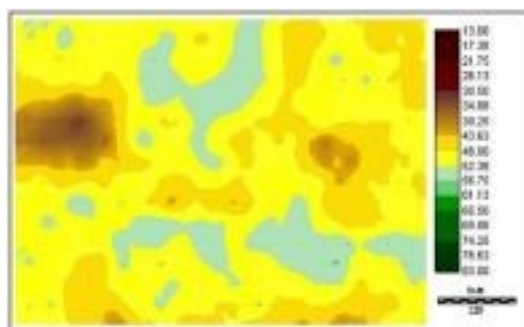


DISCUTINDO AGRICULTURA DE PRECISÃO – ASPECTOS GERAIS



João Leonardo Fernandes Pires¹
Gilberto Rocca da Cunha¹
Aldemir Pasinato²
Solange França³
Lisandro Rambo⁴



RESUMO: No Brasil, vive-se uma fase de euforia pelas realizações e potencialidades do setor agrícola. Grande parte desse sucesso é representada por parcela de produtores ávidos por tecnologia, que estão sempre atentos às novidades oferecidas pelo mercado, em busca de serem cada vez mais eficientes na atividade que realizam. Para tal segmento produtor, tecnologia moderna tem sido gerada, o que representa um leque de opções e permite o acesso a informações diferenciadas e, até pouco tempo atrás, inimagináveis. Essa gama de informações disponibilizadas pela “Agricultura de Precisão” torna possível a observação de uma área agrícola, realmente, de forma inovadora, ou seja, com um olhar mais atento às diferenças, na maioria das vezes, imperceptíveis e desprezadas no modelo agrícola tradicional. Entretanto, todo esse potencial, que já está se tornando realidade em algumas áreas,

¹ Eng. Agr., Pesquisador da Embrapa Trigo, CEP 99001-970 Passo Fundo, RS. pires@cnpt.embrapa.br, cunha@cnpt.embrapa.br

² Analista de sistemas da Embrapa Trigo.

³ Eng. Agr., Professora da Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC.

⁴ Eng. Agr., Acadêmico de doutorado da UFRGS. Bolsista do CNPq.

é cercado de incertezas e polêmica quanto à real utilidade prática e aos benefícios esperados. Esta publicação tem o objetivo de discutir aspectos gerais sobre o tema Agricultura de Precisão, para proporcionar embasamento às discussões futuras sobre temas específicos. Com isso será possível incentivar a discussão do tema, esclarecer dúvidas e gerar avanços na área. Para tanto, a Agricultura de Precisão será discutida não como um modismo tecnológico passageiro, mas como filosofia de gerenciamento da propriedade rural que leva em consideração a variabilidade presente nas áreas agrícolas, com a finalidade de manejar as interações dos diferentes fatores de produção.

1 – Introdução

A agricultura tem passado por uma série de transformações, tornando a atividade cada vez mais competitiva e exigindo do produtor maior nível de especialização, capacidade de gerenciamento e profissionalismo. Os produtores, além de administradores, cada vez mais terão de assumir a função de produtores-pesquisadores de suas áreas, atuando diretamente na coleta de informações, interagindo com novas técnicas e tomando decisões eficazes de manejo. A viabilização da atividade, com a obtenção de lucro satisfatório, está sempre em risco em decorrência de fatores controláveis e incontroláveis que definem a produção agrícola. Portanto, a aplicação dos recursos disponíveis de forma eficiente é indispensável como garantia de sucesso. Para que isso possa acontecer, é crucial a obtenção de informações sobre os fatores de produção que interagem na lavoura e sobre como eles podem ser maximizados.

A Agricultura de Precisão (AP) (também denominada “Precision Farming”, “Precision Agriculture” e “Site Specific Crop Management”) é um sistema de gerenciamento que surgiu com esse objetivo. Seu crescimento foi alavancado por avanços tecnológicos envolvendo: sistema de posicionamento global (SPG ou GPS), sensoriamento remoto, aplicação de insumos em taxas variáveis, sistema de informação geográfica (SIG ou GIS), entre outros. Esses produtos tecnológicos possibilitam visualizar e manejar a área agrícola de acordo com a variabilidade espacial e temporal dos fatores edafoclimáticos, diferentemente do que era possível até então, quando a área era considerada uniforme e, portanto, manejada como tal. No entanto, a Agricultura de Precisão meramente baseada em soluções tecnológicas milagrosas vem aos poucos evoluindo para uma situação mais promissora e que realmente demonstre potencialidade e resultados. Problemas como interpretação do grande volume de dados obtidos, elevado custo de equipamentos, adaptação de técnicas para diferentes partes do mundo, visualização mais ampla dos sistemas envolvidos na definição da variabilidade, aumento do número de projetos e de parcerias entre empresas privadas, entidades de pesquisa, cooperativas e produtores e popularização

dos fundamentos da AP têm feito com que se tenha um presente real e se projete um futuro promissor para as práticas associadas a essa tecnologia.

Segundo Molin (2002), uma definição mais atual de AP com visão sistêmica do conjunto de ações que a compõe pode ser adotada: a AP seria, acima de tudo, um sistema de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola que emprega um conjunto de tecnologias e procedimentos para que as lavouras e sistemas de produção sejam otimizados, tendo como elemento-chave o manejo da variabilidade da produção e dos fatores envolvidos.

A questão mais importante evidenciada pela AP é mostrar a variabilidade das áreas agrícolas e fazer com que sejam criadas alternativas de manejo que levem em consideração tal diversidade. A aplicação de determinada prática no local e momento em que apresente maior potencial de resposta, com menor impacto ambiental e com resultados econômicos e sociais satisfatórios, deve nortear as ações nessa área. Portanto, a AP não pode ser relacionada somente ao emprego de máquinas e implementos altamente sofisticados, de custo elevado e de manejo complexo, mas, sim, constituir um indicativo de manejo mais eficiente dos fatores de produção.

Em busca desses objetivos, é fundamental que tanto a atividade de pesquisa como o manejo de culturas produtoras de grãos nas lavouras comerciais passem a conferir maior importância à variabilidade presente nas áreas agrícolas.

Um exemplo das potencialidades de filosofias que levam em consideração a variabilidade reside no baixo aproveitamento do potencial genético das principais culturas produtoras de grãos. Tomando-se como exemplo, a cultura de trigo no Rio Grande do Sul, o trabalho de melhoramento de plantas realizado por diversas instituições tem disponibilizado cultivares capazes de atingir rendimento de grãos superior a 5.000 kg/ha, mesmo em condições de lavoura. Entretanto, o que se verifica, na média das lavouras, considerando-se as últimas cinco safras (1999 a 2003), é que esse rendimento está na faixa de 1.400 a 2.300 kg/ha.

Outro exemplo real é proveniente da cultura de milho nos Estados Unidos da América. O rendimento máximo de grãos de milho que tem sido obtido nesse país é de 23.203 kg/ha, sendo 35% desse rendimento (8.121 kg/ha) próximo da média nacional. Um produtor pode apresentar grande eficiência produtiva e obter somente 35% do rendimento possível, e quanto o rendimento do produtor irá aproximar-se dos recordes, dependerá da correção adequada dos fatores limitantes, em conjunto com princípios e com a realidade econômica e ambiental (Wallace, 1993). Isso demonstra a grande defasagem entre o que é biologicamente possível e o que é realmente obtido pelos produtores.

Portanto, a adoção de práticas de manejo de maior precisão, que levem em consideração a variabilidade, pode trazer benefícios às culturas, principalmente pela possibilidade de maior expressão do potencial genético, não somente em determinadas áreas da lavoura com condições mais favoráveis, mas, sim, em toda a área cultivada.

Tratar o tema AP de forma genérica seria um erro. Assim, seus diversos fundamentos e ferramentas serão enfocados com a possibilidade de uso isolada ou conjuntamente, dependendo de condições como necessidade de cada produtor, problema foco, capacidade de investimento, nível tecnológico, nível educacional do produtor, entre outras.

Este artigo tem por objetivo revisar e discutir alguns conceitos e conhecimentos sobre a AP tratando de aspectos relacionados à aplicação da tecnologia no Sul do Brasil e principais dificuldades e potencialidades, com enfoque especial em sistemas de produção de grãos.

2 – O início da Agricultura de Precisão

Antes mesmo da revolução industrial e do processo de mecanização da atividade agrícola, os agricultores já se mostravam capazes de reconhecer a variabilidade espacial de certas características físico-químicas e biológicas das áreas cultivadas. A própria divisão dessas áreas em talhões reflete essa capacidade de discernimento. Até então, o uso de trabalho braçal e/ou tração animal permitia aos agricultores tratar áreas com menor ou maior fertilidade ou com infestação de pragas, doenças e plantas daninhas de forma diferenciada (Fraisse, 1998).

Atualmente, é possível identificar áreas manejadas dessa forma em numerosos locais do Brasil. Por exemplo, nas regiões coloniais do Rio Grande do Sul, com propriedades de topografia acidentada e com pequenas áreas de cultivo, é possível observar uma agricultura diversificada, em que a alocação das culturas é feita de acordo com as características de cada talhão e o produtor conhece o potencial de cada área e pratica o manejo específico em cada situação. Esse tipo de manejo, que prescinde de equipamentos de alta tecnologia, pode ser considerado também uma forma, embora empírica e muitas vezes inconsciente, de agregar maior precisão à atividade agrícola. Assim, ao contrário do que muitos pensam, os princípios da AP não são uma novidade nas áreas cultivadas intensivamente e nas quais o trabalho era realizado manualmente.

Os fundamentos da AP moderna, segundo a literatura, surgiram em 1929, nos Estados Unidos da América, e foram descritos por Linsley e Bauer na circular n° 346 da Estação Experimental Agrícola da Universidade de Illinois (Goering, 1993). Nessa época, os autores haviam constatado a existência de grandes variações quanto à necessidade de calagem em determinada área e que a aplicação de calcário deveria respeitar essa variabilidade. Essa filosofia, entretanto, foi preterida em virtude do desenvolvimento de equipamentos de tração mecânica que facilitaram a aplicação de insumos em taxas uniformes. O ressurgimento e disseminação da AP, na forma em que hoje é conhecida, ocorreu somente na década de 80, quando microcomputadores, sensores e sistemas de rastreamento terrestres ou via satélite foram disponibilizados e

possibilitaram a difusão das técnicas (Balastreire, 1998).

Os avanços iniciais nessa área foram subsidiados pela disponibilização de satélites para a localização de pontos na superfície terrestre por meio do sistema GPS. A partir daí, foram criadas e/ou reunidas numerosas ferramentas, como SIG, sensoriamento remoto, tecnologias de aplicação em taxa variada (VRT), sensores, monitores de colheita, entre outras, que auxiliaram na identificação e no manejo da variabilidade de áreas agrícolas.

Nos primeiros dez anos, as pesquisas na área concentravam-se no desenvolvimento de sensores. Com a disponibilização do GPS – conjunto de satélites americanos que foram empregados na “guerra fria” – a partir de 1990, houve considerável incremento nas pesquisas voltadas para a AP. Em geral, todos os grandes centros de pesquisa em engenharia agrícola e agricultura estão trabalhando no desenvolvimento de técnicas de AP, e as indústrias de máquinas agrícolas têm acompanhado este desenvolvimento. Atualmente, grande número de indústrias fabricam máquinas e sistemas de controle, e há empresas especializadas no desenvolvimento de “softwares” para a AP (Mantovani & Gomide, 2000).

A AP no mundo tem se destacado principalmente nos Estados Unidos da América, mas muitos relatos têm sido divulgados sobre o desenvolvimento da tecnologia, tanto em pesquisa como na aplicação prática, em países como Alemanha, Argentina, Austrália, Brasil e Inglaterra.

Nos Estados Unidos da América, estimativas feitas em 2001 já indicavam a existência de 30 mil colhedoras equipadas com monitores de colheita (capazes de indicar variabilidade no rendimento de grãos das culturas) e a perspectiva para 2002 de que 35% da área cultivada teria colheita monitorada e 32% da área seria coberta por amostragem de solo em gride (técnica de amostragem de solo empregada para representar a variabilidade do solo). Também indicavam que o maior uso das ferramentas da AP estaria concentrado no meio-oeste americano, em relação ao restante do país (Molin, 2001).

Embora a AP tenha começado com enfoque em culturas produtoras de grãos (principalmente pela extensão da área que ocupam), os fundamentos podem ser aplicados em qualquer cultura. Atualmente, há estudos em desenvolvimento com grande número de espécies, como algodão, cana-de-açúcar, laranja, café, amendoim, chá, tomate industrial e frutíferas em geral (Molin, 2002).

No Brasil, as primeiras ações de pesquisa na área foram realizadas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP) em 1997, onde um trabalho pioneiro com a cultura de milho resultou no primeiro mapa de variabilidade de colheita do Brasil (Balastreire et al., 1997). Também foram disponibilizadas, por várias empresas tradicionais do setor de máquinas e implementos agrícolas, ferramentas como monitores de colheita, amostradores de solo e equipamentos para a aplicação de insumos em taxa variada, que foram divulgadas e disponibilizadas ao produtor. Houve também crescimento nas iniciativas de

pesquisa/extensão em AP, com envolvimento de intuições como ESALQ-USP, UNICAMP, Embrapa, Fundação ABC, IAPAR, UFSM, além de numerosas empresas privadas do setor agrícola e tecnológico e de cooperativas de produtores, bem como de produtores de forma isolada. São, também, cada vez mais numerosos os relatos e a divulgação de iniciativas na área, envolvendo várias culturas em diferentes estados brasileiros.

Em termos de qualificação na área de AP, é louvável a iniciativa da ESALQ-USP, que, em seu Departamento de Engenharia Rural, oferece Agricultura de Precisão como disciplina optativa (Molin, 2002).

Na área científica, merece destaque a publicação, a partir de 1999, do periódico "Precision Agriculture", voltado à divulgação de avanços científicos na área de AP.

Além do expressivo número de publicações sobre o tema, encontra-se disponível pela Internet grande quantidade de informações sobre os mais diversos setores ligados à AP, sendo crescente também o envolvimento de pesquisadores na geração de trabalhos técnico-científicos sobre a AP.

3 - Tipos de variabilidade, respectivas causas e manejo

Uma maneira conveniente de simplificar o manejo de culturas agrícolas é considerar o ambiente de produção como uma "caixa-preta" com entradas e saídas. A "caixa-preta" descreve a função biofísica da lavoura. As entradas podem ser controláveis, como fertilizantes, sementes ou agroquímicos, ou incontroláveis, como radiação solar incidente, precipitação pluvial e temperatura. O sistema todo está sujeito a perturbações, que acredita-se serem incontroláveis e maldefinidas. É possível conhecer algo sobre as relações entre essas entradas e saídas, mas esse conhecimento é incompleto (Cook & Bramley, 1998).

Deve-se lembrar que o rendimento de grãos de uma cultura qualquer é o resultado da interação entre vários fatores que influenciam uma comunidade de plantas durante a ontogenia, e como tal deve ser encarado.

Alguns estudos que visam a identificar os fatores determinantes do rendimento de grãos quantificam-nos em 52, entre controláveis e incontroláveis. Destes, 45 são controláveis e sete, representados, por exemplo, por precipitação pluvial, temperatura e concentração de gases na atmosfera, somente podem ser manejados indiretamente (Tisdale et al., 1993).

Assim, um conceito que deve ser levado em consideração, quando se discutem fatores determinantes do rendimento de grãos e a variabilidade deste nas áreas agrícolas, é a chamada "Lei dos Máximos". Essa lei está fundamentada no fato de que, em sistemas de produção intensamente manejados e com elevado retorno, é

necessária a identificação do maior número possível de fatores que limitam o rendimento de grãos e o grau de limitação que cada um impõe. Assim, o efeito de determinado insumo ou prática de manejo é progressivamente aumentado à medida que os fatores limitantes são eliminados ou minimizados. Dessa forma, o rendimento de grãos poderá ser máximo somente se não houver mais fatores limitantes (Wallace, 1993). Essa lei demonstra quão difícil é estabelecer e manter uma área com níveis elevados de rendimento de grãos e com reduzida variabilidade.

Buscando entender melhor a suposta “caixa-preta” que é um sistema de produção agrícola, a filosofia da AP representa uma nova forma de visualização e de manejo do ambiente de produção, a qual apresenta, como princípio básico a observação da variabilidade dos fatores de produção.

A variabilidade dos fatores de produção está associada a múltiplas causas, desde a variabilidade climática até à representada pelo ambiente em torno de uma única semente (solo, oxigênio, disponibilidade de água e nutrientes etc.) que é depositada no solo. Entretanto, as formas de variabilidade que estão sendo estudadas e manejadas em AP podem ser classificadas em “Variabilidade Espacial” (aquela que ocorre com um atributo na área, por exemplo: variação da concentração de fósforo no solo em uma área de 20 hectares), “Variabilidade Temporal” (aquela que ocorre ao longo do tempo, por exemplo: disponibilidade de água no solo em função da sazonalidade da precipitação pluvial) e uma terceira (que representa a ação do homem nas duas primeiras), chamada “Variabilidade Induzida pelo Manejo” (aquela criada pelas decisões de manejo tomadas nas áreas de cultivo, por exemplo: alocação de culturas e regulação de máquinas). Esta última ocorre, por exemplo, quando há máquinas desgastadas e desreguladas, sistemas de cultivo diferenciados, partes da lavoura deixadas em pousio por vários anos e deficiência no controle de plantas daninhas (Farnham, 2000).

A importância do uso de técnicas para identificação e mapeamento da variabilidade inerente a vários fatores de produção pode ser percebida na área de melhoramento de plantas. Nessa área, a variabilidade espacial afeta a diferenciação entre genótipos (Brownie et al., 1993) e aumenta a variância do erro experimental (Ball et al., 1993). Isso pode levar a decréscimos na resposta à seleção e à redução na precisão dos procedimentos estatísticos de análise (Vollmann et al., 2000). Em áreas de experimentação agrônômica, o efeito de tratamentos pode, também, ser mascarado pela variabilidade espacial, dificultando a diferenciação entre tratamentos (Scharf & Alley, 1993). Também em lavouras comerciais, a variabilidade é responsável por implicações de ordem ambiental, econômica e de manejo das culturas.

Portanto, o emprego de técnicas de amostragem e de geoestatística permite precisão e benefícios maiores nas áreas citadas anteriormente, por meio da localização, do entendimento e da minimização da variabilidade.

Para se ter idéia da magnitude da variabilidade de alguns fatores de produção, cita-se o estudo realizado por Mulla (1993) em uma área de lavoura de 8 hectares. O

autor usou o coeficiente de variação (CV) como medida da variabilidade e obteve os seguintes valores para 172 amostras de solo: nitrato = 39,7%; fósforo = 50,5%; matéria orgânica (%) = 41,3%; pH do solo = 10,8%; e rendimento de grãos = 29,4%.

Em áreas sob sistema plantio direto no Rio Grande do Sul (média de 8 lavouras), têm sido obtidos valores de CV para atributos de solo da ordem de 9,8% para matéria orgânica; 7,0% para pH em água; 29,9% para potássio; e 33,3% para fósforo (Schlindwein & Anghinoni, 2000)

. Esses valores têm implicação direta, por exemplo, no número de subamostras necessárias para se representar a variabilidade de cada atributo.

Em termos de rendimento de grãos, Balastreire (1998) mostrou, em milho, a seguinte frequência de níveis de rendimento: 10,3% \leq 2,41 t/ha; 24,2% entre 2,41-3,59 t/ha; 47,8% entre 3,59-4,76 t/ha; 16,7% entre 4,76-5,94 t/ha; e 1,0% $>$ 5,94 t/ha.

Trabalhos realizados por Amado et al. (2004) numa lavoura de 57 hectares em Palmeira das Missões, RS, em área considerada com fertilidade do solo adequada, mostraram diferenças de rendimento de grãos de 25 a 70 sacos por hectare de soja e de 75 a 150 sacos por hectare de milho.

Esses estudos demonstram que alguns atributos – de solo, de planta ou de clima – têm maior amplitude de variação que outros, tornando seu manejo mais difícil, e geram a necessidade de estratégias de ação específicas.

O primeiro ponto que se deve ter em mente, quando se objetiva manejar a variabilidade dos diferentes fatores envolvidos na produção agrícola, é a necessidade de conviver com ela e entendê-la, sem a presunção de achar possível sua eliminação, ou seja, é importante mapear e manejar a variabilidade de cada fator de interesse, minimizando-a em níveis possíveis técnica e economicamente.

Para minimizar a variabilidade é necessário, primeiramente, que se conheça sua magnitude, identificando-a e quantificando-a, por meio de parâmetros de solo, de planta e de clima, mapeando “áreas problemas” (com níveis abaixo dos considerados adequados) e, posteriormente, empregando práticas de manejo capazes de minimizá-las.

Para ajudar a entender as razões da variabilidade e manejá-la corretamente, vários métodos têm sido desenvolvidos, incluindo muitos aplicativos computacionais. Na lavoura, a variabilidade espacial pode ser dividida em dois tipos, pela natureza dos fatores causais: aqueles que ocorrem na camada superficial e aqueles que ocorrem no interior dela. Estes são tipificados por local máximo e mínimo dentro da lavoura segundo fatores de solo e da cultura, e pela diminuição do rendimento de grãos usualmente nas bordas de lavoura, atribuída a diferentes “efeitos de borda”. Primeiramente, devem-se considerar os efeitos físicos e, depois, os químicos, causadores dessa variabilidade. A avaliação dessas áreas pode ser feita pela amostragem em linhas traçadas entre áreas elevadas e baixas, com amostras

regularmente espaçadas, e comparação dos dados com padrões estabelecidos, identificando os fatores limitantes. A variabilidade temporal pode ser obtida pela coleta de dados por vários anos, possibilitando a criação de um “mapa de tendência espacial” que remove o efeito temporal. Outra opção é o “mapa de estabilidade temporal” que identifica as áreas que são estáveis (ou têm sido altamente variáveis) no período considerado (Blackmore & Larscheid, 1997).

Em AP existem dois enfoques para manejar a variabilidade por meio da aplicação variável de insumos: o manejo baseado em mapas e o manejo baseado em sensores (“*sense and apply*” ou “*sense and control*”). O primeiro deles emprega a tecnologia do GPS e se baseia em amostragem e mapeamento dos fatores de produção a serem manejados de forma diferenciada (fertilidade do solo, doenças, rendimento de grãos etc.) e posterior elaboração de mapas de prescrição para a aplicação variável dos insumos (fertilizantes, herbicidas etc.). O segundo enfoque, baseado em sensores, é o sensoriamento direto do solo e/ou cultura para a aplicação imediata dos insumos de forma variável. Neste método, os insumos são aplicados com base em informações obtidas, em tempo real, por meio de sensores, e usadas para controlar, eletronicamente, as operações de campo. O uso de uma técnica ou de outra dependerá do nível tecnológico disponível e do custo operacional envolvido (Zhang et al., 2002).

Um dos complicadores da AP é a busca do “manejo das interações” dos fatores de produção, o que a torna uma atividade de “pesquisa” feita em cada gleba de cada propriedade que adota o sistema e na qual, muitas vezes, os resultados da pesquisa tradicional (formal) não são diretamente aplicáveis, principalmente por isolar os fatores e não avaliar o conjunto destes e suas interações.

Uma vez que os experimentos normalmente realizados em pesquisa são conduzidos em áreas pequenas e/ou sob condições controladas (isolando fatores), muitas vezes eles não representam adequadamente a variabilidade existente em condições de lavoura. Torna-se, então, necessário o desenvolvimento de métodos de análise e de amostragem em lavouras, que sejam de fácil execução e tenham elevada precisão, a fim de se identificarem diferenças no crescimento.

4 - Ferramentas disponíveis e possibilidades de uso

Sistema de posicionamento global (SPG ou GPS), sistema de informações geográficas (SIG ou GIS), tecnologia de aplicação em taxa variável (VRT), monitoramento das áreas (“Crop Scouting”), sensoriamento remoto, monitores de colheita, amostradores de solo, balizadores de aplicação (aérea e tratorizada), sensores de matéria orgânica, sensores de plantas daninhas, sensores de umidade de solo, de pH, de NO₃ no solo, sensores de compactação (penetrômetros), sensores de condutividade elétrica do solo, sensores de doenças, sensores de umidade e de

proteína de grãos, clorofilômetros, sensores de dinâmica da fertilidade (Schoenau & Greer, 1996), pulverizadores de precisão, fotografias aéreas, são algumas ferramentas desenvolvidas ou associadas aos objetivos da AP.

Essas ferramentas podem ser usadas em conjunto ou separadamente, dependendo da necessidade encontrada em cada área e da disponibilidade financeira. O ciclo completo da agricultura de precisão prevê, além das determinações de campo, o processamento de dados e a elaboração de mapas de prescrição ou atributos para a correção de rumos. Para isso, existem numerosos aplicativos computacionais, desenvolvidos por entidades de pesquisa e empresas privadas, capazes de proporcionar o aproveitamento máximo dos dados coletados e a obtenção de informações relevantes para o sistema.

Cada ferramenta disponível apresenta princípios próprios de funcionamento. Por exemplo, sensores de matéria orgânica são baseados em propriedades ópticas do solo, sensores de nutrientes trabalham com eletrodos de íons específicos, as análises de salinidade e de umidade do solo são efetuadas por meio da condutividade elétrica, e a de textura do solo, pelo estudo das propriedades acústicas do solo. Assim, merecem revisão à parte, para discussão mais detalhada.

Entre as múltiplas possibilidades de uso, destacam-se: mapeamento de solos e de culturas, para obter mapas de rendimento, aplicação de insumos em taxas variáveis, orientação na aplicação aérea e terrestre de insumos e uso em sistemas de suporte a tomadas de decisões de manejo. As técnicas de AP têm sido empregadas também para mapear e monitorar áreas de infestação de plantas daninhas, pragas e doenças, o que facilita a adoção de práticas de controle adequadas. Em alguns estudos baseados na reflexão diferencial da radiação incidente sobre a vegetação, sensores distinguem o que é solo e o que é planta daninha, fazendo a aplicação de tratamentos em áreas onde especificamente estas se localizam. Isso possibilita redução da quantidade de herbicida aplicado, diminuição do custo de produção e aumento do rendimento de grãos.

Existem várias possibilidades para a aplicação em taxa variável, que incluem os principais nutrientes de plantas (N, P e K), calcário, sementes, genótipos, agroquímicos, água e práticas de manejo do solo. Para cada insumo, deve ser desenvolvida uma estratégia para guiar com precisão a aplicação variável (Doerge, 2000).

Aeronaves dotadas de DGPS (GPS diferencial - com elevada precisão) permitem, hoje, aplicações de precisão num processo de "balizamento eletrônico", o que traz como vantagens a possibilidade de registro de vôos, maior rendimento operacional da aeronave, possibilidade de vôo noturno e principalmente por evitar erros e riscos inerentes à presença de pessoas como balizadores (Schröder, 1998).

Câmeras digitais podem ser usadas, conjuntamente com GPS, em processos de monitoramento de áreas para auxiliar no diagnóstico e no manejo das mesmas (Reetz Jr., 1998).

No norte do Paraná, GPS tem sido usado para mapear áreas de incidência de nematóide de cisto da soja. Pontos de coleta de amostras, anteriormente identificados por estacas, podem ser demarcados por meio de DGPS, para que possam ser reconhecidos posteriormente (Mônico et al., 1998).

Penetrômetros hidráulicos (medidores da compactação do solo) montados em veículos dotados de GPS possibilitam a criação de mapas de compactação de solo. Num estudo em que se empregou essa ferramenta, detectou-se que, muitas vezes, as áreas em que determinada cultura apresentou rendimento elevado são as áreas mais compactadas, pois o mesmo conteúdo de argila que proporciona armazenamento de água também promove compactação. Este equipamento pode permitir não somente a identificação de áreas a serem descompactadas, mas a regulação automática do implemento de descompactação para que trabalhe na profundidade que deve ser descompactada (Russnogle, 2000).

Várias ferramentas para análise de N no solo e no tecido de plantas estão disponíveis. Uma delas é o clorofilômetro, que, em diversos estudos, mostrou grande correlação entre a medição da clorofila da folha e o conteúdo de N da folha e correlação entre a clorofila da folha em estádios reprodutivos com o rendimento de grãos, demonstrando que quanto maiores as leituras, mais elevado o rendimento de grãos. Surgiu também a possibilidade de conjugar o clorofilômetro com um “data logger” e com um sistema de DGPS, para georeferenciar as leituras e auxiliar no manejo de N (Thurow, 1997).

Sensores de proteínas do grão poderão ser empregados, em futuro próximo, para auxiliar no manejo de nitrogênio na cultura de trigo, pois a leitura de proteína no grão está correlacionada com N e disponibilidade de água (Engel et al., 1997).

5 – Benefícios esperados

A agricultura dita “convencional”, com intensa aplicação de insumos e impacto ambiental negativo, vem sendo cada vez mais questionada em sua viabilidade, e há forte pressão da sociedade quanto ao desenvolvimento de tecnologias limpas, com maior sustentabilidade e com retornos sociais e econômicos satisfatórios. Nesse contexto, os fundamentos da AP podem trazer benefícios nos mais diversos campos de atuação. Por exemplo, a aplicação localizada de agroquímicos pode contribuir para reduzir o impacto no ambiente, em algumas situações. O aumento substancial no fluxo de informações para o processo de tomada de decisões para a lavoura pode diminuir o risco de insucessos.

Alguns benefícios da AP podem ser sumariados em:

- melhor controle da área de cultivo mediante o conhecimento da variação do rendimento de grãos de local para local;
- uso racional de insumos, para maior retorno;
- menor impacto ambiental e melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo;
- priorização dos investimentos em insumos nas áreas em que o potencial de rendimento de grãos é maior, garantindo maior possibilidade de retorno econômico com menor investimento (salienta-se que o retorno econômico obtido dependerá da variabilidade da área trabalhada e da importância econômica da cultura);
- maior fluxo de informações para direcionar a tomada de decisões de manejo; e
- valorização da propriedade rural.

Exemplo da redução no impacto ambiental pelo uso da tecnologia de AP pode ser verificado em estudo conduzido na Europa, em que a aplicação de herbicidas em taxa variável resultou em economia de produto na faixa de 15 a 19% em cevada, 9 a 89% em trigo, 12 a 94% em milho e 30 a 72% em soja (Christensen et al., 1999), reduzindo assim a quantidade de produtos tóxicos lançada no ambiente.

Do ponto de vista econômico, a aplicação localizada permite a priorização do investimento em insumos (fertilizantes, sementes etc) nas áreas em que o potencial de rendimento de grãos mostra-se mais efetivo, o que garante a possibilidade de maior retorno econômico com menor investimento. A mesma vantagem pode ser verificada no caso dos tratamentos fitossanitários, pois a aplicação localizada pode significar reduções de mais de 60% nas quantidades de defensivos aplicados. Considerando-se os aspectos ambientais, a racionalização a redução do uso de fertilizantes e agrotóxicos devem ser consideradas como os principais benefícios da adoção da AP.

É importante, entretanto, que se tenha consciência de que os benefícios esperados com a AP são dependentes de fatores como variabilidade encontrada em cada área, tecnologia e soluções de manejo empregadas, entre outras. Por exemplo, pode haver lavouras em que seja necessário, inicialmente, aumentar a aplicação de fertilizantes. Em lavouras nas quais a maior parte da área tem baixa fertilidade, a redução da variabilidade e a obtenção de rendimento de grãos mais próximo do potencial da área podem exigir maior quantidade de insumos. Portanto, generalizações configurando que haverá benefícios diretos e em curto prazo em todas as áreas manejadas sob os preceitos da AP caracterizam-se como erro de avaliação.

6 - Agricultura de precisão e sistema plantio direto

A adoção de novos fundamentos de manejo é sempre difícil, principalmente quando estes representam quebras de paradigmas estabelecidos. Especificamente, a adoção e a disseminação do sistema plantio direto no Brasil foram marcadas por dificuldades e incertezas. A Agricultura de Precisão passa pelas mesmas situações, principalmente quando usada em condições diferentes daquela para a qual foi concebida. Nesse sentido, adaptações são necessárias, para implantação dos conceitos da AP no sistema plantio direto. Sabe-se que a dinâmica, por exemplo, da fertilidade do solo, bem como as relações hidrológicas, o ciclo de vida de pragas e a incidência de plantas daninhas, são substancialmente modificadas nesse sistema. A presença de palha na superfície do solo é fator a ser avaliado para emprego de várias ferramentas da AP. Outro fator a ser considerado é o aumento da fertilidade na camada superficial do perfil solo. Assim, adaptações são necessárias, e acredita-se que serão possíveis por meio do aproveitamento do vasto conhecimento gerado sobre o sistema por instituições de pesquisa brasileiras.

Por exemplo, a alocação de culturas pode causar variabilidade. Milho geralmente produz elevada quantidade de palha, que resulta em maior e mais duradoura cobertura do solo e maior imobilização de N. Já soja produz menor quantidade de palha, com menor e menos duradoura cobertura de solo, mas com fixação simbiótica de N e incorporação ao sistema. No entanto, a variabilidade causada por diferentes culturas predecessoras pode ser de curta duração (em uma mesma estação de crescimento ou ciclo de rotação), pois a rotação de culturas realizada de forma eficiente pode permitir a adição de quantidades similares de palha, nutrientes e matéria orgânica ao sistema, ao longo do tempo.

Problemas como compactação de solo podem ser atualmente mapeados usando-se algumas ferramentas da AP, que localizam com precisão áreas em que os níveis de compactação são realmente restritivos ao crescimento de plantas e proporcionam a aplicação de medidas corretivas somente nesses locais, evitando a adoção de medidas drásticas, como aração e gradagem em área total. A presença de insetos-pragas pode também ser mapeada pelo emprego de práticas de controle restritas às áreas de ocorrência.

7 – Simplicidade x complexidade

Embora a AP esteja, na maioria das vezes, relacionada ao uso de ferramentas de alta tecnologia, seus fundamentos podem ser empregados com idéias criativas, marca registrada de produtores brasileiros para driblar as dificuldades do dia-a-dia. Exemplo disso é o manejo da adubação proposto por Leh (1997). O autor tem posto em prática, no Paraná, a idéia de dividir as áreas em talhões, realizar a análise de solo para cada área e fazer a indicação de adubação (segundo fórmulas mais próximas do necessário ou mediante formulação de adubos básicos que contenham a quantidade

de nutrientes indicada pela recomendação de adubação e de calagem). Esse método, além de permitir adubação mais equilibrada, tem gerado redução expressiva nos custos de produção.

Também a simples demarcação de áreas-problema, ou “manchas” que destoam do padrão da lavoura, para realização de manejo específico, empregando, por exemplo, uma linha com uma cultura diferente ou um sulco no solo, pode trazer benefícios.

A mera divisão das lavouras em diferentes talhões, com análise de solo por talhão e controle do que é aplicado e colhido e dos eventos que ocorrem em cada área, caracteriza-se como técnica que confere maior precisão à atividade agrícola.

Assim, simplesmente promover maior organização e controle das atividades diárias e dos recursos materiais disponíveis para condução das lavouras pode ser o passo inicial para adoção, se necessário, da AP mais tecnificada e de maior investimento.

8 – Dificuldades e limitações

Dentre as limitações da AP citadas, destacam-se:

- em muitas situações o agricultor não dispõe de recursos para adquirir um sistema completo;
- sistemas podem ser lucrativos em determinadas situações, mas poderão não o ser em todas;
- a maioria das instituições ainda não está preparada para a AP;
- para atingir o máximo potencial, será necessário saber manejar e integrar todos os dados obtidos, porém isso ainda está indefinido;
- a adoção das técnicas estará sujeita aos altos e baixos da atividade agrícola;
- custo fixo elevado;
- dificuldade operacional (a maioria das ferramentas está dimensionada para grandes áreas);
- falta de instrução do produtor;
- a adoção implica mudanças profundas nos processos de manejo de determinadas operações, o que requer nova formação e reciclagem por parte dos envolvidos no processo;

- equipamentos disponíveis ainda não estão perfeitamente adequados ao trabalho em campo e seu custo é muito elevado;
- carência de treinamento formal. Os cursos formais são poucos e faltam opções para treinamento de produtores; e
- dificuldade no entendimento dos fatores relacionados com a variabilidade.

Existem ainda limitações tecnológicas que devem ser superadas para crescimento mais rápido da AP. Problemas como falta de compatibilidade dos aplicativos computacionais usados e necessidade de calibração freqüente de sensores, que podem ser afetados por mudanças na topografia, no fluxo de grãos e no tipo de cultura e pela presença de impurezas na colheita, devem ser minimizados. A oferta reduzida de oficinas dotadas de equipamentos específicos e de mecânicos especializados também deve ser considerada (Alonço, 1998).

A maior dificuldade, entretanto, ainda reside em trabalhar grande volume de informações sobre variabilidade espacial e temporal e interpretá-las para tomada de decisão em campo. O sistema água-solo-planta-atmosfera e os processos físico-químico-biológicos presentes são complexos, e não são mensuráveis em larga escala (bacia hidrográfica). O clima é um fator de grande peso, e as incertezas nas modelagens devem ser minimizadas para tomada de decisão (Torre-Neto, 1997). Assim, acredita-se que iniciativas recentes associadas à criação de grupos, envolvendo universidades, instituições de pesquisa, empresas privadas e produtores, podem brevemente trazer soluções práticas para os problemas verificados atualmente.

9 – Visão mais ampla é necessário

Alguns trabalhos relacionam características de solo (por exemplo, fertilidade) como únicos fatores determinantes do rendimento de grãos das culturas agrícolas. Isso acarreta frustração quando, em alguns casos, uma vez minimizada a desuniformidade da fertilidade, a área ainda apresenta grande variabilidade, decorrente de outros fatores de maior magnitude. Exemplos da falta de correlação entre atributos de solo e rendimento de grãos têm sido relatados por Mallarino (1999) e por Molin (2002).

Sabe-se do impacto de fatores do solo sobre o rendimento das culturas, no entanto, muitos produtores que buscam a AP já empregam elevada tecnologia em suas propriedades, com aplicação de fertilizantes e adoção de técnicas, como plantio direto e rotação de culturas, que garantem elevação do nível de matéria orgânica e de nutrientes em suas áreas. Nessas situações, outros fatores, que não a fertilidade, podem estar atuando na definição da variabilidade espacial e temporal das áreas.

No Sul do Brasil, acredita-se que o fator mais importante seja a disponibilidade hídrica (distribuição espacial e temporal da quantidade de chuva, associada a fatores de cada área determinantes da disponibilidade de água para as plantas). Como esse fator depende de fatores múltiplos, como tipo e estrutura de solo, conteúdo de M.O., quantidade de palha sobre o solo, arranjo de plantas e do próprio crescimento das culturas, sua determinação é fundamental para entender o padrão de distribuição espacial e temporal da variabilidade e garantir o manejo adequado.

10 – Potencialidades em trigo

A cultura de trigo assume grande importância em sistemas de produção de grãos, principalmente no Sul do país. Apresenta vários aspectos que podem ser manejados com técnicas de AP.

Um fator muito importante na determinação do potencial de rendimento de grãos de trigo e da qualidade destes é a disponibilidade de nitrogênio para a cultura. Tal nutriente pode ser manejado com aplicações em taxas variáveis por meio de sensores, com aplicação em tempo real ou por meio de mapas de prescrição, garantindo a quantidade correta de fertilizante e reduzindo perdas, por exemplo, por acamamento decorrente de excesso de nitrogênio aplicado.

Outra possibilidade de uso dos conceitos da AP é a alocação de cultivares segundo a vocação de cada talhão. Atualmente, existem cultivares com características diferenciadas que poderiam ser indicadas para situações distintas. Por exemplo, cultivares indicadas para níveis de fertilidade mais elevados (com maior potencial de rendimento e/ou com estatura mais baixa) e cultivares para menor demanda tecnológica. Cultivares com características qualitativas superiores, que necessitam de condições de cultivo mais favoráveis para expressar tais características, poderiam ser alocadas em talhões de maior potencial. Cultivares com maior nível de tolerância a geadas podem ser indicadas para talhões localizados em partes mais baixas do terreno.

11 – Perspectivas

Como método promissor, e que já vem sendo adotado por alguns produtores no Brasil, tem-se o “manejo em zonas”. Uma zona de manejo pode ser definida como uma porção da lavoura que possui uma combinação homogênea de fatores limitantes do rendimento de grãos em que uma única taxa de um insumo específico é apropriada (pode ser manejada de maneira uniforme) (Zhang et al., 2002). Baseado na divisão da

área em zonas homogêneas, e que, portanto, podem receber um mesmo tratamento, essa técnica pode tornar-se uma etapa intermediária entre a agricultura com base na aplicação uniforme e a agricultura com precisão submétrica (altamente tecnificada).

Exemplo prático desse conceito é mostrado por Coelho (2004), que avaliou uma lavoura de milho de 25 hectares sob sistema plantio direto e verificou variabilidade relativamente elevada na saturação por alumínio, com valores variando de 0 a 44% (média de 10% \pm 12%). Com base no levantamento de solos a área foi dividida em duas zonas de manejo para a aplicação de calcário. Uma representando 77% da área, na qual é necessário aplicar 1,12 t/ha de calcário, e outra, que representa 23% da área, e é necessário aplicar 3,0 t/ha de calcário (Tabela 1).

O uso de técnicas de “amostragem inteligente”, coletando-se amostra de solo somente em áreas da lavoura que caracterizam a fonte de variabilidade, pode reduzir custos associados a testes de solo e de tecido (Farnham, 2000).

O desenvolvimento e aprimoramento de novos sensores também é necessidade que vem sendo trabalhada em muitos laboratórios no mundo.

Parcerias e formação de consórcios de empresas públicas e privadas, com envolvimento de universidades e produtores, sem dúvida, devem se tornar, num futuro próximo, a melhor forma de gerar avanços rápidos na AP no Brasil.

12 – Considerações finais

A agricultura do Sul do Brasil é baseada na produção de grãos, sendo muito dinâmica e com variados sistemas de produção, de diversidade climática e de tecnologia aplicada na lavoura. Isso impõe a necessidade da adaptação de ferramentas e métodos específicos para atender a essa diversidade de situações.

Também é importante levar em consideração que os novos conceitos de AP foram alavancados, inicialmente, por grandes avanços tecnológicos postos a disposição do setor agrícola. Ressurgiu rodeada de um espírito de otimismo decorrente do apelo tecnológico referente às múltiplas ferramentas que podem ser empregadas. No entanto, não se considerou, num momento inicial, que todo esse aparato seria usado para avaliar processos, muitas vezes biológicos, que não são facilmente explicados matematicamente já que não se tem correlação entre a ação e o resultado. Existem, ainda, limitações tecnológicas que devem ser enfrentadas, como a falta de compatibilidade dos aplicativos computacionais e a imprecisão de sensores.

A aquisição de ferramentas da AP meramente com sentido de adotar uma nova tecnologia não se justifica. É importante a associação das tecnologias, nas suas mais amplas possibilidades, a um acompanhamento técnico especializado, baseado no

conhecimento básico gerado pela pesquisa e em novas pesquisas que devem ser realizadas com enfoque no manejo da variabilidade dos fatores de produção.

Ante o exposto, é possível afirmar que em AP não existe um modelo único de ação, pois o padrão da variabilidade (principal foco do sistema) presente nas áreas de produção não se repete mesmo em pequenas áreas. Portanto, cada situação representa um problema de manejo novo e desafiador.

As perspectivas para a Agricultura de Precisão no Brasil são positivas, à medida que se realizem estudos que integram as várias áreas de conhecimento envolvidas. O ganho de precisão na predição de resultados da aplicação de insumos deve ser aumentado, conforme se forem tornando mais bem entendidos e mapeados os fatores que contribuem para a variabilidade.

13 - Referências Bibliográficas/Eletrônicas

ALONÇO, A. dos S. Agricultura de precisão x Agricultura convencional. In: ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESCOLAS AGROTÉCNICAS E AGRÍCOLAS FEDERAIS DA REGIÃO SUL, 11., 1998, Pelotas. **Anais....** Pelotas: UFPel, 1998. 13 p.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; PONTELLI, C. B.; VEZANI, F. Agricultura de Precisão como ferramenta de aprimoramento do manejo do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, p. 46-54, 2004. Número especial.

BALASTREIRE, L. A. A experiência com pesquisas em Agricultura de Precisão na ESALQ-USP. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 4., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Microservice, 1998. 1 CR-ROM.

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, A. I.; AMARAL, J. R. do. Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 97-111, 1997.

BALL, S. T.; MULLA, D. J.; KONZAK, C. F. Spatial heterogeneity affects variety trial interpretation. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 5, p. 931-935, 1993.

BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. Strategies for managing variability. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. Warwick: Warwick University Conference Centre. Disponível em: <www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/>.

BROWNIE, C.; BOWMAN, D. T.; BURTON, J. W. Estimating spatial variation in analysis of data from yield trials: a comparison of methods. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 6, p. 1244-1253, 1993.

CHRISTENSEN, S.; WALTER, A. M.; HEISEL, T. The patch treatment of weeds in cereals. In: BRIGHTON CONFERENCE ON WEEDS, 1999, Brighton, UK. **Proceedings...**, Brighton: British Crop Protection Council, 1999. v. 2, p. 591-600.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão no gerenciamento da fertilidade do solo sob PD no Cerrado. **Direto no Cerrado**, Brasília, n.37, p. 10, 2004.

COOK, S. E.; BRAMLEY, R. G. V. Precision agriculture – opportunities, benefits, and pitfalls of site-specific crop management in Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 38, p. 753-763, 1998.

DOERGE, T. A. **Management zone concepts. Site-Specific management guidelines.** 2000. Disponível em: <<http://www.farmresearch.com/ssmg/ssmg-02/002-print.ftm>>

ENGEL, R.; LONG, D.; CARLSON, G. On-the-go grain protein sensing is near. Does it have a future in precision nitrogen management for wheat? **Better Crops**, Norcross, v. 81, n. 4, p. 20-23, 1997.

FARNHAM, D. E. **Site-specific crop management: what have we learned and where do we go from here?** Ames: Iowa State University-Department of Agronomy, 2000. 6 p.

FRAISSE, C. Agricultura de Precisão: a tecnologia de GIS/GPS chega às fazendas. **Revista Fator GIS**, Curitiba, n. 21, p. 28-33, 1998.

GOERING, C. E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 65, n. 6, p. 25, 1993.

LEH, W. **Agricultura de Precisão no manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto.** Passo Fundo, 7 out. 1997. Palestra proferida no II Seminário Internacional do Sistema Plantio Direto, Passo Fundo, Embrapa Trigo e Revista Plantio Direto, 1997.

MALLARINO, A. P. Interpreting within-field relationships between crop yields and soil and plant variables using factor analysis. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 1, n. 1. p. 15-25, 1999.

MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L. Agricultura de Precisão. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 16-18, 2000.

MOLIN, J. P. A realidade de hoje na agricultura de precisão. **Informativo da Fundação ABC**, Castro, p. 4-6, 2001.

MOLIN, J. P. **Desafios da agricultura brasileira a partir da agricultura de precisão.** In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 3., 2002, Campinas. 9 p. Disponível em:

<[http://www.potafos.org/ppiweb/pbrazil.nsf/\\$webindex/article=36ED230B83256C950066174233DC5CAO!opendocument/](http://www.potafos.org/ppiweb/pbrazil.nsf/$webindex/article=36ED230B83256C950066174233DC5CAO!opendocument/)> Acesso em: 8 jul. 2004.

MÔNICO, J. F. G.; SILVA, E. A. da; CAMARGO, P. de O.; SILVA, J. F. V.; GARCIA, A. O uso do DGPS como suporte ao monitoramento do nematóide de cisto da soja no norte do Paraná. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 4., 1998, Curitiba. **Anais...**, Curitiba: Microservice, 1998. 1 CD-ROM.

MULLA, D. J. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield. In: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. (Ed.). **Soil specific crop management**. Madison: ASA, 1993. p. 15-26.

REETZ Jr, H. F. Digital cameras – a new diagnostic/record tool. **Better Crops**, Norcross, v. 82, n. 1, p. 27, 1998.

RUSSNOGLE, J. Computing compaction. **Soybean Digest**, Minneapolis, v. 60, n. 1, p. 26-27, 2000.

SCHARF, P. C.; ALLEY, M. M. Accounting for spatial yield variability in field experiments increases statistical power. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 6, p. 1254-1256, 1993

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 85-91, 2000.

SCHOENAU, J.; GREER, K. Field mapping of soil nutrient supply rates. **Better Crops**, Norcross, v. 80, n. 3, p. 12-13-17, 1996.

SCHRÖDER, E. P. Tecnologias inovadoras em aviação agrícola. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELLES, S. H. B. **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos**. Santa Maria: 1998. p. 87-93.

THUROW, M. Electronic tools for field scouting. **Better Crops**, Norcross, v. 81, n. 3, p. 16-17, 1997.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizer**. New York : MacMillan, 1993. 1634 p.

TORRE-NETO, A. Conceitos, princípios, vantagens e potencialidades da agricultura de precisão. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa – CNPT, 1997. p. 37-42.

VOLLMANN, J.; WINKLER, J.; FRITZ, C. N.; GRAUSGRUBER, H.; RUCKENBAUER, P. Spatial field variations in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) performance trials affect agronomic characters and seed composition. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 13-22, 2000.

WALLACE, A. The law of the maximum. **Better Crops**, Norcross, v. 77, n. 2, p. 20-22, 1993.

ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N. Precision agriculture – a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 36, p. 113-132, 2002.

Tabela 1. Resultados das análises de solo e da necessidade de calcário, de acordo com as zonas de manejo estabelecidas com base na variabilidade espacial da % de saturação por alumínio da CTC efetiva.

Zona de manejo	pH H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Saturação por Al %	Saturação por bases %	N.C.* t ha ⁻¹	Área %
		cmol _c dm ⁻³					
A	5,94	2,88	0,69	5,51	46,20	1,1	77
B	5,22	1,63	0,20	28,30	23,63	3,0	23
Média	5,80	2,63	0,59	10,00	41,76	1,5	100

*N.C. = necessidade de calcário (PRNT 100%), calculada para elevar a saturação por bases do solo a V = 60%.

Fonte: Coelho (2004).



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: João Carlos Haas

Membros: Beatriz M. Emygdio, Gilberto O. Tomm, José Maurício C. Fernandes, Luiz Eichelberger, Martha Z. de Miranda, Sandra P. Brammer, Sílvio Túlio Spera - vice-presidente

Expediente

Referências bibliográficas: Maria Regina Martins

Editoração eletrônica: Márcia Barrocas Moreira Pimentel

PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO, L.
Discutindo agricultura de precisão – aspectos gerais. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online; 42). Disponível em:
http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm