

## ANÁLISE ECONÔMICA DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Marcos Joaquim Mattoso<sup>1</sup>

João Carlos Garcia<sup>2</sup>

### Resumo

Tem-se definido Agricultura de Precisão (AP) como “um conjunto de ações de gestão do sistema de produção que considera a variabilidade espacial das lavouras”. A partir da premissa de que a produção nessas áreas não é uniforme no espaço, é fundamental o gerenciamento que incorpore esses fatores buscando a otimização do sistema. Evidentemente que todas as operações relacionadas com o uso da Agricultura de Precisão implicam em custos que não existem quando a lavoura é conduzida no sistema tradicional e a implementação do manejo diferenciado está condicionada à confrontação de custos envolvidos e benefícios esperados. Uma peculiaridade que surge na análise econômica de Agricultura de Precisão é que ela é uma tecnologia de informação que, na agricultura moderna, é um insumo de produção tal como o fertilizante, a semente ou o inseticida. Da mesma forma que estes insumos, a informação também tem um custo de aquisição. Este trabalho procura explorar as condições econômicas para o uso das tecnologias da Agricultura de Precisão, derivando regras gerais para a sua adoção pelos agricultores. Uma revisão dos possíveis procedimentos desenvolvidos para análise econômica da Agricultura de Precisão são apresentados, com vistas a um melhor direcionamento das ações de avaliação econômica destas atividades. Com base nos instrumentos tradicionais de análise econômica, pode-se inferir que, dada uma tecnologia de obtenção e uso de informação, ela terá maior possibilidade de utilização em situações tais como: produtos com preços unitários de comercialização dos produtos finais mais altos; insumos com preços unitários mais altos; insumos com maior taxa de resposta em termos de produto final; utilização em campos de produção com maior heterogeneidade e métodos de obtenção e uso da informação de menor custo. Deriva-se que um dos grandes desafios para a plena implementação da Agricultura de Precisão consiste em reduzir os custos de aquisição e interpretação das informações. A adoção em larga escala das tecnologias de precisão depende de: equipamentos de baixo custo e mais eficientes; tecnologias de uso mais simples; maior percepção de lucratividade pelo uso dessas tecnologias e treinamento de mão-de-obra especializada.

**Palavras-chave:** sistemas de produção

<sup>1</sup> D.Sc.. e-mail: mattoso@cnpms.embrapa.br

<sup>2</sup> D. Sc. e-mail: garcia@cnpms.embrapa.br

## ECONOMIC ANALYSIS OF PRECISION AGRICULTURE

### Summary

Precision Agriculture has been considered as the “set of management techniques for agricultural productions systems, that consider the spatial variability of the agricultural fields”. From the premises that the agricultural production in these fields isn't uniform it is fundamental that their management includes those techniques in the search for optimization of the production systems. Obviously the use of Precision Agriculture techniques imply in costs that do not exists under traditional systems and the implementation of such kind of management is conditioned to the confrontation of the benefits and costs for implementation of those practices. A peculiarity that arises on the economic analyses of the Precision Agriculture in that it is an information technology and, in modern agriculture, could be considered as a production input, like fertilizers, seeds or pesticides. As those inputs, information also has acquiring costs. The objective of this paper is to explore the economics of the use of Precision Agriculture techniques, setting general rules for adoption by farmers. A review of possible procedures developed for economic analysis of Precision Agriculture is presented. We can infer that, given a technology of acquiring and use of information, it would more likely to be adopted in situations like: products with higher commercialization prices; inputs with higher acquisitions costs; higher responsible inputs, in terms of final products; utilization on agricultural fields with higher variability and lower acquisition cost of information. The conclusion is that one of greater challenge for implementation of Precision Agriculture techniques is the reduction of the acquiring and interpretation cost of the information. The large scale adoption of those technologies depends also on the development of lower cost and more efficient equipment, simpler use technologies, greater perception of the profitability of those techniques and the training of specialized labor.

**Keywords :** production systems

### Introdução

Tem-se definido Agricultura de Precisão (AP) como “um conjunto de ações de gestão do sistema de produção que considera a variabilidade espacial das lavouras” (Molin, 2004). A partir da premissa de que a produção na agricultura não é uniforme e de que o substrato representado pelo solo tem elevada variabilidade espacial, é de se considerar como fundamental o desenvolvimento e utilização de formas de gerenciamento dos sistemas de produção agrícolas que incorporem esses fatores buscando a sua otimização (Molin, 2004).

Desde os primórdios do cultivo da terra é sabido que as áreas das fazendas raramente são uniformes. Como a atividade agrícola era inteiramente dependente da mão-de-obra, isto limitava a extensão das áreas de plantio e permitia ao agricultor atento perceber as diferenças e respeitá-las. Os agricultores mais eficientes introduziam sistemas de manejo diferenciados, de acordo com as suas necessidades e com o potencial produtivo e as características de cada gleba.

O advento da mecanização, permitiu que se cultivassem grandes áreas empregando um mínimo de mão-de-obra, a um custo unitário de produção menor. Essa tecnologia, contudo, não permite que se trate de modo mais acurado as diferenças entre as glebas, sendo a condução da lavoura orientada pelos valores médios e toda a área trabalhada como se fosse homogênea para os diferentes parâmetros que interferem na produtividade das lavouras. Esta decisão é resultante da necessidade de se regular as máquinas a cada alteração de quantidade de insumo a ser aplicada. Uma vez que uma regulação baseada em dados médios é efetuada, geralmente ela não é alterada. A correção da fertilidade, por exemplo, é proposta baseando-se na fertilidade média da área a ser plantada, e uma quantidade homogênea de fertilizantes é distribuída em toda área da lavoura, independente de possíveis (mas não constatadas) variações espaciais de fertilidade do solo.

O desenvolvimento de novas tecnologias tais como: sensoriamento remoto; sistema de informações geográficas (GIS) e sistema de posicionamento global (GPS), classificadas como geotecnologias, permitiram localizar com precisão as variações no espaço de parâmetros relevantes para o gerenciamento da produção agrícola, além de permitir aplicações de insumos a taxas variadas. Um dos produtos importantes obtidos com a aplicação dessas tecnologias são os mapas de produtividade. Com esses mapas foi possível georreferenciar e quantificar a variabilidade do rendimento das lavouras, além de outras informações sobre o campo de produção. Essa informação abriu a possibilidade de buscar o estabelecimento de zonas de manejo diferenciado ou manejo sítio específico (SSM), diferentemente do que é feito de forma homogênea nos métodos tradicionais de cultivo.

Vale lembrar que estas possibilidades de obtenção de informações georreferenciadas são acontecimentos bastante recentes, constituindo-se numa tecnologia em desenvolvimento. Os primeiros mapas de rendimento derivados a partir de informações coletadas por sensores instalados em colheitadeiras surgiram na Europa, em 1984, e nos Estados Unidos no final dos anos 80. No Brasil, os primeiros mapas foram obtidos entre 1995 e 1997 (Molin, 1997). A evolução das vendas de colheitadeiras com monitores de colheita cresceu rapidamente. Uma estimativa do número disponível por países é mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1:** Número de monitores de colheita, por país.

País	Número Estimado	Ano da Estimativa	Fonte da Estimativa	Monitores de Rendimento por Milhões de Acres
<b>AMÉRICAS</b>				
Estados Unidos	30.000	2000	Daberkow et al. (2002)	136
Argentina	1.000	2003	Bongiovanni	17
Brasil	100	2002	Molin	1
Chile	12	2000	Bragachini	8
Uruguai	4	2000	Bragachini	3
<b>EUROPA</b>				
Reino Unido.	400	2000	Stafford	43
Dinamarca	400	2000	Stafford	100
França	50	2000	Stafford	2
Alemanha	4.250	2003	Wagner	212
Holanda	6	2000	Stafford	11
Suécia	150	2000	Stafford	48
Bélgica	6	2000	Stafford	7
Espanha	5	2003	4ECPA participantes	0
Portugal	4	2003	Conceição	3
<b>OUTROS</b>				
Austrália	800	2000		17
África do Sul	15	2000	Nell	1

Fonte: Griffin et alii, 2004

Na realidade, o conceito de Precisão é bem mais amplo que o de sua aplicação específica na produção de grãos e oleaginosas a partir dos mapas de produtividade, embora os princípios que orientam sua implementação sejam basicamente os mesmos. O que se busca é reduzir o espaço possível de ser gerenciado em unidades cada vez menores, visando a melhoria do rendimento global do sistema produtivo. Essa redução poderia estar se referindo ao monitoramento e controle de cada metro quadrado, no lugar de hectares ou centenas de hectares, no caso da agricultura de precisão aplicada à produção de grãos; de cada pé de fruta, no lugar de todo o pomar, no caso de fruticultura de precisão; de cada árvore, no lugar da floresta, na silvicultura de precisão ou de cada animal, no lugar de todo o rebanho, na pecuária de precisão.

No âmbito da Agricultura de Precisão, existem duas alternativas para se fazer a aplicação a taxas variadas: em tempo real e programada. Na aplicação em tempo real, são usadas máquinas que levantam, por meio de sensores, e analisam informações sobre um determinado parâmetro específico, à medida que se deslocam pelo espaço das lavouras. Estas máquinas possuem dispositivos que comandam a dosagem e o local de aplicação de insumos, a partir das informações coletadas a cada intervalo de tempo. Nas aplicações programadas, no lugar de sensores, as máquinas são programadas segundo mapas de aplicação previamente elaborados, a partir de informações coletadas de forma georeferenciada e analisadas de modo a definir as quantidades de insumos que serão aplicadas nos diferentes pontos das lavouras. Até os dias atuais, seja em decorrência do custo das máquinas ou pelo estágio mais avançado da tecnologia, a implementação das

técnicas de agricultura de precisão que tem sido mais amplamente utilizadas dizem respeito àquelas baseadas nos mapas de rendimento e em mapas de aplicação.

O ciclo de operações envolvendo o conceito de agricultura de precisão baseado em mapas de rendimento tem sido representado conforme o diagrama a seguir (Figura 1).

O sistema é concebido para ser desenvolvido em três etapas: a) coleta de dados; b) interpretação e c) aplicação a taxas diferenciadas. A fase inicial da primeira etapa consiste no mapa de produtividade. A Figura 2 mostra o mapa de produtividade de milho irrigado, plantado sob um pivô central de 38 hectares na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG. Essa informação mostra apenas o sintoma, ou seja, a variabilidade no rendimento, mas não apresenta os fatores determinantes da variação na produtividade obtida, dentro da lavoura. Para que se proceda ao correto diagnóstico das causas, novos dados relativos aos fatores que poderiam interferir no rendimento devem ser levantados e analisados. Dentre eles citam-se: nutrientes do solo; matéria orgânica; pH; textura do solo; compactação e tantos outros, cujos indicadores que os quantificam também deverão estar georreferenciados. O custo de obtenção desses dados, entretanto, em alguns casos ainda é bastante alto, embora o desenvolvimento recente de sensores esteja contribuindo para reduzi-los. A Figura 3 mostra o mapa de matéria orgânica correspondente à área onde foi gerado o mapa de produtividade. O levantamento de informações ambientais encerra a primeira etapa do sistema.

A segunda etapa consiste em interpretar as informações ambientais e correlacioná-las com a variabilidade constatada nos valores de produtividade física dos cultivos, de tal forma que se chegue ao correto diagnóstico das causas dessa variabilidade. Esta tem sido a etapa que carece de grandes avanços uma vez que envolve a parte agrônômica propriamente dita, onde a atividade biológica normalmente não é comandada por um único fator, mas pela interação de vários fatores. Identificadas as causas da variabilidade, são elaborados os mapas de aplicação dos insumos a taxas variadas de acordo com as necessidades de cada segmento de área, o que constitui a terceira etapa do sistema.

Figura 1: Ciclo de operações de Agricultura de Precisão

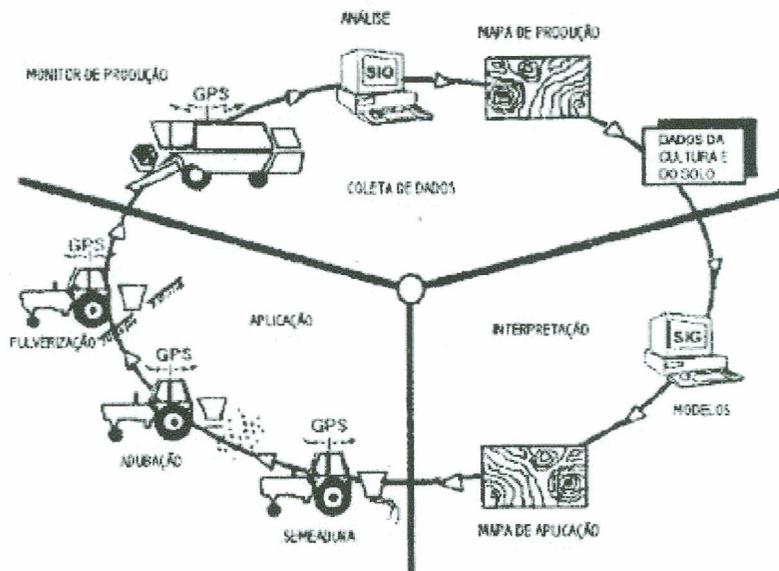


Figura 2: Mapa de produtividade de uma lavoura de milho

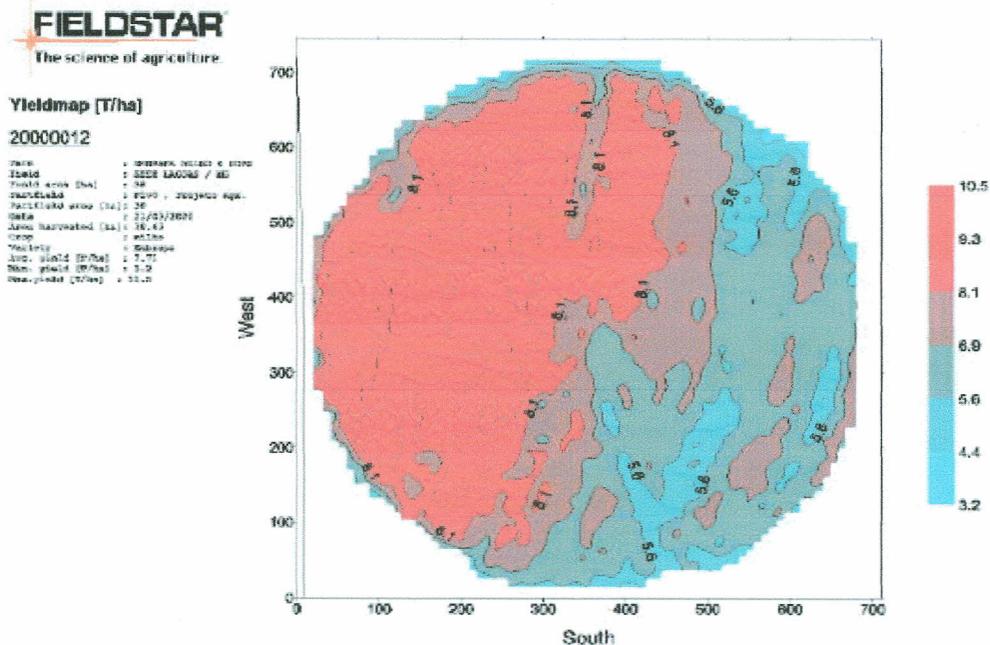
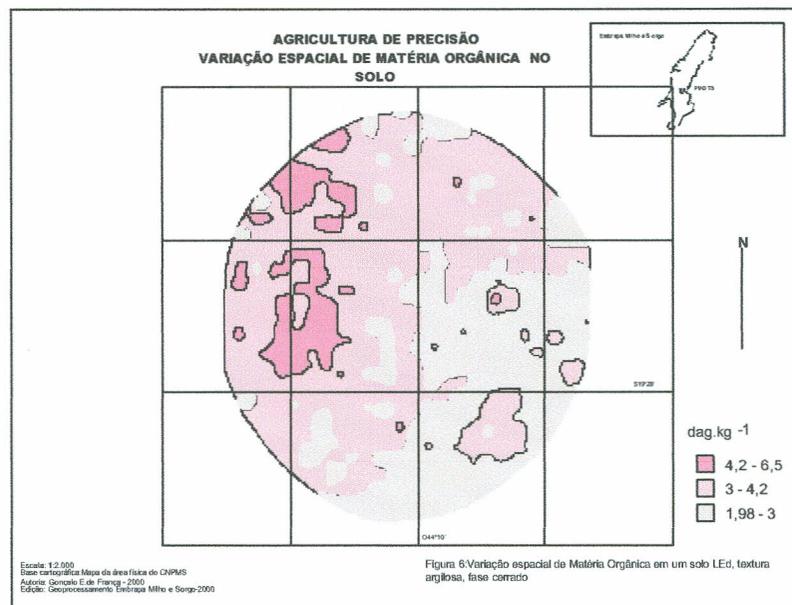


Figura 3: Mapa de matéria orgânica em uma área de 38 hectares



Evidentemente que todas as operações descritas anteriormente implicam em custos que não existem quando a lavoura é conduzida no sistema tradicional e a implementação do manejo diferenciado, portanto, está condicionada à confrontação de custos envolvidos e benefícios esperados.

#### Descrição do assunto

O princípio econômico básico para maximização de lucro estabelece que a última unidade do insumo adicionado ao processo produtivo tem que gerar uma produção que valha pelo menos um valor suficiente para cobrir o custo da adição. Como critério de decisão, a quantidade adicional de determinado insumo será utilizada se o acréscimo esperado nos benefícios superar, ou igualar, o acréscimo nos custos.

Uma peculiaridade que surge na análise econômica da Agricultura de Precisão é que ela é fundamentalmente uma tecnologia de informação. Não pode ser enquadrada dentre as tradicionais tecnologias mecânicas, químicas ou biológicas. Informação, na agricultura moderna, é um insumo de produção tal como é o fertilizante, a semente ou o inseticida. Da mesma forma que estes insumos, a informação também tem um custo de aquisição. Em termos econômicos, entretanto, a informação só tem valor se decisões são alteradas por causa da informação e estas redundam em acréscimo no lucro das empresas.

A análise econômica do valor da informação deve ser entendida como um novo insumo do processo produtivo, dentro dos princípios tradicionais de maximização de lucro. Nesta abordagem, teríamos:

$$L = P_Y \cdot Y - P_I \cdot I - \sum P_N \cdot N \quad (1)$$

onde:

L - lucro da empresa;

Y - quantidade de produto;

P<sub>Y</sub> - preço do produto;

I - é a quantidade de *informação* utilizada;

P<sub>I</sub> - custo de se adquirir esta *informação* adicional;

P<sub>N</sub> - preço dos outros insumos;

N - quantidade dos outros insumos.

Um exemplo deste procedimento pode ser o uso de análise de solo para a decisão da quantidade de fertilizantes utilizar. Normalmente utiliza-se uma amostragem composta por porções de solo retiradas aleatoriamente em um dado campo. O resultado desta análise fornecerá a base para a recomendação da quantidade de nutrientes, que pode ser considerada como média para as condições da área onde as amostras foram retiradas. Caso esta área seja dividida em sítios mais homogêneos e as amostras forem tiradas em cada talhão resultante, com certeza o acréscimo do número de análises de laboratório em uma determinada área propiciará melhores condições para a decisão da dose de fertilizantes a ser utilizada, agora em uma gleba que se torna cada vez menor e mais homogênea. O benefício será um acréscimo no lucro, decorrente da recomendação mais adequada para os sítios mais homogêneos e a contrapartida será o custo incremental da realização de mais análises de laboratório. Um outro custo será representado pela aplicação a taxas variadas ou, eventualmente, de fórmulas diferentes de fertilizantes, que sejam mais adequadas para a relação de nutrientes a ser utilizada em cada gleba.

A regra de decisão será baseada na maximização do lucro a partir do uso da *informação*, representada no caso relatado no parágrafo anterior pelo melhor conhecimento das características do solo. A *informação* adicional será utilizada até o ponto em que o valor do produto marginal de seu uso seja igual a seu custo, ou seja:

$$\frac{\delta Y}{\delta I} \cdot P_Y = P_I \quad (2)$$

A partir desta relação, algumas inferências podem ser extraídas acerca da possível utilização da tecnologia representada pelos conceitos de Agricultura de Precisão. A primeira delas é que quanto menor for o custo de aquisição da *informação* (P<sub>I</sub>) mais interessante do ponto de vista econômico será o incremento de seu uso. Certamente, em nosso exemplo, à medida em que o possível número de recomendações de quantidades de fertilizantes cresce, o custo, em termos da maior frequência do ajuste dos mecanismos de distribuição de fertilizantes, também poderia crescer. Nesta ótica, quanto mais simples este ajuste, maior o possível interesse pelo uso de maior quantidade de recomendações baseadas em informações mais numerosas.

Um outro parâmetro importante é o preço do produto (P<sub>Y</sub>). Produtos agrícolas com maior valor unitário por unidade de comercialização apresentarão tendência de maior valor do uso para um dado incremento na produção a partir de recomendações derivadas do maior uso da *informação*. Outro parâmetro refere-se ao acréscimo na produção derivado do uso da *informação*. Este acréscimo normalmente é indireto, via ajuste na quantidade de insumo utilizada. Neste caso, a resposta potencial da cultura ao

melhor ajuste da recomendação do uso de insumo a partir de mais *informação* exerce papel relevante. Algumas culturas respondem com maior ou menor intensidade ao acréscimo no uso de determinados insumos.

O ajuste no uso de uma quantidade diferente de determinado insumo nos remete à condição de maximização do lucro, agora com relação ao uso deste insumo. A regra tradicional de alocação de recursos pode nos fornecer outros indicadores sobre a relevância da maior disponibilidade de informações no processo de maximização dos lucros. No caso do uso de um determinado fertilizante (  $F$  ), cujo preço é  $P_F$ , a regra seria expressa da seguinte forma:

$$\frac{\delta Y}{\delta F} \cdot P_Y = P_F \quad (3)$$

No caso do preço do produto, as inferências são semelhantes às expressas no parágrafo anterior. Com relação ao preço do insumo, uma análise mais cuidadosa é necessária. Caso o preço do insumo ( $P_F$ ) seja alto, em relação ao preço do produto ( $P_Y$ ), a quantidade recomendada de seu uso se verifica na faixa da curva de Produto Marginal onde as inclinações são maiores e onde um pequeno ajuste na quantidade utilizada de determinado insumo pode conduzir a maiores variações nos lucros (já que o aumento na quantidade produzida pelo uso de uma unidade adicional de insumo é maior do que em segmentos posteriores da Função de Produção). No caso de insumos que apresentam mais baixa relação de preço insumo/preço produto (e cujo ponto de equilíbrio se verifica na faixa da Função de Produção onde o Valor do Produto Marginal é menor) o seu impacto sobre o lucro pelo ajuste com relação ao uso de uma quantidade diferente da ótima também é menor.

Nestas situações, que dizem respeito à maior ou menor resposta da produção ao uso do insumo (expresso pelo Produto Marginal) os conceitos de Agricultura de Precisão teriam maior probabilidade de serem adotados em se tratando do uso de insumos de mais elevado preço e em campos de produção mais heterogêneos, onde a amostra média não representa de forma adequada as reais condições. Nestes casos, potencializados pela condição do Valor do Produto Marginal ser mais sensível a pequenas variações de quantidades utilizadas do insumo, uma amostragem mais detalhada pode conduzir a ganhos pela melhor definição de níveis de uso de insumos em relação às condições dos campos de produção. Isto é particularmente verdade nos casos em que a heterogeneidade se distribui aleatoriamente no campo de produção, o que dificulta ou inviabiliza a definição de possíveis áreas de manejo.

No caso de aplicação de fertilizantes, por exemplo, é bem provável que a realização de um maior número de amostras de solo coletadas em áreas que, por qualquer razão, possam ser diferentes entre si, contribua para uma melhor adequação da quantidade a ser utilizada. Em relação à situação em que uma única amostra representaria uma *informação* média para toda a área, a quantidade recomendada de fertilizante seria maior do que a ideal em determinadas faixas de terreno, assim como poderia ser adequada ou inferior à ótima, em outras faixas. Neste caso, o aumento do número de amostras poderia contribuir para a elevação do lucro. O limite seria a situação onde o benefício da última amostra seria igual ao seu custo (incluindo o custo de aplicação a taxas variadas). Caso o terreno fosse relativamente homogêneo, certamente a recomendação não variaria numa magnitude tal que afetaria o lucro e, por

consequência, não compensaria os custos inerentes à aquisição da informação e da aplicação a taxas variadas.

Em resumo, dada uma tecnologia de obtenção e uso de *informação*, ela terá maior possibilidade de utilização em situações tais como:

- 1) produtos com preços unitários de comercialização mais altos;
- 2) insumos com preços unitários mais altos;
- 3) insumos com maior taxa de resposta em termos de produto final;
- 4) utilização em campos de produção com maior heterogeneidade e
- 5) métodos de obtenção e uso da *informação* de menor custo.

No tratamento da *informação* como insumo de produção, contudo, surgem questões relativas à estimação e apropriação de custos que, se não forem tratadas convenientemente, podem levar a resultados inconsistentes. Pode-se indagar, por exemplo, por quantos anos estaria sendo válido usar um mapa de solo digitalizado, ou qual seria o custo de se desenvolver habilidades para interpretar uma imagem de sensoriamento remoto. Qual o custo de se obter e decodificar uma informação, transformando-a em um instrumento efetivo de gerenciamento? Em fim, existem questões, cujas respostas ainda não adquiriram um padrão de aceitação inquestionável, como acontece com a apropriação do custo de uma máquina ou de uma tonelada de fertilizantes, por exemplo.

Com relação aos benefícios, têm sido ainda mais freqüentes as indagações. No caso de estimar produtividades das lavouras, baseando-se nos tradicionais experimentos de campo, nem sempre este procedimento pode ser admitido como o mais correto, dada a limitação de replicar esta informação, uma vez que não se conhece a variabilidade espacial (Swinton & Lowenberg-DeBoer, 1998). Ressalta-se o fato de que os benefícios da Agricultura de Precisão, para a propriedade como um todo, não podem ser medidos com acuidade por experimentos de campo. Cita-se o exemplo de um produtor que usa mapa de produtividade para identificar áreas com problema de nematóides do cisto em um campo de produção de soja e, como consequência, muda a rotação de cultura e escolha da cultivar para toda a fazenda, na busca de solução para o problema. Qual o benefício líquido nesse caso?

Os métodos de análise usualmente empregados na avaliação econômica envolvendo tecnologias de agricultura de precisão não diferem daqueles utilizados na avaliação de outras tecnologias. Basicamente consistem em quantificar os custos e benefícios envolvidos na aplicação da tecnologia, sendo o método da orçamentação parcial, em uma base por hectare ou por gleba, o mais empregado para esta finalidade. Considera apenas os custos e benefícios que mudam com a aplicação da tecnologia. Subtrai perdas (aumento de custos e redução de receitas) dos ganhos (redução de custos e aumento de receitas) para estimar a receita líquida. Sua aplicação implica em assumir algumas pressuposições:

- 1) outras atividades não são afetadas com a interferência;
- 2) os efeitos das mudanças são conhecidas com certeza;
- 3) não existe efeito de longo prazo, além do período contemplado no orçamento;

Nos restringiremos a comentar a análise econômica sob a ótica da orçamentação parcial, aplicada predominantemente em estudos de tecnologia de taxa variável (VRT). Lambert & Lowenberg-DeBoer (2000) procederam à revisão de uma série de trabalhos publicados em diferentes meios de divulgação, constatando que a tecnologia de taxa variável (VRT) tem sido a componente mais comum da Agricultura de Precisão, presente em 73% dos trabalhos. A VRT diz respeito a insumos tais como fertilizantes, herbicidas, inseticidas, calcário e outros. A descrição e aplicação desta metodologia são bem exploradas em Bongiovanni (2004) e Swinton & Lowenberg-DeBoer (1998), que servem de base para esta discussão.

Pelo lado dos custos, deve-se levar em consideração que muitas vezes uma informação é usada por mais de um ano. Nesse caso, o custo é alocado segundo o tempo de uso, tal como se procede com qualquer bem depreciável. O método mais apropriado e usualmente utilizado, considera na estimativa do custo a ser alocado a depreciação e o custo de oportunidade do capital. No caso mais simples do investimento em informação feito em um único período e sem valor residual, a fórmula usada na anualização do custo seria:

$$A = P_1 \cdot r \cdot ((1-(1+r)^{-n}))^{-1} \quad (4)$$

onde:

A - valor anual alocado para depreciação e custo de oportunidade do capital;

P<sub>1</sub> - custo da informação;

r - taxa de desconto;

n - vida útil da informação.

Informações relativas aos custos incluem ainda: coleta de amostras de solos, geralmente em número maior que no sistema convencional, uma vez que em Agricultura de Precisão normalmente se trabalha com “grid” reduzido; análises de laboratório; aquisição de mapas de solos digitalizados; software; elaboração de mapas de rendimento e outros custos envolvidos no levantamento e análise de informações sobre fatores que poderiam contribuir para o correto diagnóstico das causas da variabilidade. Custos de informações que não são adquiridas em uma base por hectare são alocados igualmente para cada hectare onde a informação é usada.

A estimativa dos benefícios da Agricultura de Precisão é normalmente mais problemática. O simples fato de que o processo biológico é afetado por uma série de fatores e pela interação entre eles apontam para o cuidado que se deve ter no sentido de contornar a fragilidade inerente aos métodos empregados nessas estimativas. Três métodos têm sido usados: funções de resposta, experimentos de campo e modelos de simulação. Lambert & Lowenberg-DeBoer (2000) formularam a hipótese que os métodos de estimativas de rendimentos influenciam os resultados econômicos da Agricultura de Precisão. Constataram que estudos que usam modelos de simulação provavelmente mostram mais benefícios positivos do que aqueles que se baseiam em experimentos de campo. Isto porque os modelos de simulação não incorporam todas as restrições de produção possíveis. Eles usualmente assumem que os fatores não incluídos no modelo encontram-se em níveis não limitantes.

### Considerações finais

Um dos grandes desafios para a plena implementação da agricultura de precisão consiste em reduzir os custos de aquisição e interpretação das informações, ou seja, reduzir os custos do diagnóstico das causas da variabilidade do rendimento. Um exemplo nesse sentido é o desenvolvimento de processos de amostragem intensiva e georeferenciada através de sensores que são capazes de registrar os sintomas (sensores de produtividade nas colheitadeiras) e as causas (sensores que detectam características dos campos de produção). Estando estas informações georeferenciadas é possível a geração de mapas que posteriormente poderão ser utilizados na análise causa-efeito da situação do campo de produção. Uma vez determinadas as causas, estas podem ser corrigidas pelo uso também localizado de quantidades diferenciadas de insumos agrícolas. Como estes processos tem por base a eletrônica, é de se esperar que o custo da obtenção de um número grande de amostras, de processamento das informações e da aplicação diferenciada seja menor do que o desta execução por procedimentos empregados atualmente. A adoção em larga escala de tecnologias de agricultura de precisão irá depender, dentre outros fatores, de equipamentos de baixo custo e mais eficientes, tecnologias de uso mais simples e maior percepção de lucratividade pelo uso dessas tecnologias (Whipker & Akridge, 2004, e Whipker & Akridge, 2005).

Evidentemente que o agricultor é movido pela expectativa de aumento no lucro, entretanto algumas externalidades positivas contribuem cada vez mais para a aceitação das tecnologias. Embora não tenham sido objeto de estudos específicos, outros benefícios advindos da aplicação de ferramentas de Agricultura de Precisão têm sido relatados: oferta de produtos diferenciados, gerenciamento de risco, compra e aluguel de terra, preservação ambiental, dentre outros. A aplicação do conceito de Agricultura de Precisão tende a extrapolar o elo de produção agrícola da cadeia produtiva.

Além disso a globalização dos mercados tem colocado alguns pré requisitos, sem os quais não se compete. Dentre eles citam-se os impactos sociais e ambientais, qualidade do produto, rastreabilidade e sustentabilidade. As tecnologias de agricultura de precisão, via de regra, contribuem no sentido de atender estas exigências. No tocante ao meio ambiente, por exemplo, são evidentes os benefícios, uma vez que a aplicação de insumos a taxas variadas implica em conter desperdícios através da aplicação da quantidade certa, apenas nos lugares onde se necessita deles.

### Referências Bibliográficas

BONGIOVANNI, R. **Rentabilidad de la agricultura de precision**. Manfredi: INTA, 2004. Disponível em:  
<http://www.agriculturadeprecision.org/analecon/RentabilidadAgriculturaPrecision2004.pdf>  
> Acesso em: 20 out 2005.

GRIFFIN, T. W. ; LOWENBERG-DeBOER, J.; LAMBERT, D. M.; PEONE, J.; PAYNE, T.; DABERCOW, S. G. **Adotion, profitability, and making better use of precision farming**. [West Lafayette]: Purdue University-Dept of Agricultural Economics, 2004. Disponível em: < <http://www.agriculture.purdue.edu/SSMC/> > Acesso em: 20 oct. 2005.

LAMBERT, D., LOWENBERG-DeBOER, J. **Precision agriculture profitability review**. Purdue University: 2000. Disponível em: <  
<http://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/Frames/newsoilsX.pdf>> Acesso em: 20 out. 2005.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão e seus poucos anos de historia. **Campo Aberto**, Canoas, v. 17, n. 77, p. 12-15, ago. 2004.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 97-107, dez. 1997.

SWINTON, S. M.; LOWENBERG-DeBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n. 4, p. 439-446, Oct./Dec. 1998.

WHIPKER, L. D.; AKRIDGE, J. T. **2005 Precision Agricultural Services Dealership Survey Results**. Purdue University-Dept. of Agricultural Economics, 2005. Disponível em: <<http://www.agriculture.purdue.edu/SSMC/>> Acesso em: 20 out. 2005.

WHIPKER, L. D.; AKRIDGE, J. T. **2004 Precision Agricultural Services Dealership Survey Results**. [West Lafayette]: Purdue University-Dept. of Agricultural Economics, 2004. Disponível em: <<http://www.agriculture.purdue.edu/SSMC/>> Acesso em: 20 out. 2005.