

Indicações metodológicas para a realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão

João Leonardo Fernandes Pires
 Álvaro Vilela de Resende
 Ziany Neiva Brandão

Oportunidades, dificuldades e cuidados na experimentação on-farm

A realização de ensaios on-farm é uma oportunidade para aprimoramento do manejo das áreas de produção agrícola em fazendas, com reflexos potenciais em rendimento de grãos e/ou aumento da rentabilidade e busca de sustentabilidade. Um conjunto de possibilidades pode ser considerado, sendo algumas de uso genérico e outras para cada cultura agrícola. Na Tabela 1 estão listados alguns exemplos de oportunidades de temas/tratamentos para realização de ensaios on-farm em algumas das culturas agrícolas mais importantes no Brasil.

Tabela 1. Algumas oportunidades de temas/tratamentos para realização de ensaios on-farm em culturas agrícolas usadas em larga escala no Brasil.

Item	Soja	Milho	Trigo e outros cereais de inverno	Algodão	Cana-de-açúcar
1	Culturas antecessoras/rotação de culturas	Culturas antecessoras/rotação de culturas/cultivos consorciados	Culturas antecessoras/rotação de culturas	Culturas antecessoras/rotação de culturas	Culturas intercaladas/antecessoras em período de reforma do canavial
2	Densidade de semeadura/população de plantas	Densidade de semeadura/população de plantas	Densidade de semeadura/população de plantas	População de plantas/ algodão adensado	População de plantas em área de reforma/sistema de produção de mudas – meiosi
3	Cultivares	Cultivares	Cultivares	Cultivares	Cultivares
4	Microrganismos fixadores de nitrogênio, promotores do crescimento de plantas e agentes de controle biológico de doenças e pragas	Microrganismos fixadores de nitrogênio, promotores do crescimento de plantas e agentes de controle biológico de doenças e pragas	Microrganismos fixadores de nitrogênio, promotores do crescimento de plantas e agentes de controle biológico de doenças e pragas	Microrganismos fixadores de nitrogênio, promotores do crescimento de plantas e agentes de controle biológico de doenças e pragas	Microrganismos fixadores de nitrogênio, promotores do crescimento de plantas e agentes de controle biológico de doenças e pragas
5	Tratamento de sementes (inseticida e fungicida)	Tratamento de sementes (inseticida e fungicida)	Tratamento de sementes (inseticida e fungicida)	Tratamento de sementes (deslincamento, inseticida e fungicida)	Tratamentos térmico de colmos em viveiros
6	Uso de produtos sintéticos promotores do rendimento de grãos (hormônios/estimulantes, fertilização foliar, entre outros)	Uso de produtos sintéticos promotores do rendimento de grãos (hormônios/estimulantes, fertilização foliar, entre outros)	Uso de produtos sintéticos promotores do rendimento de grãos (hormônios/estimulantes, fertilização foliar, entre outros)	Uso de produtos sintéticos promotores do rendimento de grãos (hormônios/estimulantes, fertilização foliar, entre outros)	Uso de produtos sintéticos promotores de desenvolvimento e precocidade na maturação.
7	Ajuste ou validação de doses, formas, épocas de fornecimento de macro e micronutrientes e suas combinações	Ajuste ou validação de doses, formas, épocas de fornecimento de macro e micronutrientes e suas combinações	Ajuste ou validação de doses, formas, épocas de fornecimento de macro e micronutrientes e suas combinações	Ajuste ou validação de doses, formas, épocas de fornecimento de macro e micronutrientes e suas combinações	Ajuste ou validação de doses, formas, épocas de fornecimento de macro e micronutrientes e suas combinações

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Item	Soja	Milho	Trigo e outros cereais de inverno	Algodão	Cana-de-açúcar
8	Controle de pragas e doenças (produtos, estádios, monitoramento x calendário)	Controle de pragas e doenças (produtos, estádios, monitoramento x calendário)	Controle de pragas e doenças (produtos, estádios, monitoramento x calendário)	Controle de pragas e doenças (produtos, estádios, monitoramento x calendário)	Controle de pragas e doenças (produtos, estádios, monitoramento x calendário)
9			Sistema de produção por uso do produto final e interação com a variabilidade da área de cultivo (trigo pão, trigo exportação/ração, duplo propósito).	Aplicação de regulador de crescimento (estádios, monitoramento)	Regulador de crescimento na cana planta e na cana soca
10	Diferentes sistemas de manejo do solo: tráfego de máquinas e mecanização, controle da compactação, plantas de cobertura e diversificação de espécies, adubação de sistema	Diferentes sistemas de manejo do solo: tráfego de máquinas e mecanização, controle da compactação, plantas de cobertura e diversificação de espécies, adubação de sistema	Diferentes sistemas de manejo do solo: tráfego de máquinas e mecanização, controle da compactação, plantas de cobertura e diversificação de espécies, adubação de sistema	Diferentes sistemas de manejo do solo: tráfego de máquinas e mecanização, controle da compactação, plantas de cobertura e diversificação de espécies, adubação de sistema	Diferentes sistemas de manejo do solo: tráfego de máquinas e mecanização, controle da compactação
11	Avaliação/validação de novas tecnologias	Avaliação/validação de novas tecnologias			
12	Combinação das opções anteriores com o conceito de zonas de manejo, criteriosamente identificadas com o ferramental de AP	Combinação das opções anteriores com o conceito de zonas de manejo, criteriosamente identificadas com o ferramental de AP	Combinação das opções anteriores com o conceito de zonas de manejo, criteriosamente identificadas com o ferramental de AP	Combinação das opções anteriores com o conceito de zonas de manejo, criteriosamente identificadas com o ferramental de AP	Combinação das opções anteriores com o conceito de zonas de manejo, criteriosamente identificadas com o ferramental de AP

Especificamente sobre o processo de experimentação on-farm, a primeira oportunidade é no campo da compreensão sobre os objetivos e benefícios potenciais deste tipo de trabalho. Na realização de ensaios on-farm, a interação com uma instituição de pesquisa ou empresa prestadora de serviço, muitas vezes, é encarada como uma estratégia em que terceiros buscam coletar dados da propriedade para uso de terceiros. Na realidade, é preciso construir o entendimento de que a experimentação on-farm, na maior parte das vezes, tem como objetivo principal a geração de resultados aplicáveis ao talhão de lavoura em estudo, portanto, com benefícios diretos para a própria fazenda. Para isso, é preciso a obtenção de dados do local e o estabelecimento de relações de confiança entre os parceiros, sobre acesso e uso de informações.

Além das oportunidades, a realização de ensaios on-farm com qualidade adequada ainda apresenta uma série de dificuldades e limitações que devem ser consideradas. Nos estudos de caso realizados com diferentes culturas agrícolas em várias regiões do Brasil, foi possível verificar algumas situações (que se replicam em outras propriedades agrícolas que utilizam AP em diversos níveis de implantação) que merecem reflexão (Tabela 2).

Tabela 2. Algumas dificuldades relatadas na realização dos estudos de caso sobre ensaios on-farm conduzidos em diferentes sistemas de produção de culturas de larga escala no Brasil.

Item	Dificuldade/limitação
1	Estabelecimento de relações de confiança com produtor rural e demais prestadores de serviço na área de AP e correlatas.
2	Entendimento, por parte do produtor rural/equipe da fazenda, de que a filosofia do uso da AP na propriedade (e dos ensaios on-farm) deve ir além da busca somente pelo aumento de produtividade, compreendendo também aspectos de uso racional da terra e dos insumos, bem como adequações operacionais, ambientais e sociais que, com o tempo, provavelmente serão exigidos como itens de conformidade das atividades agropecuárias.
3	Entendimento dos objetivos dos ensaios on-farm por parte do produtor.
4	Entendimento, por parte do produtor rural/equipe da fazenda e de parceiros fornecedores de insumos e serviços e da própria equipe responsável pela pesquisa, de que os ensaios on-farm devem ser, prioritariamente, automatizados, utilizando as ferramentas de AP disponíveis, minimizando o uso de amostragens manuais e conceitos de experimentações convencionais utilizadas em estações experimentais.
5	Acesso e integração com os diferentes prestadores de serviço/plataformas utilizadas pela propriedade.
6	Domínio da interpretação dos dados coletados e seu uso para impactar na tomada de decisões de manejo.
7	Entendimento de que a realização de ensaios on-farm tem o propósito principal de auxiliar no manejo da propriedade rural e não somente de coletar dados para outros usos pela pesquisa.
8	Variação e incompatibilidade da grade amostral utilizada por prestadores de serviço para caracterização da variabilidade do solo (e de outras características) das áreas da propriedade, com reflexos na confiabilidade do estabelecimento de zonas de manejo e das indicações de intervenções para a área em estudo.
9	Falta de equipamentos, de calibração/manutenção de sensores e de ferramentas utilizadas para caracterizar as áreas. Falta de assistência técnica ou intempestividade no serviço prestado, dificultando a automação dos ensaios.
10	Falhas na cobertura de GPS e de acesso a plataformas utilizadas para visualização/integração de dados no campo.
11	Perda de dados críticos para a caracterização das áreas e/ou que mostrem os resultados dos ensaios on-farm.
12	Intempestividade na disponibilização dos dados para tomada de decisão, visando a intervenções de manejo nas áreas em estudo no momento apropriado.
13	Falta de caracterização prévia da variabilidade da área para facilitar o planejamento do ensaio on-farm e a tomada de decisões de manejo.
14	Dificuldades de intercomunicação para compartilhamento/reconhecimento de informações via arquivos computacionais entre softwares e com os diversos sistemas e equipamentos em uso no cotidiano da fazenda.
15	Necessidade de calibração prévia e tratamento dos dados brutos coletados por sensores de colheita para filtragem de <i>outliers</i> e mapeamento final de maior confiabilidade.
16	Equipamentos não apropriados para a aplicação dos tratamentos a serem avaliados nos ensaios on-farm, por exemplo, que apresentam problemas de regulação ou deriva de adubo durante a distribuição na modalidade a lanço.
17	Falta de metodologias e critérios padronizados para caracterização das áreas e definição de zonas de manejo.
18	Variação repentina nas condições meteorológicas durante operações críticas, tal como a ocorrência de chuva constante após iniciada a semeadura, atrasando o dia de sua conclusão, quando o experimento ocupa grande extensão de área.
19	Inexistência de estação meteorológica próxima ao ensaio ou mesmo perda de registros de dados meteorológicos, fundamentais como parte das observações a serem consideradas na análise e interpretação dos resultados de pesquisa on-farm
20	Necessidade de sobreposição ou proximidade das linhas de semeadura/plantio a cada novo cultivo, para preservar os limites das parcelas, podendo criar dificuldades operacionais ao maquinário, que funciona melhor quando não há coincidência exata com o sulco da safra anterior.
21	Falta de alinhamento da equipe que faz o manejo da propriedade com os fundamentos da pesquisa e dos ensaios on-farm. Por exemplo, necessidade de respeitar tratamentos, não fazer confundimento com outros manejos aplicados, colheita mecanizada com sensor para geração de mapa de colheita, etc.
22	Utilização de área de produção para fazer pesquisa como a realizada em estações experimentais (parcelas pequenas, muitas repetições, amostragens manuais, entre outros), desconsiderando os princípios de cada tipo de pesquisa.

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Item	Dificuldade/limitação
23	Informações fornecidas por diferentes prestadores de serviço/plataformas de AP subaproveitadas ou meramente ilustrativas, sem domínio da interpretação e liberdade para tomada de decisão pela própria equipe técnica da fazenda.
24	Falta de capacitação específica da equipe da fazenda sobre AP e princípios/necessidades para realização de ensaios on-farm.
25	Necessidade de compreensão, pelo produtor parceiro, de que muitos tipos de pesquisa em áreas de produção consolidadas (como é o caso de ensaios de adubação em lavouras sob sistema plantio direto há muitos anos) demandam condução de experimentos de longo prazo para obtenção de resultados conclusivos, sendo comum não se comprovar hipóteses ou alcançar as respostas esperadas avaliando um ou dois ciclos de cultivo. Além disso, pode também ser necessária a manutenção de tratamentos cuja produtividade fique abaixo da média da fazenda (testemunhas ou controles sem fornecimento de um ou mais nutrientes).

Essas dificuldades representam, em parte, a variabilidade quanto ao tempo de adoção e ao nível de aprimoramento do entendimento sobre o espectro de aplicações potenciais da AP, dos critérios requeridos e das práticas efetivamente utilizadas nas propriedades, bem como da integração e maturidade da rede de atores de suporte técnico/operacional utilizada.

As dificuldades encontradas, por outro lado, representam oportunidades de evolução no processo de experimentação on-farm no âmbito da AP. Algumas delas podem ser superadas pela aproximação dos diferentes atores que interagem com a propriedade rural sobre o tema e, também, pela qualificação dos atores da propriedade que realizam os processos práticos. É fundamental que o processo seja dominado, com avaliação crítica, pelos atores da fazenda, diminuindo a atuação como coadjuvantes, que somente encaminham dados e recebem prescrições para aplicação de insumos.

Do ponto de vista de quem desenvolve metodologias para pesquisa on-farm, diante da constante atualização tecnológica e mercadológica vinculada à AP, em interação com as pessoas no âmbito da fazenda, os pesquisadores podem ter ideias para um melhor ajuste de uma operação isolada ou até mesmo para soluções complexas envolvendo a integração de diversos processos, gerando inovação. Interessante, porém, é que as inovações desenvolvidas na pesquisa on-farm sejam customizadas para a realidade das fazendas.

Assim, há diversos caminhos a percorrer para a geração de soluções integradas de implementação, monitoramento, análise de desempenho e reorientação contínuos para melhoria de processos no campo. Nesse sentido, sobretudo num país continental como o Brasil, a pesquisa on-farm é um pré-requisito, etapa indispensável para viabilização técnica e econômica de abordagens da AP, rumo, “com os pés no chão”, à agricultura digital ou 4.0.

Sugestões/indicações metodológicas para ensaios on-farm

A realização de ensaios on-farm no âmbito da AP deve basear-se em princípios e metodologias adequados para que se possa obter o máximo retorno dessa abordagem. No Brasil, várias instituições, empresas e agricultores utilizam a realização de ensaios on-farm como parte do ciclo da AP. Portanto, existe acúmulo considerável de experiências sobre o tema, mas que está fragmentado em diversas regiões, sistemas de cultivo e níveis de evolução. A Rede Embrapa, por meio de experiências realizadas no tema, busca contribuir com algumas indicações técnicas sobre a realização de ensaios on-farm. Algumas delas são princípios que podem ser aplicados de forma generalista, e outras precisam ser contextualizadas e adaptadas para as diferentes realidades. A seguir, são apresentados alguns princípios e indicações sobre ensaios on-farm no âmbito da AP.

De acordo com Caldwell (1987), os ensaios on-farm seguem uma sequência, com desenhos e tipos de análises específicas. Existem tipos diferentes de ensaios: “ensaios exploratórios”, quando pouco é conhecido sobre o efeito do tratamento (tecnologia alvo) e o foco é acessar efeitos qualitativos de vários fatores antes de efeitos quantitativos. Os “ensaios de refinamento” são de dois tipos: sítios-específicos e regionais. Sítios-específicos são conduzidos em uma só fazenda e geralmente focam em efeitos quantitativos. Eles têm desenho similar a ensaios convencionais. Os ensaios regionais são realizados em mais de uma fazenda, mas analisados como um conjunto de dados. São desenhados para mostrarem os melhores tratamentos dos ensaios sítio-específicos a uma gama muito mais ampla de ambientes em uma região. O terceiro tipo de ensaio on-farm são os “ensaios de validação”, nos quais o próprio agricultor faz o manejo e avaliação de um ou dois tratamentos identificados como promissores nos ensaios de refinamento. Neste caso, são usadas parcelas grandes sem repetições e o objetivo é comparar novas intervenções com as práticas já utilizadas pelo agricultor. A confiança e nível de aceitação da nova tecnologia podem ser aumentados se a avaliação for realizada por um número grande de agricultores em uma determinada região.

Apesar dos tipos de ensaios possíveis, parece factível indicar dois objetivos principais com a realização de ensaios on-farm de forma generalizada: identificação de tecnologias (envolvendo produtos e processos) mais apropriadas para uso específico (em escala de talhão para cada propriedade) e, também, no conjunto de ensaios avaliados, a identificação de tecnologias com melhor desempenho para uso geral (recomendação generalizada).

No âmbito da AP, parece mais relevante, para os interesses dos agricultores, o objetivo de gerar informações para auxílio nas decisões de manejo específicas para cada talhão, pois estão associadas ao conceito de existência de variabilidade nos condicionantes do rendimento de grãos, e que esta variabilidade é exclusiva de cada talhão, com necessidade de ser tratado com manejo específico. Redes de ensaios com o mesmo desenho podem ser aproveitadas, mas com importância secundária para o agricultor individual e com maior interesse para atender a demandas dos desenvolvedores das tecnologias e/ou aspectos comerciais referentes às mesmas. No entanto, isso não deve impedir o compartilhamento de resultados e o aprendizado conjunto, principalmente, envolvendo temas e dificuldades que se repetem de agricultor para agricultor.

Estabelecido o objetivo da pesquisa, a etapa seguinte é a realização propriamente dita de cada ensaio específico. Ketterings et al. (2012) elencam sete passos (não específicos para AP) para a realização de ensaios on-farm: (1) definição do problema de pesquisa; (2) desenho e formato das parcelas; (3) seleção do talhão/área; (4) implementação do ensaio; (5) coleta de dados; (6) análise de dados; e (7) aprender com os dados e repetir. De acordo com os autores, o problema de pesquisa deve ser simples e respondido com dois ou três tratamentos (dependendo da disponibilidade de equipamentos para automatização do processo). Adaptando essa sequência para a AP, a maior parte das etapas são comuns às de ensaios tradicionais, com alguns ajustes mais específicos.

A experimentação on-farm, com o objetivo de gerar informações para uma propriedade, pode ser realizada com o uso dos equipamentos do próprio agricultor. O ideal é que sejam dotados de GPS, sensores e dispositivos de taxa variável, capazes de automatizar os processos de aplicação da tecnologia que está sendo avaliada e, também, do monitoramento da colheita, a fim de verificar o resultado dos tratamentos no rendimento de grãos, por exemplo. Geralmente, são demarcadas, digitalmente, parcelas grandes ou faixas com a variação da tecnologia (por exemplo, uma parcela com a cultivar utilizada pelo produtor e outra com a nova cultivar a ser avaliada) e a repetição (na mesma área e safra) dessas tecnologias pelo menos duas vezes. As parcelas podem ser demarcadas em áreas homogêneas conhecidas (por exemplo, talhões com comportamento conhecido)

ou cruzando áreas com potencial produtivo diferenciado (exemplo de zonas de manejo já definidas por meio de técnicas de agricultura de precisão). O importante é que todos os tratamentos estejam presentes em todas as áreas. Podem ser utilizados sensores (como sensores de NDVI embarcados em Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTs) para monitorar o desenvolvimento da cultura e das parcelas durante o ciclo, mas é fundamental a colheita utilizando monitor de colheita, que permitirá a obtenção de mapas de rendimento que incluirão as parcelas previamente delimitadas e, assim, a verificação do desempenho produtivo de cada tecnologia avaliada. Podem ainda ser feitas avaliações de solo ou das plantas nas parcelas durante e no final do ciclo, a fim de gerar mais informações sobre os efeitos das tecnologias.

A Figura 1 demonstra o ciclo de realização de ensaios on-farm no âmbito da AP, com as principais etapas e decisões que podem levar para caminhos diferentes em termos metodológicos e de obtenção dos resultados.

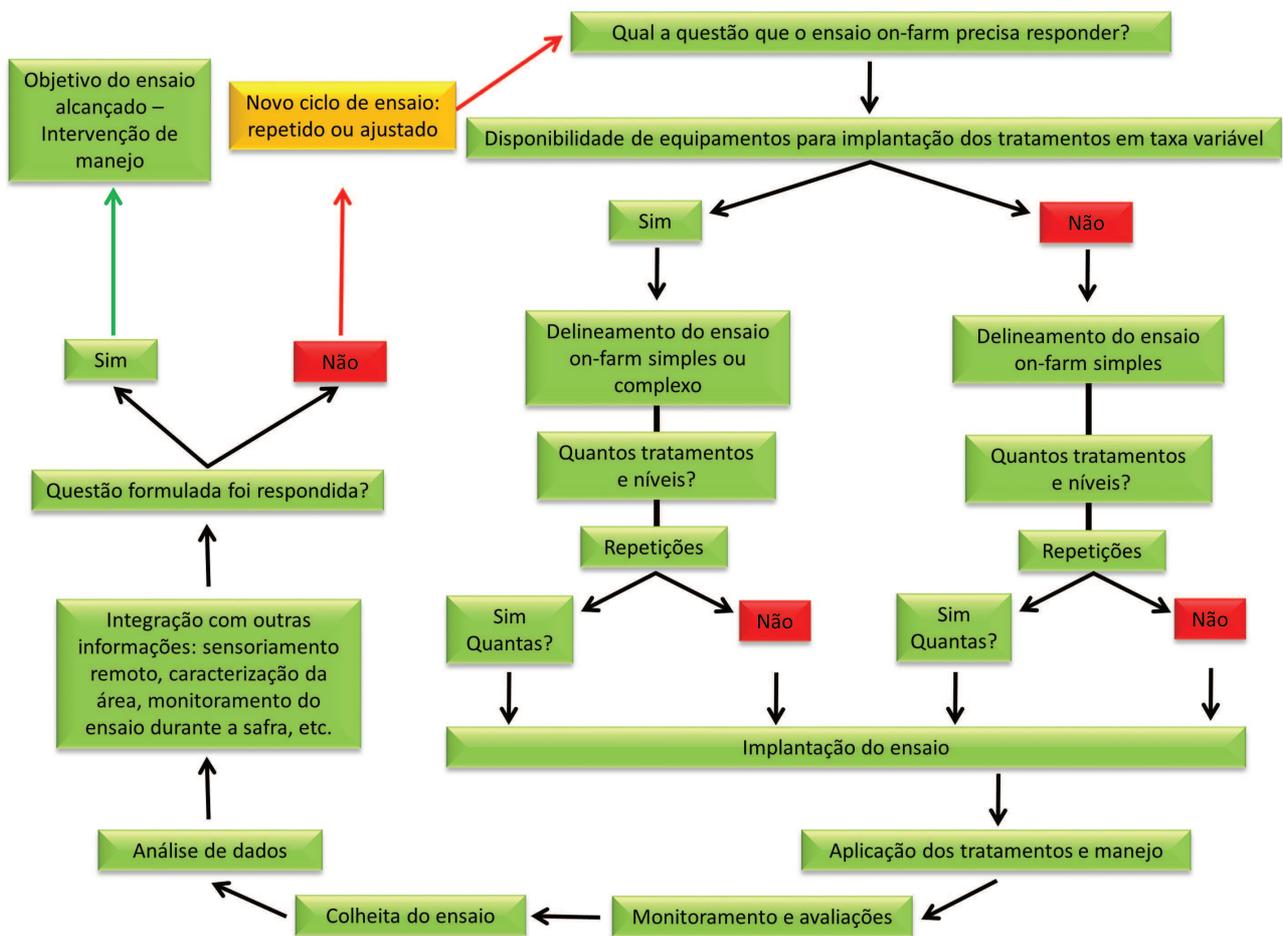


Figura 1. Ciclo de realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

Fonte: Adaptado de Bramley et al. (2006).

Fica evidente, na Figura 1, que a realização ou não do ensaio, o nível de complexidade, a resposta à pergunta formulada e a repetição do ensaio dependem do propósito e de fatores ligados à disponibilidade de equipamentos, de informações e da qualidade requeridos na condução do ensaio. Por exemplo, se estiverem disponíveis equipamentos bem calibrados para a automatização da condução, é possível a realização, com maior facilidade e precisão, de ensaios mais complexos. No entanto, mesmo com diferentes níveis dos recursos disponíveis nas propriedades, normalmente é possível utilizar repetições e realizar todas as etapas de condução, análise de dados e respostas a que se propõe o ensaio. Se os objetivos do ensaio não forem alcançados, é possível repetir o ensaio

no mesmo formato ou com ajustes metodológicos que corrijam alguma deficiência identificada. Se o ensaio atingiu os objetivos com nível adequado de segurança, parte-se para o uso das informações obtidas em auxílio à tomada de decisões de manejo a serem implementadas.

Por meio da condução de ensaios on-farm, em diferentes sistemas de produção, em várias regiões brasileiras, foi possível identificar/refinar indicações metodológicas para a realização de ensaios com nível de aproveitamento adequado. Na sequência, são apresentadas e discutidas algumas sugestões metodológicas, nas principais etapas para realização de ensaios on-farm no âmbito da AP, que devem ser adaptadas de acordo com a maturidade dos diferentes usuários e das condições de ambiente e de manejo de cada sistema de produção.

Identificação do problema/tecnologia a ser resolvido(a)/avaliado(a) em ensaios on-farm e a(s) questão(ões) a ser(em) respondida(s)

O primeiro passo na realização de um ensaio on-farm é definir o problema ou a decisão de manejo/tecnologia a ser avaliada. Vários fatores interferem nessa escolha, como grau de maturidade no uso da AP na propriedade, disponibilidade de equipamentos, identificação dos fatores de manejo limitantes para o rendimento de grãos/rentabilidade em cada situação, entre outros. Para Nielsen (2008), ao desenvolver uma pergunta a ser respondida ou uma hipótese, ela deve ser simples (herbicida A *versus* herbicida B; milho tratado com fungicida *versus* não tratado), pois ensaios envolvem tempo, energia e custos e quanto mais complexos, maior a demanda desses recursos. Entretanto, no caso da necessidade de identificação de uma dose ótima de insumo, como quantidade de semente ou de fertilizante, é importante incluir uma faixa mais ampla de tratamentos que torne possível o ajuste de uma curva de regressão que permita estimar a máxima resposta econômica.

Na definição da questão a ser respondida, também é importante considerar a magnitude da diferença esperada entre os tratamentos. Por mais que isso tenha grau elevado de incerteza, é um ponto que deve ser levado em consideração na avaliação da efetividade do ensaio e dos ajustes metodológicos necessários. Para Kindred et al. (2018), ensaios on-farm, em média, conseguem captar diferenças em rendimento de grãos da ordem de $0,3 \text{ t ha}^{-1}$ a $0,5 \text{ t ha}^{-1}$, e somente aqueles muito precisos conseguem “provar” diferenças tão pequenas quanto $0,1 \text{ t ha}^{-1}$. Assim, ensaios com fatores dos quais são esperadas pequenas diferenças entre tratamentos partem da necessidade de maior precisão experimental ou da expectativa de resultados com menor grau de confiabilidade.

Outro princípio importante adotado pela AP, e que deve ser levado em consideração para definir a realização ou não de ensaios on-farm e orientar o desenho experimental, é o nível de variabilidade presente na área (talhão) foco do estudo. Algumas áreas são tão uniformes que permitem a realização de ensaios on-farm que representem a área como um todo e que indiquem tecnologias/doses/taxas para uso em toda a área (taxa fixa). Em outro extremo, a variabilidade pode ser tão grande que impeça a realização de ensaios on-farm com nível adequado de precisão sem antes ocorrer a minimização da variabilidade existente. Para que seja possível escolher um caminho a seguir é fundamental a caracterização prévia da área do estudo, por meio de diferentes “camadas de informações”, que vão desde mapas de classificação dos solos presentes na área (estudos de pedologia) até mapas de colheita (rendimento de grãos) de várias safras/culturas, que auxiliem na localização de regiões com diferenças no potencial de rendimento de grãos. A definição do nível de variabilidade presente na área, direcionando os ensaios on-farm para um ou outro formato ou, mesmo, indicando uma provável falta de efetividade, depende de fatores como região, cultura, sistema de produção, tamanho e relevo do talhão, entre outras. Essa decisão deve ser buscada em cada

situação específica e com a participação, preferencialmente, de técnicos e pesquisadores especializados em AP, além do pessoal da fazenda.

O entendimento, por parte do agricultor, sobre objetivo e potencial de uso dos resultados de experimentos on-farm é fundamental para o sucesso desse tipo de estratégia de pesquisa em AP. Muitas vezes, o produtor não tem a dimensão real da oportunidade de aplicação dos dados gerados para sua lavoura (custo x benefício) e da necessidade de respeitar a metodologia proposta. É comum, no cotidiano da propriedade, ocorrerem dificuldades de implementação e condução dos ensaios on-farm, pois o agricultor prioriza os processos de manejo da lavoura, por exemplo, não respeitando os tratamentos (variações de manejo) propostos, não utilizando o monitor de colheita para quantificar os resultados das parcelas, entre outros. É fundamental que se entenda a necessidade de respeitar a metodologia proposta e pactuada no início do trabalho, com o contraste sugerido entre as tecnologias em estudo. Por outro lado, do ponto de vista de quem está propondo o ensaio (pesquisador, consultor, assistente técnico), é preciso que haja entendimento de que a área do produtor não é análoga a uma estação experimental onde se faz estudos com grande número de parcelas e tratamentos e utilizando os princípios da experimentação tradicional e controle ambiental rigoroso. Sempre que possível, o produtor deve se enxergar entre os beneficiários principais do trabalho e as metodologias utilizadas devem ser as mais simples, para que sejam coletados os dados necessários para o entendimento dos resultados com manejo operacional facilitado.

Na Tabela 3 são apresentadas algumas sugestões de etapas/procedimentos a serem levados em consideração na definição do problema e de possíveis respostas a serem buscadas com a realização dos ensaios on-farm.

Tabela 3. Resumo das principais indicações a serem levadas em consideração na etapa de análise do problema/pergunta a ser respondida com a realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

Procedimentos na análise do problema/pergunta a ser respondido(a) com a realização de ensaios on-farm
Estabelecimento claro da(s) pergunta(s) a ser(em) respondida(s) e hipótese(s).
Busca prévia, se disponíveis, de resultados de pesquisa on-farm ou em estações experimentais (que representam a região do estudo) sobre o tema a ser abordado no ensaio on-farm em planejamento.
Verificação se as respostas encontradas em outros ensaios (on-farm ou nas estações experimentais) são suficientes para o balizamento de ações de manejo na área do estudo.
Definição se um ou mais ensaios on-farm, na mesma área, são necessários para responder à(s) pergunta(s) formulada(s).
Avaliação se o tema abordado no ensaio on-farm sofre grande influência das variações interanuais (clima, interação genótipo x ambiente, solo, etc.) necessitando a previsão de repetição por vários anos na mesma área.
Compartilhamento das informações sobre a filosofia de trabalho e cuidados necessários para realização de ensaios on-farm com toda a equipe de gestão e operacional da propriedade rural.
Identificação e estabelecimento, em conjunto com a equipe, de medidas mitigadoras para problemas que possam ocorrer no curso da realização dos ensaios on-farm.

Planejamento de ensaios on-farm

Geralmente, no processo de planejamento de experimentos on-farm, deve-se prever que a fazenda fique responsável por implementar e conduzir o ensaio e prover acesso aos dados espaciais e de manejo cultural dos ensaios. Já ao(s) coordenador(es) dos ensaios cabe: fazer o planejamento; fazer o acompanhamento das áreas (vistorias) durante o desenvolvimento da cultura e nas avaliações críticas; processar os dados provindos dos ensaios e retornar ao produtor; e sumarizar as informações de diversos ensaios on-farm, dependendo do objetivo.

O planejamento adequado aumenta a chance de obtenção de resultados válidos e com redução dos ruídos e riscos inerentes aos trabalhos realizados em lavouras comerciais.

A escolha da área para realização dos ensaios on-farm depende muito dos objetivos. Por exemplo, para definição de população de plantas, podem ser escolhidas áreas já bem caracterizadas, com zonas de manejo definidas, a fim de avaliar a melhor população para cada zona de manejo. No caso de avaliação de adubação ou produtos fitossanitários, por exemplo, é desejável escolher áreas com reconhecida deficiência nutricional ou com a presença da praga na área, respectivamente.

Uma etapa importante do planejamento é o desenho (delineamento) do ensaio. Nesse sentido, várias opções são possíveis, com vantagens e desvantagens para cada uma delas. A escolha vai estar baseada em questões como o nível de caracterização da área do estudo e dos tratamentos a serem utilizados. Por exemplo, a área pode ser dividida em várias partes para a aplicação dos tratamentos sem repetições. Entretanto, segundo Kindred et al. (2018), esta estratégia dificulta avaliar se o efeito dos tratamentos é real ou devido a variações na área. Nesse caso, recomenda-se, ao menos, avaliar cada tratamento teste com o manejo padrão ao lado, para tentar caracterizar a variabilidade e avaliar a confiança nos resultados.

A escolha do desenho experimental (faixas, blocos, delineamentos complexos, entre outros) depende, também, de fatores como a disponibilidade de tecnologia que permita aplicação em taxa variável, o tempo que se pretende investir na realização do ensaio e a complexidade do mesmo (Bramley et al., 2006). Kindred et al. (2018) cita que a disponibilidade de GPS e de outras tecnologias modernas podem tornar a realização de ensaios on-farm uma tarefa rotineira.

Coltrain et al. (2017) abordaram a questão da variabilidade da área e a necessidade de considerar a mesma na alocação dos tratamentos. Os autores consideraram fundamental para os ensaios on-farm o conhecimento prévio da área. Dependendo da variabilidade, pode ser impossível detectar diferenças entre tratamentos. Dependendo da disposição da variabilidade, é possível alocar tratamentos de maneira que a variação seja aceitável. Por exemplo, uma variação uniforme de rendimento de grãos no sentido Norte-Sul pode permitir a alocação das parcelas/faixas nesse mesmo sentido, com efeitos do aumento no rendimento de grãos sendo proporcionados “igualmente” para todos os tratamentos. No caso da disposição das parcelas/faixas no sentido Leste-Oeste, algumas repetições, ou mesmo tratamentos, poderiam ser beneficiados ou prejudicados, aumentando as incertezas sobre os resultados (Figura 2)

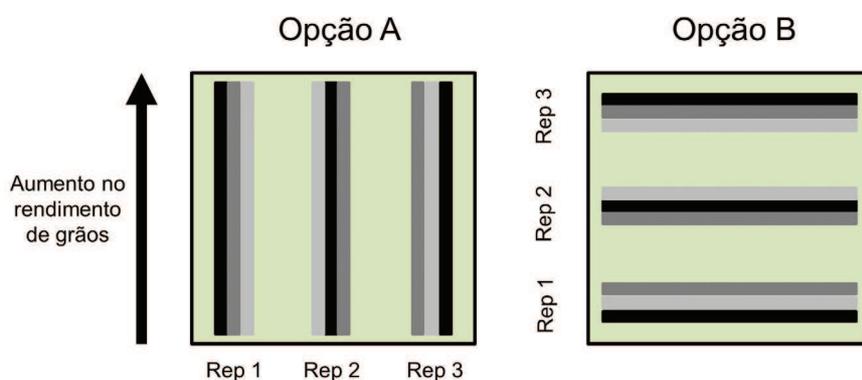


Figura 2. Exemplos das formas de alocação de tratamentos em área com variabilidade no potencial produtivo. Na opção A espera-se incremento no rendimento de grãos em todos os tratamentos e repetições acompanhando a direção estabelecida pela variabilidade da área. Na opção B, a repetição 3 (Rep 3) pode ser a de maior rendimento de grãos e a repetição 1, a de menor rendimento de grãos. Entretanto, se o rendimento de grãos aumenta dentro de uma repetição da opção B, pode gerar resultados equivocados.

Fonte: Adaptado de Coltrain et al. (2017).

Piepho et al. (2011) consideraram que os princípios básicos de desenho experimental (repetições, casualização e bloqueamento) deveriam, geralmente, ser utilizados nos ensaios on-farm.

A aleatorização dos tratamentos, especificamente, é recomendada para neutralizar, balancear ou dispersar o efeito da variabilidade espacial ao longo do experimento. Contudo, um objetivo comum de muitos ensaios on-farm é quantificar o efeito da variabilidade espacial na resposta ao rendimento, para avaliar ou desenvolver recomendações sítio-específicas (Kyveryga et al., 2015).

A área a ser utilizada pode ter diferentes níveis de variabilidade e de caracterização da mesma. Para isso, é possível utilizar o histórico da área e ferramentas de AP. Com essa variabilidade caracterizada, sem a definição de Zonas de Manejo (ZM), é possível alocar o ensaio sempre buscando dar as mesmas condições para os tratamentos, ou seja, fazendo com que as parcelas/faixas (tratamentos) sejam alocadas no sentido perpendicular ao da variabilidade. Assim, mesmo sofrendo efeitos da variabilidade, teoricamente, esse efeito seria igual para todos os tratamentos. No caso da área apresentar ZM definidas, tanto ensaios instalados por ZM ou cruzando as ZM teriam resultados com maior uniformidade quando avaliados em cada ZM separadamente.

Outras questões importantes a serem consideradas no planejamento do ensaio e seus níveis são: (1) quão distante da média algum nível do tratamento deve ser posicionado para haver diferenças em rendimento e qualidade; e (2) quão disposto o produtor está para aceitar a possível perda de rendimento em tratamentos que, provavelmente, terão níveis de rendimento mais baixos que a média da propriedade (Bramley et al., 2006).

Bramley et al. (2006) apresentaram variações possíveis nos desenhos de ensaios on-farm, com vantagens e desvantagens de cada um. Segundo os autores, é possível, por exemplo, utilizar “faixas de sentido único” (*one way strip*), “faixas nos dois sentidos” (*two way strips*), “a rosca” (*the donut*), o “tabuleiro de damas” (*the chequerboard*), em “ondas” (*waves*) e “passo e onda” (*step and wave*). Esses desenhos, por não terem sido utilizados nos estudos de caso apresentados, não serão detalhados na presente publicação.

No planejamento do ensaio deve ser considerada a disponibilidade de máquinas/equipamentos para definição do desenho experimental e da precisão na aplicação dos tratamentos, amostragens (quando necessárias) e colheita automatizada. Para Kindred et al. (2018), deve ser avaliado se é possível geolocalizar os tratamentos e rendimento de grãos com precisão, levando em conta, por exemplo, que a precisão bruta de um telefone celular é > 5 m. e a de um sistema RTK é < 1 m.

Uma possibilidade utilizada por muitos produtores é dividir o talhão em dois ou mais tratamentos, sem repetição. Segundo Piepho et al. (2011), do ponto de vista estatístico, esse talhão dividido consiste em uma única repetição, implicando que, para uma análise clássica válida, vários talhões divididos são necessários para estabelecer a significância do efeito dos tratamentos.

O tamanho das parcelas/faixas deve ter compatibilidade com os equipamentos que serão usados em cada propriedade, e que podem variar muito dependendo da região brasileira, sistema de produção utilizado e nível tecnológico adotado pelo produtor. De forma geral, é importante pensar que a largura da parcela deve ter ao menos duas vezes a largura do aplicador (Kindred et al., 2018), por exemplo, quando os tratamentos envolverem aplicação de fertilizantes com disco giratório (a lanço). Da mesma forma, a colheita deve permitir duas ou mais passadas da colhedora por parcela. O comprimento vai variar dependendo da disponibilidade da área a ser utilizada. Para Kindred et al. (2018), o ideal seria um comprimento maior que 200 m, mas isso muitas vezes é incompatível com as dimensões/formatos das áreas que utilizam AP em algumas regiões brasileiras. Também, é importante considerar as avaliações a serem realizadas para definição do tamanho das parcelas/faixas.

Por exemplo, se forem utilizadas imagens de satélite para a caracterização dos ensaios, o tamanho da parcela/faixa deve ser compatível com o pixel da imagem utilizada, entre outros.

A utilização de repetições é sempre bem-vinda em qualquer ensaio. Não seria diferente no caso de ensaios on-farm no âmbito da AP. Quanto maior o número de repetições, maior será a segurança nos resultados obtidos. Assim, não há um número definido para repetições, pois estas vão depender da área disponível, do desenho do ensaio e até das características dos tratamentos. Por exemplo, se a opção for por fazer ensaios em cada ZM e alguma delas tiver dimensão reduzida ou formato que impeça a realização de várias repetições, isso poderá ser limitante. Mesmo que se disponha de área em cada ZM, deve-se evitar a tentação de transformar toda a área do talhão em ensaio. Ou seja, utilizar um número tão grande de tratamentos e repetições que ocupe a área toda e que possa até mesmo aumentar a variabilidade da área (manchar), dependendo dos tratamentos que serão utilizados (ex. nutrição de plantas, preparo do solo, culturas antecessoras). Portanto, o número de tratamentos e repetições deve ser compatível com a área disponível por talhão ou ZM. Segundo Kindred et al. (2018), devem ser utilizadas até quatro repetições por ensaio.

Para Ketterings et al. (2012), os tratamentos devem ser dispostos em faixas lado a lado no campo. Uma repetição do conjunto de tratamentos forma um bloco numa faixa, onde deve constar um controle (testemunha) e os demais tratamentos aleatorizados (sorteados). As parcelas geralmente devem ter largura correspondente ao dobro da largura da colhedora que será utilizada, acomodando as linhas úteis e bordaduras. Na escolha da área é importante considerar o histórico do talhão. Devem ser evitadas áreas com muita variação de tipo de solo, inclinações, limites irregulares, entre outros. Na fase de planejamento, indica-se discutir o desenho do ensaio com a equipe da fazenda. O registro da localização dos tratamentos em um mapa deve ser compartilhado com os envolvidos. A coleta de dados é planejada para cada parcela. O propósito do ensaio determina quais dados deverão ser obtidos.

Na Figura 3, apresenta-se uma árvore de decisão para orientar a realização ou não de ensaios de AP on-farm. No caso de baixa variabilidade, ou da mesma não estar suficientemente caracterizada/entendida, o caminho é a realização de ensaio único com indicação de manejo ou tecnologia para toda a área. Os resultados esperados desse procedimento podem ser muito efetivos, se a área realmente não apresentar variabilidade significativa nos condicionantes da produtividade, a não ser pelas diferenças de resposta ao fator estudado/testado. Já, no caso de a variabilidade ser relevante, o procedimento de considerar o talhão como um todo pode incorrer em erros ou, no mínimo, mal-aproveitamento do manejo/tecnologia definida para uso. De outra forma, se a área já foi suficientemente caracterizada e, até mesmo, definidas as ZMs, é possível realizar inferências específicas para cada uma delas (por meio de ensaios em cada ZM ou em faixas alocadas de forma a cruzarem as diferentes ZMs).

As Figuras 4 a 6 apresentam, como exemplo, o formato de realização de ensaios on-farm para as diferentes realidades apresentadas na Figura 3. Na prática, cada estratégia apresenta benefícios e limitações, necessitando de escolha correta e ajustes para o melhor desempenho na obtenção do resultado pretendido.

A Figura 4 representa a realização de ensaios on-farm em áreas que não dispõem de caracterização suficiente e/ou a definição prévia de ZM. Uma das dificuldades é a falta de controle sobre a variabilidade existente, refletida na variação observada no rendimento de grãos. Nesse caso, as faixas com os tratamentos devem ser suficientemente longas, para acomodar repetições, ou devem ser inseridas faixas menores de cada tratamento em vários pontos do talhão.

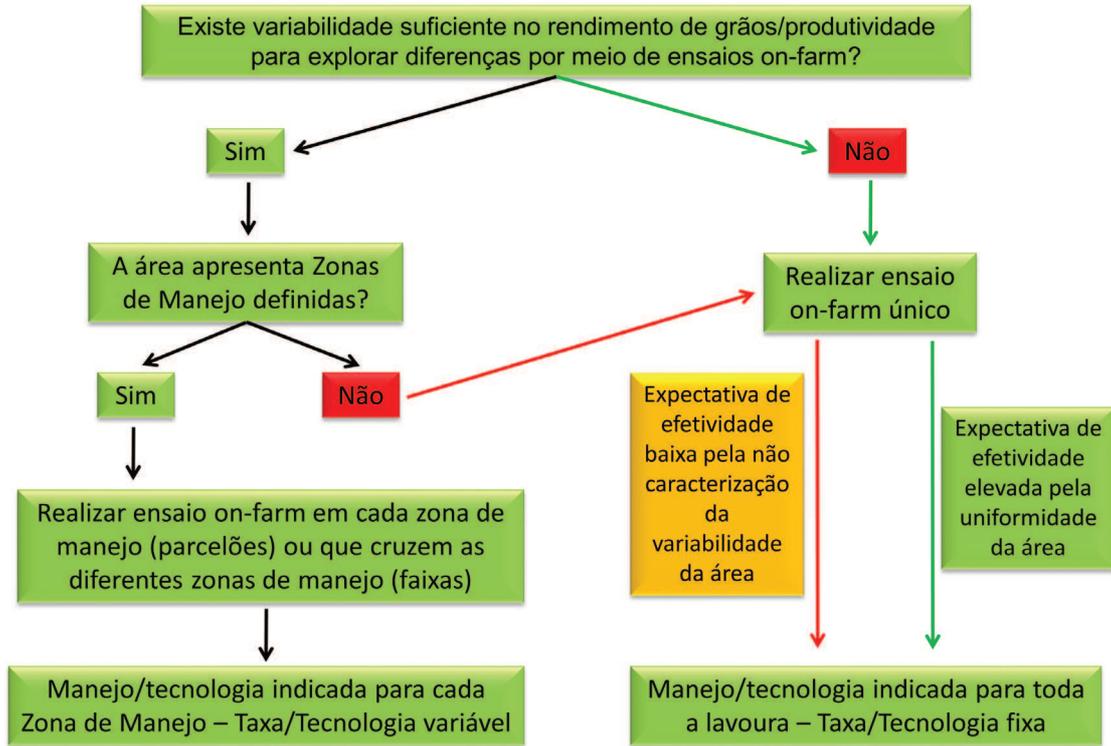


Figura 3. Árvore de decisão para realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

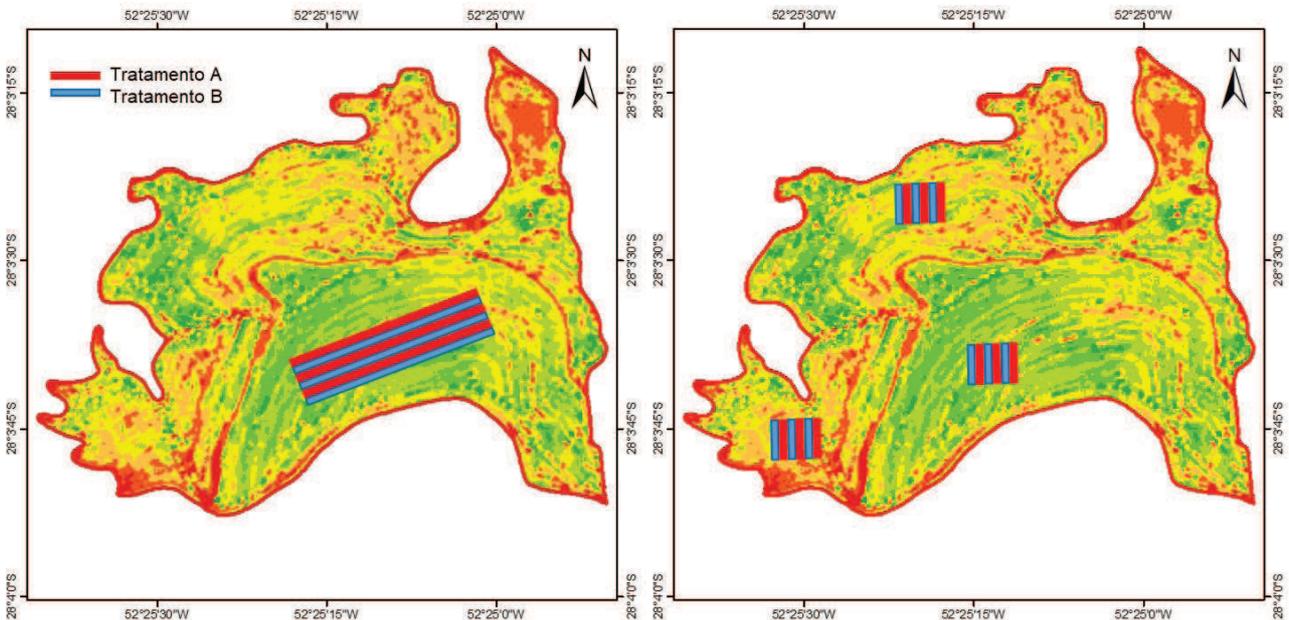


Figura 4. Exemplos de alocação de parcelas/faixas para avaliação de tratamentos em talhões que não dispõem de caracterização e identificação de Zonas de Manejo.

Uma das formas para reduzir o problema da falta de áreas homogêneas identificadas é a alocação de faixas com tratamentos distintos, acompanhando toda a área do talhão. A Figura 5 representa um exemplo de uso de faixas que acompanham a semeadura no nível do terreno, onde é possível comparar os diferentes tratamentos em todo o talhão, com posterior avaliação do comportamento em vários pontos de verificação/amostragem.

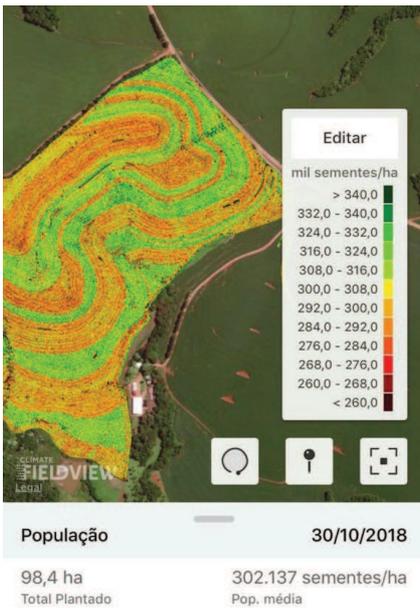


Figura 5. Exemplo de utilização de faixas com variação na densidade de semeadura de soja em talhões que não dispõem de caracterização e definição de Zonas de Manejo.

Fonte: Plataforma FieldView™ (2018)¹.

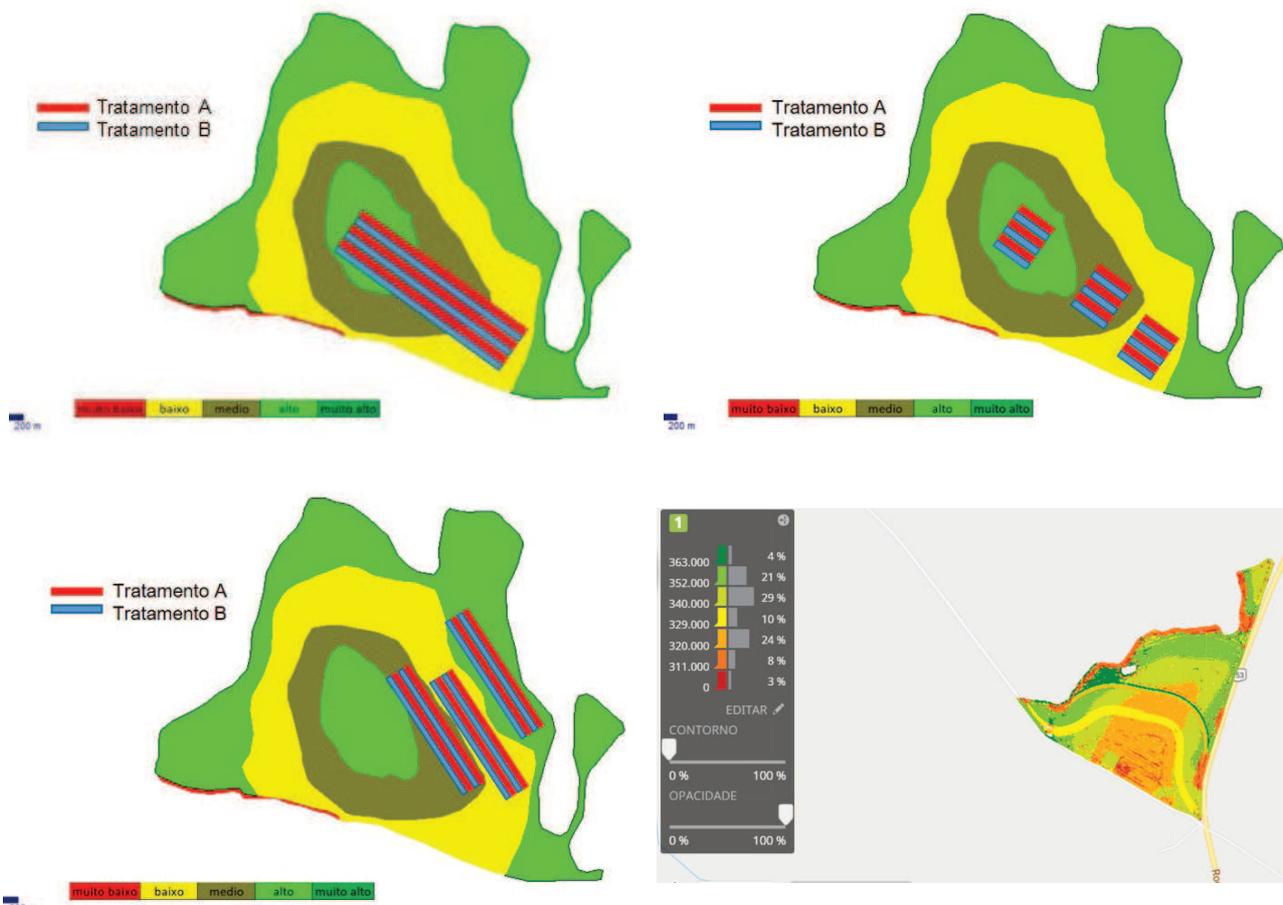


Figura 6. Exemplos de alocação de parcelas/faixas para avaliação de tratamentos em talhões que dispõem de melhor caracterização e de Zonas de Manejo identificadas. Fonte: adaptado de Estudo de Caso 5.

¹ Imagem disponibilizada pelo Engenheiro Agrônomo Luiz Gustavo Mello.

No caso de existir a caracterização da área com ZMs definidas, o planejamento dos ensaios on-farm pode ser melhor direcionado. Como pode ser verificado na Figura 6, zonas de manejo bem definidas e com certo grau de estabilidade permitem a alocação dos ensaios em parcelas ou faixas especificamente em cada ZM ou cruzando as diferentes ZMs. Se somados à disponibilidade de equipamentos para a implementação, ao monitoramento e à colheita automatizados, esses ensaios tornam-se de execução relativamente simples e com geração de uma riqueza de informações em resposta às perguntas formuladas, subsidiando as decisões práticas para aplicação na fazenda.

Na Figura 7, encontra-se outro exemplo de estabelecimento de experimentação on-farm em faixa em área com cultivo de cana-de-açúcar com caracterização avançada em termos de ZM. Foi implantado ensaio on-farm de adubação para aplicação localizada em cobertura, variando as doses de adubo nitrogenado na base dentro de cada ZM. O delineamento experimental foi definido com a equipe envolvida no projeto, considerando as necessidades e manejos já realizados pela Usina, de modo a garantir um teste de hipótese e uma análise adequada dos dados. A adubação sólida foi realizada três meses após a colheita do ciclo anterior da cultura e a adubação líquida foi realizada quatro meses após a adubação sólida. Os tratamentos foram aplicados em faixas de 18 m de largura e 650 m de comprimento, contemplando 12 linhas da cultura.

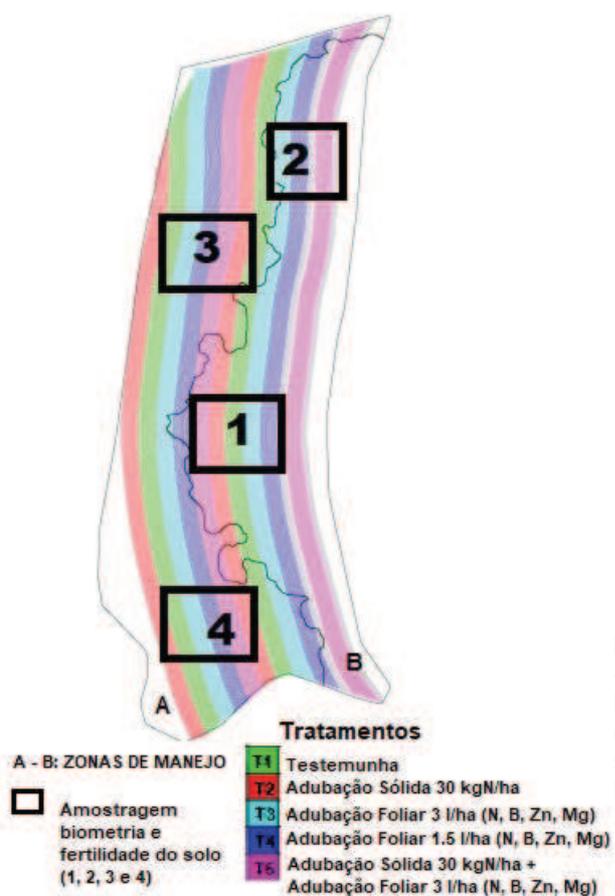


Figura 7. Experimento on-farm em área cultivada com cana-de-açúcar. Área dividida em duas zonas de manejo e adubação em faixas (cores diferentes), com cinco tratamentos de adubação sólida e foliar: (T1) testemunha; (T2) adubação sólida 30 kg de N ha⁻¹; (T3) adubação foliar 3 L ha⁻¹ (fonte de N, B, Zn e Mg); (T4) adubação foliar 1,5 L ha⁻¹ (fonte de N, B, Zn e Mg); (T5) adubação sólida 30 kg de N ha⁻¹ e adubação foliar 3 L ha⁻¹ (fonte de N, B, Zn e Mg).

Fonte: Estudo de Caso 6.

Na Tabela 4 são apresentadas algumas sugestões de etapas/procedimentos a serem levados em consideração no planejamento dos ensaios on-farm.

Tabela 4. Resumo das principais indicações para a fase de planejamento de ensaio on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

Procedimentos no planejamento de ensaios on-farm
Definição clara do objetivo do ensaio
Definição dos tratamentos necessários (que devem ser os mais simples possíveis), preferencialmente, enfocando somente um fator (densidade de semeadura, cultivares, adubação, manejo fitossanitário, entre outros)
Os níveis dos tratamentos quantitativos não devem ser muitos (de três a quatro, preferencialmente). Se forem três, utilizar o nível de tecnologia já utilizado na área, com variação de um tratamento abaixo e outro acima desse nível. No caso de quatro tratamentos, dar preferência para o uso de dois acima e dois abaixo da média empregada na lavoura.
Inclusão de um tratamento controle (testemunha), geralmente representando o padrão do agricultor.
Escolha de área (talhão) apropriada, conforme o objetivo do ensaio e os tratamentos.
Obtenção e organização de informações sobre o histórico e a caracterização da área.
Caracterização atual do solo (amostragem em grade para análise de fertilidade e mapeamento de condutividade elétrica) e de outros fatores que, porventura, variem na área, a fim de alocar o ensaio considerando a variabilidade existente.
Confirmação, se a variabilidade existente na área justifica a realização de ensaio on-farm para o tema em pauta.
Identificação de possíveis Zonas de Manejo (ZMs), a fim de definir desenho de ensaio mais apropriado e a necessidade de replicação ou não do mesmo nas diferentes ZMs.
Desenho espacial do ensaio, preferencialmente, com repetições e aleatorização.
Definição do desenho e do tamanho de parcelas/faixas a serem utilizadas para alocação dos tratamentos, de acordo com as necessidades de resposta e disponibilidade de infraestrutura da propriedade rural.
Largura das parcelas/faixas do ensaio com dimensão compatível, normalmente múltipla combinada das larguras de trabalho dos principais equipamentos que serão utilizados (semeadora, distribuidor de fertilizantes, pulverizador, colhedora).
Prospecção de suporte/parceria de outros agricultores, revendas, prestadores de serviço de AP, consultores, instituições de pesquisa e extensão rural e universidades.

Implantação e condução de ensaios on-farm

Os ensaios on-farm, utilizados como ferramentas dos ciclos de AP, devem ser implantados e conduzidos pelos próprios produtores rurais com apoio da assistência técnica, representada por agrônomos, técnicos agrícolas, consultores especializados na área, pesquisadores, entre outros. Essa abordagem não é conflitante com a utilização de ensaios on-farm com propósitos de apoio à pesquisa realizada nas estações experimentais, muitas vezes utilizados para representar as condições “reais” de cultivo comercial empregadas pelos produtores. Nesse caso, as pesquisas podem aproximar pesquisadores, professores e estudantes (de graduação e pós-graduação) das equipes das fazendas, trazendo benefícios para as pesquisas (com foco ou não em AP) e, também, com resultados que podem ser utilizados pelos produtores.

É necessário que o produtor forneça dados sobre a(s) área(s) a ser(em) utilizada(s), como histórico de cultivo, mapeamento de características de solo (preferencialmente de vários anos), mapas de colheita de várias safras, zonas de manejo (se já caracterizadas), manejo realizado, entre outros. Também, espera-se que realize a implementação e condução do ensaio on-farm. O técnico pode fazer o acompanhamento das áreas, tabular dados, fazer as interpretações necessárias e, em conjunto com o produtor, definir as intervenções de manejo mais apropriadas.

Na implementação do ensaio é importante o alinhamento de toda a equipe da fazenda, com conhecimento dos objetivos, métodos e cuidados na condução e avaliações. Os equipamentos devem,

preferencialmente, estar disponíveis na propriedade (semeadoras, pulverizadores, colhedoras, etc.), dotados de GPS para controle das aplicações de tratamentos e, também, para a construção de mapas de colheita com o uso de colhedoras com sensores de produtividade. As máquinas e os equipamentos necessários devem estar disponíveis no período planejado e com regulagens e ajustes de sensores realizados. Deve-se ter muita atenção para não variar outro fator que não os tratamentos a serem implementados, para não gerar confundimento nos resultados. Há situações a serem previstas e evitadas, mediante programação prévia das operações. Por exemplo, semear parte dos tratamentos em um dia e outra parte no dia seguinte. Outra situação: inicia-se a semeadura do ensaio com uma determinada fórmula/fonte de nutrientes, esse adubo acaba e o restante dos tratamentos recebe outra fórmula/fonte.

Outros fatores interferentes na experimentação on-farm são de mais difícil previsibilidade e controle. Vão desde o risco de deriva de adubo durante a distribuição na modalidade a lanço, conforme a presença e sentido do vento na aplicação de tratamentos de adubação, até a variação repentina nas condições meteorológicas durante operações críticas, tal como a ocorrência de chuva constante após iniciada a semeadura, atrasando o dia de sua conclusão quando o experimento ocupa grande extensão de área. Os problemas de deriva e de meteorologia também podem prejudicar a qualidade dos tratamentos fitossanitários (pulverizações de defensivos) e influenciar na produtividade em certas partes do experimento. Para amenizar tais interferências, no planejamento experimental deve-se prever um tamanho de parcela razoável, com bordaduras ampliadas e, na medida do possível, um maior número de repetições. Pode-se, ainda, aumentar o número de pontos de mensuração de variáveis dentro de cada parcela no campo, visando a melhorar a representatividade nas avaliações dos tratamentos.

No caso específico de tratamentos que envolvem adubação localizada no sulco de semeadura, a sobreposição das linhas de semeadura promove a concentração de nutrientes residuais no sulco, o que exige controle e procedimentos específicos na amostragem de solo para o monitoramento da fertilidade. Caso contrário, pode induzir a erros de interpretação dos resultados de análises do experimento.

A sobreposição das linhas de semeadura a cada novo cultivo, para preservar os limites das parcelas, pode criar dificuldades operacionais ao maquinário, que funciona melhor quando não há coincidência exata com o sulco da safra anterior. Geralmente, observa-se maior frequência de acúmulo (“embuchamento”) e arraste de palhada nos carrinhos da semeadora ao seguir sempre o mesmo traçado no campo. Além disso, as rotas fixas do equipamento distribuidor de fertilizantes a lanço e do pulverizador, no mesmo sentido da semeadura para os tratamentos durante o ciclo da cultura, acabam por sacrificar linhas inteiras do experimento.

Na Tabela 5 são apresentadas algumas sugestões de etapas/procedimentos a serem levados em consideração na implantação e condução dos ensaios on-farm.

Tabela 5. Resumo das principais indicações nas fases de implantação e condução de ensaio on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

Procedimentos na implantação e condução de ensaios on-farm
Mesmo dispondo de sistemas de orientação por satélite (GPS e sistemas de guia), é conveniente instalar marcações físicas permanentes (estacas, postes, bandeiras, etc.) nas extremidades do ensaio on-farm, indicando os alinhamentos de início e de fim. Esse cuidado é especialmente relevante quando o ensaio se repete por mais de um cultivo, ou quando as parcelas não têm dimensões folgadas em largura e comprimento, ou em situações com menor precisão nos equipamentos/sinais de satélite, podendo ocasionar erros de posicionamento maiores que 1 m.
Utilização da mesma máquina/equipamento para a implantação de todo o ensaio, especialmente quando os tratamentos são implementados no momento da semeadura.
Ajuste/calibração prévia dos sistemas/sensores utilizados para a aplicação e registro dos tratamentos.
Evitar início do ensaio nas bordas da lavoura, onde ocorre maior tráfego de máquinas e eventuais problemas de compactação e maior incidência de pragas.
Semeadura do ensaio de acordo com o planejamento realizado, respeitando o tamanho e posição de parcelas/faixas.
Checagem dos tratamentos, por exemplo, fazendo contagem de sementes depositadas no sulco de semeadura, especialmente quando o trabalho envolver variação na densidade de plantas.
Obtenção, se possível, do mapa de aplicação dos tratamentos por meio do equipamento utilizado, para certificar que foram implementados de acordo com o planejado ou quais variações ocorreram em relação ao planejado.
Uniformização de todas as outras práticas utilizadas na condução do ensaio (data de semeadura, adubações foliares, controle fitossanitário, etc.), para não causar confundimento entre tratamentos e manejo utilizados.
Registro dos estádios fenológicos e respectivas operações de manejo e avaliações realizadas ao longo do ciclo da cultura.
Monitoramento direto ou por sensoriamento remoto (imagens aéreas/satélites/avaliação de sensores proximais, entre outros) durante a safra, a fim coletar dados que auxiliem no entendimento das respostas aos tratamentos e, também, na identificação de fatores que possam influenciá-las.
Colheita do ensaio com monitor de produtividade, respeitando os tratamentos, utilizando a mesma colhedora, de preferência no mesmo dia e no sentido das linhas de semeadura (evitar colheita no sentido transversal ao da parcela/faixa).
Registro e arquivo dos dados meteorológicos, a partir de estação situada o mais próximo possível da área do ensaio, para posterior análise e associação aos resultados experimentais.
Repetição dos tratamentos no tempo, se possível ao longo de várias safras e em cultivos diversificados. Esse procedimento dilui o efeito de fatores não controlados, além de conferir maior consistência e confiabilidade às conclusões do estudo.

Avaliações, análise e interpretação de ensaios on-farm

Quanto maior o número de informações coletadas em um ensaio on-farm, melhores serão a caracterização e o auxílio para a interpretação dos resultados e tomada de decisão de manejo. Entretanto, as avaliações devem ser compatíveis com o objeto do ensaio, relevância da avaliação para as respostas buscadas e capacidade de realizá-las. Atualmente, pode-se pensar também na divisão das avaliações, sendo parte realizada pela própria fazenda e parte fornecida por prestadores de serviço em AP, já muito utilizados em algumas regiões do País. Entretanto, a orientação e acompanhamento por pessoas com qualificação técnica e científica não pode ser dispensada.

A maioria das avaliações agronômicas realizadas na experimentação tradicional pode ser feita também nos ensaios on-farm, inclusive manualmente, com auxílio de GPS para capturar as coordenadas geográficas dos locais amostrados no campo. Todavia, esse processo é mais trabalhoso e

deve ser compatível com o quadro de pessoal de apoio disponível. As informações coletadas dessa forma podem ser processadas na abordagem da AP, utilizando-se sistemas de geoprocessamento e até aplicando-se análises geoestatísticas.

Piepho et al. (2011) apresentaram aspectos importantes a serem considerados sobre desenho e análise de ensaios on-farm no âmbito da agricultura de precisão. Da mesma forma, Cho et al. (2021) apresentaram e discutiram metodologia para explorar ensaios on-farm a partir de colheita georreferenciada com monitor de rendimento de grãos e ZM. Demonstraram, com mapas de ZM de alta resolução, que efeitos de tratamentos de um ensaio de faixa única (sem repetições) podem ser estimados, permitindo maior quantidade de dados de ensaios de campo, ao longo do tempo, para melhor entendimento dos fatores responsáveis pelos resultados.

Para Kindred et al. (2018), cuidado especial deve ser dado ao processo de colheita, com calibração adequada de sensores, garantindo colheita em toda a largura da plataforma de corte e mantendo a individualidade das parcelas. A colheita de toda a área deve ser feita com a mesma colhedora e no mesmo dia. Por exemplo, para a cultura em que é fundamental a manutenção da qualidade dos grãos (trigo, por exemplo) a colheita de parte dos tratamentos em um dia e da outra parte em outro dia (após um período de chuvas) pode confundir os resultados de rendimento de grãos e características de qualidade tecnológica.

Os mapas de colheita gerados devem ser avaliados e trabalhados com critério, especialmente em posições onde a colheita não foi feita em toda a largura da plataforma de corte ou nos inícios e fins das faixas de corte (Kindred et al., 2018). Por exemplo, dados de rendimento extremos, ou *outliers*, devem ser removidos para garantir maior precisão. Quando os grãos atingem o sensor de fluxo, o impacto inicial frequentemente causa um registro muito elevado no monitor de rendimento de grãos em kg ha^{-1} . Outras vezes, quando a plataforma está rodando sem estar ativamente colhendo, o monitor de rendimento vai reportar zero kg ha^{-1} em vários pontos do GPS (Kyveryga et al., 2015). Esses são alguns dos ruídos práticos que podem confundir os resultados dos mapas de colheita.

A análise de resultados pode ser feita simplesmente comparando a média dos tratamentos e decidindo se as diferenças são reais ou não. Alternativamente, pode ser usada análise estatística, tornando a decisão mais robusta (Nielsen, 2008). O uso de um caminho ou de outro depende de vários fatores, como estrutura da variabilidade da área, delineamento do ensaio, tratamentos, estrutura para condução do ensaio, entre outros.

Um desafio na realização de ensaios on-farm é separar os efeitos verdadeiros dos tratamentos dos efeitos causados pelo erro experimental. Processos de análise estatística permitem identificar e isolar o erro experimental, com detecção mais clara dos efeitos de tratamentos e conclusão se as diferenças observadas são reais. Em seguida, atribui-se um nível de probabilidade de que essa conclusão esteja correta (Nielsen, 2008). Para Kindred et al. (2018), as diferenças entre tratamentos raramente vão ser visualmente óbvias na análise dos mapas de colheita. Assim, a falta de resposta dos tratamentos pode não ser a ausência de resposta, mas indicar que o ensaio não foi preciso o suficiente para captar as diferenças.

Atualmente, existem várias ferramentas de SIG que podem auxiliar na sumarização dos resultados. Por exemplo, ArcView com extensões EFRA e XTools, AgLeader SMS Advanced, Farm Works e MapShots (Nielsen, 2008). Também, quando os tratamentos estão associados com variações nos custos de insumos, é possível calcular a margem bruta de cada parcela/tratamento (Kindred et al., 2018), realizando-se análise econômica de possíveis escolhas de manejo a serem empregadas na fazenda ou na região.

Para Bramley et al. (2006), após a colheita do ensaio on-farm, algumas reflexões devem ser feitas: O ensaio funcionou? Os resultados dizem algo importante? Se sim, é algo que o agricultor não conhecia ainda? Como o agricultor pode modificar o manejo no futuro, para aplicar esse conhecimento novo? É preciso fazer outro ensaio ou repetir o mesmo? Os autores também elencam cinco “regras de ouro”: 1) não espere muito do primeiro ensaio on-farm; 2) não espere que a resposta apareça diretamente do mapa de rendimento bruto; 3) separe efeito de tratamentos do erro; 4) o efeito dos tratamentos pode variar de ano para ano; e 5) os tratamentos podem interagir.

Prioritariamente, os resultados dos experimentos on-farm devem ser utilizados para identificar as melhores opções de manejo para o talhão/área em que foram gerados, pois as mesmas são únicas, do ponto de vista de constituição e manejo. Isso também é importante para entregar ao produtor rural - que, nesse caso está atuando como um pesquisador de suas áreas - resultados que permitam aumentar a produtividade e/ou rentabilidade. Algumas iniciativas de experimentação on-farm podem ser estruturadas para avaliação de novas tecnologias em uma determinada região. Nesse caso, a mesma metodologia pode ser empregada em diversas lavouras da região e, depois, os dados são avaliados conjuntamente, obtendo-se o desempenho médio da determinada tecnologia em relação à tecnologia usada pelos produtores. Esse tipo de estratégia de avaliação on-farm pode ser útil para a decisão de lançamento e/ou posicionamento de uma nova tecnologia por parte do detentor da mesma ou por uma cooperativa, por exemplo, que pretenda implantar a tecnologia em sua área de atuação.

É possível, também, a articulação de redes de ensaios on-farm que permitam maior robustez nas informações coletadas e validação de tecnologias aplicáveis a maior número de situações. Um exemplo dessa abordagem é o Projeto *Data-Intensive Farm Management* (DIFM), envolvendo várias universidades norte-americanas e apoiado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) (Bullock et al., 2019). Exemplos do uso dessa abordagem foram empregados para avaliar o efeito de variações na densidade de semeadura e dose de nitrogênio em milho no estado de Illinois (Trevisan et al., 2021), demonstrando método alternativo para caracterizar a variabilidade espacial da resposta da cultura aos insumos. Além da resposta prática, esse tipo de abordagem é um exemplo do uso de ensaios on-farm como base para o desenvolvimento de novas metodologias para adoção na filosofia da AP.

Na Tabela 6 são apresentadas algumas sugestões de etapas/procedimentos nas avaliações, análise e interpretação dos resultados de ensaios on-farm.

Tabela 6. Resumo das principais indicações na fase de avaliações de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão.

Procedimentos nas avaliações, análise e interpretação de ensaios on-farm
Foco nas avaliações necessárias para responder à(s) pergunta(s) formulada(s) na definição do ensaio.
Automatização das avaliações sempre que possível, para reduzir custos e aumentar a eficiência operacional.
Registro de possíveis ocorrências (de manejo, de clima ou de pragas/doenças/plantas daninhas) que confundam ou até inviabilizem o aproveitamento do ensaio. Ferramentas tecnológicas disponíveis podem facilitar esse registro (imagens de satélite, imagens de drones, mapas gerados por sensores embarcados em tratores e pulverizadores, vistorias presenciais com registros de ocorrências por meio de aplicativos que permitam georreferenciamento, entre outros).
Calibração de sensores dos equipamentos utilizados para avaliações.
Checkagem e calibração prévias, para que todos os equipamentos estejam funcionando corretamente na colheita, evitando perda de sinal de GPS (por exemplo) e de dados.
Amostragens (manuais ou monitoramento de colheita) direcionadas especialmente à área útil central das parcelas. Registros nas bordas são mais sujeitos a erros e interferências de tratamentos vizinhos.

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Procedimentos nas avaliações, análise e interpretação de ensaios on-farm
Colheita no sentido das linhas de semeadura. A colheita transversal às parcelas pode provocar erros no mapa de rendimento, especialmente quando as parcelas são de largura reduzida.
Colheita de todo o ensaio no mesmo dia e com a mesma máquina, para obtenção de mapa de rendimento de melhor fidedignidade.
Colheita de cada parcela/faixa do ensaio com um número pré-determinado de passadas do equipamento, colhendo com a largura total da plataforma.
Geração do mapa de colheita após eliminação de valores atípicos e erros conhecidos, aplicando-se procedimentos matemáticos adequados e filtros para cada situação.
Integração com consultores, instituições de pesquisa e extensão rural, universidades e outros parceiros, para suporte na integração, análise e interpretação de resultados.
Análise dos resultados o mais breve depois da colheita, para que seja possível realizar intervenções/modificações de manejo na próxima safra, quando for o caso.
Repetição do ensaio com os mesmos tratamentos por mais anos, a fim de representar a variação interanual no ambiente de produção e suas interações com os tratamentos.
Repetição do ensaio por mais anos, se necessário, tomando-se cuidados dependendo do fator utilizado (níveis de adubação N-P ₂ O ₅ -K ₂ O), para não realizar na mesma área, com aumento do risco de confundimento dos resultados pelo possível resíduo do ensaio da safra anterior, a não ser que o objetivo do ensaio seja avaliar esse efeito residual de adubações, de culturas e práticas anteriores, entre outros.

Considerações Finais

A realização de ensaios on-farm, no âmbito da AP, pode agregar valor ao processo de tomada de decisão sobre as intervenções necessárias para aumento da competitividade e sustentabilidade dos sistemas de produção que incluem culturas produzidas em larga escala no Brasil. Para tanto, é necessário estabelecer corretamente o problema e as hipóteses técnicas do que se busca testar, que se observem alguns princípios e que sejam adotadas metodologias apropriadas para cada realidade de produção. O ensaio deve ser o mais simples e automatizado possível. Deve ter foco nas avaliações e nas respostas necessárias, e realizado em tempo hábil para uso dos resultados o mais breve possível. Deve ter cuidado com possíveis confundimentos e com a abrangência da aplicação dos resultados obtidos. Evidenciou-se, no trabalho realizado na Rede AP, pelas diferentes equipes e locais do País, que existe grande variabilidade no grau de evolução da AP e no uso de ferramentas, como as dos ensaios on-farm, no manejo das culturas. Enquanto alguns produtores estão dando os primeiros passos em AP, fazendo algumas experiências preliminares com ensaios on-farm, outros já possuem quantidade considerável de dados e sistemas de suporte para tomada de decisão bastante assertivos. Essa é uma realidade esperada em um cenário onde há grande disparidade de acesso e abertura para uso de novas tecnologias. Considera-se esse um processo natural, que vem ocorrendo em outras realidades agrícolas no mundo, e que tem muito potencial de crescimento no Brasil, principalmente se for buscada maior coordenação entre as ações de diferentes segmentos e entidades, públicos e privados, que atuam em AP.

Referências

BRAMLEY, R.; COOK, S.; ADAMS, M.; CORNER, R. **Designing your own on-farm experiments**: how PA can help. [Kingston, A.C.T.]: Grains Research & Development Corp., 2006. 36 p. Disponível em: <https://grdc.com.au/~media/documents/resources/publications/pa-manual-part-2.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2021.

BULLOCK, D. S.; BOERNGEN, M.; TAO, H.; MAXWELL, B.; LUCK, J. D.; SHIRATSUCHI, L.; PUNTEL, L.; MARTIN, N. F. The data-intensive farm management project: changing agronomic research through on-farm precision experimentation. **Agronomy Journal**, v. 111, p. 2736-2746, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agnonj2019.03.0165>. Acesso em: 20 jul. 2022.

CALDWELL, J. **Design techniques for on-farm experimentation**. Gainesville: University of Florida, 1987. v. 2, 356 p.

CHO, J. B.; GUINNESS, J.; KHAREL, T.; MARESMA, A.; CZYMMEK, K. J.; AARDT, J.; KETTERINGS, Q. M. Proposed method for statistical analysis of on-farm single strip treatment trials. **Agronomy**, v. 11, 2042, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11102042>. Acesso em: 20 jul. 2022.

COLTRAIN, J.; BERG, S.; STAHL, L.; THOMAS, J. **Field studies**: setting up a trial. Lincoln: University of Nebraska, 2017. Disponível em: <https://cropwatch.unl.edu/2017/field-studies-setting-trial>. Acesso em: 20 abr. 2022.

KETTERINGS, Q.; CZYMMEK, K.; GABRIEL, A. **On-Farm research**. Ithaca: Cornell University, 2012. 2 p. (Cornell University Cooperative Extension. Agronomy Fact Sheet Series, 68). Disponível em: <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet68.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.

KINDRED, D.; CLARKE, S.; ROQUES, S.; HATLEY, D.; BERRY, P.; SYLVESTER-BRADLEY, R. **Guide to farmers' crop trials**. Hertsby: ADAS Agronomics, 2018. 12 p. Disponível em: <https://www.ye> <https://www.yen.adas.co.uk/sites/default/files/2019-10/ADAS%20Guide%20to%20Farm%20Trials.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.

KYVERYGA, P.; MUELLER, T.; PAUL, N.; ARP, A.; REEG, P. **Guide to on-farm replicated strip trials**. Ankeny: On-Farm Network, Iowa Soybean Association, 2015. 51 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315664663_Guide_to_On-Farm_Replicated_Strip_Trials. Acesso em: 25 abr. 2022.

NEBRASKA on-farm research network: 2022 study information form. 5 p. Disponível em: <https://on-farm-research.unl.edu/pdfs/resources/2022%20On%20Farm%20Research%20Background%20Form.pdf>. Acesso em: 13 out. 2022.

NIELSEN, R. L. **A practical guide to on-farm research**. West Lafayette: Purdue University, 2008. 10 p. Disponível em: <https://www.agry.purdue.edu/CCA/2008/Proceedings/NielsenResearch.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

PIEPHO, H. P.; RICHTER, C.; SPILKE, J.; HARTUNG, K.; KUNICK, A.; THÖLE, H. Statistical aspects of on-farm experimentation. **Crop & Pasture Science**, v. 62, p. 721-735, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/CP11175>. Acesso em: 20 jul. 2022.

TREVISAN, R. G.; BULLOCK, D. S.; MARTIN, N. F. Spatial variability of crop responses to agronomic inputs in on-farm precision experimentation. **Precision Agriculture**, v. 22, p. 342-363, 2021. DOI: 10.1007/s11119-020-09720-8.

ANEXO I

Exemplo: Protocolo resumido de ensaio on-farm sobre densidade de sementeira em trigo

Objetivo

Aumentar ou manter o potencial produtivo do trigo e fazer uso, com melhor custo benefício, de ajustes na população de plantas, específicos para diferentes Ambientes/Zonas de Manejo/Talhões.

Antecedentes/Justificativas

Nas áreas onde se cultiva trigo no inverno e soja no verão, no RS, tem-se observado redução da população de soja com incremento no rendimento de grãos. Nessas mesmas áreas, a população de trigo tem seguido sentido contrário, com elevação na densidade de sementeira para além das indicadas 300 a 330 sementes aptas m^{-2} . Acredita-se que o trigo tem capacidade, como a soja, para ajustes em estrutura de planta e componentes do rendimento até determinados limites, para garantir níveis de rendimento mais elevados de grãos de populações. Além disso, seria possível reduzir o custo de sementes, ampliar a área cultivada com o mesmo investimento em sementes ou redistribuir as sementes entre Zonas de Manejo/Talhões. Em avaliações anuais realizadas pela Embrapa com diferentes genótipos de trigo, em várias regiões homogêneas de adaptação de cultivares, observou-se que, na maioria das vezes, em condições de lavoura que proporcionam rendimentos comerciais competitivos, foi possível fazer a redução da população de plantas em relação à utilizada atualmente pela maior parte dos produtores (acima de 300 a 400 sementes aptas m^{-2}), sem redução no potencial produtivo. Portanto, é importante realizar a integração de dados obtidos em condições experimentais com dados de ensaios on-farm para consolidação/ajustes e indicações de densidade de sementeira para a cultura, e para a geração de informações para manejo específico em cada propriedade.

Tratamentos

T1 - População inferior à indicação: 200 sementes aptas m^{-2}

T2 - População indicada: 300 sementes aptas m^{-2}

T3 - População elevada: 400 sementes aptas m^{-2}

Metodologia

Zonas de Manejo definidas pelo produtor (consultoria) ou Zonas/Talhões classificados de acordo com o seguinte critério de histórico de rendimento de grãos:

- Alto potencial produtivo ($> 4 t ha^{-1}$; $> 67 sacas ha^{-1}$)
- Médio potencial produtivo ($3 t ha^{-1}$ a $4 t ha^{-1}$; 50 a 67 sacas ha^{-1})
- Baixo potencial produtivo ($< 3 t ha^{-1}$; $< 50 sacas ha^{-1}$)

Parcelões de 60 m x 30 m, com três repetições por tratamento. Ou faixas com, no mínimo, três passadas de colhedora por tratamento (Figura 1).

Avaliação da população de plantas em cada parcelão após a emergência (quatro amostras de 3 m de fileira cada, em cada parcelão).

Semeadura com semeadora regulada para cada tratamento.

Colheita com monitor de colheita e geração de mapa da área com identificação dos parcelões/faixas.

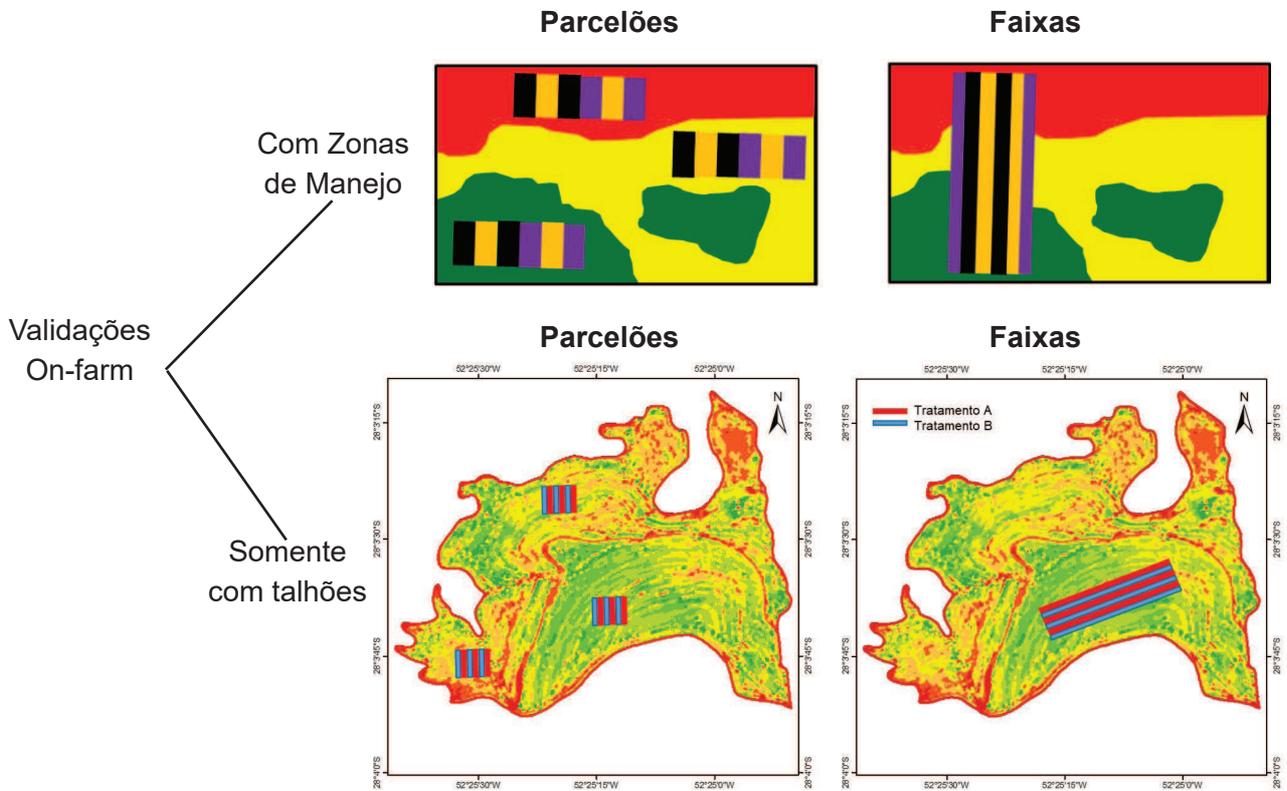


Figura 1. Exemplos de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão, com diferentes possibilidades de arranjo de parcelões ou faixas de acordo com o nível de caracterização da área e estabelecimento de Zonas de Manejo.

Anexo II

Exemplo: Formulário para registro de informações sobre ensaio on-farm

(adaptado de Nebraska..., 2022)

1. Identificação da Propriedade Rural

1.1 - Nome da Propriedade Rural (se disponível):

1.2 - Município: UF:

1.3 - Proprietário:

1.4 - Fone: ()

1.5 - E-mail:

2. Identificação do técnico responsável pelo ensaio

2.1 - Nome do técnico:

2.2 - Formação profissional:

2.3 - Fone: ()

2.4 - E-mail:

3. Identificação/caracterização do talhão em estudo

3.1 - Localização (coordenadas) do talhão:

3.2 - Nome do talhão:

3.3 - Área do talhão:

3.4 - Tipo de solo predominante no talhão:

3.5 - Análise de solo do talhão (geral ou por Zona de Manejo):

3.6 - Sequência de culturas no talhão:

3.7 - Sistema de cultivo:

3.8 - Sistema de preparo do solo:

3.9 - Disponibilidade de Zonas de Manejo pré-estabelecidas:

4. Dados sobre o estudo on-farm

4.1 - Ano:

4.2 - Cultura:

4.3 - Objeto do estudo:

4.4 - Tratamentos:

4.4.1 - Tratamento 1:

4.4.2 - Tratamento 2:

4.4.3 - Tratamento 3:

4.5 - Localização (coordenadas GPS) de cada tratamento/parcela/faixa:

5. Dados sobre a condução do ensaio on-farm

5.1 - Data de semeadura:

5.2 - Data de florescimento/espigamento:

5.3 - Data de colheita:

5.4 - Densidade de semeadura (sementes aptas m⁻²):

5.5 - População de plantas inicial (estabelecida) (plantas m⁻²):

5.6 - Espaçamento entre linhas:

5.7 - Equipamentos empregados na semeadura (marca/modelo/sensores embarcados)

5.8 - Cultivar utilizada e principais características:

5.9 - Irrigação:

5.10 - Tratamento de sementes (produtos, doses e forma de tratamento):

5.11 - Inoculação de sementes (produtos, doses e forma de inoculação):

5.12 - Adubação de semeadura (adubo e dose):

5.13 - Adubação de cobertura (adubo, dose, forma de aplicação e estágio da cultura/data):

5.14 - Aplicação de herbicidas (produtos, doses e forma de aplicação):

5.15 - Aplicação de fungicidas (produtos, doses e forma de aplicação):

5.16 - Aplicação de inseticidas (produtos, doses e forma de aplicação):

5.17 - Aplicação de outros insumos (produtos, doses e forma de aplicação):

5.18 - Colhedora (marca/modelo/sensores embarcados):

5.19 - Observações sobre a condução do ensaio:

6 - Dados a serem coletados:

6.1 - Acamamento:

6.2 - Rendimento de grãos:

6.3 - Porcentagem de umidade de grãos:

6.4 - Mapa de colheita:

6.5 - Amostras (plantas/grãos) georreferenciadas em cada tratamento: