, L.A.A.; Gimenez, L.M. Mapeamento de áreas-piloto de agricultura de precisão. In: Balastreire, L.A. (ed). *O estado da arte em agricultura de precisão*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. p.145-146.
- Moore, M.R. An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management,. Silsoe: Cranfield University, 1998. 150p. Ph.D. thesis
- Mulla, D.J. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield. In: Robert, P.C. (ed). *Proceedings of soil specific crop management: A workshop on reserach and development issues*. Madison : Soil Science Society America, 1993. p.15-26.
- Muzilli, O.; Oliveira, E.L.; Gerage, A.C. Adubação nitrogenada em milho no Paraná. III. Influência da recuperação do solo com adubação verde de inverno nas respostas à adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.18, p.23-27, 1983.
- Oliveira, H.; Azevedo, J.V.; Fernandes, F.M.; Kruker, R.; Silva, W.M.; Staut, L.A.; Heckler, J.C. Evaluation of the variability of soil chemical parameters using grid sampling and geographic information system. In: *International Symposium on Systems Approaches for AGgricultural Development*, 3, (SAAD-III), Lima, 1999, Resumos... Lima: International Potato Center (CIP), 1999.
- Parkinson, B.W.; Spilker, J.J. *Global positioning system: Theory and applications*. New York: American Institute of Aeronautics and Astronautics, v.1, 1996. 200p.
- Perezmunoz, F.; Colvin, T.S. Continuous grain yield monitoring. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 39, n. 3, p.775-783, 1996
- Pierce, F.J.; Anderson, T.S.; Colvin, J.K.; Schueller, J.; Hamburg, D.S.; McLaughlin, N.B. The state of site specific management for agriculture. Madison: ASA, CSSA,SSSA, 1997. p.211-243.
- Sadler, E.J.; Russel, G. Modeling crop yield for site-specific management. In: Pierce, F.J., Sadler, F.J. (Eds). *The state of site-specific management for agriculture*. Madison: .ASA, CSSA,SSSA, 1997. p.69-79.
- Schepers, J. S. World trend in precision agriculture. In: *Congresso Brasileiro de Milho e Sorgo*, 23, 2000, Uberlândia, MG, Anais... Uberlândia: Sociedade Brasileira de Milho e Sorgo, 2000, CD-Rom
- Schoroder, J.J.; Neeteson, J.J.; Oenema, O.; Struik, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crop Research*, Oxford, v.66, p.151-164, 2000.
- Schueller, J.K.; Whitney, J.D.; Wheaton, T.A. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. *Computer and Electronics in Agriculture*, Oxford, v.23, n.2, p.145-153, 1999.
- Schumacher, T.E.; Lindstrom, M.J.; Schumacher, J.A; Lemme, G.D. Modeling spatial variation in productivity due to tillage and water erosion, *Soil and Tillage Research*, Oxford, v.51, n.3, p.331-339, 1999.
- Souza, L.; Cogo, N.P.; Vieira, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, p.77-86, 1997.

- Stombaugh, T.S.; Shearer, S. Equipment technologies for precision agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, Oxford, v. 55, n. 1, p.6-11, 2000.
- Swayer, J.E. Concepts of variable rate technology with considerations for fertilizer application. *Journal of Production Agriculture*. Oxford, v.7, p.195-199, 1997.
- Vieira, S.R.; Marques Júnior, J.; Salviano, A.A.C. Avaliação da variabilidade espacial de espessura do solo e condutividade hidráulica saturada em alguns solos arenosos do Estado de São Paulo. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, 12, Fortaleza, 1998. *Resumos Expandidos...*, Viçosa: SBCS. 1998.
- Viscarra-Rossel, R.A.; McBratney, A.B. Laboratory evaluation of a proximal sensing technique for simultaneous measurements of soil clay and water content. *Goederma*, Oxford, v.85, p.19-39, 1998.
- Wollenhaupt, N.C.; Mulla, D.J.; Crawford, G. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: *Pierce, F.J., Sadler, E.J. (ed). The state of site-specific management for agriculture..* Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1997. p.19-53.
- Wollenhaupt, N.C.; Wolkowski, R.P.; Clayton, M.K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *Journal of Production Agriculture*. Oxford, v.7, p.441-448, 1994.