

TECNOLOGIAS APLICADAS PARA O MANEJO RENTÁVEL E EFICIENTE DA CULTURA DA SOJA

Thomas Newton Martin

João Leonardo Fernandes Pires

Rosana Taschetto Vey

2022



Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja

Ano 2022

Autores / Organizadores
Thomas Newton Martin
João Leonardo Fernandes Pires
Rosana Taschetto Vey

Santa Maria
Editora GR
2022

Diagramação: Grégory Rossato - gregory.rossato@gmail.com

Fotos/tabelas/imagens: Autor

Arte da capa: Thaís Teixeira de Oliveira - Estudante do 5º semestre de Comunicação Social - Publicidade e Propaganda

Revisão: Autor

Impressão: Gráfica Pallotti - (55)3220-4500

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

T255

Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja / Thomas Newton Martin [et al.].
Santa Maria: Editora GR, 2022.

528 p. ; 14x21 cm

ISBN 978-65-89469-57-5

1. Soja 2. Cultivo 3. Manejo I. Título

CDU 633.34

Bibliotecária responsável Trilce Morales – CRB 10/2209



@coxilhaufsm
coxilhaufsm@gmail.com

A exatidão das informações, conceitos e opiniões emitidos em cada um dos capítulos são de exclusiva responsabilidade dos autores de cada capítulo.

É permitida a reprodução parcial ou total dessa obra, desde que citada a fonte.

APLICAÇÕES DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NA CULTURA DA SOJA

André Luis Vian¹, Christian Bredemeier¹, João Leonardo Fernandes Pires², Geomar Mateus Corassa³ e João Paulo Vanin⁴

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Av. Bento Gonçalves nº 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre - RS, Brasil. E-mail: andre.vian@ufrgs.br

² Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, CEP: 99050-970 Passo Fundo - RS, Brasil.

³ CCGL - Cooperativa Central Gaúcha Ltda, RS-342, km 149, CEP 98005-970 Cruz Alta - RS, Brasil.

⁴ SLC Agrícola, Rua Bernardo Pires, nº 128, CEP 90620-010 Porto Alegre - RS, Brasil.

Introdução

A soja é a cultura produtora de grãos mais produzida no Brasil. Conforme estimativa da Conab para a safra 2021/2022, a área cultivada foi de aproximadamente 40,9 milhões de hectares, com produção de 124 milhões de toneladas e rendimento médio de grãos de 3.029 kg/ha (Conab, 2022). Para a mesma safra, RS e SC respondem por 17,4% da área de cultivo no Brasil (7,13 milhões de ha), 9% da produção brasileira (11,15 milhões de t) e rendimento médio de grãos de 1.433 kg/ha no RS e 2.802 kg/ha em SC (Conab, 2022). As realidades de produção são bastante distintas, desde ambientes de clima temperado do Sul até tropical em baixas latitudes no Norte do Brasil. A cultura está presente desde pequenas propriedades de cunho familiar até grandes empreendimentos empresariais com milhares de hectares cultivados. Essa distribuição geográfica de realidades de produção e, portanto, com grande variabilidade de possibilidades de variação no manejo, é uma oportunidade interessante para avaliação e aplicação de abordagens e tecnologias no escopo da Agricultura de Precisão (AP).

A AP é uma área multidisciplinar que se caracteriza por um conjunto de ferramentas que integram sistemas de posicionamento global, gestão agrícola, sensoriamento remoto, informática e economia, entre outros. A inclusão de ferramentas digitais que permitem o melhor entendimento da interação das condições edáficas

do solo com as condições de cultivo (planejamento até colheita) permite ajustes, proporcionando incrementos na produção de grãos.

Amostragem de solo e plantas em grade (*grid*), definição de zonas/ambientes de manejo, intervenções em taxa variável, uso de veículos aéreos não tripulados (VANTS), experimentação na fazenda (*on-farm*), confecção de mapas de colheita e identificação e manejo localizado de plantas daninhas, pragas e doenças são alguns exemplos de abordagens em desenvolvimento e/ou uso prático na agricultura brasileira e, portanto, com potencial para uso em sistemas de produção que envolvem a soja. Neste capítulo, pretende-se apresentar e discutir as algumas possibilidades de aplicação de abordagens e tecnologias de AP nos sistemas de produção de soja, buscando o aumento do rendimento de grãos, o uso racional de insumos, a preservação do ambiente e o incremento da rentabilidade da atividade agrícola.

Mapeamento do rendimento de grãos

A caracterização da variabilidade do rendimento de grãos em lavouras de soja é uma ferramenta disponível atualmente por meio do uso de colhedoras dotadas de sensores específicos e sistema de posicionamento global por satélites (GNSS) capazes de quantificar e localizar espacialmente a variabilidade do rendimento de grãos nos talhões. Esse trabalho necessita adequada calibração de sensores e suporte de empresas fornecedoras e adequado processamento dos dados após a colheita, a fim de que os mapas gerados sejam condizentes com a realidade do campo (Resende et al., 2014). A correta caracterização da variabilidade espacial do rendimento de grãos por algumas safras é uma etapa importante da AP e serve de base, juntamente com outras informações, para a definição de zonas/ambientes de manejo e posterior intervenção por meio de práticas de manejo específicas em cada zona (Figura 1).

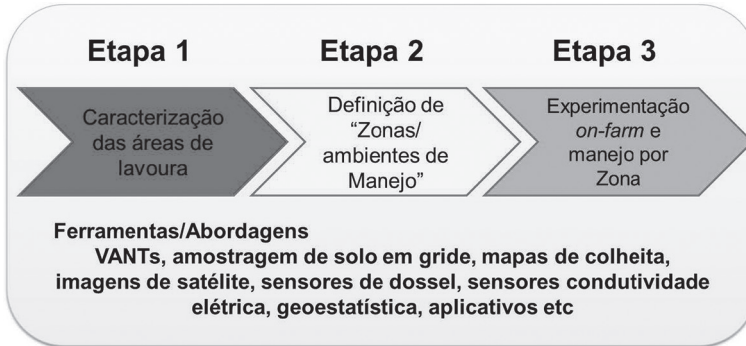


Figura 1. Etapas principais do uso da Agricultura de Precisão para manejo de áreas de produção agrícolas e algumas ferramentas/abordagens com potencial para utilização em soja.

Inúmeros mapas de variabilidade espacial e temporal do rendimento de grãos de soja têm sido gerados em áreas comerciais (Figura 2). Isso, por si só, representa um avanço em relação à informação disponível anteriormente, na qual se tinha uma estimativa de produtividade do talhão como um todo e pouca capacidade de intervenção para corrigir e/ou ter o melhor custo/benefício de cada local dentro do talhão.

Uma das principais aplicações dos mapas de colheita é a investigação das causas que levaram a ocorrência de regiões da lavoura com baixo e alto rendimento de grãos, pois, por meio dessa análise, é possível planejar estratégias de manejo mais eficientes para as próximas safras (Eitelwein et al., 2016).

Entretanto, deve-se considerar que a soja, por sua grande plasticidade fenotípica e capacidade de compensação, tanto de crescimento vegetativo quanto de componentes do rendimento de grãos, muitas vezes não se constitui em indicadora adequada da variabilidade, dentro de algumas proporções. A fixação simbiótica de nitrogênio pela soja, por exemplo, pode, em algumas situações, compensar diferenças de disponibilidade de nitrogênio entre áreas dentro do talhão, uniformizando os indicadores de crescimento e o rendimento de grãos.

Também o acompanhamento espectral da lavoura durante o ciclo (usando avaliações do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, por exemplo) pode não representar corretamente as variações no rendimento de grãos. Isso é positivo, mas demonstra a necessidade de maior atenção na interpretação dos resultados obtidos, da integração dos mapas de variabilidade de rendimento de grãos de soja com os de outras culturas melhores indicadoras (como milho e cereais de inverno) de várias safras e de informações de química e física de solo e monitoramento do dossel.

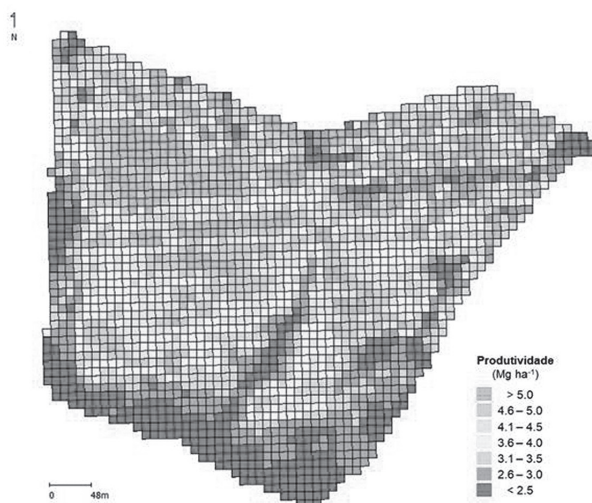


Figura 2. Exemplo de mapa de variabilidade espacial do rendimento de grãos de lavoura de soja. Fonte: CCGL (2019).

Zonas de Manejo

Uma prática utilizada recentemente é a subdivisão da área total em pequenas áreas dentro do talhão, com características semelhantes, a fim de encontrar áreas mais homogêneas nos campos de produção. Essas divisões são conhecidas como "Unidades/Zonas de manejo", "Unidades de gestão diferenciada" ou "*Yield Environment*" e são definidas com o uso de mapas de colheita, mapas da distribuição espacial de nutrientes no solo e

uso de índices de vegetação e imagens de satélite, bem como pelas condições ambientais de produção (McBratney et al., 2005; Santi et al., 2013). A partir destas definições, tornou-se possível a prescrição personalizada para cada local da lavoura e considerando os diferentes âmbitos, como, por exemplo, a prescrição de nutrientes, intervenções mecânicas e biológicas, manejo da água, estratégias de conservação do solo e taxa variada de sementes.

Experimentação na fazenda (*on-farm*)

O mapeamento do rendimento de grãos, com ou sem a definição de Zonas de Manejo, também pode contribuir para uma estratégia importante da AP, que é a realização de ensaios na fazenda (do inglês *on-farm*), a fim de validar indicadores de manejo específicos para cada talhão/zona de manejo. Esses ensaios são realizados com equipamentos comerciais, implantando faixas ou os chamados “parcelões” de tratamentos contrastantes (Figura 3), os quais podem ser monitorados durante o desenvolvimento da cultura por meio de ferramentas utilizadas na AP, como imagens de satélites, drones e equipamentos terrestres e que culminam com a colheita, gerando mapas de rendimento de grãos que demonstram a efetividade de alguns tratamentos. Por meio dessas informações, é possível aplicar os tratamentos mais eficientes, do ponto de vista produtivo e/ou econômico na região (talhão/zona de manejo) no local estudado.

Como exemplos das possibilidades em soja, é possível realizar ensaios *on-farm* nos seguintes aspectos:

- Diferentes genótipos;
- Variação no arranjo de plantas (população de plantas e espaçamento entre linhas);
- Aplicação de diferentes micronutrientes, hormônios e produtos promotores do rendimento de grãos;
- Aplicação de diferentes inoculantes e/ou co-inoculação (*Bradyrhizobium* + *Azospirillum*);
- Variação nos sistemas de rotação/sucessão de culturas;

- Diferentes estratégias para o controle de nematoides;
- Calagem e adubação diferenciada;
- Diferentes práticas para descompactação do solo;
- Opções de tratamento de sementes;
- Diferentes estratégias de controle de plantas daninhas, pragas e doenças.

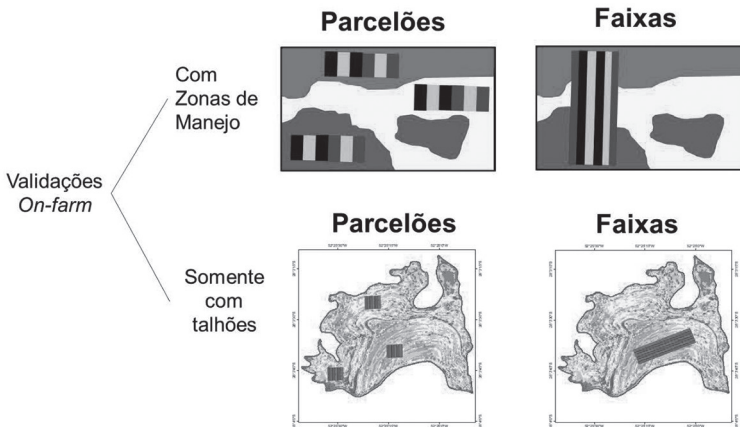


Figura 3. Exemplos de variação de estratégias para validação de tecnologias/abordagens de AP em experimentos *on-farm*, com e sem a definição de Zonas de Manejo.

A pesquisa também pode estar conectada com as atividades *on-farm*. Atualmente, uma grande quantidade de dados gerados por diferentes Instituições e Grupos de pesquisa públicos e privados estão disponíveis e podem auxiliar na delimitação dos tratamentos a serem avaliados em ensaios *on-farm*. Com o uso de "Big data", análises robustas, capacidade computacional e interpretações agrônômicas dos resultados é possível utilizar dados de ensaios com controle realizados por meio de experimentação convencional para direcionar a experimentação *on-farm* e gerar indicadores para uso em cada zona de manejo ou talhão (Figura 4). Por exemplo, Corassa et al. (2018a) avaliaram um conjunto de dados de ensaios de

densidade de semeadura de soja realizados em diferentes locais do Sul do Brasil. Os ensaios foram realizados por vários anos, utilizando genótipos de grupos de maturidade relativa e tipos de crescimento contrastantes. Foram utilizadas técnicas como modelagem hierárquica e estatística Bayesiana, sendo possível identificar, para diferentes ambientes de potencial produtivo (que poderiam ser entendidos como zonas de manejo com diferentes históricos de rendimento de grãos), densidades específicas e possibilidades de redução ou aumento da densidade de semeadura, a fim de garantir ou aumentar o rendimento de grãos, obtendo-se o melhor desempenho possível em cada zona de manejo. Essa é uma das oportunidades que os produtores de soja que utilizam estratégias de AP podem se beneficiar. Outros exemplos de avaliações/indicações de fatores de manejo por zona de manejo em soja podem ser encontrados em Corassa et al. (2018b), para o posicionamento de cultivares, e Camicia et al. (2018), para densidade de semeadura.

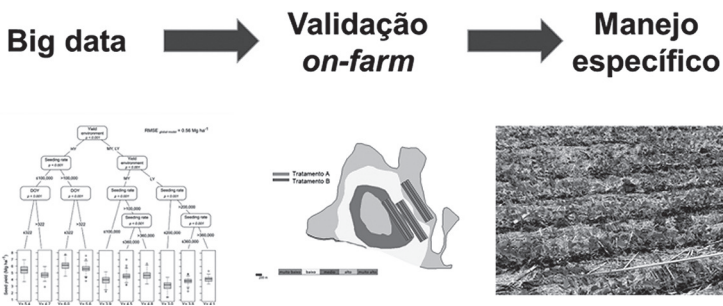


Figura 4. Exemplo da oportunidade de integração de trabalhos acadêmicos envolvendo "Big data", experimentação *on-farm* e indicação de manejo específico para cada talhão ou zona de Manejo.

A abordagem de experimentação *on-farm*, entretanto, apresenta algumas limitações que precisam ser consideradas. A conscientização do produtor sobre os procedimentos e necessidades da AP em trabalhos *on-farm*, a necessidade de equipamentos e assistência técnica para realização da implementação, manejo e co-

lheita no tempo e formato adequados, disponibilidade de banco de dados histórico capaz de permitir a definição de zonas de manejo de forma adequada, aversão do produtor ao risco de fazer variações de grande magnitude em determinados fatores em validações *on-farm* e dificuldades de interpretação e aplicação dos resultados são algumas dessas dificuldades.

Taxa variada de sementes

Dentre as diversas práticas de manejo que contemplam o sistema de produção na cultura da soja, a densidade de sementes que resultará na população de plantas desejada (número de plantas por unidade de área) é um fator tradicionalmente considerado pelos produtores e técnicos. Por este motivo, essa prática é continuamente refinada e estudada globalmente (Egli, 1988; Pires et al., 2000; Lee et al., 2008; Ferreira et al., 2016). A correta prescrição da densidade ótima de sementes garante a maximização do uso dos recursos ambientais, proporciona o melhor desempenho do genótipo e, conseqüentemente, maximiza a produtividade (Egli, 1988; Board, 2000; Cox e Cherney, 2011).

Nos últimos anos, contudo, novos esforços por meio de ferramentas de AP foram realizados buscando entender a dinâmica da densidade de semeadura dentro de um mesmo talhão agrícola (Horbe et al., 2013; Schwalbert et al., 2018, Corassa et al., 2018a). No entendimento tradicional, a taxa ótima era definida para cada cultivar e a prescrição realizada de forma uniforme dentro dos talhões agrícolas. Com os avanços em tecnologias capazes de realizar o mapeamento detalhado dos talhões, como a amostragem georreferenciada de atributos químicos e físicos e da colheita (monitores de produtividade, imagens de satélite), foram percebidos e caracterizados os contrastes produtivos dentro de um mesmo talhão (Molin, 2002; Santi, 2007; Amado e Santi, 2011) (Figura 2). Estas constatações foram fundamentais para que tanto a pesquisa quanto os produtores comesçassem

a se questionar se ambientes com diferentes potenciais produtivos não deveriam receber diferentes densidades de sementes. Além disso, mesmo com os avanços de manejo localizado e a consequente equalização das áreas (i.e, correção de locais de baixa produtividade), foram evidenciadas situações em que o baixo potencial produtivo não estava atrelado a fatores controláveis ou passíveis de intervenção, tais como desequilíbrio nutricional e compactação do solo, e que, portanto, a menor oferta ambiental nestes locais deveria pendurar ou, em outras palavras, ser consistente ao longo das sucessivas safras. Esse fato reforçava a necessidade de manejo diferenciado para estes locais. Dentre eles, a prescrição de diferentes densidades de semeadura e a aplicação da taxa variada de sementes (Horbe et al., 2013; Corassa et al., 2018a).

Conceitualmente, a taxa variada de sementes (TVS) consiste na prescrição diferenciada da densidade de sementes e, conseqüentemente, da população de plantas na lavoura, em virtude do ambiente de produção e/ou em virtude de algum diagnóstico prévio (Corassa et al., 2018a). Em suma, a densidade de sementes não é prescrita de forma homogênea ao longo do talhão e, por isso, o uso do termo "variada". Essa prescrição mais assertiva foi facilitada pelo aporte tecnológico empregado nas semeadoras dotadas de sistemas capazes de alterar a densidade de sementes em função de uma recomendação pré-definida (McBratney et al., 2005; Corassa et al., 2018a). Atualmente, tal tecnologia pode ser adquirida pelos produtores, ao mesmo tempo em que já é item de série em grande parte das semeadoras.

Os primeiros estudos avaliando esta prática foram na cultura do milho e conduzidos primeiramente nos Estados Unidos e, posteriormente, no Brasil (Shanahan et al., 2004; Hörbe et al., 2013). Tal fato se deu em virtude do dinamismo e da plasticidade fenotípica tradicionalmente observada para a cultura da soja, o que dificultava a obtenção de resultados conclusivos. Os re-

sultados obtidos na cultura do milho, por outro lado, já evidenciavam, de forma muito clara, o potencial da TVS. Ganhos em produtividade foram obtidos pelo aumento da densidade de plantas de milho em ambientes de alta produtividade, bem como maior rentabilidade foi observada em ambientes de baixa produtividade, quando do uso de menores populações de plantas (Hörbe et al., 2013; Assefa et al., 2016; Schwalbert et al., 2018).

Para a soja, estudos recentes evidenciaram a tendência de que a prescrição para TVS segue uma lógica diferente do milho. Avaliando o desempenho de cultivares de soja em resposta à densidade de semeadura, foram observados que a taxa ótima de sementes foi 18% menor em ambientes de alta produtividade (Produtividade acima de 5 Mg/ha) quando comparado a ambientes de baixa produtividade (Produtividade abaixo de 4 Mg/ha) (Corassa et al., 2018a) (Figura 5A). Por meio de modelos estatísticos utilizando inferência Bayesiana e baseados em um banco de dados de 109 experimentos no sul do Brasil, os autores observaram que ambientes de baixa produtividade atingiram o platô de produtividade com 290.000 sementes/ha (interquartil entre 274 e 303.000), enquanto, para ambientes de alta produtividade, o mesmo foi atingido com 245.000 sementes/ha (interquartil entre 232 e 262.000) (Figura 5A). Em resumo, maior número de sementes por área deve ser prescrito em ambientes de baixa produtividade. Os autores também constataram uma baixa probabilidade de resposta em produtividade com densidades superiores a 330.000 sementes/ha, independente do ambiente de produtividade (Figura 5B).

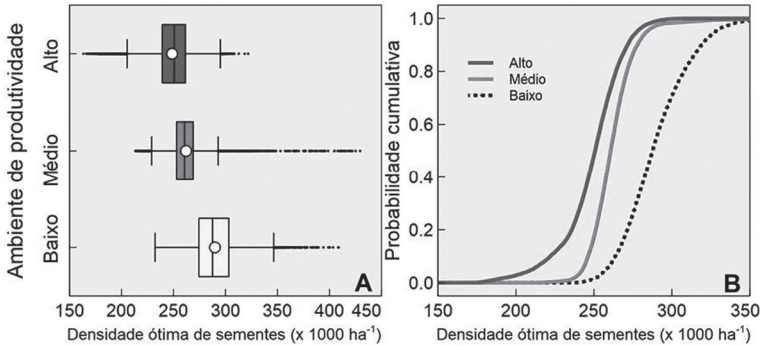


Figura 5. Densidade ótima de sementes (A) para atingir o platô de produtividade em ambientes de baixa (<4 Mg/ha; amarelo), média (4-5 Mg/ha; verde) e alta produtividades (> 5 Mg/ha; azul). Em cada *boxplot*, o retângulo central se estende do primeiro ao terceiro quartil (percentis 25 e 75). O círculo dentro do retângulo representa a média. Barras de erros se estendem entre os menores e os maiores valores não discrepantes. Pontos pretos após a barra de erro indicam valores extremos. Dados gerados a partir de 109 experimentos. Probabilidades preditivas posteriores (B) de a taxa ótima de semeadura atingir o platô de produtividade em ambientes de baixa, média e alta produtividades. Adaptado de Corassa et al. (2018a).

Outra constatação quanto à prescrição da TVS diz respeito à relação entre densidade de sementes e população final de plantas na lavoura, em função do ambiente de produtividade. Uma das hipóteses era de que ambientes de baixa produtividade poderiam conduzir a uma menor taxa da emergência de plantas e, por isso, a necessidade de densidades maiores. Recentemente, em estudo publicado por Carciochi et al. (2019), os autores foram capazes de concluir que, assim como a densidade de sementes (Corassa et al., 2018a), a população final de plantas também deveria ser superior em ambientes de baixa produtividade para maximizar a produtividade. Para o estudo, a população de plantas ótima foi 24% superior em ambientes de baixa produtividade, em comparação aos de alta. Os autores evidenciaram que o potencial produtivo das plantas é, de fato, limitado em ambientes de baixa produtividade, sendo o número de grãos por planta o principal componente do rendimento

de grãos afetado (Carciochi et al., 2019). Apesar da hipótese da menor emergência de plantas em ambientes de baixa produtividade não ser um fator chave apontado pelos estudos, em situações especificadas e quando do conhecimento prático por parte dos produtores, ela poderá ser reconsiderada nas prescrições.

De forma gradual, a TVS plena deve ganhar cada vez mais espaço dentre as práticas de manejo para a cultura da soja, assim como já vem ocorrendo com a cultura do milho. O custo da tecnologia nas semeadoras e as dificuldades quanto ao entendimento claro referente à dinâmica de resposta da cultura atuavam como entraves para sua adoção em larga escala. Contudo, os esforços conjuntos da pesquisa e da indústria de máquinas em prol do avanço da AP na última década, associado aos benefícios econômicos proporcionados pela tecnologia aos produtores, deverão impulsionar a adoção da TVS, assim como de outras ferramentas.

Sensoriamento remoto e uso de veículos aéreos não tripulados (VANT)

Com a crescente demanda por alimentos, houve um impulso na agricultura em termos tecnológicos e de manejo. A AP é uma das áreas que mais tem modernizado e desenvolvido o setor agropecuário na última década. Alguns instrumentos relacionados à AP possibilitaram aumentos significativos na produção, como o uso de mapas que apresentam as variabilidades nas áreas de cultivo, a aplicação de insumos em taxa variável, o emprego de mapas de produtividade e o monitoramento, em tempo real, das condições nutricionais das plantas (Santi et al., 2013).

O sensoriamento remoto é outra ferramenta que vem auxiliando os produtores no aumento das produtividades por meio de mapas de índices de vegetação, monitoramento em tempo real das lavouras e identificação de estresse na cultura (Araujo et al., 2005). A partir dessas informações, pode-se manejar a cultura de forma espacialmente diferenciada, priorizando ou adaptando o

manejo nas áreas que apresentam maiores demandas (Moraes, 2008). Dentro do sensoriamento remoto, os veículos aéreos não tripulados (VANTs) apresentam muitas aplicações na agricultura, pois os sensores acoplados pelos VANTs captam a reflectância eletromagnética das plantas em diferentes comprimentos de onda ou porções do espectro eletromagnético, sendo que, por meio destes, podem ser estimados parâmetros de produtividade, de desenvolvimento e comportamento das plantas (Rathje & Franke, 2016).

O sensoriamento remoto tem sido mencionado como uma alternativa aos atuais métodos de criação dos mapas de produtividade, uma vez que permite o monitoramento de lavouras em tempo real. A produtividade de uma cultura é estimada por sensores e índices de vegetação, os quais indicam as condições nutricionais e a produção de biomassa do dossel. A partir dessas informações, é possível manejar de forma diferenciada a cultura (Moraes et al., 2008).

Os sensores transportados pelos VANTs captam os diferentes comprimentos de radiação eletromagnética que são refletidos pelas plantas. Estas ondas refletidas são conhecidas por reflectância e abrangem os comprimentos do visível e infravermelho (NIR). A partir destas ondas refletidas, são coletados os valores referentes a cada pixel ou a cada ponto, que então serão utilizados para a determinação dos valores dos diferentes índices de vegetação. O uso de câmeras facilitou a obtenção de imagens que possuem elevada resolução espacial e temporal, visto que a coleta de dados pode ser realizada a qualquer momento durante o desenvolvimento da cultura (Logie & Coburn, 2018).

As câmeras transportadas pelos VANTs podem ser divididas conforme a região do espectro eletromagnético que captam. Câmeras RGB referem-se às câmeras que captam os comprimentos de onda na região do visível, ou seja, vermelho (630-700 nm), verde (490-560 nm) e azul (440-490 nm). Câmeras multiespectrais captam até dez espectros de onda, em geral nas porções do es-

pectro do visível (RGB), borda do vermelho – *Red Edge* (700-750 nm) e infravermelho próximo (760-1200 nm). Já os sensores hiperespectrais conseguem captar diversos comprimentos de onda, normalmente mais de dez (Colomina & Molina, 2014).

O emprego de VANTs na agricultura tornou-se uma alternativa ao uso de imagens obtidas por satélites, onde as principais vantagens são a elevada resolução temporal, uma vez que os voos podem ser realizados quando for necessário ou quando houver a necessidade de maiores informações sobre a cultura, e a alta resolução espacial das imagens (Elarab et al., 2015). Dependendo do sensor embarcado no VANT, pode-se verificar a presença de plantas daninhas nas áreas de cultivo, falhas de semeadura, população de plantas (Figura 6) e estado nutricional das plantas, além de outros estresses bióticos e abióticos.

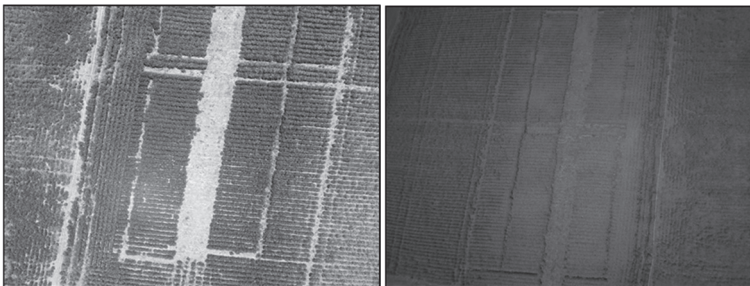


Figura 6. Imagem aérea RGB (esquerda) e imagem falsa-cor NIR-R-G (direita) de cultivares de soja em diferentes populações de plantas (Grupo de Estudos em Agricultura Digital – GEAD/UFRGS, 2020).

Para avaliar a concentração de clorofila nas folhas, as bandas de reflectância nas regiões do visível (principalmente azul e vermelho) são as mais indicadas, pois estas são as que apresentam maiores informações. As estimativas dos teores de clorofila presentes nas plantas auxiliam os produtores a identificar possíveis heterogeneidades em suas lavouras, o que auxilia nas práticas de manejo adequadas de acordo com necessidades específicas de cada área do talhão.

Os dados do NDVI de uma cultura, obtidos a partir de VANTs, estão sendo amplamente utilizados na fenotipagem de plantas. Os resultados já têm sido utilizados para estimar a produtividade de grãos de culturas como o trigo, milho e arroz. Além das caracterizações de plantas, os VANTs possibilitam o emprego de sensores termais, que captam comprimentos de onda acima de 8000 nm, possibilitando a avaliação indireta dos teores de umidade do solo e a evapotranspiração.

O emprego de VANTs na agricultura tem se tornado crucial para a tomada de decisão e o gerenciamento das áreas de cultivo. Estes facilitam a coleta de informações em grandes áreas, não se fazendo necessário o caminhamento para a coleta de informações a respeito do estado da cultura e de sua variabilidade espacial na área cultivada.

Fenotipagem – Uma ferramenta promissora no contexto da AP

Na última década, o uso de ferramentas de fenotipagem utilizadas para estudar fenótipos de plantas em laboratório e em condições de campo vem se tornando uma ferramenta promissora da AP aplicada à cultura da soja. Segundo Granier & Vile (2014), o levantamento das características quantitativas e qualitativas das plantas tem sido de grande importância para a maioria dos estudos em ecologia, agronomia e ecofisiologia, pois permite avaliar a diversidade funcional da planta e comparar o desempenho entre as espécies, ou variedades, e suas interações com o ambiente. As plataformas de fenotipagem existentes realizam análises automatizadas através da tomada de imagens, de acordo com parâmetros pré-selecionadas.

As plataformas de fenotipagem permitem, através de sensores micrometeorológicos, associados a imagens multiespectrais (por exemplo, infravermelho térmico para verificar a temperatura superficial da folha ou do dossel), avaliar a expressão do fenótipo das plantas em um determinado ambiente de produção. A utilização

de imagens termais (índice de calor) indica que, quanto maior a temperatura da folha e do dossel, maior o nível de estresse em que a planta se encontra, possibilitando, por exemplo, a análise do estresse hídrico sofrido pela planta.

Aspectos da morfologia das plantas, comumente utilizadas em triagem para tolerância à seca, são geralmente fáceis de avaliar em condições de campo, podendo ser identificadas pelo movimento da folha, sinalizando a variação do comportamento da área foliar. A diminuição do tamanho e da expansão das folhas pode também ser utilizada como medida de adaptação à seca (Pastenes, 2005).

No estágio vegetativo, a temperatura do dossel apresenta uma tendência de não apresentar diferença significativa com o início de deficiência hídrica. Em função de a planta estar no início do ciclo de desenvolvimento, apresenta área foliar reduzida e, desta forma, o sistema radicular consegue suprir a sua demanda hídrica. A disponibilidade de água no sistema radicular faz com que as folhas reduzam a sua temperatura através da transpiração (Monneveux et al., 2005). Neste período inicial de desenvolvimento (V4-V5), a cultura necessita de 3,0 a 3,5 mm de água/dia, enquanto, no período reprodutivo, a demanda é de 6,5 a 7,5 mm de água/dia.

Quando avaliado o "índice de calor" em cultivares de soja submetidas ao estresse hídrico durante os estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, observa-se que apenas para o estágio reprodutivo o estresse apresenta-se mais drástico, quando comparado ao estágio vegetativo (Figura 7). As imagens termais permitem visualizar a variação de temperatura e das alterações morfológicas nas plantas, como o ângulo foliar, possibilitando identificar o estresse hídrico na planta e a resposta diferencial dos genótipos.

O uso desta ferramenta vem sendo realizado em estudos de resposta de genótipos de soja a estresses bióticos e abióticos (Munns et al., 2010; Lee et al., 2011). As imagens termais têm relação com inúmeras ativi-

dades fisiológicas e bioquímicas das plantas, tais como conteúdo de água, condutância estomática, temperatura e transpiração da folha ou dossel e, conseqüentemente, a taxa fotossintética.

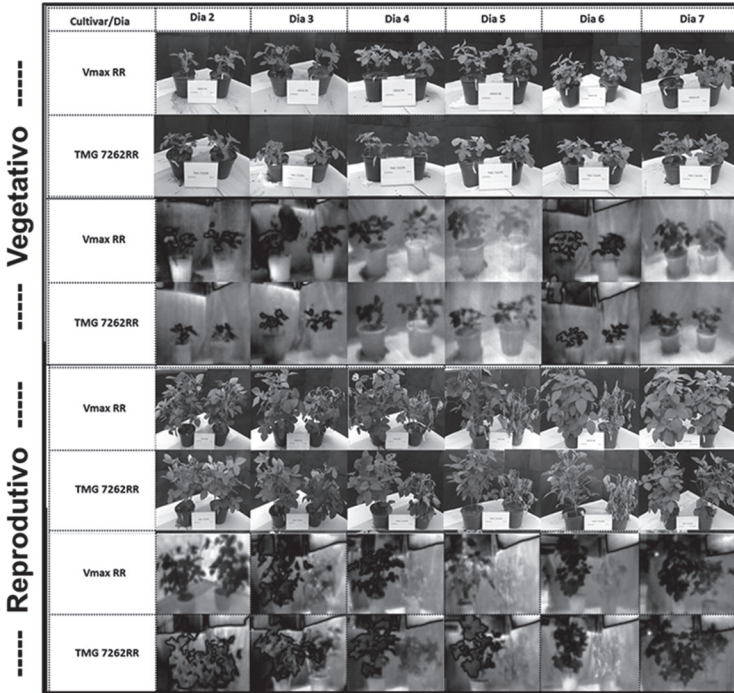


Figura 7. Imagens termais de duas cultivares de soja submetidas aos tratamentos (Irrigado x Estressado), por período de 7 dias, em estádios fenológicos vegetativos (V4-V5) e reprodutivos (R1-R2). Cada imagem individual mostra uma planta irrigada (esquerda) e uma não irrigada (direita).

Conclusões

O avanço tecnológico constante, que é uma das bases da AP, pode oferecer novos caminhos para o aumento do rendimento de grãos e/ou rentabilidade da cultura da soja, por meio de maior eficiência produtiva. Atualmente, existem várias oportunidades de aplicação de ferramentas e metodologias de AP para a cultura da soja, com grande potencial de impacto em função do va-

lor econômico e distribuição geográfica da cultura, com grande variabilidade de situações de cultivo.

É fundamental que cada tecnologia/estratégia seja avaliada quanto a seu nível de desenvolvimento. Em suma, não há um modelo único e pronto para uso que seja aplicável em todas as situações. Em nível de lavoura, é preciso considerar a adoção de tecnologias de acordo com a realidade realmente da propriedade e do sistema de produção. Assim, será possível aumentar o nível de impacto positivo e consolidar a AP como parceira importante da soja no Brasil.

Referências

- AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L. Using precision farming to overcome yield-limiting factors in Southern Brazil Oxisols: A case study. In D. CLAY, J. SHANAHAN; J. FRANCIS PIERCE (Eds.), GIS Applications in Agriculture—Nutrient Management for Improved Energy Efficiency, v.3. 3ª ed., p.31–60. CRC: Boca Raton, 2011.
- ARAÚJO, J.C.; VETTORAZZI, C.A.; MOLIN, J.P. Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, p.437-447, 2005.
- ASSEFA, Y.; VARA PRASAD, P.V.; CARTER, P.; HINDS, M.; BHALLA, G.; SCHON, R.; JESCHKE, M.; PASZKIEWICZ, S.; CIAMPITTI, I.A. Yield responses to planting density for US modern corn hybrids: A synthesis-analysis. **Crop Science**, v.56, p.2802–2817, 2016.
- BOARD, J.E. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant populations. **Crop Science**, v.40, p.1285–1294, 2000.
- CAMICIA, R.G.M.; MAGGI, M.F.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; KONOPATZKI, E.A.; MICHELON, G.K.; PINHEIRO, J.B.S. Productivity of soybean in management zones with application of different sowing densities. **Ciência Rural**, v.48, p.1-9, 2018.
- CARCIOCHI, W. D., SCHWALBERT, R., ANDRADE, F. H., CORASSA, G. M., CARTER, P. R., GASPAR, A. P., SCH-

- MIDT, J; CIAMPITTI, I. A. Soybean seed yield response to plant density by yield environment in North America. **Agronomy Journal**, v.111, p.1923– 1932, 2019.
- COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.92, p.79–97, 2014.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2021/2022 – décimo levantamento, julho de 2022. Brasília: Conab, v.9, n.10, 2022. 87 p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 11.07.2022.
- CORASSA, G.M.; AMADO, T.J.C.; STRIEDER, M.L.; SCHWALBERT, R.; PIRES, J.L.F.; CARTER, P.R.; CIAMPITTI, I.A. Optimum soybean seeding rates by yield environment in southern Brazil. **Agronomy Journal**, v.110, p.2430–2438, 2018a.
- CORASSA, G.M.; SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; REIMCHE, G.B.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M.B.; PIRES, J.L.F. Performance of soybean varieties differs according to yield class: a case study from Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.20, p.520–540, 2018b.
- COX, W.J.; CHERNEY, J.H. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. **Agronomy Journal**, v.103, p.123–128, 2011.
- EGLI, D.B. Plant density and soybean yield. **Crop Science**, v.28, p.977–981, 1988.
- EITELWEIN, M.T.; SANTI, A.L.; GIOTTO, E.; DAMIAN, J.M.; CHERUBIN, M.R.; CORASSA, G.M.; BASSO, C.J.; DELLA FLORA, L.P. Mapeamento da produtividade de grãos e utilização de mapas. In: SANTI, A.L.; SEBEM, E.; GIOTTO, E.; AMADO, T.J.C. (Orgs.) Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: CESPOL, 2016. p.99-119.
- ELARAB, M.; TICLAVILCA, A.M.; TORRES-RUA, A.F.; MASLOVA, I.; MCKEE, M. Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution

- imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precision agriculture. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.43, p.32-42, 2015.
- FERREIRA, A.S.; A. ANTONIO; B. JUNIOR; F. WERNER; C. ZUCARELI; J.C. FRANCHINI; H. DEBIASI. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. **Bragantia**, v.75, p.362-370, 2016.
- GRANIER, C.; VILE, D. Phenotyping and beyond: modelling the relationships between traits. **Current Opinion in Plant Biology**, v.18, p.96-102, 2014.
- HÖRBE, T.A.N.; AMADO, T.J.C.; FERREIRA, A.O.; ALBA, P.J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.14, p.450-465, 2013.
- LEE, C.D.; D.B. EGLI; D.M. TEKRONY. Soybean response to plant population at early and late planting dates in the Mid-South. **Agronomy Journal**, v.100, p.971-976. 2008.
- LEE, K.J.; LEE, B.W. Estimating canopy cover from color digital camera image of rice field. **Journal of Crop Science Biotechnology**, v.14, p.151-155, 2011.
- LOGIE, G.S.J.; COBURN, C.A. An investigation of the spectral and radiometric characteristics of low-cost digital cameras for use in UAV remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v.39, p.1-20, 2018.
- MCBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of precision agriculture. **Precision Agriculture**, v.6, p.7-23, 2005.
- MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.83-92, 2002.
- MONNEVEUX, P.; REYNOLDS, M.P.; TRTHOWAN, R.; GONZÁLEZ-SANTOYO, H. PEÑA R.J.; ZAPATA, F. Relationship between grain yield and carbon isotope dis-

- crimination in bread wheat under four water regimes. **European Journal Agronomy**, v.22, p.192-242, 2005.
- MORAES, P.V.D.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; PIE-SANTI. Agricultura de Precisão no controle de plantas daninhas. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v.15, p.01-14, 2008.
- MUNNS, R.; JAMES, R.A.; SIRALT, X.R.; FURBANK, R.T.; JONES, H.G. New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v.61, p.3499-3507, 2010.
- PASTENES, C.; PIMENTEL, P.; LILLO, J. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans. **Journal of Experimental Botany**, v.56, p.425-433, 2005.
- PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; MAEHLER, A.R. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1541-1547, 2000.
- RATHJE, E.M.; FRANKE, K. Remote sensing for geotechnical earthquake reconnaissance. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v.91, p.304-316, 2016.
- RESENDE, A.V.; HURTADO, S.M.C.; VILELA, M.F.; CORAZZA, E.J.; SHIRATSUCHI, L.S. Aplicações da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil. In: BERNARDI, A.C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A.V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R.Y. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p.196-210.
- SANTI, A.L. Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão. 2007. 150p. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; EITELWEIN, M.T.; CHERUBIN, M.R.; SILVA, R.F.; ROS, C.O. Definição de zonas

de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.510-515, 2013.

SCHWALBERT, R.; AMADO, T.J.C.; HORBE, T.A.N.; STEFANELLO, L.O.; ASSEFA, Y.; PRASAD, P.V.V; RICE, C.W.; CIAMPITTI, I.A. Corn yield response models to plant density and N rates: Understanding data distribution. **Agronomy Journal**, v.110, p.1-13, 2018.

SHANAHAN, J.F.; DOERGE, T.A.; JOHNSON, J.J.; VIGIL, M.F. Feasibility of site-specific management of corn hybrids and plant densities in the great plains. **Precision Agriculture**, v.5, p.207-225, 2004.