

## UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA E APLICAÇÃO À TAXA VARIÁVEL DE INSUMOS NA AGRICULTURA

Eduardo Vicente do Prado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário Amparense – UNIFIA, Amparo – SP. Brasil.

### Resumo:

A perda de insumos agrícolas e as contaminações ambientais devido à aplicação excessiva de defensivos agrícolas ainda é preocupante. A utilização de tecnologias como a aplicação de insumos e defensivos químicos à taxa variável, pode diminuir esses danos. Este trabalho teve por objetivo apresentar as técnicas de geração de unidades de gestão diferenciadas e aplicação à taxa variável de insumos e produtos químicos na agricultura.

**Palavras-chave:** Agricultura Digital, Agricultura de Precisão, Taxa Variável, Zona de Manejo, Agricultura.

### Abstract:

The loss of agricultural inputs and environmental contamination due to the excessive application of pesticides is still a matter of concern. The use of technologies such as the application of inputs and chemical pesticides at a variable rate can reduce this damage. The objective of this work was to present the techniques for generating differentiated management units and applying them to the variable rate of inputs and chemical products in agriculture.

**Keywords:** Digital Agriculture, Precision Agriculture, Variable Rate, Management Zone, Agriculture.

## 1. INTRODUÇÃO

A Agricultura Digital (AD) é uma estratégia de gestão que reúne, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais e os combina com outras informações para orientar a gestão agrícola, melhorando sua eficiência, produtividade, qualidade, rentabilidade, sustentabilidade, reduzindo custos e riscos, e viabilizando a gestão de grandes áreas, de forma remota e em tempo real (BORÉM, 2020). A Agricultura de Precisão (AP) é um sistema de gestão agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando aumento de retorno econômico e redução do impacto ambiental (MOLIN et al., 2015). A AP está inclusa na AD, fornecendo precisão e tratamento diferenciado, otimizando o uso de recursos e insumos agrícolas. Otimizar é criar condições mais favoráveis para realizar uma tarefa. Otimização de recursos e insumos agrícolas é criar condições para produzir mais e

melhor utilizando menos recursos e insumos. Insumo agrícola são os elementos usados para garantir a nutrição, a proteção e o desenvolvimento das plantas ou dos animais, aumentando a produtividade. Insumos agrícolas podem ser divididos em mecânicos, biológicos ou químicos. Mecânicos: são as ferramentas de trabalho no campo, os tratores, os sistemas de irrigação e os equipamentos e máquinas usados na terra. Biológicos: sementes e adubos. Químicos: fertilizantes e os agrotóxicos. A AD utiliza a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), sensores e equipamentos para automatizar e otimizar a gestão do campo. Veículos Aéreos Não Tripulados (Vant), tratores automatizados e aplicativos de monitoramento da lavoura, do clima e de pragas são aplicações tecnológicas que interagem com todo processo de produção agrícola e se uso auxilia o produtor na tomada de decisão sobre o tipo de manejo mais o adequado. O uso da AD permite a otimização do manejo, informando quais áreas necessitam mais de cuidados. Os conceitos de AP mostram que as lavouras não são uniformes. Existem manchas de variabilidade nos talhões e a AP fornece ferramentas que auxiliam na identificação, interpretação e recomendação de insumos de maneira diferenciada. A AP visa entender as manchas, explorando-as e tirando proveito econômico e sustentável delas. A aplicação localizada é uma forma de manejo diferenciado, aplicando doses diferentes de acordo com as necessidades de cada mancha na lavoura, otimizando recursos e insumos agrícolas utilizando tecnologia. De acordo com a revista THE ECONOMIST (2016), o uso de tecnologia pode impulsionar a produção agrícola nos próximos anos, ajudando a atender as demandas futuras por alimento, ração, biocombustíveis, fibras, etc.

## **2. UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA**

Unidades de gestão diferenciada (UGDs), denominadas zonas de manejo, podem agregar dados históricos da área e traduzi-los em informação relevante à gestão. As demais estratégias utilizam apenas dados de investigação coletados semanas ou meses antes da aplicação, caso das amostragens, ou no mesmo momento da aplicação, no caso de aplicações em tempo real. UGDs são regiões delimitadas na lavoura com mínima variabilidade, consistentes ao longo do tempo, e que caracterizam o potencial de resposta da área. São geradas com base na combinação de dados georreferenciados e geridas de forma diferenciada. Se obtidas de bons dados e pelo método de análise adequado, serão permanentes. O objetivo é subdividir os talhões em unidades gerenciais menores, baseadas no mapeamento do potencial de resposta e aptidão de cada área. As UGDs são áreas permanentes, pois devem representar a variabilidade espacial intrínseca da área, que é imutável e insensível aos tratamentos agrônômicos de rotina e independente de fatores antrópicos e está, normalmente, associada à gênese do solo e pode ser mapeada por meio de fatores físicos, como textura, capacidade de retenção de água, drenagem,

profundidade etc. A implantação de UGDs permite o uso inteligente de informações históricas e é considerada o objetivo final e mais nobre de um sistema de AP. Nesse nível de gestão, o conhecimento sobre a variabilidade de um talhão é suficiente para estabelecer um padrão de tratamento e recomendações condizente com as características de cada UGD. As atividades de investigação e coleta de dados continuam para fins de monitoramento das condições de cada UGD. Um exemplo da importância de UGDs para um sistema de gestão é o reconhecimento de áreas da lavoura que não respondem ao incremento em adubação devido a características do solo que limitam o seu potencial de resposta. Suponha-se que em uma lavoura com solo com boas características físicas (solo argiloso, profundo, bem drenado etc.) exista uma pequena mancha de solo mais arenoso, uma área propícia ao encharcamento ou um solo mais raso e pedregoso que dificulta o crescimento radicular e o armazenamento de água. Se o usuário não mapear essa região e aplicar taxas variáveis em área total utilizando os mesmos critérios de recomendação para as duas regiões, ele comete um erro agrônomo de recomendação. Em uma análise inicial desse talhão, alguns agricultores poderiam intuitivamente decidir por aumentar a dose de N na mancha de solo mais pobre ao notar uma produtividade reduzida nesse local e não haverá resposta em produtividade dada as limitações intrínsecas do solo nessa área. Certamente, conhecendo as limitações dessa região, o gestor deveria reduzir a aplicação de N. Em UGDs de baixo potencial de resposta pode-se reduzir o gasto com insumos (adubos, sementes etc.), em UGDs de alta resposta pode-se aumentar as doses desses insumos buscando aumento de produtividade. Uma informação para diferenciar regiões com potenciais produtivos distintos é a classificação de solos. Esse levantamento costuma apresentar custo proibitivo se realizado com alta resolução (necessária para caracterização da variabilidade espacial). A ferramenta mais comum para o levantamento de informações de solo são os sensores de CE, capazes de coletar grande quantidade de dados que expressam de forma indireta a variabilidade do solo para a capacidade de armazenamento de água e textura. O mapa de CE da área é uma informação essencial para o levantamento de UGDs com qualidade, pois é capaz de diferenciar pequenas variações nesses elementos dentro de uma mesma classe de solo. O levantamento dos parâmetros de planta também é crucial, como os mapas de produtividade e de imagens orbitais, aéreas ou IV por sensores terrestres de dossel. As informações das culturas, principalmente o histórico de produtividade, definirão o potencial de resposta (alto, médio ou baixo) de cada UGD. O mapa de produtividade é o resultado da variabilidade total da área e expressam a variação de parâmetros permanentes (foco da UGD), deve-se utilizar não apenas um, mas uma sequência de mapas históricos, que inclusive de diferentes culturas implantadas na área em cada ano, Os mapas de IV, por imagens de satélite ou sensores terrestres, podem ser utilizados devido à sua relação com a biomassa, que expressa o vigor vegetativo das culturas e a produtividade. Todos os mapas citados

formarão as camadas de informação que serão utilizadas conjuntamente para a observação de padrões de variabilidade e para a subdivisão da área em duas ou mais UGDs.

### **3. APLICAÇÕES DE UGDs NA AGRICULTURA**

Após definidas as UGDs, elas passam a fazer parte de todas as etapas de gestão da lavoura, sendo importantes na adubação e, para algumas culturas, na implantação. Na adubação, as UGDs são utilizadas tanto na fase de investigação quanto na de aplicação. As amostragens de solo podem ser realizadas por UGD, com subamostras dispersas por toda a área da unidade, e não mais em grades regulares, reduzindo o custo com coleta e análise de amostras. Na fase de intervenção, a aplicação pode ser uniforme dentro de cada unidade, baseada na recomendação adotada por UGD. Outra forma é manter taxas variadas dentro das UGDs, seja por recomendações com base em mapas de produtividade, seja por leituras de sensores. É comum que sistemas UGDs apliquem insumos uniformemente dentro de cada UGD, mas é importante salientar que o mapa de produtividade ou sensores, fornecem informações mais detalhadas e confiáveis que não devem ser excluídas da recomendação. Além de aplicações na adubação, as UGDs podem ser utilizadas para variar a população de plantas no momento da semeadura da cultura. Esse tipo de tratamento orienta que regiões com maior potencial podem responder com maior produtividade ao aumento na densidade populacional. Pode-se reduzir o custo com sementes nas regiões de baixo potencial.

#### **2.1. Formas de obtenção das UGDs**

Todos os métodos tradicionais se fundamentam em métodos de combinação de mapas e agrupamento de dados, com base em diversas camadas de informação, gera-se um mapa final contendo duas ou mais UGDs por meio do agrupamento dos dados em classes. Entre os métodos mais simples, é comum a normalização de dados pela média, na maioria das vezes, analisam-se dados com diferentes unidades, como textura do solo e produtividade de grãos. Essa normalização pode permitir a análise visual das regiões com comportamento semelhante. Já para procedimentos matemáticos e estatísticos mais sofisticados, destaque é dado para a análise de *cluster* e seus diferentes algoritmos.

##### **2.1.1. Normalização pela média**

A normalização de dados pela média é um procedimento que converte um valor com determinada unidade em um número relativo, dado pelo percentual da média. Isso significa que se um *pixel* de um mapa de produtividade apresenta o valor de 2.500 kg.ha<sup>-1</sup>, e a média de produtividade desse

talhão for  $3.000 \text{ kg.ha}^{-1}$ , o valor relativo nesse *pixel* será de 0,83 ou 83%. Tal procedimento permite a realização de operações matemáticas entre mapas de diferentes fatores (solo e planta) e a comparação de mapas de produtividade obtidos com culturas e/ou em safras distintas. Após a normalização dos dados de interesse, é gerado um mapa final que representa o valor médio de todos os mapas em cada *pixel*. Além da média, em uma sequência de mapas de produtividades pode ser calculado o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) em cada *pixel*, os quais representam o grau de variação entre os mapas utilizados. O passo seguinte é a classificação dos *pixels* entre alto, médio e baixo potencial de resposta. O mapa do CV, calculado com base em mapas consecutivos de produtividade, pode ser analisado para reconhecer as regiões que apresentaram resposta consistente ao longo dos anos (variabilidade temporal) e o quão confiável é o valor do *pixel* para representar o seu potencial de resposta. O método da normalização pela média é uma das formas mais simples para a geração de UGDs. Por sua simplicidade, esse é um método bastante utilizado e é eficiente quando os mapas mostram um padrão de variabilidade claro e consistente entre si, possibilitando avaliar se o resultado final está dentro do esperado.

### 2.1.2. Análise de *cluster*

São métodos mais robustos em termos de estatística e modelagem de dados. Eles são baseados em fundamentos clássicos da estatística multivariada, especificamente na mineração de dados. A análise de *cluster* é o agrupamento de indivíduos semelhantes em classes distintas. No caso da aplicação em AP, os indivíduos são os *pixels* do mapa e os *clusters* (conjunto de *pixels* dentro da mesma classe) formarão as UGDs. Há outra ferramenta da estatística multivariada utilizada na definição de UGDs, a Análise de Componentes Principais (ACP). Ela permite diminuir a quantidade de dados (variáveis) utilizados para o agrupamento, criando um número reduzido de novas variáveis (componentes principais) que respondem pela maior parte da variação contida nos dados. Pode-se citar como exemplo, o caso da disponibilidade de mapas sequenciais de produtividade, índices de vegetação (IV), textura do solo, condutividade elétrica aparente do solo (CE), altitude, entre outros, é possível reduzir a quantidade de dados para aqueles que mais representem a variabilidade espacial da área, por meio de duas ou três componentes principais. Definido o conjunto de dados, o próximo passo é a escolha do algoritmo *cluster*. Os métodos e algoritmos pertencem aos seguintes tipos: hierárquicos e não hierárquicos (particionamento). Hierárquicos são classificados entre aglomerativos ou divisivos. Aglomerativo: cada elemento (*pixel*) compõe um grupo ou classe. Os agrupamentos são realizados com base em medidas de similaridade (coeficiente de correlação) ou dissimilaridade, dada por cálculos de distâncias (diferenças) entre duas observações. Quanto maior a distância, menor é a semelhança entre os grupos. Divisivos: todos os elementos estão englobados em um grupo que é sucessivamente dividido até que cada elemento

componha um único grupo. Não hierárquicos: iniciam-se a partir de um número (**k**) de classes, definido previamente pelo usuário, de acordo com o seu conhecimento sobre a área e o resultado esperado. Os elementos são trocados entre os *clusters* sucessivamente até que a melhor partição seja encontrada, aquela com menor variação dentro do *cluster* e maior variação entre *clusters*. Os métodos de particionamento podem ser classificados entre supervisionados: nos quais o usuário define padrões de referência para a classificação, e não supervisionados: nos quais os elementos são classificados naturalmente. Os métodos mais difundidos na AP são os não supervisionados, com a vantagem de o usuário não precisar de conhecimento prévio das áreas para conduzir o agrupamento. Alguns métodos não supervisionados utilizados na definição de UGDs são o *k-means* ou *c-means*, o *fuzzy k-means* ou *fuzzy c-means*. Há *softwares* especializados que geram UGDs automaticamente com base em um conjunto de mapas, como o *Management Zones Analyst* e *FuzMe*.

### 3. APLICAÇÃO LOCALIZADA DE INSUMOS

O tratamento localizado é a essência da AP. Trata-se da ação diferenciada, variada ou localizada, de cada pequena porção (a menor possível) da lavoura. Os benefícios podem ser: economia de insumos e recursos, aumento de produtividade e/ou qualidade do produto final, melhoria na qualidade das aplicações e mitigação do impacto ambiental. Para qualidade na aplicação é necessário o uso de equipamentos com algum grau de automação. Se o conjunto estiver corretamente calibrado e desempenhar dentro do esperado, permitirá a operação com mínima interferência do operador. Fator que justifica a melhor qualidade da aplicação. Os produtos fitossanitários são mais agressivos e nocivos ao ambiente do que os fertilizantes. Técnicas de aplicação localizada de herbicidas, inseticidas e fungicidas tem maior potencial de fazer jus ao argumento ambiental. São produtos caros e as economias são sensíveis. O tratamento localizado pode ser empregado nas mais diversas etapas de cultivo: no preparo, correção do solo e adubação, no controle de daninhas, semeadura, irrigação, pulverizações para o controle de pragas e doenças etc. A aplicação de fertilizantes e corretivos é a técnica que mais se popularizou entre os agricultores. A elaboração de mapas de recomendação é ágil e a disponibilidade de máquinas e recursos eletrônicos é maior que para outros insumos. A etapa de análises de amostras em laboratório não é necessária, os dados são gerados no campo. A qualidade do mapa depende da densidade de amostragem, que, em alguns casos, é alta o suficiente para inviabilizar a coleta. Amostragens representam um intervalo de tempo entre a quantificação ou qualificação de um evento e a intervenção localizada. Pesquisadores buscam formas de medir indicadores diretos ou indiretos para gerar mapas de recomendação de forma mais acelerada, diminuindo o intervalo de tempo entre o

monitoramento e a intervenção. Assim, é possível a intervenção na sequência do monitoramento, a aplicação ou intervenção em tempo real. Nas intervenções guiadas por mapas, que controlam a variação de doses, é necessário processar o procedimento de coleta, a análise laboratorial das amostras e processamento dos dados, para obter o mapa de recomendação, que é a representação gráfica das doses em posições geográficas determinadas, permitindo o planejamento e tomada de decisões anteriores à aplicação. Pode-se planejar a aquisição do insumo e o abastecimento da operação, pois as quantidades são previamente conhecidas. Aplicação por sensores em tempo real, o mapa e o posicionamento deixam de ser necessários. A quantidade de produto demandada não será previamente conhecida, depende do diagnóstico realizado no ato da operação. Para a realização das intervenções, são necessários sistemas mecanizados automatizados. Tais sistemas são compostos de um receptor GNSS, um controlador e um atuador de taxa variável. Controlador: por meio de um *software* específico, agrega as informações de posicionamento do GNSS com a informação contida no mapa de recomendação ou dos sensores e envia um comando para o atuador que ajusta a máquina para a dose de aplicação desejada no local. Um exemplo é a utilização de um sensor óptico que calcula o IV NDVI para estimar a deficiência de N ou a biomassa. Uso de imagens orbitais com técnicas de sensoriamento remoto (SR) para calcular o NDVI. Uso de Vant para obter imagens multiespectrais com alta resolução espacial favorece a obtenção de dados na agricultura.

#### **4. APLICAÇÃO LOCALIZADA NO PREPARO DO SOLO**

Poucas aplicações de AD se dedicam ao preparo do solo. Existem variações nas condições de solo, principalmente vinculadas à compactação, que geram a necessidade de um tratamento diferenciado em relação à forma e intensidade de mobilização do solo. A subsolagem é uma operação que rompe as camadas compactadas do solo, é de baixo rendimento operacional, altamente demandante em energia e altos custos. Com o aumento de áreas cultivadas com plantio direto (não há revolvimento do solo), a compactação pode ser mais problemática. O tratamento para a descompactação do solo depende da mensuração do índice de compactação que caracteriza o seu adensamento. Deve-se utilizar sensores que auxiliam no gerenciamento da operação. Os sensores usam diferentes princípios de funcionamento, dependendo das propriedades a analisar: sensores eletromagnéticos, ópticos, eletroquímicos, mecânicos, acústicos e pneumáticos (MOLIN et al., 2015). Sensores eletromagnéticos usam circuitos elétricos para avaliar a capacidade dos solos em conduzir eletricidade. Permite identificar indiretamente o tipo de solo, pois algumas características se alteram e o sinal elétrico captado pelo sensor torna-se diferente. A resistividade elétrica do solo é influenciada pela textura, umidade, conteúdo de matéria orgânica (MO) e

salinidade. Há equipamentos que trabalham com a CE e indução eletromagnética. Sensores ópticos usam a refletância da energia eletromagnética nas diferentes regiões do espectro, da mesma forma utilizada pelo SR. Esses sensores são eficazes na identificação de parâmetros de solo, como argila, MO e umidade. Sensor com princípio semelhante capta a emissão natural de raios gama pelo solo, que é função do tipo de solo e se correlacionam com algumas de suas propriedades físicas e químicas. Há equipamentos que induzem a excitação das moléculas do solo por meio de *laser*, enquanto outros, com *laser* mais potente, obtêm o espectro do plasma gerado. Outros trabalham com emissores de micro-ondas (radares) que penetram no solo e indicam alterações na densidade ou a presença de camadas de impedimento. Sensores eletroquímicos detectam a atividade de um íon específico, como o  $H^+$  na solução do solo, o que permite inferir o pH do solo e estimar a disponibilidade do potássio para as plantas. Há sistemas para mensuração da compactação ou dureza dos solos, e os tradicionais utilizam o princípio de funcionamento mecânico, que avalia a resistência do solo a certa deformação imposta. Pneumático: assume que a permeabilidade do solo a certo volume de ar comprimido se relaciona com algumas propriedades do solo, como umidade, estrutura e compactação. Sensores acústicos partem do princípio de que há uma mudança no nível de ruído quando um objeto interage com as partículas de solo (resultados experimentais são escassos).

## 5. APLICAÇÃO LOCALIZADA NA SEMEADURA

Utiliza de sistemas digitais que consideram a data de semeadura, a cultivar utilizada, o local, o clima, a umidade do solo, a temperatura, o histórico de controle de doenças, a precipitação e outros dados. Existem semeadoras que variam a taxa de semeadura por meio de informações recebidas de sensores e controladores. O controlador armazena informações do mapa de recomendação ou processa leituras de sensores e envia sinais para o elemento atuador. O mecanismo dosador é, normalmente, acionado por rodas de terra e regulado por combinações de rodas denteadas. Um motor (hidráulico ou elétrico) controla a velocidade angular do rotor acanalado em semeadoras para sementes miúdas (dosador de fluxo contínuo), ou do disco horizontal ou vertical em semeadoras de sementes graúdas. O atuador compensará variações de velocidade e atenderá às recomendações do controlador. Em semeadoras-adubadoras, o controle de taxas pode ser realizado simultaneamente tanto para o adubo quanto para a semente, por meio de controladores com múltiplos canais e atuadores individuais em cada mecanismo dosador. Em alguns casos, têm-se mais de um compartimento de adubo para aplicação simultânea e variada de N, P e K, além do controle na taxa de sementes. A população pode variar de acordo com UGD, ou seguindo mapas de *pixels* ou sensores. A população variada de sementes é uma

das principais aplicações em sistemas que adotam UGD. O que define uma UGD e o seu potencial produtivo são dados históricos de produtividade e fatores de solo, como textura, profundidade, drenagem, relevo, etc. Unidades de alto potencial são implantadas com maior densidade populacional, considera-se que nelas existem menores limitações à produção. Em regiões de baixo potencial produtivo, reduzir a utilização de sementes que serão realocadas para as UGDs de alta produção. O desafio dessa tecnologia está na recomendação de populações, que é dependente da cultura e das condições locais de cada lavoura. Os usuários se baseiam em experimentações locais ou suposições empíricas para estimar a população ótima. A textura do solo pode ser mapeada por meio de amostragens georreferenciadas ou por meio de sensores e convertida em recomendações de populações. Usuários têm empregado tais sensores para guiar a semeadura variável. Se não houver expressiva salinidade, solos mais argilosos e mais úmidos apresentam maiores leituras de CE e podem receber maiores densidades populacionais. Os sensores ópticos de solo para mensuração de MO podem ser utilizados e quanto maior a leitura para tal parâmetro, maior a densidade de sementes.

## 6. APLICAÇÃO LOCALIZADA DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS

É a principal prática de AP no Brasil e no mundo. A forma mais frequente de recomendação é por amostragem de solo em grade com um aumento no interesse por intervenções por UGD e, no caso da adubação nitrogenada, pelo uso de sensores ópticos. A aplicação localizada de calcário, fertilizantes fosfatados e potássicos baseada em amostragem de solo georreferenciada em grade se tornou muito difundido por empresas de consultoria em AP. Existem diversas formas de elaborar as recomendações. A mais comum é a aplicação a partir de mapas de recomendação, gerados por meio de equações que fornecem a dose de insumo demandado em cada *pixel*. O mapa de recomendação pode ser utilizado no formato original (*raster* ou de *pixels*), que resulta em aplicações mais detalhadas, ou convertido no formato vetorial, no qual as doses são aplicadas dentro de grandes intervalos. Se na etapa de amostragem o método utilizado foi a amostragem por célula, a equação de recomendação é aplicada em cada célula, resultando em uma aplicação com menor resolução. As equações mais simples, e por isso as mais adotadas em taxa variável, são as aplicadas nas recomendações de corretivos de solo (calcário e gesso), pois utilizam variáveis das análises de solo. A maioria das equações ou tabelas de recomendação de adubação utilizam ao menos duas variáveis para o cálculo da necessidade de insumo, a disponibilidade do nutriente no solo e a produtividade esperada para a safra. O mapa da produtividade esperada é obtido multiplicando-se o valor em cada *pixel* do mapa de produtividade original por um fator de incremento ou decremento da produtividade para a próxima safra, que é estimado pelo

agricultor de acordo com o conhecimento sobre a área e a cultura. O mapa de produtividade esperada é então sobreposto ao de fertilidade do solo em um SIG, conferindo a cada *pixel* um valor para cada variável. Em cada *pixel* é aplicada a equação de recomendação, gerando o mapa de recomendação que será inserido no monitor do controlador que direcionará a aplicação em doses variadas (MOLIN et al., 2015).

## **7. APLICAÇÃO LOCALIZADA DE PULVERIZAÇÕES**

As formas de investigação espacializada dos parâmetros fitossanitários e a elaboração de recomendações são menos difundidas e mais complexas do que na adubação. Os ganhos econômicos e ambientais podem ser maiores que na gestão da adubação, pois estão associados à economia ou redução do uso de insumos com alto valor. Os produtos fitossanitários se aplicados em excesso, aumentam os custos, e podem contaminar o produto final e o ambiente. Para a precisão em pulverizadores, é utilizado o controle automático de seção, que não está vinculado à gestão localizada. Duas formas de variar taxas de aplicações: (i) variação do volume de calda: é necessária a alteração da vazão de aplicação, que pode ser feita de três formas: (1) variação na pressão de aplicação; (2) variação no número e vazão dos bicos; ou (3) pelo sistema de controle de vazão por pulsos; e (ii) variação da dose de princípio ativo, com volume de calda constante. Aplicações podem ser guiadas por sensores ou por mapas. Os mapas de recomendação podem ser obtidos de diversas formas: por meio de amostragens em grade da incidência de problemas fitossanitários, ou de fatores indiretos à recomendação, como textura do solo ou MO no caso herbicidas pré-emergentes; por inspeção georreferenciada de pragas e doenças; pelo mapeamento de contornos de reboleiras; por imagens aéreas etc. Aplicação com base em sensores ópticos e visão artificial são empregadas na aplicação de herbicidas após a colheita da cultura anterior, ou para dessecação da cultura quando há pouca vegetação. Sensores instalados na barra de pulverização (um sensor para cada bico) realizam leituras em busca de daninhas. Ao reconhecer o alvo, os sensores acionam a válvula do respectivo bico de pulverização. O tempo entre a leitura e o acionamento do bico deve ser proporcional ao deslocamento da máquina e a distância entre o sensor e o bico, para que o produto atinja o alvo com exatidão. Pela refletância, o sensor é capaz de distinguir uma daninha da palha sobre o solo ou do solo exposto. Visão artificial: não se pode afirmar que esteja pronta comercialmente, mas grandes avanços foram alcançados em todo o mundo. O sistema de aplicação se baseia no reconhecimento de plantas invasoras por meio do tratamento de imagens coletadas por câmeras instaladas no pulverizador. Vantagem: pode ser empregado em pulverizações após a emergência da cultura, desde que o algoritmo de tratamento de imagem consiga distinguir a daninha da cultura. O

processamento de cada imagem deve ser rápido, não superior ao tempo entre a leitura e aplicação. A popularização do Vant deve impulsionar o desenvolvimento dessa solução. Aplicação com base em características do solo é técnica de aplicação de herbicida pré-emergente com base na variação de textura e MO. O herbicida é aplicado sobre o solo. Após a aplicação, a molécula de herbicida pode se manter na solução do solo, ser absorvida pela daninha recém-geminada ou ser adsorvida aos colóides do solo. O mapeamento é possível por imagens aéreas (delimitação de manchas pela cor do solo exposto e direcionamento de amostragens), por sensores ópticos capazes de estimar os dois parâmetros pelo padrão de refletância do solo e por intermédio de indicadores indiretos como a CE, que está fortemente associada à textura e umidade do solo (MOLIN et al., 2015). Aplicação com base em sensores de biomassa: a pulverização visa o cobrimento da planta com o produto para prevenir a infecção de doenças ou ataque de pragas. Quanto maior a biomassa da cultura, maior o volume de calda aplicado. Técnicas foram desenvolvidas para guiar aplicações variáveis de acordo com a variação de biomassa. Há a pulverização de fungicidas baseada em leituras de sensores aéreos ou terrestres. Sensores de refletância do dossel: os IV, como o NDVI, são bons indicadores da quantidade de biomassa e são calculados por leitura de sensores em plataformas orbitais, aéreas ou terrestres (trator ou pulverizador). Imagens, tanto de satélite como de plataformas aéreas, têm sido utilizadas para gerar mapas de NDVI e recomendações variadas de pulverizações. Aplicação com base no mapeamento de reboleiras: diversas pragas e doenças ocorrem no campo em reboleiras (porções definidas do campo e de forma agrupada). Aplicação variada segue um mapa contendo o contorno das reboleiras e direciona a aplicação somente dentro das áreas delimitadas. A demarcação pode ser feita de forma indireta, por imagens aéreas ou mapas de produtividade e validação *in loco* dos sintomas. Estratégias mais utilizadas para mapeamento são a amostragem em grade e a direcionada, utilizando-se mapas de variabilidade de biomassa para escolha dos locais de coleta. Amostragem pode envolver a análise laboratorial tanto de solo quanto de tecido vegetal e a avaliação visual, atribuindo uma nota relacionada ao dano ou nível de infestação verificado. Para padronizar a avaliação visual, pode-se fazer a avaliação por reconhecimento de imagens, utilizando RNAs e IA. Pela foto da amostra o algoritmo retorna uma nota. A amostragem por UGDs pode ser utilizada em imagens de satélites ou Vants, identificando manchas na lavoura. Mapeamento das plantas daninhas: muitas espécies ocorrem em reboleiras, devido a aspectos da biologia das plantas. Outros fatores podem ser indicadores de maior agregação, como: umidade do solo, topografia, tipos de solos, produtividade da cultura. As reboleiras permite o mapeamento de suas distribuições no campo, para tratamentos. Para o mapeamento, podem-se utilizar técnicas de detecção automatizadas por imagens aéreas de Vants, satélites e outras formas de sensoriamento para a delimitação de manchas pela cor do solo exposto e direcionamento de amostragens. Mapeamento das

plantas daninhas na colheita da cultura: é a marcação georeferenciada da infestação durante a colheita, no caminhar da colhedora equipada com DGPS, o operador marca quando entra na reboleira. Pela largura da plataforma de colheita e da posição em que começou e terminou a marcação é possível calcular a faixa com a presença da daninha. Após a colheita e processamento dos dados em um *software* específico as faixas de infestações geram um mapa. É possível obter mapas pós-colheitas que servirão de base para a próxima cultura. Daninhas apresentam certa estabilidade espacial e temporal (GARZELLA et al., 2020).

## 8. APLICAÇÃO LOCALIZADA NA IRRIGAÇÃO

Da AP e AD nascem os termos de irrigação de precisão (IP) e irrigação digital (ID), que trazem as tecnologias que permitem que a lavoura seja monitorada e manejada com maior precisão, evitando desperdícios, elevando a rentabilidade e com processo produtivo mais sustentável (FILGUEIRAS et al., 2020). A IP trata de modo diferenciado o que é diferente, com detalhamento espacial para a demanda hídrica real do talhão e promovendo o zoneamento de regiões que necessitam de mais ou menos água. Avanços nessa área é a crescente utilização de imagens aéreas e orbitais e a estimativa da evapotranspiração real com imagens de satélites. A ID foca no manejo e monitoramento da irrigação por meio de *softwares*, sensores e atuadores, que coletam, armazenam e fazem análise de dados de diferentes fontes, tornando o sistema automatizado e fornece informações para tomadas de decisões estratégicas. Traz comodidade e segurança para o produtor ao coletar e interpretar dados da necessidade hídrica das plantas. O conhecimento do clima local e da cultura é para estimar a necessidade hídrica da planta no período de máxima demanda. Na ID as tecnologias embarcadas dão maior nível de automação e possibilitam a aplicação de água a taxa variada. Recomendações variáveis de irrigação se baseiam em mapas de CE, que se relacionam com a capacidade de armazenamento de água no solo, ou seguem delimitações de UGDs, que definem a demanda diferenciada da cultura por água. Há diversas soluções por *smartphones* e computadores, para monitoramento e controle remoto dos sistemas. São capazes de acionamento de desligamento remoto do sistema e monitoram se o sistema está ligado e informa a posição e direção de deslocamento no campo (pivôs). O uso de imagens de Vants e satélites e o uso de ciência de dados (VALENTE et al., 2020) e algoritmo de aprendizado de máquina são parte marcante da ID, possibilitando tomadas de decisão mais estratégicas.

## 9. CONCLUSÕES

Em resumo, a Agricultura Digital e a Agricultura de Precisão estudam os dados, as informações, seu processo de aquisição, transformação, geração e a análise desses dados agronômicos com o intuito de encontrar conhecimento relacionados a eles que colaborem para tomadas de decisões no campo. Dados agronômicos é tudo aquilo que pode ser coletado no campo para análise de dados para combater pragas e aumentar a produtividade na lavoura, fertilizante de solo, manejo, maquinários etc. A utilização de UGDs e aplicações à taxas variadas são ferramentas poderosas que ajudam o produtor agrícola a utilizar de maneira racional seus recursos e insumos, potencializando seus lucros e diminuindo perdas e impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORÉM, A. Nova revolução verde. **In:** Agricultura Digital. QUEIROZ, D. M. [et al.] editores. Editora UFV: Viçosa, MG. 2020.

FILGUEIRAS, R. [et al.]. Irrigação Digital. **In:** Agricultura Digital. QUEIROZ, D. M. [et al.] editores. Editora UFV: Viçosa, MG. 2020.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R; COLAÇO, A. F. Agricultura de precisão. 1 ed. Oficina de Textos: São Paulo, 2015.

THE ECONOMIST. **The future of agriculture.** Technology Quarter. Jun 11th, 2016. Disponível em: <http://www.economist.com/technology-quarterly>. <Acessado em 12 de setembro de 2022>.

VALENTE, S. D. M. [et al.]. Machine learning. **In:** QUEIROZ, D. M. [et al.]. Agricultura digital. Ed. UFV: Viçosa, MG, 2020.