

S É R I E   A C A D Ê M I C A

# AGRICULTURA DE PRECISÃO

JOSÉ PAULO MOLIN



EDITORA  
pecege



S É R I E   A C A D Ê M I C A

# AGRICULTURA DE PRECISÃO

JOSÉ PAULO MOLIN

PIRACICABA • SÃO PAULO



©2022 PECEGE | Todos os direitos reservados. Permitida a reprodução desde que citada a fonte, mas para fins não comerciais. A responsabilidade pelos direitos autorais de texto e imagens desta obra são dos autores.

# EXPEDIENTE EQUIPE

## ORGANIZADORES

Daniela Flôres  
Maria Cecília Perantoni Fuchs Ferraz  
Ricardo Harbs  
Tatiana Rosa Diniz

## PROJETO GRÁFICO

Ana Paula Mendes Vidal de Negreiros

## REVISÃO

Fernanda Latanze Mendes Rodrigues

### DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP) (CÂMARA BRASILEIRA DO LIVRO, SP, BRASIL)

M722a

Molin, José Paulo.

Agricultura de precisão / José Paulo Molin. -- Piracicaba, SP : PECEGE Editora, 2022.

Série Acadêmica

ISBN: 978-85-92582-46-3

1. Técnicas e tecnologias. 2. Tendências futuras. 3. Automação. 4. Sustentabilidade.

I. Autor. II. Título. III. Série.

CDD: 630

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR FELIPE MUSSARELLI CRB 9935/8

Os direitos autorais sobre as imagens utilizadas nesse material pertencem aos seus respectivos donos.

**PREZADO(A) ALUNO(A),**

Esse material foi desenvolvido no intuito de auxiliá-lo com os estudos nos cursos de **MBA da USP/ESALQ**, servindo como um referencial teórico básico e complementar às aulas oferecidas nos cursos.

Desejamos que esse material, de alguma forma, contribua para acrescentar novos conhecimentos, impulsionar o aprendizado e aprimorar as competências que já possui.

Bons estudos!!!

**EQUIPE PECEGE**





#### **SOBRE O AUTOR**

JOSÉ  
PAULO  
MOLIN

Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas (1983), com mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (1991) e PhD em Engenharia Agrícola, na University of Nebraska (1996). É professor da Universidade de São Paulo, no Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ, em Piracicaba, desde 1989, onde coordena o Laboratório de Agricultura de Precisão e é pesquisador do CNPq. Atua na interface entre a área de Máquinas Agrícolas e a Agricultura de Precisão, especialmente com sensores de solo e de plantas, variabilidade espacial, mapeamento da produtividade e aplicação localizada de insumos. Coordenou o Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, de 2004, ano de sua criação, até 2018. Ainda, de 2012 a 2016, presidiu a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e foi presidente da Associação Brasileira de Agricultura de Precisão (AsBraAP), da sua fundação até 2020.

# SUMÁRIO

1.	O que é Agricultura de Precisão .....	9
2.	A AP das tecnologias embarcadas .....	11
3.	A AP da variabilidade espacial e temporal das lavouras .....	21
4.	As operações mecanizadas no contexto da AP .....	26
	Recapitulando .....	30
	Referências .....	31



## 1. O que é Agricultura de Precisão

As lavouras não são uniformes e essa não é uma constatação recente. Aliás, mesmo que por período limitado, existem relatos que indicam a evidência dessa abordagem, mostrando que, desde o início do século XX, já se propunha o gerenciamento das lavouras de forma localizada e detalhada, por exemplo, para a aplicação de calcário em doses variáveis ao longo da lavoura. No entanto, isso acontecia no momento histórico em que a mecanização se intensificava, permitindo a expansão das áreas cultivadas, o que fez a agricultura ir em busca da simplificação dos processos. Assim, esse detalhamento foi abandonado e passou-se a conduzir as lavouras de forma padronizada.

Apesar disso, o tema da variabilidade espacial e a necessidade de atenção a isso seriam retomados. No início da década de 1990 surgiu um movimento que recebeu várias denominações, que acabaram convergindo para um único termo conhecido como Agricultura de Precisão (AP). Porém, na Europa, nos anos 1980 foram gerados os primeiros mapas de produtividade e, nos EUA, por sua vez, foram feitas as primeiras aplicações de fertilizantes com doses variadas automatizadas. No Brasil, as primeiras inserções são de 1995, com a aparição de equipamentos em feiras. O primeiro registro é de 1998, com a importação de equipamentos e de um modelo comercial de serviços. Essa abordagem somente se consolidaria a partir do início da década de 2000, com o surgimento das consultorias e serviços, estabelecendo-se, assim, um modelo local de negócios de AP. Nessa primeira investida, o foco ainda era a correção e adubação dos solos das lavouras, sendo que várias outras frentes ainda precisavam ser abordadas, especialmente na gestão das pragas, doenças e controle de invasoras, que não ocorrem de forma uniforme nas lavouras.

Apesar de haver diversas descrições e abordagens da AP, o objetivo é sempre o mesmo: utilizar estratégias para gerenciar os problemas advindos da desuniformidade das lavouras e, não obrigatoriamente, eliminar as variabilidades. Pode-se utilizar práticas com diferentes níveis de complexidade e até mesmo com diferentes objetivos. A Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão e Digital, órgão consultivo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, adota uma definição de consenso para AP: “trata-se de um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente” (Brasil, 2014). Já a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (ISPA), em sua definição mais atual, estabelece que AP:

É uma estratégia de gestão que reúne, processa e analisa dados temporais, individuais e espaciais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gestão de acordo com a

variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agropecuária (ISPA, 2022).

Desde os primórdios, os agricultores tiveram essa percepção da inerente desuniformidade das lavouras, enquanto trabalhavam pequenas áreas – de forma manual e, depois, com máquinas de tração animal. No final do século XIX surgiu a motomecanização, que se intensificou na primeira metade do século XX. Esse processo evoluiu e as máquinas continuaram a apresentar aumentos em termos de potência, largura de trabalho e capacidade operacional. Nesse contexto, a extensão das lavouras aumentou de forma expressiva e as novas gerações de agricultores perderam a capacidade de monitoramento detalhado e visual, passando a tratar grandes áreas de maneira uniforme. Trata-se de uma abordagem não otimizada, pois o solo e as culturas não são uniformes dentro dessas áreas. Tal fato aponta para a necessidade de resgatar a capacidade de lidar com grandes extensões de lavouras mecanizadas com as diferenças intrínsecas dentro delas. No entanto, as observações visuais e os ajustes nas operações e tratos nas lavouras a partir da constatação puramente humana não são mais prováveis, especialmente em empreendimentos de médio e grande porte.

O uso racional de fertilizantes e agroquímicos - aplicados somente quanto, quando e onde necessários – é algo evidente demais para ser negligenciado e indica grande potencial de ganhos econômicos e ambientais. Da mesma forma, podem ser consideradas a densidade de plantas (sementes), a água na irrigação e a energia envolvida em todas essas operações.

A AP surgiu na década de 1990 como um movimento dentro desse contexto e, desde o início, duas grandes frentes foram estabelecidas. A abordagem mais óbvia é aquela relacionada à variabilidade espacial das lavouras, que contempla todos os processos necessários para se investigar e caracterizar essa variabilidade. Basicamente, envolve a coleta de dados de solo e das culturas nas lavouras, por meio de amostragens, uso de sensores dedicados e obtenção de imagens. Normalmente, os dados são centralizados e trabalhados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para cada talhão ou para a gleba, gerando-se camadas de informação (mapas). A partir dessas camadas os diagnósticos e as recomendações são gerados, utilizando-se recursos da mecanização com crescente adição de automação para as intervenções localizadas, com intensidades e aplicações de insumos em doses variáveis.

A outra vertente dedica-se à automação das máquinas de forma mais ampla e, mais recentemente, acrescentou-se as plataformas digitais e derivações, já com nomenclaturas próprias, ao contexto das soluções digitais na agricultura. As automações de toda ordem estão embarcadas nas máquinas

e entre os exemplos mais comuns estão os sistemas de direção automática nos tratores e demais veículos agrícolas, os controles automatizados de corte de seções (ou ponta a ponta) nas barras pulverizadoras, das linhas das semeadoras, da compensação de curvas nos pulverizadores e nas semeadoras etc.

Um componente importante e impactante nesse processo é a telemetria para a captura de dados da máquina e envio ao servidor, a partir do qual são gerados alertas, relatórios e mapas, entregues aos destinatários pelas plataformas digitais que auxiliam nesse processo. Essas, por sua vez, também entregam dados coletados por outras fontes, como imagens de satélite convertidas em índices de vegetação e outros tipos de mapas que servem para o acompanhamento da evolução das lavouras e identificação de problemas, sejam eles espacialmente isolados ou não.

Outro avanço que se observa no setor e que contribui fortemente na direção da automação dos processos, são os veículos aéreos não tripulados, entendidos como plataformas para coleta de imagens de alta resolução, contribuindo enormemente com o monitoramento e os diagnósticos. Paralela e progressivamente, também evoluem como máquinas para intervenções localizadas, como a pulverização.

A AP tem como objetivo permitir os tratamentos (operações) da forma mais assertiva possível. Em algumas culturas perenes, por exemplo, a resolução da individualização de cada planta já é abordada. Nas lavouras de ciclo curto e extensivas, utilizam-se resoluções na ordem de dezenas de metros, que ainda podem ser expressivamente reduzidas na medida em que se intensificam as automações (que não estão apenas nas máquinas utilizadas nas intervenções). As referidas automações envolvem, principalmente, a coleta de dados de forma mais intensa e densa. Esses dados, mais de lavoura do que de máquina, devem gerar os diagnósticos mais assertivos, de alta resolução espacial e temporal (o que somente é possível com o auxílio das técnicas de inteligência artificial), na geração de dados, em sua análise, na geração de diagnósticos e consequentes recomendações. Por fim, as recomendações devem ser entregues às máquinas, que as executam com dose, posição, intensidade etc.

Essas soluções são destinadas ao agricultor que deseja acessibilidade, praticidade e simplicidade. Para tal, o caminho é o desenvolvimento e oferta de processos que ocorram de forma automatizada e em tempo real. Alguns exemplos já são disponíveis, e tecnicamente convincentes, mas com valores ainda incompatíveis com a realidade do agronegócio.

## **2. A AP das tecnologias embarcadas**

Nessa abordagem, o foco é a evolução funcional das máquinas e o destaque está no surgimento e grande expansão do uso de soluções de eletrônica embarcada, o que acontece nos últimos 30 anos. A primeira etapa desse processo

focou nas soluções de automação de comandos na cabine do trator, substituindo comandos manuais (de alavancas) por botões que comandam atuadores, normalmente elétricos, hidráulicos ou a combinação de ambos. O trator agrícola moderno apresenta uma quantidade expressiva desses comandos, substituindo as alavancas de controle remoto, comando de bloqueio de diferencial, acionamento da tomada de potência (TDP) entre outros.

Inicialmente, as máquinas que utilizavam o trator como fonte de potência eram acionadas pela TDP e comandos puramente mecânicos. Com o advento dos acionamentos hidráulicos, no entanto, passaram a ter interface de comando com alavancas de controle remoto. Com o avanço da interface entre a hidráulica e a elétrica, essas alavancas receberam o aporte de tecnologias de atuadores eletro-hidráulicos, com comando por simples botões ou toques.

A eletrônica deixou de ser um auxílio complementar nas máquinas e passou a ser a solução mais comum, gerando a necessidade de padronização dentro da indústria de tratores e de máquinas. Essa demanda é menos evidente quando se trata de veículos autopropelidos, justamente por poderem carregar soluções próprias de cada fabricante. No entanto, na interface entre um trator e uma máquina por ele tracionada e acionada, é óbvia a necessidade de padronização, da mesma forma que foram necessários padrões nas dimensões do acoplamento da TDP, do engate de três pontos dos tratores e máquinas e implementos e de conexões hidráulicas.

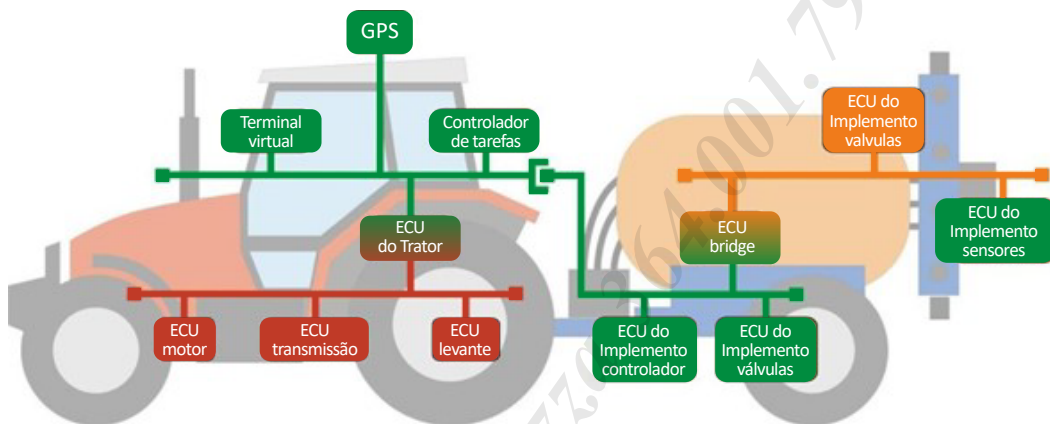
São ilimitadas as possibilidades de aplicação de eletrônica embarcada nas máquinas agrícolas. Algumas dessas funções já estão em fase avançada de desenvolvimento e utilização, como é o caso da comunicação entre o trator e a máquina. Uma etapa aconteceu há mais de meio século, com o surgimento dos sistemas hidráulicos, com a necessidade da padronização de componentes e de conexões. Assim, a partir de qualquer modelo de trator passou a ser possível acionar e controlar comandos de qualquer máquina ou implemento.

Hoje, esses comandos já são eletrônicos (eletro-hidráulicos) e largamente usados para controlar as ações da máquina acoplada ao trator ou mesmo sistemas completos e complexos, permitindo a automatização das funções da máquina, pelo operador, a partir do trator.

As comunicações eletrônicas, se comparadas com as interfaces anteriores, requerem maior amplitude, detalhamento e consequente complexidade na padronização. Além dos aspectos físicos, que obviamente precisam ser considerados, também surgem desafios quanto à compatibilidade da maneira como ocorre a comunicação do dado ou da informação. A velocidade de deslocamento do conjunto, por exemplo, é um dado simples, que pode ser demandado e utilizado por diferentes subconjuntos do equipamento e gerado apenas em um local. Para isso, são necessários padrões para conectores, fiação, tensão, corrente e de veiculação do dado. Os entes envolvidos são os fabricantes de equipamentos e são necessários padrões de comunicação, codificação e

definição do dado em si. A frequência de medição e sua exatidão devem ser padronizadas para que possam ser interpretadas e utilizadas pelos diferentes participantes do conjunto.

A norma ISO 11783, também denominada ISOBUS (Figura 1), surgiu na década de 1990 para ser o padrão na comunicação de dados entre o trator e a máquina ou implemento (Pereira, 2008). No Brasil, essa norma está sendo gradativamente adotada e o processo é administrado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entidade brasileira de normatização.



**Figura 1.** Esquema funcional da comunicação eletrônica entre o trator e a máquina a partir da norma ISO 11783

**Nota:** Material de divulgação da Força Tarefa ISOBUS.

**Fonte:** Isobus (2010).

O propósito da norma é prover um padrão para conexão de sistemas eletrônicos embarcados em equipamentos agrícolas por meio de um barramento (do inglês “bus”). Esse barramento é um conjunto formado por fios, conectores e dispositivos de potência, para promover a interconexão dos componentes, permitindo a comunicação de dados entre eles. O pacote normativo ISOBUS estabelece que essa eletrônica seja fisicamente distribuída em várias unidades, denominadas de “electronic control units” (ECUs), cada uma responsável por uma parte do processamento, o que as torna mais simples e baratas. As unidades são interligadas pelos barramentos no trator e na máquina acoplada a ele e trocam mensagens padronizadas, normalmente via cabos. A interface com o operador é feita em uma tela, denominada terminal universal (TU), que é onde as ações dos programas são visualizadas ao operador. A partir do TU, qualquer máquina acoplada ao trator e compatível com a norma ISO 11783 pode ser regulada e operada. Há uma série de funções já consolidadas, incluindo padronizações na utilização de “joystick”, dados georreferenciados (dados com coordenadas) e tantos outros.

A padronização eletrônica ISOBUS também contempla os motores de combustão interna, que evoluíram recentemente da alimentação por bombas injetoras para os sistemas de alimentação eletrônica. Da mesma forma, as transmissões por marchas evoluem rapidamente para os sistemas de variação contínua de velocidade (ou automáticas), ambos com ECUs próprias. A combinação automatizada de rotação do motor e relação de transmissão permite um grau de automação com muitas oportunidades e soluções novas para problemas antigos. Como exemplo tem-se o controle automatizado do efeito da variação indesejada da velocidade em uma operação de aplicação de insumos, atuando diretamente no dosador da máquina (fertilizantes, corretivos, agroquímicos) para ajustar a vazão de insumo à velocidade, de forma instantânea.

Outra frente que avança rapidamente no mercado é a da comunicação entre a máquina e o gestor da frota. Na medida em que a quantidade de conjuntos mecanizados envolvidos no processo de produção aumenta, pela extensão das unidades produtivas ou pela sofisticação da sua mecanização, a necessidade da gestão desses indivíduos e do conjunto torna-se evidente. A atuação do gestor e dos operadores das máquinas são facilitadas a partir de sistemas que conectam essas máquinas e permitem que dados transitem delas para uma central de controle, e vice-versa.

À medida que surgem soluções de conectividade, essa técnica, conhecida como telemetria, permite transmitir dados entre as partes em tempo real ou algo bem próximo disso. O foco, hoje, está nos dados de sensores instalados na máquina, que coletam e monitoram aspectos de funcionamento do motor, transmissão e operação. Esses dados são conectados a um computador de bordo ou a uma interface e, a partir daí, a uma unidade remota. Há, também, dados ou informações gerados na outra ponta do processo, que necessitam chegar à máquina. É o caso de um mapa de recomendação ou uma configuração a ser implementada na máquina que, ao serem enviados, facilitam a logística de campo e agilizam os processos de gestão.

O termo técnico “Farm Management Information Systems” (FMIS), em português Sistemas de Informação de Gestão Agrícola, já é utilizado para se referir ao tema dessa gestão de frotas. As indústrias de máquinas, por meio de suas revendas, desenvolvem serviços que, a partir dos dados funcionais das máquinas, por exemplo, permitem as manutenções e trocas programadas. A telemetria avança à medida que evoluem os serviços de comunicação, especialmente da telefonia móvel. As limitações de cobertura existentes nas áreas rurais são bastante conhecidas e certamente serão solucionadas de acordo com as demandas.

A telemetria também envolve e soluciona a necessidade de sincronismo nas tarefas entre diferentes máquinas, a partir da conexão entre elas. Um exemplo clássico é o da colhedora e do trator tracionando uma carreta, ambos

equipados com sistema de direção automática. A colhedora faz a descarga de produto colhido na carreta, com ambas em movimento. Basta que o operador do trator o coloque paralelo à colhedora, que passará a comandar a direção e a velocidade do trator. Evidentemente, é necessário que, entre outros, o trator esteja equipado com sistemas de variação contínua de velocidade.

Outro grande movimento acontece na indústria de máquinas, com a substituição gradativa dos acionamentos hidráulicos pelos elétricos. É uma perspectiva a médio prazo, conhecida como a eletrificação do trator, que vem sendo estudada e trabalhada, tanto na indústria como na academia. Trata-se de uma tendência embasada na maior eficiência energética e na maior capacidade de controle e automação dos acionamentos elétricos se comparados aos sistemas hidráulicos ou puramente mecânicos. Além das ligações mecânicas e hidráulicas tradicionais, inclui-se atuadores e motores elétricos. Para isso, um gerador é acoplado ao motor diesel do trator para que se produza a corrente elétrica utilizada como propulsora de atuadores e motores. Em casos específicos, a própria transmissão mecânica é substituída e faz-se o acionamento de rodados de tração em carretas, por exemplo. São sistemas conceitualmente similares aos sistemas diesel-elétricos já utilizados com sucesso nas locomotivas e, mais recentemente, em ônibus urbanos.

Esses avanços nas máquinas convergem no objetivo de conferir maior automação a seus comandos e controles, tornando-as autônomas. Para isso, necessita-se de uma ou mais técnicas de orientação da máquina (veículo) no campo. Várias técnicas e tecnologias têm sido exploradas, mas nenhuma tão impactante quanto os Sistemas de Navegação Global por Satélites ou “Global Navigation Satellite Systems” (GNSS).

Os GNSS foram concebidos, inicialmente, como tecnologia militar, na década de 1970, e revolucionaram as técnicas de localização terrestre. Os componentes de alcance global do GNSS são: o “Global Positioning System” (GPS), norte-americano, e o “Global’naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema” (GLONASS), russo, ambos em plena operação. Há, também, dois sistemas em fase final de construção, embora já operacionais: o Galileo, concebido pela “European Space Agency” (ESA), da União Europeia, e o sistema chinês, denominado “BeiDou Navigation Satellite System” (BDS).

Um receptor GNSS fornece o tempo, a posição e a velocidade, com rapidez e grau de exatidão que dependem de aspectos construtivos, configuração e tecnologia disponíveis, em local aberto e a qualquer instante. Para demandas de posicionamento com grande exatidão é necessário um sistema auxiliar gerador de sinal, denominado correção diferencial.

Com o surgimento dos GNSS, a indústria de máquinas agrícolas e a agricultura passaram a ter novas perspectivas. As soluções mais impactantes até então são associadas aos sistemas que orientam o operador a manter percursos predeterminados no campo. As soluções de orientação com GNSS, por sua



vez, surgiram no início da década de 1990 na aviação agrícola, somente para percursos retos. Por meio dessas soluções, o piloto guia-se visualmente por uma sequência de LEDs (luzes) enfileiradas no painel, o que passou a ser chamado de barra de luzes (Figura 2). À medida que as luzes acendem, o piloto é induzido a reagir e manter o avião na rota, uma vez que essas luzes indicam quando a aeronave se afasta do alinhamento predeterminado. Esse alinhamento é planejado previamente ou gerado pelo piloto na primeira passada, e as demais passadas serão sempre paralelas à primeira, com afastamento equivalente à largura de uma faixa de deposição, que também é definida pelo piloto antes do início da tarefa.



**Figura 2.** O dispositivo denominado barra de luzes, com a respectiva fileira de LEDs, que acendem à medida que o veículo se afasta do alinhamento de referência

Fonte: Acervo pessoal.

No Brasil, as primeiras barras de luzes em aviões agrícolas datam de 1995 (Figura 3), com benefícios incontestáveis. Até então, o piloto era totalmente dependente de pessoas portando bandeiras sinalizadoras, que se posicionavam nas cabeceiras da lavoura e se deslocavam em distâncias equivalentes à largura das faixas de aplicação.

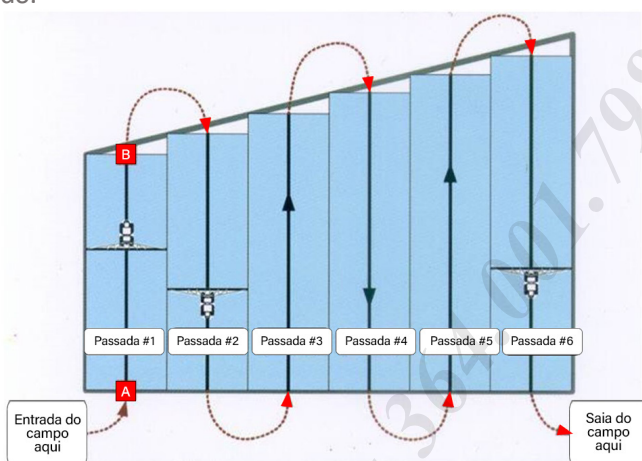


**Figura 3.** Avião agrícola equipado com barra de luzes e antena GPS

Foto: Acervo pessoal.



As utilizações terrestres das barras de luzes aconteceram, inicialmente, na operação de pulverização, com pulverizadores autopropelidos ou tracionados por trator (Figura 4). Com a popularização das telas sensíveis ao toque, as opções de interface e visualização evoluíram e o termo barra de luzes deixou de ter sentido.



**Figura 4.** Definição do primeiro percurso reto com base na demarcação dos pontos A e B. Os demais, então, são gerados automaticamente e seguidos pelo operador

Fonte: Masnello e Molin (2021).

De forma evolutiva, surgiram as soluções para percursos curvos, exigindo mais atenção dos operadores com a interface visual. Nessas soluções, tem-se, por exemplo, telas digitais que apresentam percursos no formato de estrada virtual, tornando a previsão de reação e manobra correta do veículo mais amigável ao operador, conforme Figura 5:

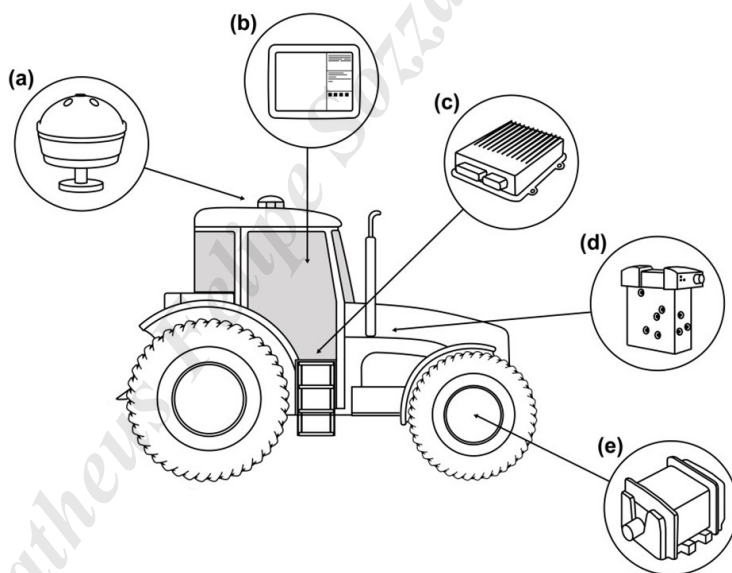


**Figura 5.** Sistema de orientação com tela mostrando a estrada virtual e na parte superior a barra de luzes, que ainda é mantida em alguns equipamentos

Fonte: Trimble (2022).

Os sistemas de direção automática para veículos agrícolas, popularmente conhecidos como piloto automático, são a evolução das barras de luzes. Basta que o operador crie uma linha referência e defina o espaçamento entre as passadas para que o software do equipamento replique infinitas passadas à direita e à esquerda da linha de referência. Na barra de luzes, o operador guia o veículo e, no caso do sistema de direção automática, o veículo é dirigido automaticamente por atuador no volante ou diretamente em seu rodado esterçante. No entanto, nas manobras de cabeceira o operador deve retomar o controle, fazendo-as manualmente.

As primeiras soluções comerciais de direção automática, no início da década de 2000, eram de controle eletro-hidráulico no sistema de direção hidráulica do veículo. É o sistema mais sofisticado e mais preciso, em que o comando, proveniente de um computador que integra vários sinais, é enviado diretamente à válvula da direção hidráulica do veículo, que esterça automaticamente. Na Figura 6 são apresentados os componentes de um sistema de direção automática de controle eletro-hidráulico: computador; receptor GNSS; sensor de angulação do esterçamento (no rodado esterçante); sensor inercial, que faz a compensação da inclinação vertical e notifica oscilações bruscas; e atuador eletro-hidráulico da direção:



**Figura 6.** Componentes de um sistema de direção automática de controle eletro-hidráulico

**Notas:** a. receptor GNSS; b. computador; c. sensor inercial; d. válvula atuadora eletro-hidráulica da direção; e e. sensor de angulação do esterçamento.

**Fonte:** Molin et al. (2015).

Poucos anos depois surgiram soluções mais simples, utilizando atuadores elétricos diretamente no volante ou na coluna de direção do veículo (Figura 7). Entretanto, esses sistemas – mais simples e mais baratos – não oferecem a mesma exatidão. O atuador (motor elétrico) tem limitações na resolução oferecida e exige maior tempo de resposta, incorporando as possíveis folgas existentes no sistema de direção do veículo.

O receptor GNSS é, sem dúvida, o componente de maior importância no estabelecimento da qualidade do sistema e do seu valor de aquisição. A combinação de atuadores eletro-hidráulicos com receptores GNSS de maior exatidão normalmente está associada a equipamentos mais caros e de maior exatidão, principalmente se comparados a equipamentos com atuador de volante e GNSS de menor exatidão.



**Figura 7.** Sistemas de direção automática

**Notas:** a. sistema de direção com atuador tipo motor elétrico com roda de atrito; b. sistema de direção centrado na coluna da direção do veículo.

**Foto:** Acervo pessoal.

Os sistemas de direção automática em um trator ou outro veículo agrícola permitem paralelismo entre passadas em operações, com qualidade dificilmente obtida com direcionamento manual (feito pelo operador). Por conta disso, há vários fatores responsáveis pela recente expansão de sua adoção, entre os quais o fato desses sistemas permitirem a minimização da superfície de solo trafegada (controle de tráfego), o que é diretamente associado à redução dos efeitos de compactação. Permitem, também, na cultura da cana-de-açúcar, a diminuição de danos às plantas em tráfegos durante o ciclo e em especial às soqueiras, na colheita. O operador deixa de ter responsabilidade direta em acertar o percurso, o que reduz a sua fadiga e permite velocidades operacionais mais elevadas. Além disso, a direção automática também permite a operação noturna e sem visibilidade com a mesma qualidade da atividade diurna. O

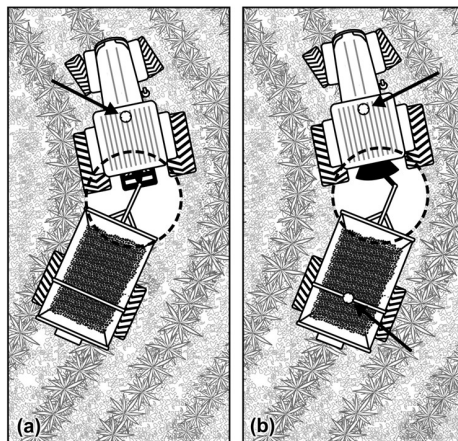
sistema gera as linhas de passadas paralelas e equidistantes. Como cada linha é única, facilita-se a operação com mais de um conjunto mecanizado ao mesmo tempo, na mesma área. Assim, cada conjunto pode iniciar a operação em qualquer ponto da lavoura, bastando que sejam programados e coordenados os percursos de cada um. Dependendo da configuração da máquina e da operação, o sistema de direção automática poderá otimizar as manobras. As saídas e as consequentes reentradas no talhão podem ser priorizadas para o tempo mínimo de manobra, não obrigatoriamente na passada adjacente. Esse conjunto de fatores resulta em maior rendimento operacional se comparado ao sistema de direção convencional.

A utilização dos sistemas de direção automática pode ser similar ao uso de barras de luzes, repetindo passadas paralelas às anteriores. Porém, com computadores de bordo mais potentes, os sistemas já permitem repetir percursos de operações anteriores ou programados. Esses percursos, gravados no computador do sistema de direção automática, podem ser reproduzidos indefinidamente, o que permite a integração das operações automatizadas sob a mesma base de dados. Um exemplo clássico é o plantio da cana-de-açúcar com percursos gravados que são utilizados, posteriormente, não apenas pela colhedora, mas pelo trator de transbordo e pelos equipamentos envolvidos nos tratos culturais.

Para que os benefícios da tecnologia disponível sejam alcançados, a exatidão do sinal GNSS deve ser compatível com a demanda. Em cada tipo de utilização é necessário escolher corretamente o tipo de sinal, de forma que a exatidão esperada seja atingida. As combinações com maior exatidão, atualmente possíveis, apresentam especificações com erro médio na ordem de 0,02 m.

O trator foi o primeiro veículo na agricultura a ter sistemas de direção automática, e é muito relevante lembrar que ele apenas traciona e aciona as máquinas que irão executar as operações, acopladas ao seu engate de três pontos ou a sua barra de tração. No entanto, o percurso definido pelo sistema de direção automática do trator é obedecido por seu rodado dianteiro, de modo que a operação não segue obrigatoriamente esse percurso. Com isso, em muitos casos também são necessários recursos de direcionamento no equipamento que está atrás do trator.

No caso de uma carreta com acoplamento pela barra de tração do trator, por exemplo, em uma das soluções um cilindro hidráulico age como atuador, deslocando a carreta lateralmente e forçando para que a sua linha central coincida com aquela do trator (Figura 8). O trator e a carreta, nesse caso, têm que ter antenas de GNSS independentes e o sistema atua sempre alinhando o percurso de uma com o da outra.



**Figura 8.** Carreta com acoplamento pela barra de tração do trator

**Notas:** a. equipamento de arrasto sem sistema de direção automática; b. equipamento de arrasto com sistema de direção automática e antena de GNSS independente, indicada pela seta, da mesma forma que sobre o trator.

**Fonte:** Molin et al. (2015).

Com a combinação das soluções de automação na direção e de controles de cabine, os tratores aproximam-se sempre mais da condição de autônomos. Já são muitas as propostas e soluções, inclusive comerciais, de tratores que não necessitam de operador e são copiadores de outro, sob a supervisão de um operador/supervisor, que acompanha a operação de dois ou mais desses tratores autônomos. Há, também, propostas de veículos totalmente autônomos, mas, nesse caso, eles precisam de soluções inteligentes para a tomada de decisão em circunstâncias não previstas, o que é provável em atividades de campo.

### 3. A AP da variabilidade espacial e temporal das lavouras

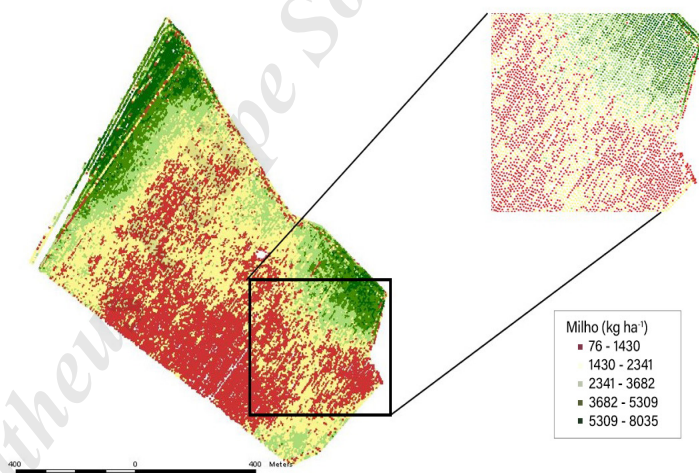
Sem dúvida, os mapas de produtividade representam as camadas mais informativas para diagnosticar a presença e intensidade da variabilidade nos talhões da propriedade. Especialmente para grãos, é uma tecnologia disponível no mercado desde o início dos anos 1990, com os monitores de produtividade embarcados nas colhedoras.

O mapa de produtividade é a camada de informação em que se visualiza, efetivamente, a variabilidade espacial do resultado das lavouras e, a partir dessa constatação, desenvolvem-se as investigações para identificar os possíveis causadores das baixas e altas produtividades. No entanto, outras técnicas têm sido propostas para a identificação de manchas existentes em uma lavoura, tais como fotografias aéreas, imagens de satélite entre outras. Todas essas técnicas, que têm sido testadas e utilizadas, possuem diferentes potenciais e limitações. O mapa de produtividade, entretanto, sintetiza e materializa a resposta da cultura

com melhor exatidão, considerando as tecnologias disponíveis para obtê-lo.

Os mapas de produtividade são componente fundamental do conjunto de dados – e, consequentemente, de mapas – para o entendimento e a gestão da variabilidade espacial das lavouras. Pode-se elencar uma série de aplicações para os mapas de produtividade, como: i. analisar a variabilidade da lavoura; ii. investigar as relações entre as possíveis causas e o efeito (variabilidade na produtividade); iii. guiar as investigações por meio do direcionamento de amostragens; iv. selecionar e delimitar regiões menos desiguais (unidades de gestão diferenciada - UGD); v. computar espacialmente e em alta resolução as quantidades de nutrientes exportados; e vi. produzir os mapas do lucro e do prejuízo de cada safra ao longo do talhão.

Basicamente, o mapa de produtividade de um talhão é um conjunto de pontos, em que cada um deles representa uma pequena porção da lavoura (Figura 9). Um receptor GNSS é utilizado para gerar a posição (latitude e longitude) de cada ponto de produtividade, dentro da lavoura. A área representada em cada ponto é definida em função da velocidade de deslocamento da colhedora, do tempo de coleta entre dois pontos (geralmente entre 1 e 3 segundos) e da largura da plataforma de corte da colhedora. Assim, uma colhedora de grãos com 10 m de largura de corte, com frequência de coleta de 1 ponto a cada 2 segundos, deslocando-se à velocidade de 5 km/h, proporcionará a coleta de 1 ponto de produtividade a cada 2,8 m, o que resulta em uma área média de 28 m<sup>2</sup> por ponto. Esse cenário resultará em um conjunto de dados com 357 pontos por hectare.



**Figura 9.** O conjunto de pontos gerados pelo monitor de produtividade forma o mapa de produtividade onde cada ponto representa uma pequena área de colheita

Fonte: Brasil (2009).



Utiliza-se um sensor de fluxo, normalmente posicionado no topo do elevador de grãos limpos da colhedora, para determinar o fluxo de massa de grãos colhidos. Também é necessário medir a umidade com que os grãos estão sendo colhidos para que o mapa represente grão seco, que é o padrão comercial. Para tanto, utiliza-se um sensor específico, normalmente em algum ponto ao longo do elevador.

Os dados são armazenados em um dispositivo de memória no computador de bordo dedicado (monitor). O formato dos dados e dos arquivos gerados, que varia de acordo com cada fabricante, permite a visualização na forma de mapa. O mapa, por sua vez, é o conjunto dos pontos, e a sua montagem consiste em um gráfico contendo cada um dos pontos em um sistema cartesiano, cujo eixo  $y$  é a latitude e o eixo  $x$  é a longitude. Os pontos são classificados e diferenciados por cores ou tons para diferentes valores de produtividade, obtidos na tabela de dados gerados pelo monitor durante a colheita. Essa é a forma mais simples e original de se visualizar o mapa. Caso o usuário deseje trabalhar esses dados na forma de mapa e executar etapas que envolvam a álgebra de mapas (operações matemáticas entre camadas ou mapas), utiliza-se sua representação em pixels ou em isolinhas de produtividade, a partir da interpolação entre os pontos.

Sempre é necessário o tratamento preliminar nos dados antes de transformá-los em um mapa para análise e tomada de decisões. Os dados brutos coletados pelo monitor, na colhedora, apresentam erros intrínsecos ao processo de geração dos dados e às limitações dos sistemas. Sua identificação e remoção é uma tarefa obrigatória. Além disso, a manipulação de alguns parâmetros de construção do mapa, especialmente a legenda, é de extrema importância para uma boa visualização. Pode-se facilmente esconder ou negligenciar informações importantes relacionadas a manchas da lavoura se forem atribuídos intervalos de produtividades sem critérios cuidadosos. Geralmente, os programas de visualização de mapas, mesmo os mais simples, permitem algum tipo de manipulação desses parâmetros.

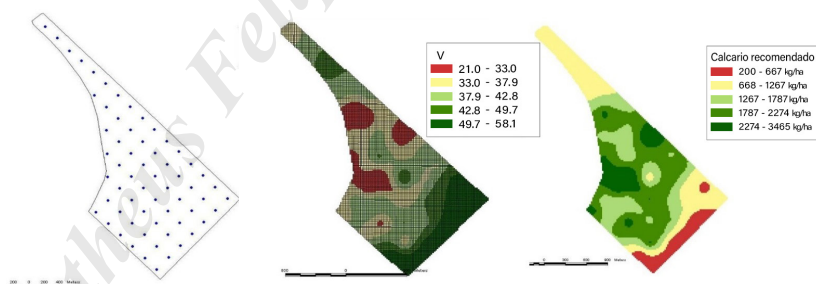
A obtenção dos dados que darão origem aos mapas de produtividade não é trivial. É imprescindível, portanto, a calibração feita em campo, que depende de cada equipamento. Basicamente, o número gerado pelo sensor de fluxo deve ser transformado em um valor equivalente ao real, medido por uma balança. Os sensores de fluxo normalmente apresentam boa linearidade, de modo que se forem bem ajustados à máquina e ao produto a ser colhido, a calibração do monitor será um processo de ajuste entre a quantidade real do produto colhido, representado pelo peso obtido na balança, e o que o monitor indica. Os fabricantes normalmente recomendam a sequência de pesagem de alguns tanques graneleiros cheios (reservatório de grãos da colhedora) para que a máquina seja calibrada para um novo produto. Também é importante repetir a calibração todo ano e sempre que se alterar a cultura.

Além dos grãos, outras culturas já têm soluções comerciais para o

monitoramento da produtividade. Para a colhedora de cana-de-açúcar existem soluções com obtenção de dados indiretos para a estimativa de fluxo de massa e monitores de produtividade tipo balança instalados no elevador de colmos limpos picados, com células de carga. Existem, também, soluções comerciais mais genéricas para adaptar em colhedoras nas quais o produto é transportado por esteira, além de monitores específicos para algodão e café, em colheita mecanizada.

Em contextos em que a variabilidade espacial é o tema central, conhecer as características físicas e químicas do solo é mais adequado que a prática comum de se obter uma amostra composta para cada lavoura. As técnicas para sua investigação devem não só permitir que se obtenha o valor médio dos atributos, mas caracterizar a variabilidade espacial na forma de mapas temáticos. A geração do mapa individual para cada indicador da fertilidade do solo é uma técnica que tem se tornado bastante popular. Nesse caso, deve-se investir na coleta de amostras, o que, na prática, é conhecido como amostragem em grade. O objetivo dessa técnica é determinar os teores existentes no solo e as consequentes necessidades, com maior detalhamento se comparado à prática da amostragem convencional, em que uma amostra de solo representa toda a lavoura, ou uma propriedade inteira.

Gera-se, nesse caso, um plano amostral (grade) que divide o talhão em quadrículas imaginárias, regulares ou não, com um ponto amostral em cada uma. Desse pondo, retira-se uma amostra composta, que é enviada para análise em laboratório (Figura 10). Diferentes estratégias podem ser utilizadas para amostragem em grade, e a mais comum delas é a amostragem por pontos, em que as amostras serão coletadas no centro de cada quadrícula e os resultados para cada atributo serão posteriormente interpolados, gerando os mapas de diagnóstico. A partir do diagnóstico da saturação por bases (V%) será gerado o mapa da prescrição de calcário, por exemplo.

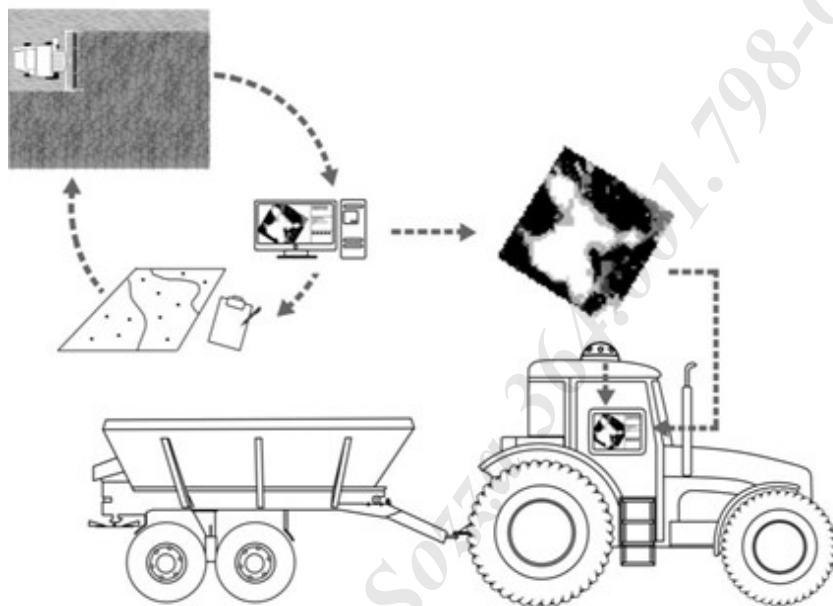


**Figura 10.** Mapa do contorno da lavoura com o arranjo (grade) da coleta de amostras de solo (esquerda); mapa do diagnóstico da V%, que é indicador da demanda de calcário (centro); mapa da prescrição de doses de calcário a serem aplicadas pela máquina (direita)

**Fonte:** Brasil (2009).



A partir desses mapas e de outros complementares, como é o caso do mapa da exportação de nutrientes, obtido do mapa de produtividade, são gerados os mapas de prescrições para fósforo e potássio, por exemplo. A partir de então, os mapas de prescrição são endereçados às máquinas que executarão as aplicações (Figura 11).



**Figura 11.** O processo de gerar uma recomendação de fertilizante com base na quantidade exportada e dos teores disponíveis no solo

Fonte: Molin et al. (2015).

Essa técnica de investigação ainda é uma adaptação do que já existia, apenas com o aumento considerável da quantidade de amostras e com a consequente elevação do custo para a obtenção de um diagnóstico mais detalhado. Sendo assim, torna-se evidente a necessidade de soluções mais ajustadas a essa nova realidade. Para tanto, existe uma quantidade de iniciativas de pesquisa e desenvolvimento visando à automação do processo de obtenção de dados de forma mais intensa para a geração de diagnósticos. A AP tem impulsionado os estudos em torno de sensores de solo e sensores de plantas para o melhor entendimento da variabilidade das lavouras. Invariavelmente, esses sensores utilizam princípios químicos e físicos para relacionar o que pode ser medido em campo com grandezas que interessam ao usuário. Essas soluções devem viabilizar a coleta de dados georreferenciados e em alta densidade, de modo a permitir o entendimento da real variabilidade das lavouras, o que não é possível com as amostragens convencionais.

Predominantemente, os sensores de plantas utilizam a refletância a partir da espectrometria. Há no mercado vários sensores ópticos ativos (com luz própria) para uso terrestre, próximo das plantas, que podem ser embarcados na própria máquina aplicadora para leitura, interpretação, recomendação e aplicação em tempo real. Além desses, utiliza-se cada vez mais as imagens multiespectrais (aéreas ou orbitais), que resultam em informação final semelhante, porém sem a possibilidade de aplicações em tempo real.

Quanto aos atributos de solo, há uma diversidade de sensores e de abordagens em torno do levantamento de suas características físicas e químicas. Um exemplo simples é o do penetrômetro, que mede a força necessária para penetrar uma ponteira no solo. Ele tem sido utilizado para o diagnóstico da compactação do solo a partir do índice de cone (IC) desde os anos 1950. Outra abordagem, mais recente, é a mensuração da condutividade elétrica aparente do solo (CEa). A técnica de espectrometria e suas derivações têm avançado na busca de soluções para quantificar teor de água, matéria orgânica, textura, e de forma mais desafiadora, os atributos químicos do solo. Para esse fim, há também abordagens com o uso de sensores iônicos sensíveis.

Para a geração de diagnósticos rápidos e assertivos e, a partir deles, recomendações, a automação dos diagnósticos passa por coleta intensiva de dados e seu processamento avançado. Se essas técnicas forem efetivamente dominadas, será possível chegar-se às intervenções mecanizadas e em tempo real.

## **4. As operações mecanizadas no contexto da AP**

A colhedora gera os dados e os mapas de produtividade dos ciclos anteriores. Um bom conjunto desses dados permite aprimorar os diagnósticos e as consequentes recomendações para as próximas safras.

A aplicação de fertilizantes e corretivos pode ser feita de diferentes formas e com diferentes máquinas. No mercado brasileiro predominam os produtos sólidos e sua forma de aplicação é bastante variada, justamente por conta das diferenças físicas que podem apresentar.

Existem diferentes opções e configurações de equipamentos à disposição do produtor. As principais máquinas para aplicação de fertilizantes são as semeadoras adubadoras e as aplicadoras ou distribuidoras a lança. A aplicação de calcário é predominantemente feita em superfície total, com distribuição em faixas ou com aplicadoras a lança de distribuidor centrífugo (de discos). Nesse caso, a largura efetiva (entre passadas) depende da sobreposição.

A máquina tem que dispor de um controlador eletrônico que governe seu mecanismo dosador, controlando a vazão de produto para fazer a sua aplicação em taxas variáveis. Em máquinas com esteira dosadora ou dosadores helicoidais (de mecanismo dosador volumétrico), esse controle é feito normalmente por meio de um motor hidráulico, com comando de vazão do óleo executado por

uma válvula de controle eletrônico. Se o mecanismo dosador é gravimétrico, de orifício e agitador, o controle externo se dá por meio de um atuador linear com controle eletrônico que abre e fecha o orifício, definindo as vazões requeridas.

Além disso, há uma diversidade de soluções e equipamentos no mercado que são referidos como controladores para aplicação em taxas variáveis. Muitos são caracterizados como genéricos, podendo ser instalados em praticamente qualquer máquina para aplicação de insumos. Outros são associados a máquinas e modelos específicos e integrados à máquina pelo próprio fabricante.

Os mesmos controladores também servem para equipar as semeadoras-adubadoras, para variar a dose de adubo e de sementes. É importante destacar o fato de que, nas semeadoras de mercado, utiliza-se adubos formulados (misturas) em um reservatório único, o que é incompatível com as aplicações em taxas variáveis de cada nutriente. A recomendação de cada elemento refere-se a um mapa específico e, nesse caso, a semeadora-adubadora necessita de um reservatório e de um dosador para cada elemento a ser distribuído.

Os controladores de taxas variáveis possuem um processador e, geralmente, uma tela que mostra o percurso da máquina em campo, indicando o que já foi aplicado. O gerenciamento desses controladores requer a informação de coordenadas geográficas e de doses, pois o arquivo que contém o mapa de recomendação tem, basicamente, três colunas: X (latitude), Y (longitude) e Z (dose). A inserção de arquivos (mapas) no equipamento pode ser por mídia compacta (cartão SD, pen-drive etc.) ou por conexão e comunicação remota. O controlador de taxas variáveis pode ser adquirido com seu próprio receptor GNSS, de baixo custo e sem correção diferencial, o que praticamente não compromete a qualidade dessa operação. Opcionalmente, podem ser conectados ao receptor com maior exatidão, de sistema guia por barra de luzes ou direção automática.

A semeadura em taxas variáveis para a obtenção de populações distintas ao longo da lavoura também é uma prática que apresenta bom potencial. Algumas culturas são relativamente sensíveis à população de plantas em diferentes ambientes de produção. O milho é um desses exemplos e tem recebido atenção das empresas que trabalham com genética e produção de sementes.

A mobilização mecânica do solo por escarificação ou subsolagem também tem potencial de ser adotada como uma prática a partir do diagnóstico e identificação das regiões da lavoura com solo mais e menos compactado. A obtenção desse diagnóstico ainda apresenta alguns desafios, mas é uma possibilidade promissora para quem adota a prática do plantio direto em grãos e para a cana-de-açúcar, entre outros sistemas de produção.

Quanto ao controle de pragas, doenças e plantas invasoras, os maiores desafios estão nos diagnósticos para a geração de recomendações para

intervenções localizadas. Esses desafios se multiplicam com a pluralidade de situações envolvendo combinações de culturas, variedades, seus estádios de desenvolvimento e diversidade de pragas e doenças.

Quanto às intervenções, pode-se considerar três abordagens para a aplicação governada de defensivos: i. aplicar/não aplicar; ii. aplicar calda em volume variável; e iii. aplicar princípios ativos em concentração variável. A abordagem do aplicar/não aplicar já é mais conhecida e existe nas barras de pulverização com dispositivos de liga/desliga a cada sessão (ou ponta a ponta) e com o mesmo princípio, nas linhas da semeadora, que ligam e desligam automática e individualmente. Nesses casos, a definição de onde não aplicar é dada pela posição de onde já foi aplicado, por GNSS.

A técnica do aplicar/não aplicar já é difundida, especialmente no controle de ervas daninhas com produtos para pós-emergência. Nesse caso, combina-se o sensor de presença da erva e o aplicador, normalmente de válvula controlada pelo sensor, que abre e fecha a aplicação. As recentes experiências de usuários com essa tecnologia têm resultado em aplicações com grande economia de produto e é especialmente recomendada para a aplicação de produtos mais caros, utilizados apenas para controlar ervas de maior resistência aos produtos comuns.

A abordagem da aplicação espacialmente seletiva já apresenta avanços expressivos, com a recente inserção dos veículos aéreos não tripulados (RPA) no mercado agrícola. Trata-se de uma inovação que permite a racionalização da aplicação de alguns produtos, inicialmente focados no controle localizado de ervas daninhas, mas que deverá evoluir, também, para o controle de pragas e doenças.

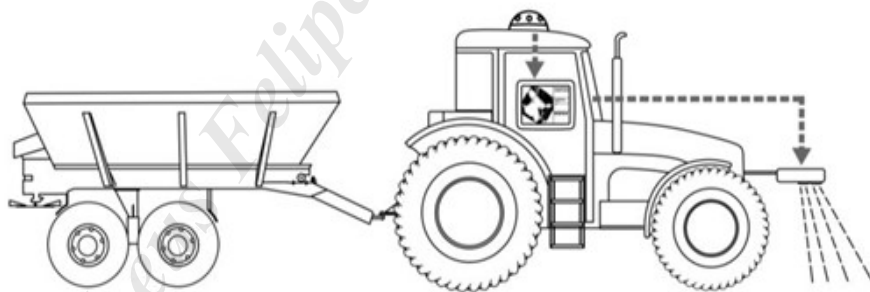
A necessidade de variação de vazão de calda (água mais princípio ativo) é associada às variações da superfície a ser tratada (área foliar, biomassa). Pode ser feita variando-se a pressão de aplicação, com a configuração de variação no número e vazão das pontas e por controle de vazão com válvulas com modulação da largura de pulso (PWM).

No sistema que utiliza a variação de pressão, uma válvula de controle abre ou fecha parcialmente a passagem de calda em um duto condutor para atingir a vazão desejada. Acima de certos limites, essa variação da pressão no sistema de aplicação altera o padrão de deposição e tamanho de gota do produto aplicado. No segundo sistema, em que a vazão é controlada diretamente nas pontas de pulverização, para cada bico existe um conjunto de pontas que podem ser gradativamente acionadas de acordo com a quantidade de aplicação desejada. O limitante dessa opção é não gerar vazões linearmente crescentes e decrescentes, devido à combinação de pontas e à vazão nominal de cada uma. Na opção de controle de pulsos, os bicos operam com válvulas que abrem e fecham em alta velocidade, o que permite a abertura e fechamento dos bicos por intervalos de tempo curtos e com alta frequência, determinando a vazão, sem alterar sensivelmente o tamanho das gotas.

A aplicação do princípio ativo em doses variadas também pode ser realizada mantendo-se constante o volume de calda aplicado. Nessa técnica, o controle ocorre na bomba que injeta o produto químico na corrente de água que vem do reservatório do pulverizador. Assim, a vazão da mistura é praticamente constante, mas a taxa de injeção varia de acordo com variações na velocidade de deslocamento ou taxa de aplicação recomendada. Esse sistema apresenta a vantagem de manter um padrão adequado de aplicação e tamanho de gotas, pois mantém a faixa ótima de volume de calda durante a aplicação. No entanto, o tempo de transição de taxas de aplicação é grande para que ocorra o deslocamento da mistura do ponto de injeção até a saída nos bicos.

As soluções de automação nas máquinas que permitem fazer as intervenções localizadas evoluem e expandem no mercado. Certamente, surgirão várias outras aplicações somadas às que já existem. É relevante lembrar que já existe a Norma ISO 11787 (ISOBUS, 2010) de padronização da comunicação eletrônica entre o trator e a máquina e que os equipamentos para intervenções localizadas, especialmente de aplicação de insumos, surgiram no mercado brasileiro no início da década de 2000. Na época, cada fabricante seguia um padrão. No entanto, à medida que um padrão único se consolidou (via Norma ABNT/ISO 11783), as soluções passaram a ser integradas, universais e mais amigáveis, permitindo maior compatibilidade entre máquinas e tratores de múltiplas marcas.

Paralelamente, a evolução e os desafios da automação dos equipamentos seguem. Se o mercado entender a demanda do usuário, haverá sempre mais produtos e soluções para as aplicações ou execuções com ajustes em tempo real (Figura 12).



**Figura 12.** Operação executada a partir de sinal gerado por sensor, com processamento, decisão e aplicação em tempo real

**Fonte:** Molin et al. (2015).

Algumas soluções tecnológicas para intervenções em tempo real já existem, como é o caso da aplicação de nitrogênio em doses variadas,

estabelecidas por sinal de sensores de refletância das plantas. Nesse caso, o algoritmo de decisão e o processamento são relativamente simples em termos de demanda de processamento. Também existem produtos comerciais para a aplicação de herbicida pós-emergente, acionado ou desligado a partir de sinal do sensor que detecta o verde poucos centímetros à frente do alvo. Espera-se que soluções mais completas – e certamente mais complexas – surjam, especialmente integrando múltiplas camadas de dados pré-existentes que, integrados a sinais de sensores em tempo real, permitem maior assertividade nas recomendações e consequentes intervenções.

Essa visão tende a ser exclusiva e focada na agricultura mecanizada, fazendo-se necessário contemplar a grande multidão de pequenas propriedades, que estão fora desse contexto. É relevante apontar que a AP faz o caminho do resgate do detalhamento das lavouras, que já existia antes da expansão das áreas, por meio do desenvolvimento e oferta de tecnologias. A produção em pequena escala deve manter essa abordagem, mas com o foco nas técnicas e não nas tecnologias. Essa abordagem oferece recursos e facilidades que permitem o resgate das práticas de maior detalhamento das lavouras de forma ainda mais efetiva. O conhecimento agregado ajuda a explicar as variabilidades observadas nas lavouras, bem como a indicar caminhos para a gestão detalhada e localizada com mais técnica e rigor, mesmo em pequenas lavouras. As tecnologias podem ser adaptadas para, então, serem acessadas também pelos produtores de pequena escala, especialmente no segmento do monitorar, diagnosticar e recomendar.

Sem dúvida, as soluções automatizadas representam o que o produtor rural mais deseja. Para isso é necessário que se avance no campo da aquisição de dados de lavoura, com imageadores (“machine vision”), ainda concentrada em smartphones e RPA, refletância multi e hiperespectral, termal e derivações, sinais das máquinas (monitores em geral, sensores dedicados, rede CAN), sensores locais e remotos, redes de sensores (“wireless sensor networks - WSNs) e na tecnologia de comunicação (“information and communication technologies” - ICTs). Também é preciso que se evolua muito no domínio das ferramentas avançadas de análise desses dados e geração de diagnóstico e recomendações automatizadas, preferentemente em tempo real, com o que houver em termos de inteligência artificial. Isso tudo é o mundo das soluções digitais ou agricultura digital. No entanto, a agricultura continuará sendo conduzida na lavoura, mas com as intervenções baseadas cada vez mais em dados.

## RECAPITULANDO

Esta série acadêmica aborda a agricultura de precisão, sua conceituação, as técnicas e tecnologias envolvidas, bem como sua interação com as operações mecanizadas, apontando os componentes e as tecnologias já disponíveis e tendências futuras. As áreas de produção

não são uniformes e isso implica em muitas oportunidades para otimização de cada pequena porção da lavoura e em culturas perenes, por meio do tratamento planta a planta, por exemplo. Os desafios começam com os diagnósticos, que precisam ser mais detalhados, com muito mais dados do solo, das plantas e do ambiente. Segue-se para as técnicas mais avançadas de análise, para que, então, sejam gerados diagnósticos exatos e recomendações exequíveis, com equipamentos adequados. Isso leva a intervenções mais detalhadas, que demandam mais automação nas operações mecanizadas, permitindo executar a tarefa dedicada a pequenas parcelas da lavoura, por meio da aplicação dos insumos na quantidade realmente demandada em local. Nesse contexto, evoluem as técnicas com sensores que geram dados georreferenciados e densos, o que demanda processamentos mais avançados e inteligentes, tendo como foco as respostas em tempo real, de modo a intensificar a automação dos processos em nível de campo. A mecanização das tarefas feitas com essa abordagem demanda máquinas sofisticadas. Do ponto de vista do agricultor, esses processos devem chegar às intervenções em tempo real, com plena automação. É uma transição já em curso, que permite conduzir a produção agrícola com mais exatidão e automação, e espera-se que isso ocorra de forma mais sustentável.

## Referências

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. 2009. Boletim Técnico: Agricultura de Precisão. 32p.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. 2014. Agenda Estratégica 2014-2025: Agricultura de Precisão. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo – Mapa/ACS, Brasília, DF, Brasil. 2014. 21p.

International Society of Precision Agriculture [ISPA]. 2022. Precision Ag Definition. Disponível em: <<https://ispag.org/about/definition>>.

ISOBUS. 2010. Força Tarefa ISOBus. Disponível em: <[http://www.isobus.org.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=50&Itemid=37](http://www.isobus.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=37)>. Acesso em: 08 set. 2022.

Masnello, O.D.; Molin, J.P. 2021. Tipos de pilotos automáticos para máquinas agrícolas. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/noticias/tipos-de-pilotos-automaticos-para-maquinas-agricolas>>. Acesso em: 08 set. 2022.

Molin, J.P.; Amaral, L.R.; Colaço, A.F. 2015. Agricultura de precisão. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil.

Pereira, R.R.D. 2008. Protocolo ISO 11783: Procedimentos para comunicação serial de dados com o Controlador de Tarefas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica.



  
EDITORA  
pecege

ISBN 978-85-92582-46-3

