

Embrapa Trigo
Ministério da Agricultura e Pecuária
Universidade de Passo Fundo

44^a Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul

13 e 14 de agosto de 2025

Atas e Resumos

Organizadores

João Leonardo Fernandes Pires, Alvadi Antonio Balbinot Junior, André Julio do Amaral, Crislaine Sartori Suzana Milan, Gilberto Rocca da Cunha, Glauber Monçon Fipke, Leila Maria Costamilan, Osmar Conte, Thomas Newton Martin, Vinícius dos Santos Cunha, Vladirene Macedo Vieira

Passo Fundo, RS
2025

Diagramação: João Leonardo Fernandes Pires e Márcia Barrocas Moreira Pimentel
Arte da capa: Raoni Locatelli
Revisão: João Leonardo Fernandes Pires e Márcia Barrocas Moreira Pimentel

CIP – Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

R444a Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul (44. : 2025 :
Passo Fundo, RS)
Atas e resumos da XLIV Reunião de Pesquisa de Soja da
Região Sul [recurso eletrônico] / organizadores, João Leonardo
Fernandes Pires ... [et al.]. – Passo Fundo : Acervus, 2025.
12 MB ; PDF.

ISBN: 978-65-5230-068-3.

1. Soja - Cultivo - Congressos. 2. Pragas - Controle -
Congressos. 3. Entomologia. 4. Pesquisa científica. I. Pires,
João Leonardo Fernandes, org. II. Embrapa Trigo. III. Título.

CDU: 633.34

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569

Agricultura de precisão na cultura da soja: proposta para aprimoramento das indicações técnicas

Vinícius dos Santos Cunha^(1*), João Leonardo Fernandes Pires⁽²⁾, Alvadi Balbinot Júnior⁽²⁾, Christian Bredemeier⁽³⁾, André Luis Vian⁽³⁾ e Alfran Tellechea Martini⁽⁴⁾

(1) Professor do Magistério Superior, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS. (2) Pesquisador Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS. (3) Professor do Magistério Superior, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (4) Professor do Magistério Superior, Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS. (*) viniciuscunha@unipampa.edu.br

Resumo – A Agricultura de Precisão (AP) é uma realidade no Brasil, que vem ganhando escala de utilização em função dos resultados alcançados. Além disso, novas tecnologias digitais têm facilitado e impulsionado o uso da AP. Entretanto, essas abordagens de manejo, fundamentadas em AP, não tem sido considerada nas Indicações Técnicas da Cultura da Soja. O objetivo desse trabalho foi reunir resultados de pesquisa realizados em AP, especialmente no Sul do Brasil, que subsidiem a indicação de tecnologias capazes de aprimorar os sistemas de produção de soja. Foi possível identificar as seguintes abordagens/tecnologias com potencial para uso em soja: mapeamento da variabilidade da produtividade; mapeamento da variabilidade de características de solo; conservação do solo de precisão; sensoriamento remoto da vegetação; aplicação de sementes e insumos em taxa variável; desligamento de linhas de semeadura (desligamento linha a linha); controle de plantas daninhas; controle de insetos praga; controle de doenças; uso de RPAs (Drones) para controle fitossanitário; experimentação *on-farm*; e plataformas para auxílio à tomada de decisões. Cada abordagem/tecnologia deve ser utilizada com base em critérios e parâmetros técnicos específicos para que o custo/benefício seja maximizado.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, agricultura digital, variabilidade espacial e temporal.

Precision agriculture in soybean: proposal for improving technical indications

Abstract - Precision Agriculture (PA) and Digital Agriculture are a reality in Brazil. However, this management approach, with its tools and practices, has not been considered in the Technical Indications for soybean crop. The objective of this work was to compile research studies carried out in PA, especially in Southern Brazil, to support the indication of technologies capable of improving soybean production systems. It was possible to identify the following approaches/technologies with potential for use in soybeans: mapping of productivity variability; mapping of soil characteristic variability; precision conservation; remote sensing of vegetation; variable rate application of seeds and inputs; shutdown of sowing lines (line-by-line shutdown); weed control; insect

pest control; disease control; use of RPAs (Drones) for phytosanitary control; on-farm experimentation; and decision support platforms. Each approach/technology should be used based on specific technical criteria and parameters so that the cost/benefit is maximized.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, digital agriculture, variability.

Introdução

O termo Agricultura de Precisão (AP) tem sua utilização iniciada há cerca de 35 anos, embora o embasamento do seu conceito venha de ciências e dados ainda mais antigos (Molin et al., 2015). De acordo com a *International Society of Precision Agriculture* (ISPA), a Agricultura de Precisão é “uma estratégia de gestão que reúne, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais de plantas e animais 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” (Inamasu et al., 2024).

O conceito caracteriza sua amplitude multidisciplinar, demandante da aplicação de conhecimentos agronômicos sólidos em interação com tecnologias que permitam a aplicação espacializada desse conhecimento (Queiroz et al., 2022). Diversos estudos e textos abordaram tópicos relacionados com o tema AP, versando sobre sua viabilidade técnica e econômica, em diversos sistemas de produção (Santi et al., 2016, Bassoi et al., 2024). Em áreas comerciais de produção, nem todas as abordagens ou tecnologias, que compõem o conceito são aplicadas. Porém, parte dessas é ou foi utilizado, mas não necessariamente obtendo resposta positiva. Isso acaba gerando insegurança a respeito da sua aplicação naqueles que tem praticado ou praticaram AP e até mesmo naqueles que ainda não iniciaram esse sistema de manejo. Nesse caso, a pergunta que pode ser feita, no início, seria: por onde começar?

O objetivo deste texto é apresentar as técnicas e/ou tecnologias da AP consolidadas, baseadas em conhecimento científico, com potencial para uso no sistema de produção da cultura da soja.

1 - Mapeamento da variabilidade da produtividade

Idealmente, toda a colhedora equipada com tecnologia capaz de mapear a produtividade da soja deveria estar em pleno uso para funcionar como o norteador inicial da AP (Molin et al., 2015). De forma resumida, o mapeamento da produtividade serve para demarcar as áreas em que a produtividade está acima ou abaixo da média e caracterizar a variabilidade espacial desta variável. O pleno uso da tecnologia permite também obter séries temporais de dados de produtividade (Maestrini & Basso, 2018).

O problema reside na parte operacional envolvida na obtenção dos dados. A calibração/regulagem do sistema de mapeamento deve ser frequente, para que um dado de qualidade possa ser obtido (Molin et al., 2015). A calibração, preferencialmente, deve ser refeita, minimamente, ao se trocar de talhão ou mesmo ao se trocar de cultivar. A limpeza do sistema sensor também deve ser realizada periodicamente, seja gravimétrico ou por fecho de luz. Essa calibração contínua e o cuidado com o sistema pode ser considerado como um dos entraves para o aumento da taxa de adoção do mapeamento da produtividade, já que a colheita tende a ser uma das atividades mais atribuladas do ciclo da soja. Além disso, muitas áreas são colhidas com várias máquinas que atuam simultaneamente, o que demanda um adequado processamento para que os dados de produtividade possam ser posteriormente utilizados em conjunto para a confecção dos mapas de colheita.

Apesar da baixa taxa de adoção, o mapeamento da produtividade é, talvez, o método mais fiel para expressar a variabilidade relacionada à planta (Horbe et al., 2013; Amaral et al., 2024). Por meio desse parâmetro, é possível quantificar a variabilidade produtiva e, com base nisso, concluir se a variabilidade existente merece ser tratada de forma diferenciada ou espacializada. Ainda, o mapeamento da produtividade tem sido utilizado na criação de zonas de produtividade (baixa, média e alta, normalmente) para subsidiar o uso, por exemplo, de taxas variadas de sementes, como é o caso do trabalho de Corassa et al. (2018b). Além disso, sementes de soja produzidas em zonas de baixo, médio e alto potencial produtivo apresentam diferentes qualidades, ou seja, sementes colhidas nas zonas de alto e de médio potencial possuem maior

qualidade, definida pelo vigor e teste do tetrazólio, entre outros. (B. Rohrig, dados não publicados).

2 – Mapeamento da variabilidade de características do solo

A amostragem de solo para monitoramento de atributos químicos (pH, M.O., P, K, etc.) e físicos (argila, silte e areia) do solo e a aplicação de fertilizantes e corretivos em taxa variável é, talvez, a forma mais conhecida da aplicação de princípios da AP, sendo que a técnica faz parte de sua história e cotidiano (Molin et al., 2015; Santi et al., 2016; Bassoi et al., 2024). Uma das limitações relacionadas a essa forma de monitoramento da variabilidade espacial está relacionada ao número de amostras coletadas (tamanho da grade amostral), quando da escolha por coleta de solo em grade seguida de interpolação. A qualidade do mapa a ser gerado tem estreita relação com a densidade amostral (Cherubin et al., 2015), já que o processo de interpolação é sensível a isso.

A densidade amostral é o ponto crucial e precisa passar por um processo de tomada de decisão criterioso e que pode culminar na utilização de outra técnica, que é a amostragem por células (Valente et al., 2024). Nesse caso, inexistente o processo de interpolação, já que a amostragem é feita dentro de células, com tamanho previamente definido. Nesse caso, as amostras retiradas dentro de uma célula são consideradas como subamostras que são utilizadas para compor uma amostra única a ser enviada ao laboratório e que, assim, irá representar toda a área da célula.

As técnicas acima citadas têm sua utilização preconizada quando não há conhecimento prévio da área ou quando esse conhecimento é limitado. Porém, em situações em que há um conhecimento prévio da área, uma outra forma de fazer o monitoramento é por meio de zonas de manejo (Valente et al., 2024). O termo “zonas de manejo” pode ser também representado por “unidades de gestão diferenciada” (UGD). Nesse caso, zonas homogêneas dentro de si e heterogêneas entre si são geradas por meio de propriedades relacionadas ao solo e a planta. Nesse caso, informações estáveis relacionadas ao solo (por exemplo condutividade elétrica, textura, M.O., topografia), em conjunto com coleções de mapas de produtividade e índices de vegetação, tem condições de

gerar informações sólidas a respeito das zonas de manejo/UGDs. A utilização de forma isolada dessas propriedades do solo pode levar a obtenção de zonas não homogêneas.

Por meio da AP é possível realizar o sensoriamento de propriedades físicas do solo, com maior ou menor estabilidade temporal, como a textura e a compactação, respectivamente. Nesse caso, tanto a medição da condutividade elétrica aparente do solo como da resistência do solo à penetração tem a possibilidade de contribuir efetivamente no estudo da variabilidade espacial, quando essa estiver presente (Bottega et al., 2023).

A condutividade elétrica aparente do solo mede a resistividade que o solo oferece a um fluxo de corrente elétrica. A medição pode ser feita por contato ou indução eletromagnética, captando a corrente que retorna. Em condições ideais de medição (solo friável), a condutividade elétrica apresenta uma relação positiva com o teor de argila do solo (Molin & Faulin, 2013), sendo uma forma indireta de gerar informação geoespacializada a respeito dessa propriedade do solo. Sendo a textura uma propriedade estável temporalmente, se obtém uma informação importante para a geração de zonas de manejo (Bottega et al., 2023).

A penetrometria é a técnica que mede a resistência oferecida pelo solo à penetração radicular. A técnica não mede a densidade do solo, embora tenha relação com essa variável (Pias et al., 2018). Muitas vezes, a causa da perda de produtividade está relacionada à resistência do solo à penetração e o estudo da espacialização dessa variável pode orientar ações localizadas quando houver variabilidade da mesma (Pias et al., 2018). Os penetrômetros são a principal ferramenta para medir a resistência mecânica do solo e podem ser usados para detectar camadas compactadas ou para estimar a resistência do solo ao crescimento das raízes. Todavia, é necessário enfatizar que a umidade do solo e o tipo de equipamento utilizado interfere drasticamente nos valores de resistência à penetração obtidos, sendo necessários critérios na interpretação dos resultados (Lima et al., 2025).

Ambas as variáveis acima mencionadas podem ser obtidas por equipamentos embarcados em diferentes plataformas (trator, quadriciclo, camionete, entre outros), sendo que os equipamentos que fazem a medição

estão disponíveis tanto para aquisição pelo produtor como pela contratação de serviço especializado.

A altimetria é um parâmetro fundamental para ser utilizado e que pode ser obtido tanto pela topografia clássica como por sensoriamento remoto. A segunda opção é a mais acessível, já que ela está disponível sem custo de obtenção. Ainda, máquinas equipadas com tecnologia de RTK podem também obter a altimetria do terreno ao trafegar pela área (Molin et al., 2015).

3 - Conservação do solo de precisão

A utilização de imagens aéreas obtidas por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT ou DRONE), auxiliam no mapeamento e na identificação de pontos críticos de erosão ou de falta de vegetação, auxiliando na tomada de decisão para minimizar o problema. É preciso associar a essa caracterização uma avaliação *in loco* para identificar as causas do processo erosivo e as formas para sanar ou minimizar a erosão. Uma possibilidade é a alocação de terraços e a adoção de práticas de manejo do solo para incremento da taxa de infiltração de água no solo, associado ao uso de plantas com potencial de recuperação da estrutura do solo (Franchini et al., 2018). Em trabalho realizado por Santos et al. (2024), ficou evidente que a utilização de imagens aéreas e de softwares de processamento e planejamento são contribuições importantes da agricultura digital para o aprimoramento do processo de alocação e avaliação dos sistemas de terraceamento. A possibilidade de locação auxiliada por tecnologias da agricultura de precisão, como RTK e piloto automático, pode tornar o processo mais assertivo e de mais fácil implementação.

4 - Sensoriamento remoto da vegetação

O conceito do sensoriamento remoto se refere a obtenção de dados a partir de um alvo sem o contato físico com o mesmo (Jensen, 2007). O conceito, por si só, é também amplo, assim como suas aplicações, que não se limitam à agricultura. Por isso, a obtenção de dados da vegetação é apenas uma das formas de sensoriamento e, neste caso, amplamente utilizada como fonte de dados para a AP (Farias et al., 2023).

De modo geral, dados obtidos por sensoriamento remoto, sejam eles orbitais (satélite) ou por drones, são transformados em índices de vegetação que se relacionam com a quantidade de biomassa e o estado nutricional das culturas (Farias et al., 2023). É uma ferramenta muito útil e que pode ou não ter uma relação adequada com a produtividade (Amaral et al., 2024). Portanto, é uma informação válida, mas que não substitui o dado obtido pelo mapeamento da produtividade. Em contrapartida, essa é, hoje, uma informação acessível, tanto pelo baixo custo como pela facilidade de obtenção (Villar et al., 2020).

O sensoriamento remoto é útil também no monitoramento das condições da lavoura ao longo do ciclo (Schwalbert et al., 2016). O aumento da resolução espacial e temporal dos satélites e o avanço dos algoritmos de processamento tem permitido o acesso semanal a essa informação, propiciando tomadas de decisão geoespacializadas ao longo do ciclo quanto à necessidade de alguma intervenção, como adubação ou controle fitossanitário localizados.

Franchini et al. (2018) demonstram uma série de aplicações do uso de sensoriamento remoto na cultura da soja. Dentre elas, por meio do uso de índices de vegetação, é possível realizar a avaliação da resposta da soja à qualidade do solo, identificação de áreas com erosão em microbacias ou em propriedades, visualização de falhas de estande da soja, estimativa de danos à soja ocasionados por nematoides, avaliação do estado nutricional da soja em função fertilidade do solo, entre outros. Também, Crusiol et al. (2024) apresentam um conjunto de aplicações e análises sobre o uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na cultura da soja.

5 - Aplicação de sementes e insumos em taxa variável

A implantação das práticas/tecnologias anteriormente mencionadas é possível, na massiva maioria das situações, quando da utilização de máquinas equipadas com Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). Além de embarcar essa tecnologia nas máquinas, é importante o entendimento a respeito da forma como o posicionamento é feito no campo, pois esse afeta a qualidade das operações (Molin et al, 2015; Santi et al., 2016).

Além do GNSS em si, é necessário a aquisição de algum tipo de correção diferencial da posição para manter o espaçamento correto entre as passadas, que pode ser obtida via satélite ou por estação base própria (Sistema RTK) (Molin et al., 2015), por meio de um ponto base previamente georreferenciado. Ambas as técnicas, geralmente, apresentam o mesmo desempenho na “horizontal”, mas diferem quanto ao posicionamento “vertical”. Com base nisso, a escolha por uma ou outra metodologia deverá ser feita. A presença dessa tecnologia nas máquinas permite também a implementação de projetos de controle de tráfego de máquinas, que ajudam a confinar e reduzir a compactação do solo (Girardello et al., 2014).

Com isso, a qualidade da distribuição dos insumos tende a ser uniformizada, reduzindo a chance de criação “antrópica” de variabilidade. Para garantir isso, é necessário ainda a correta calibração/regulagem dos equipamentos de aplicação. Grande parte das atividades relacionadas a AP estão relacionadas à aplicação de calcário, gesso, potássio e fósforo em taxa variada, aplicados a lanço ou na linha de cultivo. Tanto a faixa/largura de aplicação, particularmente nas aplicações a lanço, devem ser definidas com base em cada insumo a ser utilizado, buscando a mínima variação (Molin et al, 2015). Da mesma forma, aplicação na linha de cultivo também deve visar a minimização das taxas aplicadas por cada linha.

Vários equipamentos comerciais dotados de mecanismos e sensores específicos permitem a variação na quantidade de sementes e de adubo, de acordo com a necessidade de variação de sementes e adubos para minimização da variabilidade, economia de insumos e melhor desempenho produtivo de cada área. Áreas com maior potencial produtivo (histórico) indicam menor necessidade de sementes de soja do que áreas com menor potencial produtivo (Corassa et al., 2018b). No caso de adubação, a variação de dose deve ser feita com base na análise de solo de cada área, com espacialização de resultados e busca por minimização da variabilidade, por meio de mapas de prescrição de adubação (mapas de aplicação em taxa variável).

6 - Desligamento de linhas de semeadura (desligamento linha a linha)

Áreas com semeadura dupla no final das linhas podem ocorrer em lavouras de soja, gerando perdas econômicas (gasto de sementes desnecessário) e produtivas (limitações no rendimento de grãos por excesso de população de plantas). Esses problemas podem ser reduzidos por meio do uso de semeadoras dotadas de controle automático de seções ou mesmo linha a linha. Em estudo abrangente realizado por Corassa et al. (2018a), ficou evidente que a soja é pouco sensível a semeadura dupla (perdas no rendimento de grãos), mas que o benefício principal é a redução do uso de sementes, com impactos potenciais positivos na redução dos custos de produção.

7 - Controle de plantas daninhas

Equipamentos dotados de sensores, tais como WeedSeeker, Weed-It, Save Farm e Eco Spray estão disponíveis comercialmente e podem fazer a aplicação localizada de herbicidas no processo de dessecação. Tecnologias como essa podem reduzir custos de produção e impacto ambiental, além de minimizar perdas de rendimento de grãos pela competição interespecífica com a soja. O reconhecimento das plantas daninhas se dá por meio do sensoriamento remoto, da fluorescência da clorofila e do reconhecimento das plantas por meio de inteligência artificial (IA). É possível fazer a detecção da variabilidade das plantas daninhas nas áreas agrícolas por meio de satélites e de VANTs, com a geração de mapas de aplicação e uso de aeronaves remotamente tripuladas (RPAs) para aplicação específica de herbicidas, especialmente na dessecação.

No caso de controle de plantas daninhas no interior da cultura, ainda são observadas limitações para aplicação em soja. A prática está em desenvolvimento (Sulzbach et al., 2024), com perspectivas que possibilitem a identificação da espécie de planta daninha, com a aplicação específica (local e produto indicado) para cada espécie. A evolução no uso de câmeras e sistemas de IA, deve permitir, em breve, a utilização comercial dessa tecnologia de forma mais ampla.

8 - Controle de doenças

Tecnologias de AP permitem o monitoramento da severidade de doenças em soja. O mapeamento de áreas por meio de índices de vegetação permite diferenciar níveis de doença, mas, até o momento, não é possível a identificação de doenças específicas e a correlação com o rendimento de grãos apresenta limitações. Por exemplo, em experimento conduzido na Embrapa Soja, com 22 fungicidas, foi possível visualizar e correlacionar o índice MPRI no estágio R5.5 com a severidade de ferrugem asiática, a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e o rendimento de grãos. Isso indica a possibilidade de estimar a severidade e o nível de dano da doença via índice MPRI, sendo uma ferramenta importante na experimentação, tendo potencial de redução da necessidade de avaliações visuais e subjetivas quanto à severidade da doença (Franchini et al., 2018). Entretanto, isso ocorreu somente em estádios avançados da cultura (após o início do enchimento de grãos).

Trabalhos recentes demonstram que o controle químico da ferrugem da soja com fungicidas por meio do uso de VANTs são tão eficientes quanto pulverizadores montados em tratores, mas com a necessidade de maior aderência aos critérios técnicos que afetam a aplicação (Soares et al., 2025).

9 - Uso de VANTs (Drones) para controle fitossanitário

A tecnologia de aplicação de insumos agrícolas com o uso de RPAs está com o mercado em constante crescimento, destacando-se como uma ferramenta promissora para diversos setores de produção. Essa crescente tem sido motivada pela busca na otimização dos recursos e pela possibilidade de serem realizadas operações em áreas de difícil acesso para pulverizadores terrestres e aeronaves agrícolas tripuladas. Contudo, apesar dos benefícios, ainda há necessidade de maior compreensão dos impactos da altura de aplicação e da velocidade de deslocamento, no que diz respeito a qualidade da pulverização (Martin et al., 2019; Richardson et al., 2020).

No âmbito da tecnologia de aplicação aérea, destaca-se a importância da determinação adequada das faixas de deposição, considerando fatores como o espectro de gotas geradas e a qualidade de sua distribuição. O estudo das faixas

de deposição é crucial para otimizar a eficiência operacional, reduzir custos e garantir a uniformidade na aplicação de insumos agrícolas (Antuniassi et al., 2021). Desta forma, é de suma importância entender o que a altura de aplicação e a velocidade de deslocamento podem provocar de alterações na deposição da esteira de gotas geradas e conseqüentemente, na faixa de aplicação e deposição no alvo pois, conforme discutido por Martin et al. (2019). A cobertura homogênea do alvo requer distribuição uniforme, caracterizada por coeficientes de variação inferiores a 25% nas áreas tratadas, particularmente para aplicações aéreas.

No entanto, o que tem se observado em muitas aplicações com RPAs é uma tendência na deposição de altas concentrações logo abaixo da linha de voo do drone, o que pode ser atribuído ao efeito *downwash*. Segundo Yang et al. (2019), esse efeito resulta do fluxo de ar descendente gerado pelos rotores e hélices do drone, criando um forte campo de fluxo de ar sobre a superfície. De acordo com Carvalho et al. (2021), o efeito *downwash* é frequentemente promovido em ações de divulgação da técnica de aplicação com helicópteros, devido ao seu suposto controle mais preciso da faixa de deposição e à redução da deriva. Porém, estes mesmos autores ressaltam que muitos desses argumentos ainda carecem de comprovação científica, uma vez que, conforme observado por Severo (2024), o fluxo de ar descendente das hélices dos drones resultou em elevadas concentrações do traçador azul brilhante logo abaixo da sua linha de voo, especialmente nas menores velocidades de deslocamento, resultando assim em um elevado coeficiente de variação (CV%) e uma distribuição heterogênea ao longo da faixa de deposição.

Ainda, segundo Severo (2024), ao avaliar o perfil tridimensional de distribuição das gotas, o autor destaca que os resultados evidenciam um problema possivelmente associado ao efeito *downwash*, o qual, pode levar tanto à superdosagem quanto à subdosagem do produto, impactando negativamente as culturas, principalmente ao serem realizadas aplicações em faixas (sem sobreposição de passadas), as quais, são comuns em pulverizações de parcelas experimentais ou áreas específicas de produção comercial que não sejam necessariamente a área de produção de grãos ou alimentos. Segundo Carvalho

et al. (2021), essas aplicações em faixa única apresentam grande variabilidade longitudinal e transversal na deposição, pois a área efetivamente tratada com o volume desejado é pequena em comparação à área total, comprometendo a qualidade da aplicação.

Estas observações relatadas sugerem que para assegurar aplicações uniformes, é essencial realizar a aplicação em faixas paralelas e sobreposição adequada das mesmas, para assim, evitar falhas. Uma suposta alternativa para reduzir a concentração logo abaixo do drone, é utilizar maiores alturas de voo durante a pulverização, permitindo assim que haja maior tempo de dispersão das gotas, desde a sua geração até o momento de atingirem o alvo (Antuniassi et al., 2021).

10 - Experimentação *on-farm*

A crescente utilização de máquinas e equipamentos georeferenciados dotados de sensores permite a realização de ensaios *on-farm* conjugados aos preceitos da agricultura de precisão na cultura da soja (Pires e Brandão, 2022; Franchi et al., 2024). A caracterização de zonas de manejo homogêneas permitem a alocação de tratamentos de forma a interagirem com áreas de diferentes potenciais de rendimento de grãos; mapas de prescrição com alocação de tratamentos contrastantes permitem a implementação de tratamentos com facilidade do ponto de vista operacional; o sensoriamento remoto permite o monitoramento do dossel e identificação de diferenças entre tratamentos; mapas de colheita permitem a comparação do rendimento de grãos entre tratamentos sem a necessidade de coleta de amostras.

Esses são alguns dos exemplos das facilidades da associação de abordagens/ferramentas de AP com a realização de ensaios *on-farm*. Dentre as oportunidades de temas/tratamentos para realização de ensaios *on-farm* em soja, Pires et al. (2022) citam: culturas antecessoras/rotação de culturas; densidade de semeadura/população de plantas; cultivares; microrganismos fixadores de nitrogênio, promotores do crescimento de plantas e agentes de controle biológico de doenças e pragas; tratamento de sementes (inseticida e fungicida); uso de produtos sintéticos promotores do rendimento de grãos (hormônios/estimulantes, fertilização foliar, entre outros); ajuste ou validação de

doses, formas, épocas de fornecimento de macro e micronutrientes e suas combinações; controle de pragas e doenças (produtos, estádios, monitoramento x calendário); diferentes sistemas de manejo do solo: tráfego de máquinas e mecanização, controle da compactação, plantas de cobertura e diversificação de espécies, adubação de sistema; avaliação/validação de novas tecnologias; e combinação das opções anteriores com o conceito de zonas de manejo, criteriosamente identificadas com o ferramental de AP.

11 - Plataformas para auxílio à tomada de decisões

Por meio de empresas que fornecem serviços, máquinas, equipamentos ou insumos, algumas plataformas públicas ou privadas específicas para mapeamento e/ou auxílio a tomada de decisão estão disponíveis para uso na prática. Apesar da contribuição, algumas plataformas precisam de aprimoramento, especialmente no que se refere ao potencial do uso da informação gerada e, também, da lógica técnica aplicada para algumas situações específicas. Existem alguns exemplos de plataformas com grande alcance em termos de área e representatividade de agricultores, construídas por cooperativas agrícolas, permitindo interação direta com o produtor associado (benefícios práticos) e, também, a geração de grande volume de dados para a orientação de decisões estratégicas (Smartcoop, 2025). Outro exemplo é a plataforma sobre o Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos (ZARC, 2025), que permite a tomada de decisão sobre época de semeadura de soja, por município, além de disponibilizar outras informações relevantes para decisão.

Conclusões

As abordagens e tecnologias que fazem parte da AP estão em evolução constante. Assim, é fundamental que cada estratégia/tecnologia seja avaliada quanto ao seu nível de desenvolvimento, não havendo uma receita única aplicável para todas as situações. Em nível de lavoura é preciso considerar a adoção das tecnologias de acordo com a realidade de cada propriedade e do sistema de produção utilizado. Somente dessa forma será possível aumentar o impacto positivo e consolidar a AP como parceira importante da soja no Brasil (Vian et al., 2022).

Referências

- AMARAL, L. R.; OLDONI, H.; BAPTISTA, G. M. M.; FERREIRA, G. H. S.; FREITAS, R. G.; MARTINS, CENNEYA L.; CUNHA, I. A.; SANTOS, A. F. Remote sensing imagery to predict soybean yield: a case study of vegetation indices contribution. **Precision Agriculture**, v. Online, p. 1, 2024.
- ANTUNIASSI, U. R. *et al.* **Entendendo a tecnologia de aplicação**. 2. ed. Botucatu: FEPAF, 2021. 64 p.
- BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, Carlos M. P.; PIRES, J. L. F.; GEBLER, L.; Jorge, L. A. C.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar na Era Digital**. 1. ed. São Carlos: Cubo, 2024.
- BOTTEGA, E. L.; MARIN, C. K.; OLIVEIRA, Z. B.; LAMB, C. C.; AMADO, T. J. C. Soil density characterization in management zones based on apparent soil electrical conductivity in two field systems: rain-feed and center-pivot irrigation. **Agriengineering**, v. 5, p. 460-472, 2023.
- CARVALHO, F.; CHECHETTO, R.; MOTA, A. & ANTUNIASSI, U. R. **Entendendo a tecnologia de aplicação: aviões, helicópteros e drones de pulverização**. 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2021. 88 p.
- CHERUBIN, M.R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J.M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)**, v. 50, p. 168-177, 2015.
- CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; LISKA, T.; SHARDA, A.; FULTON, J.; CIAMPITTI, I. A. Planter technology to reduce double-planted area and improve corn and soybean yields. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 1, p. 300-310, 2018a.
- CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; STRIEDER, M. L.; SCHWALBERT, R. A.; PIRES, J. L. F.; CARTER, P.; CIAMPITTI, I. A. Optimum soybean seeding rates by yield environment in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 2430-2438, 2018b.
- CRUSIOL, L. G. T.; SIBALDELLI, R. N. R.; FARIAS, J. R. B. de.; NANNI, M. R.; FURLANETTO, R. H.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de.; NEPOMUCENO, A. L.; FLAUSINO, A. M.; REIS, A. S.; SILVA, B. M. da; CASTRO, C. de.; GODOY, C. V.; MINATO, E. A.; CEZAR, E.; OLIVEIRA, F. A. de.; SANTOS, G. L. A. A. dos.; GONÇALVES, J. V. F.; FOLONI, J. S. S.; FAZAM, J. C.; FRANCHINI, J. C.; OLIVEIRA, K. M. de.; MORAES, L. A. C.; MERTZ-HENNING, L. M.; BATISTA, M. A.; NEUMAIER, N.; FALCIONI, R.; ROGGIA, S.; GONÇALVES, S. L. 50 anos do NDVI: desmistificando o índice e ponderando sua utilização para o monitoramento da soja na era digital. Londrina: Embrapa Soja, 2024. (Embrapa Soja. Documentos 463) 83 p.
- FARIAS, G. D.; BREMM, C.; BREDEMEIER, C.; MENEZES, J. L.; ALVES, L. A.; TIECHER, T.; MARTINS, A. P.; FIORAVANÇO, G. P.; DA SILVA, G. P.; CARVALHO, P. C. F. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for soybean biomass and nutrient uptake estimation in response to production

systems and fertilization strategies. **Frontiers In Sustainable Food Systems**, v. 6, p. 1-12, 2023.

FRANCHI, N. R. A.; CYRINEU, I. M.; TAIRA, F. K.; HUNHOFF, L.; GIMENEZ, L. M. Um estudo de caso sobre experimentação on farm para avaliação de populações de plantas de soja com uso dos recursos disponíveis na fazenda. In: X Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão e Digital. Ribeirão Preto, Anais... Ribeirão Preto: Associação Brasileira de Agricultura de Precisão e Digital 2024. P.50-57. Disponível em: <https://asbraap.org/conbap/files/conbap_anais_final2.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2025.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; JORGE, L. A. C.; DEBIASI, H.; Dias, W.P.; GODOY, C. V.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CORREA, F. B.; OLIVEIRA, M.C.N. Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja. Londrina: Embrapa Soja, 2018 (Documento Técnico).

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; MISIEWICZ, P.; SMITH, E. Tráfego controlado de máquinas agrícolas: a experiência inglesa e perspectivas de adoção no Sul do Brasil. **Revista Plantio Direto**, v. 137, p. 42-50, 2014.

HORBE, 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.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. de C.; VAZ, C. M. P.; PIRES, J. L. F.; GEBLER, L.; JORGE, L. A. de C.; BASSOI, L. H. Agricultura de precisão: perspectiva histórica e de constant transformação. In: BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. de C.; VAZ, C. M. P.; PIRES, J. L. F.; GEBLER, L.; JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. (Eds.) **Agricultura de precisão: um novo olhar na era digital**. São Carlos: Cubo Multimídia, 2024. P. xi-xxvi.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective**. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.

MAESTRINI, B.; BASSO, B. Predicting spatial patterns of within-field crop yield variability. **Field Crops Research**, v. 219, p.106-112, 2018.

MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E. & LATHEEF, M. A. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. **Drones**, v. 3, n. 4, p. 83, 4 dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/drones3040083>.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLACO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.

MOLIN, J. P.; FAULIN, G. D. C. Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture. **Scientia Agrícola**, v. 70, p. 1-5, 2013.

PIAS, O. H. DE C.; CHERUBIN, M. R.; BASSO, CLAUDIR J.; SANTI, A. L. MOLIN, J. P.; BAYER, C. Soil penetration resistance mapping quality: effect of the number of subsamples. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 40, p. 1-11, 2018.

PIRES, J. L. F.; BRANDÃO, Z. N. **Experimentação on-farm na agricultura de precisão**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. 154 p.

PIRES, J. L. F.; REZENDE, A. V. de; BRANDÃO, Z. N. Indicações metodológicas para a realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão. In: PIRES, J. L. F.; BRANDÃO, Z. N. **Experimentação on-farm na agricultura de precisão**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. P. 130-154.

QUEIROZ, D. M.; VALENTE, DOMINGOS S. M.; PINTO, F. A. C.; BOREM, A. **Agricultura Digital**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. v. 1. 223 p.

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A. & KIMBERLEY, M. O. Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/trans.13724>.

SANTI, A. L.; SEBEM, E.; GIOTTO, E.; AMADO, T. J. C. **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 01. ed. Santa Maria/RS: Triunfal Gráfica e Editora, 2016. v. 1000. 309 p.

SANTOS, J. C. F. dos; SANTOS, E. L. dos; DEBIASI, H.; FURLANETTO, R. H.; SARTORI, A.; CARRASHI, T. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Planejamento e avaliação de sistemas de terraceamento utilizando imagens aéreas e ferramentas digitais. In: BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. de C.; VAZ, C. M. P.; PIRES, J. L. F.; GEBLER, L.; JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. (Eds.) **Agricultura de precisão: um novo olhar na era digital**. São Carlos: Cubo Multimídia, 2024. P. 159-165.

SCHWALBERT, R.; CORASSA, G. M.; AMADO, TELMO J. C. Definição de zonas de manejo utilizando "multi-layers" e sensores "on-the-go": Definições e usos. In: SANTI, A. L.; SEBEM, E.; GIOTTO, E.; AMADO, T. J. C. (Org.). **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 1ed.: 2016, v. 1, p. 233-250.

SEVERO, E. M. **Faixa de Aplicação de Drone de Pulverização Utilizando Diferentes Diâmetros de Gotas e Velocidades de Operação**. 2024. 48f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, 2024.

SMARTCOOP. 2025. Disponível em: <<https://cotrisoja.com.br/smartcoop/>>. Acesso em: 12 jun. 2025.

SOARES, R. M.; ADEGAS, F. S.; ROGGIA, S. Drone spraying of fungicides to control asian soybean rust. **Journal of Agricultural Sciences Research**, v. 5, n. 1, p. 1-18, 2025.

SULZBACH, E.; SCHEEREN, I.; BARBOSA, I.; MEROTTO JR, A.; MARKUS, C. Avaliação do desempenho de modelo *deep learning* para o reconhecimento de plantas daninhas na cultura da soja e do milho. In: X Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão e Digital. Ribeirão Preto, Anais... Ribeirão Preto. Associação Brasileira de Agricultura de Precisão e Digital 2024. P.169-177. Disponível em: <https://asbraap.org/conbap/files/conbap_anais_final2.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2025.

VALENTE, D. S. M.; PEREIRA, G. E.; QUEIROZ, D. M.; ZANDONADI, R. S.; AMARAL, L. R.; BOTTEGA, E. L.; COSTA, M. M.; COELHO, A. L. F.; GRIFT, T. Accuracy of various sampling techniques for Precision Agriculture: A case study in Brazil. **Agriculture**, v. 14, p. 2198, 2024.

VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; PIRES, J. L. F.; CORASSA, G. M.; VANIN, J. P. Aplicações da agricultura de precisão na cultura da soja. In: MARTIN, T. N.; PIRES, J. L. F.; VEY, R. T. (Orgs.) **Tecnologias aplicadas para o manejo rentável e eficiente da cultura da soja**. Santa Maria: Editora GR, 2022. p 275-296.

VILLAR, F. M. M.; ROSAS, J. T. F.; PINTO, F. A. C. Imagens e sensoriamento remoto aplicado à gestão agrícola. In: QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. de A. de C.; BORÉM, A. (Org.). **Agricultura Digital**. 1ed. Viçosa: 2020, v. 1, p. 66-80.

YANG, S. H.; ZHENG, Y. J. & LIU, X. X. Research status and trends of downwash airflow of spray UAVs in agriculture. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2019.

ZARC - Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Aplicativo Zarc - Plantio Certo. MAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6516/aplicativo-zarc---plantio-certo> Acesso em: 12 jun. 2025.