

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

AGRICULTURA DE PRECISÃO. PARTE I: O QUE É E ESTADO DA ARTE EM SENSORIAMENTO

J. P. MOLIN¹

RESUMO

Embora não seja um conceito novo, a agricultura de precisão, recentemente vem tomando espaço nos países mais desenvolvidos como uma alternativa de otimização da produção agrícola. A sua implementação e aplicação em escala comercial nos últimos anos tem gerado expectativas, questionamentos e um certo número de respostas já disponíveis na bibliografia especializada. Esse trabalho objetiva apresentar essas informações de uma maneira ordenada à comunidade ligada à engenharia agrícola brasileira. Como é inegável que o processo de globalização tecnológica traga essa ferramenta ao nosso meio, a comunidade científica deve estar apta a testá-la e adaptá-la às nossas condições. Nessa primeira parte são apresentados os conceitos básicos da agricultura de precisão e o atual estágio de evolução da tecnologia de sensores utilizados na coleta de dados e diagnóstico.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, variabilidade espacial, sensores.

PRECISION FARMING. PART I : WHAT IT IS AND THE STATE OF THE ART ON SENSORS

SUMMARY

Precision farming is not a new idea but nowadays it is growing faster than ever, especially in developed countries as an alternative for optimizing the agricultural production. Its lately implementation and commercial use have generated expectation, questions and some answers have already been available in the technical literature. This review presents some information related to the Brazilian agricultural engineering community. As the technological globalization is expected to bring us this tool, the scientific community has to be ready to test and adapt it to our conditions. The basic concepts of precision farming and the state of the art on sensors for data collection and diagnosis are presented on this first part of the literature review.

¹Professor Doutor, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Pesquisador do CNPq. Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, fone (019)4294165, e-mail: jpmolin@carpa.ciagri.usp.br

KEYWORDS: precision farming, spatial variability, sensors.

INTRODUÇÃO

A prática do que convencionou-se chamar de agricultura de precisão não é algo recente. Tentativas de dividir a lavoura em parcelas e tratá-las diferenciadamente já foram propostas e testadas. Porém mais antigo que este conceito, tem sido a prática do tratamento localizado que os pequenos agricultores sempre deram às suas lavouras. Com base no conhecimento intrínseco e intimidade com as condições de cada pequeno pedaço da lavoura esses agricultores vêm praticando agricultura de precisão, embora empírica e de baixa tecnologia. A idéia do tratamento localizado das pequenas porções da lavoura com base em informações técnicas também não é algo tão recente. LOWENBERG-DEBOER & SWINTON (1995) citam um trabalho de LISLEY e BAUER (1929)² no qual propunham o tratamento localizado da correção do pH de uma área de 17 ha com base em dados de 23 amostras de solo ordenadamente coletadas.

Por ser uma área com muito a ser desbravado e praticamente nova para a Engenharia Agrícola brasileira, apresenta-se nesse trabalho uma abordagem da evolução e estado atual da arte. Não se pretende com isso, esgotar o tema nem cobrir todas as suas variações. Alerta-se para o fato de que o dinamismo nessa área é muito grande e que a produção científica vem crescendo tremendamente nos últimos anos.

REVISÃO BIBLIOGRFICA

O que é agricultura de precisão

A agricultura de precisão é um método de administração cuidadosa e detalhada do solo e da cultura para adequar as diferentes condições encontradas em cada pedaço de lavoura, tendo em vista a desuniformidade intrínseca dos solos (SCHUELLER, 1992; WEIDA e BORGELT, 1993).

Em um certo momento da recente evolução da técnica houve quem a confundisse com o conceito de Sistema de Posicionamento Global (GPS - "Global Positioning System"). Agricultura de precisão é uma filosofia de trabalho que vem sendo adotada por agricultores em vários países e GPS é apenas uma sofisticada ferramenta de trabalho disponível e de grande utilidade para atingir os objetivos dessa nova filosofia de exploração e administração da produção. Aliás, a vigorosa expansão da agricultura de precisão só está sendo possível graças ao surgimento do GPS e do GPS diferencial (DGPS) que permite hoje a administração e o tratamento das áreas dentro de uma propriedade com a individualidade de alguns metros quadrados.

²LISLEY, C. M. e BAUER, F. C. Test your soil for acidity. Un. of Illinois, Agricultural Experiment Station, 1929 (Circular 346).

Tradicionalmente os agricultores têm feito a amostragem do solo de uma dada área e uniformizam as sub-amostras em uma única que passa a representar as características de fertilidade daquela área, assumida como uniforme. Com base nessa interpretação fazem a aplicação de quantidades uniformes de insumos como fertilizantes, defensivos e sementes. No entanto as propriedades do solo e as infestações variam de local para local dentro dessa mesma lavoura (WIEDA & BORGELT, 1993; SCHUELLER, 1992). Com o aumento do tamanho das propriedades e por consequência das lavouras, tem havido uma tendência de redução na quantidade de informação coletada no campo. LOWENBERG-DEBOER & SWINTON (1995) sugerem que com o advento da mecanização agrícola em áreas como o “cinturão do milho” nos Estados Unidos, o que um agricultor hoje cultiva, era conduzido por 10 agricultores nos anos 20. Esse agricultor certamente utiliza menos informação relacionada à variabilidade espacial da lavoura se comparado com a sub-divisão das áreas daquela época.

Recentes avanços tecnológicos mostram que é possível alocar os insumos com base nas necessidades de cada célula do campo e a técnica tem sido denominada de agricultura de precisão, variabilidade espacial, aplicação localizada de insumos, manejo de culturas ponto a ponto, dentre outras denominações (SCHUELLER, 1992; BALASTREIRE, 1994).

Como exemplo, a quantidade de fertilizante pode ser prescrita, dependendo da diferença entre a quantidade de nutrientes necessários pela cultura e a quantidade disponível em cada pequena parcela da lavoura. Tal técnica pode reduzir a quantidade de insumos aplicados, mantendo ou melhorando o nível de produção e reduzindo os riscos de contaminação ambiental causada pelos excedentes de insumos. SCHUELLER (1992) prevê que a agricultura de precisão com o uso de tecnologias de aplicação localizada de insumos reduzirá o custo da produção de alimentos e fibras e deverá oferecer vantagens ao meio ambiente. BLACKMER e SCHEPERS (1996) afirmam que somente no estado de Nebraska, USA, mais de 200 mil ha de lavoura têm concentração de nitrato-nitrogênio acima do limite recomendado pela Agência de Proteção Ambiental Americana. Esse limite é de 10 ppm e a maior fonte de contaminação da água subterrânea da região é o nitrogênio utilizado como fertilizante na cultura do milho.

GOERING (1992) representou o princípio da aplicação diferenciada de fertilizantes com um modelo bastante simples. A Figura 1 mostra a situação em que a aplicação uniforme de fertilizante pode afetar negativamente a produtividade potencial quando as condições do solo variam dentro de uma mesma lavoura. A aplicação uniforme representada pela linha vertical cheia é a máxima dosagem possível para evitar decréscimo na produtividade do solo B. No entanto, a máxima produtividade potencial do solo A ainda não foi atingida. Com o uso das técnicas apregoadas pela agricultura de precisão, a taxa de aplicação pode ser reduzida de um ΔF no solo B e aumentada de um mesmo ΔF no solo A. Como resultado haverá uma pequena perda de produtividade ΔP_B no solo B e um ganho ΔP_A no solo A. O resultado final será de um ganho de produtividade ΔP_A maior do que a perda de ΔP_B .

Um número crescente de cientistas vem se interessando pela área. Pesquisas vem sendo conduzidas na área de engenharia, incluindo desenvolvimento de sensores, sistemas de controle e equipamentos para aplicação variada de insumos. Na área agrônômica a pesquisa vem explorando a resposta das culturas como função da variabilidade espacial das características físicas e químicas do solo. Na interface entre

geografia e estatística novas frentes tem surgido como a geoestatística, sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica - SIG (Geographic Information System - GIS). Essa multidisciplinaridade permitiu a proposição de diferentes pontos de vista para tratar a agricultura de precisão. No entanto a multiplicidade de termos utilizados para descrever o mesmo fenômeno ou processo, tem criado certa confusão na literatura. GANDRUD et al. (1993) sugerem que é importante que a comunidade científica desenvolva o quanto antes um pacote normativo de consenso para essa área emergente.

O conceito de agricultura de precisão, embora simples de ser entendido, requer para sua adoção, um conjunto bastante complexo de tecnologias como listado por SCHUELLER (1991):

1. Sensoriamento
2. Manipulação de dados
3. Controle
4. Localização
5. Informação geográfica

O sensoriamento consiste em medir com a devida precisão as quantidades que definem a variabilidade e que normalmente dizem respeito à cultura e ao solo. Pode ser dividido em três grupos: sensoriamento por meio do deslocamento do sensor no campo, com a finalidade de obter medidas continuamente; sensoriamento por coleta de amostras com base em um quadriculado; e sensoriamento remoto, que consiste na obtenção de dados à distância.

Nos últimos anos a engenharia tem desenvolvido diferentes tipos de sensores para propriedades do solo e das plantas tais como sensores para matéria orgânica, nutrientes do solo, propriedades físicas do solo e produtividade de culturas. SCHUELLER (1992), faz referência a uma vasta lista de avanços nessa área até aquela data. No entanto muita pesquisa está em andamento e os resultados vêm sendo publicados em uma marcha crescente e com avanços consideráveis. Faremos aqui referência apenas ao que é posterior àquela data para não repetir a informação já compilada.

Sensoriamento Direto

Considerável esforço tem sido feito pela pesquisa visando o desenvolvimento de sensores de fluxo de grãos para utilização como monitores de colheita. Esses sensores medem o fluxo de massa diretamente ou a concentração instantânea de sólidos, juntamente com a velocidade do fluxo desses sólidos para obter o fluxo de grãos indiretamente. O método direto utiliza uma placa de impacto com potenciômetro ou célula de carga para medir a força de impacto ou o torque aplicado à placa. Os métodos indiretos medem o volume de grãos nas taliscas do elevador da colhedora ou o volume que passa em uma dada seção do duto de grãos.

A geração de mapas de produtividade é considerada como uma das tarefas indispensáveis no processo de diagnóstico da agricultura de precisão. A associação desses mapas com mapas de diferentes propriedades do solo tem sido as ferramentas básicas para as recomendações em aplicação localizada dos insumos. A Figura 2 mostra um desses mapas em duas condições, em uma área de milho irrigada por pivô central. Os dois mapas mostram a interpolação de pontos com os dados de campo representando

intervalos de tempo de um segundo de coleta e referentes à largura da plataforma da colhedora. O primeiro mapa (Figura 2a) representa a interpolação dos pontos e as isolinhas geradas mostram 5 níveis de produtividade. No segundo mapa (Figura 2b) foi ampliado o grau de detalhamento de níveis de produtividade (12 níveis), mostrando que a própria interpretação visual varia muito em função do nível de detalhamento desejado (MOLIN, 1996).

JENANE & BASHFORD (1995) propuseram um medidor que utilizava a combinação de emissores e receptores de luz montados em um retângulo perpendicular ao fluxo de grãos, na saída do elevador do tanque graneleiro da colhedora. A mudança na voltagem devido à interceptação da luz pelo fluxo de grãos era correlacionada com esse último. BLACKMORE (1994) afirma que monitores de colheita tem estado no mercado da Inglaterra desde 1991. SANAEI & YULE (1996) reportam testes de um monitor comercial de colheita equipado com um sensor infravermelho. Os autores descrevem uma quantidade considerável de testes, incluindo outros sensores que compõem o equipamento completo e alguns problemas de calibração e regulagem observados durante os testes. Da mesma forma PEREZ-MUNOZ e COLVIN (1996) discutem extensivamente os testes de laboratório e de campo de um monitor de colheita que utiliza um sensor que mede a força do fluxo de grãos ao chocar-se na superfície de um elemento ativo.

Associado ao monitor de colheita já são oferecidos no mercado os sensores para medição da umidade dos grãos. Com isso o mapa de colheita é referido a um valor uniformizado de umidade. SANAEI & YULE (1996) mencionam basicamente dois tipos de sensores no mercado: os intermitentes, coletando amostras para a medição e os de medição contínua.

MANGOLD (1996) apresenta uma lista de 14 conjuntos de equipamentos de mercado, alguns deles associados a empresas que produzem as colhedoras. Esses equipamentos constam de sensor de colheita, sensor de umidade do grão em alguns casos, monitor, DGPS e software para mapas.

Monitores de colheita para outros produtos que não grãos também têm sido propostos. HOFMAN et al. (1995) propuseram um sistema de monitoramento de colheita de beterraba açucareira por método gravimétrico, utilizando células de carga sob uma esteira transportadora em balanço. Uma proposta semelhante foi apresentada por HOLLIST et al. (1996) para um monitor de colheita de batatas. Eles utilizaram um par de células de carga sob a esteira rolante de descarga da recolhedora de batatas e um sensor que media a velocidade da esteira. AUERNHAMMER et al. (1995) desenvolveram um sensor para medição do fluxo de forragem picada em uma colhedora de forragem autopropelida para silagem. O trabalho desenvolvido na Alemanha utilizou uma fonte de isótopos e um sensor que mede a redução na intensidade da radiação, além de um radar para medir a velocidade do fluxo de material. Um sistema que mede a massa de feno agregada ao fardo em uma enfardadora de fardo roliço foi proposta por BASHFORD et al. (1995). O sistema utiliza uma célula de carga em cada roda da máquina e uma terceira na barra de engate. Com a localização feita por DGPS, o sistema permite o mapeamento da produtividade de feno. KVIEN et al. (1995) reportam os primórdios do desenvolvimento de um monitor de colheita acoplado a uma recolhedora de amendoim, também baseado em sensores gravimétricos.

PANIGRAHI et al. (1995) fizeram uma revisão de trabalhos de pesquisa publicados até aquela época, com relação a sensores para características físicas e

químicas do solo como textura, matéria orgânica, umidade, nitrato/nitrogênio e pH. Evidenciam o estágio ainda experimental da tecnologia na maioria desses sensores. SCHRAMM (1995) apresenta uma série de equipamentos disponíveis ao agricultor para a medição de parâmetros de fertilidade do solo. Todos os equipamentos listados têm como característica principal o fato de serem de fácil utilização, de relativo baixo custo, porém nenhum se enquadra como sensor para utilização em tempo real.

Tentativas de determinação indireta e instantânea do índice de matéria orgânica, no campo, têm sido apresentadas. GRIFFIS (1985) desenvolveu e testou um sensor fotoelétrico para quantificar o conteúdo de carbono do solo. Ele utilizou uma fonte de luz visível e uma de infravermelha e dois fototransistores que detectavam a luz refletida por uma superfície de solo pré secado. O conjunto era montado em uma câmara fechada para evitar os problemas de flutuação da luz do sol. A solução proposta partiu do pressuposto de que haveria uma forma de transporte dessas amostras de solo intermitentemente até a câmara, durante a aplicação de herbicidas, por exemplo. A correlação em testes de laboratório foi bastante promissora. PITTS et al. (1986) propuseram um sensor de cor refletida a um prisma e desse a um conjunto de filtros e seus respectivos fototransistores. A corrente nos fototransistores variava de acordo com a intensidade de luz recebida. Um modelo de ajuste foi desenvolvido para correlacionar o valor amplificado da corrente e o índice de matéria orgânica. A umidade do solo afetou os resultados com solos mais úmidos refletindo menos luz do que os solos mais secos. Uma proposta semelhante foi apresentada por SHANK & GAULTNEY (1988), com boa correlação entre luz refletida e conteúdo de carbono, especialmente para texturas fina e média e teores de matéria orgânica de 1 a 6 %.

Um sensor que mede a quantidade de nitrato no solo, montado na frente do aplicador de fertilizante, é descrito por GOERING & HAN (1993). O nível de nitrato detectado é então subtraído do total requerido para uma dada produtividade preestabelecida. O aplicador então dosa e distribui a quantidade devida de fertilizante nitrogenado. A determinação e mapeamento do índice de salinidade do solo foi testada com sensores de indução eletromagnética por CANNON et al. (1994). Esse princípio tem sido utilizado em outras aplicações como determinação da profundidade da camada de impedimento do solo (DRUMMOND et al., 1995).

ZUO et al. (1995) propuseram um sensor composto por fibras óticas e testaram em deslocamento de 5,08 mm/s para identificar a estrutura do solo. A mesma técnica foi proposta por IQBAL et al. (1996) para identificar a presença de superfície espelhada nas faces dos sulcos abertos por discos duplos de semeadoras. ROYTBURG & CHAPLIN (1995) propuseram hastes sensoras da condição de resistência do solo para monitorar a necessidade de preparo localizado do solo.

Um sensor que mede a população de plantas de milho foi proposto por BIRRELL e SUDDUTH (1995). O equipamento foi montado na plataforma de milho de uma colhedora e consiste de um potenciômetro rotativo acoplado a um batente que desarma quando em contato com cada planta. Outro sistema baseado em sensores fotoelétricos foi proposto por PLATTNER & HUMMEL (1995). A interrupção de um fecho de luz causada pela planta de milho registra a sua presença, sendo possível detectar o espaçamento entre plantas, as falhas e a presença de plantas duplas, com velocidades de até 3 m/s.

A obtenção de dados por amostras para medir variabilidades em campo é geralmente bastante precisa, no entanto requer tempo e tem um custo significativo em

termos de análises (SCHUELLER, 1992). As amostras são normalmente tomadas seguindo um quadriculado. Métodos geostatísticos de interpolação entre os pontos amostrais são então utilizados para construir o mapa de campo. A resolução do quadriculado é a distância entre os pontos amostrais. Aumentar essa resolução é sempre desejável, porém a limitação é normalmente de custo.

Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é a técnica de coleta de informações à distância. Hoje, a grande maioria dos mapas de recursos naturais são obtidos por meio de imagens de fotografia aérea, radar aéreo ou imagem de satélite. O uso dessas informações por parte dos agricultores ainda não é prática por vários motivos, como exposto por SCHUELLER et al.(1993). Por exemplo, as imagens aéreas geram informações limitadas à superfície do solo e das plantas. Sua obtenção tem um custo significativo para agricultores, individualmente. Ao mesmo tempo, essas fotos exigem a interpretação de especialistas para traduzir o que realmente estão representando.

No entanto, é de se esperar que embora não seja ainda uma tecnologia de uso em larga escala, no futuro será possível a utilização de fotos aéreas digitalizadas para o controle de aplicação localizada de insumos. No momento a limitação está em se estabelecer a ligação entre o que a imagem de uma foto aérea do solo ou da folhagem da cultura mostra e as causas da variabilidade e possíveis ações para reduzir essa variabilidade.

A utilização de fotos aéreas para estimativa de índice de matéria orgânica foi testada por BLACKMER & SCHEPERS (1996). Na busca de possíveis soluções para controlar a aplicação localizada de nitrogênio eles testaram fotos aéreas do solo, antes do plantio, e posteriormente, da lavoura de milho. Também utilizaram sensores óticos instalados a uma dada altura acima do veículo aplicador de nitrogênio que mediam a luz refletida pelo milho. Trabalhos semelhantes foram conduzidos por KVIEN et al. (1995) em lavouras de algodão e amendoim e por HEEGE & REUSCH (1996) em trigo. Esse últimos alertam para o fato de que o método de medição da demanda de nitrogênio pela reflectância das folhas pressupõe boa correlação entre os dois fatores. No entanto, a coloração pode ser afetada por outras deficiências ou mesmo doenças. Trabalhando com trigo, STONE et al. (1995) utilizaram sensores de radiância espectral montados na frente de um pequeno trator e transitando sobre pequenas parcelas para correlacionar esse dado com a produção de matéria seca e nitrogênio absorvido. Observaram alta correlação entre a reflectância e o nitrogênio absorvido.

A aquisição de dados em agricultura de precisão gera uma quantidade enorme de informações e essa quantidade tende a aumentar na medida em que as correlações entre fatores de produção vão se solidificando por meio da pesquisa. A forma de análise dos dados vai depender do método de coleta, se por sistema contínuo, por amostras, ou por sensoriamento remoto. Porém é inevitável que vastas quantidades de dados só possam ser manipulados por métodos computacionais.

CONCLUSÕES

É inegável o fato de que a agricultura de precisão está se solidificando como uma tecnologia de ponta para a otimização da produção agrícola, tomada de decisões e administração da produção. A desuniformidade espacial dos solos agrícolas sugere o tratamento localizado para a minimização do uso de insumos, mantendo ou aumentando os níveis de produtividade. Os benefícios refletem-se em uma agricultura mais eficiente e o meio ambiente menos afetado pelo desequilíbrio causado pelos insumos que podem ser economizados.

A disponibilidade de sensores para a obtenção de dados de variabilidade espacial, diretamente por contato, bem como para o sensoriamento remoto, vem crescendo e sugere uma nova realidade para a agricultura dos próximos anos. Por ambos os métodos será possível a tomada de decisão para a recomendação de dosagens de insumos ou a administração dessa dosagem em tempo real. Algumas indefinições persistem e ainda é tempo da comunidade brasileira envolvida com o fato participar e traçar os rumos dessa nova tecnologia para a nossa realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUERNHAMMER, H., DEMMEL, M., PIRRO, P. J. M. *Yield measurement on self propelled forage harvesters*. St. Joseph, ASAE Paper 95-1757, 5p. 1995.
- BASHFORD, L. L., WEDERGREN, C. R., KOCHER, M. F. Site specific yield with a big roll baler. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 1995, Chicago. *Abstracts...* ASAE, 1995. p.7.
- BALASTREIRE, L. A. Aplicação localizada de insumos - ALI: um velho conceito novo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas. *Resumos...* SBEA/UNICAMP, 1994. p.248.
- BIRRELL, S. e SUDDUTH, K. A. *Corn population sensor for precision farming*. St. Joseph, ASAE Paper No. 95-1334, 12p. 1995.
- BLACKMER, T. e SCHEPERS, J. S. Using DGPS to improve corn production and water quality. *GPS World*, Eugene, p.44-52, março 1996.
- BLACKMORE, S. Precision farming: an overview. *Agricultural Engineer*, St. Joseph, Autum 1994, p.86-88. 1994.
- CANNON, M. E., MCKENZIE, R. C., LACHAPELLE, G. Soil salinity mapping with electromagnetic induction and satellite-based navigation methods. *Canadian Journal fo Soil Science*, v.74, n.3, p.335-43, 1994.
- DRUMMOND, S. T., SUDDUTH, K. A., BIRRELL, S. J. *Analysis and correlation methods for spatial data*. St. Joseph, ASAE Paper No. 95-1335, 22p. 1995.
- GANDRUD, D., WOLFF, G., HAUGEN, N. *Computer controlled metering of granular material*. St. Joseph, ASAE Paper No. 93-1549, 14p. 1993.

- GOERING, C. E. How much and where. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v.73, n.4,p.13-15. 1992.
- GOERING, C. E. e HAN, S. *A field information system for SSCM*. Warrendale, SAE Paper No. 932422, 13p. 1993.
- GRIFFIS, C. L. Electronic sensing of soil organic matter. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.28, n.3, p.703-5. 1985.
- HEEGE, H. J., REUSCH, S. *Sensor for on the go control of site specific nitrogen top dressing*. St. Joseph, ASAE Paper No. 96-1018, 14p. 1996.
- HOFMAN, V., PANIGRAHI, S., GREGOR, B., WALTER, J. In field yield monitoring of sugarbeets. In: SAE. *New Developments in Farm Machinery and Crop Management*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995. p. 9-11.(SAE SP-1111).
- HOLLIST, R., WOLLMAN, A. e CAMPBELL, R. No small potatoes: monitoring the yield of high-value crops. *GPS World* , suplemento "Precision Farming", Eugene, p.24-28, julho 1996,.
- IQBAL, M., ZUO, Y., ERBACH, D. C., MARLEY, S. J. *Smearred soil surface evaluation by fiber optic sensor and root penetration*. St. Joseph, ASAE Paper No. 96-1047, 12p. 1996.
- JENANE, C. e BASHFORD, L. L. Yield mapping of soybeans and corn using GPS. In: SAE. *New Developments in Farm Machinery and Crop Management*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995. p.1-8 (SAE SP-1111).
- KVIEN, C., WATERS, D. e USERY, L. Farming in the information age. *GPS World*, suplemento "Precision Farming", Eugene, p.10-19, dezembro 1995.
- LOWENBERG-DEBOER, J., SWINTON, S. M. *Economics of site-specific management in agronomic crops*. W. Lafayette: Purdue University, 1995. 25p. (Staff Paper 95-14).
- MANGOLD, G. Yield monitors and precision farming system integrators. *Successful Farming*, Des Moines, p .37-40, maio-junho 1996.
- MOLIN, J. P. *Advanced Topics - Spatial Variability/GPS*. Lincoln, 1996. 32p. Final Report. University of Nebraska-Lincoln. (não publicado).
- PANIGRAHI, S., BOUDUR, S., HOFMAN, V. Sensors and sensing techniques for precision farming. In: SAE. *New Developments in Farm Machinery and Crop Management*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995. p.13-19 (SAE SP-1111).

- PEREZ-MUNOZ, F. e COLVIN, T. S. Continuous grain yield monitoring. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.39, n.3, p.775-783, 1996.
- PITTS, M. J., HUMMER, J. W. e BUTLER, B. J. Sensor utilizing light reflection to measure soil organic matter. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.29, n.2, p.422-429, 1986.
- PLATTNER, C. E. e HUMMEL, J. W. Row-crop population sensor for agricultural crops. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 1995, Chicago. *Abstracts...* ASAE,1995, p.25.
- ROYTBURG, E. e CHAPLIN, J. Developing a tillage control system for precision farming. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 1995, Chicago. *Abstracts...* ASAE,1995, p.26.
- SANAEI, A. e YULE, I. J. *Yield measurement reliability on combine harvesters*. St. Joseph, ASAE Paper No. 96-1020, 14p. 1996.
- SCHRAMM, H. On farm tools for site specific crop management. In: SAE. *New Developments in Farm Machinery and Crop Management*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995. p.21-25 (SAE SP-1111).
- SHANK, J. L. e GAULTNEY, L. D. *Spectroscopic sensing for the determination of organic matter content*. St. Joseph, ASAE Paper No. 88-2142, 16p. 1988.
- SCHUELLER, J. K. In-field site-specific crop production. In.: ASAE. *Automated Agriculture for the 21st Century*. St. Joseph: ASAE, 1991. p.291-2. (ASAE publication 11-91).
- SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of Spatially-Variable Crop Control of crop production. *Fertilizer Research*, The Hague, v.33, p.1-34, 1992.
- STONE, M. L., SOLIE, J. B., RAUN, W. R., TAYLOR, S. L., RINGER, J. D., WHITNEY, R. W. *Use of spectral radiance for correcting in season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat*. St. Joseph, ASAE Paper AECT 95-133, 37p. 1995.
- WIEDA, R., BORGELT, S. T. *Geoestatistical analysis of plant nutrients from sample nested grids*. St. Joseph, ASAE Paper MCR93-131, 14p. 1993.
- ZUO, Y., ERBACH, D. C., MARLEY, S. J. *Soil structure evaluation by use of fiber-optic sensor*. St. Joseph, ASAE Paper 95-1317, 17p. 1995.

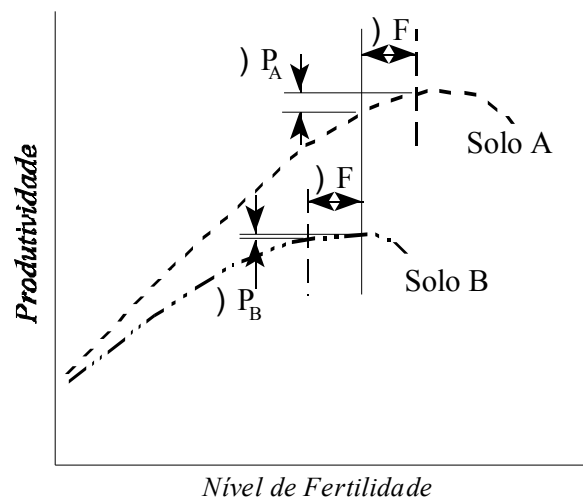
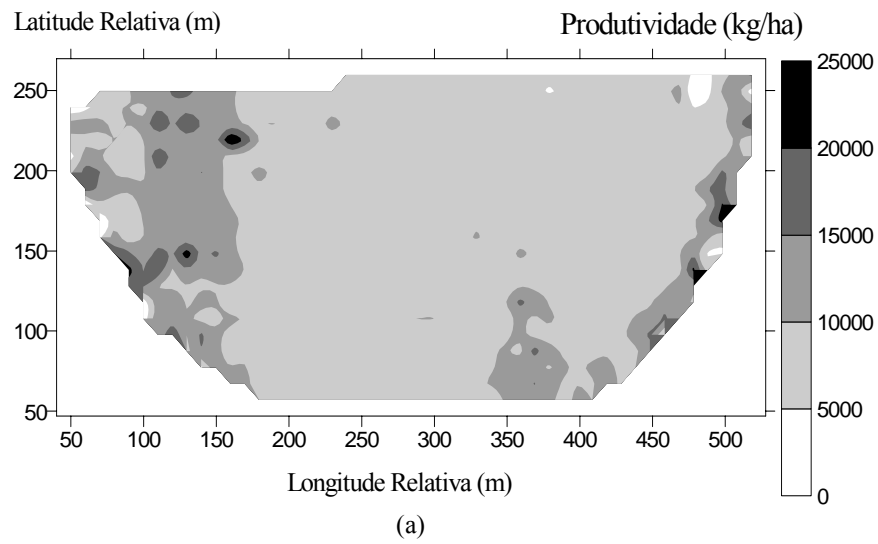
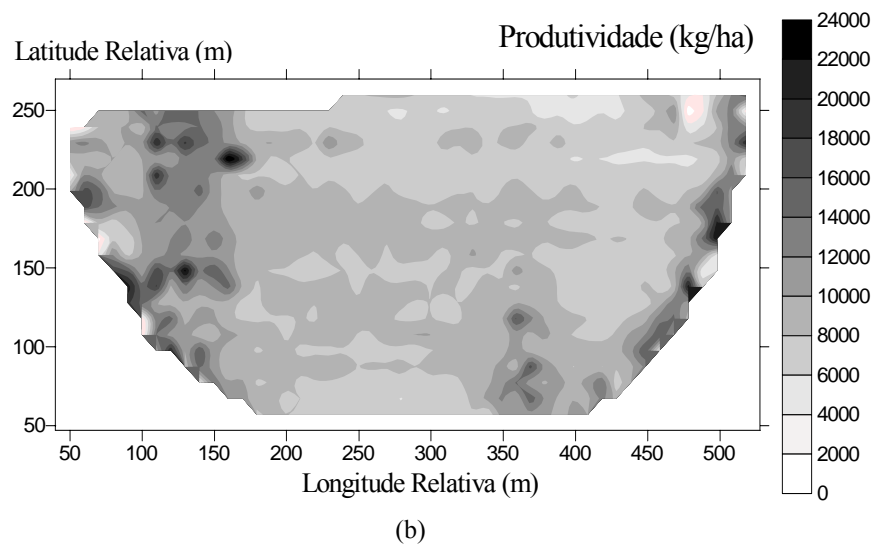


FIGURA1. Resposta em produtividade da cultura como função da fertilidade do solo (Adaptado de GOERING, 1992).



(a)



(b)

FIGURA 2. Mapas de produtividade de uma área de milho irrigado por pivô central com produtividades em kg/ha. a) Isolinhas mostrando 5 níveis de produtividade. b) Interpolação com 12 níveis de produtividade (MOLIN, 1996).