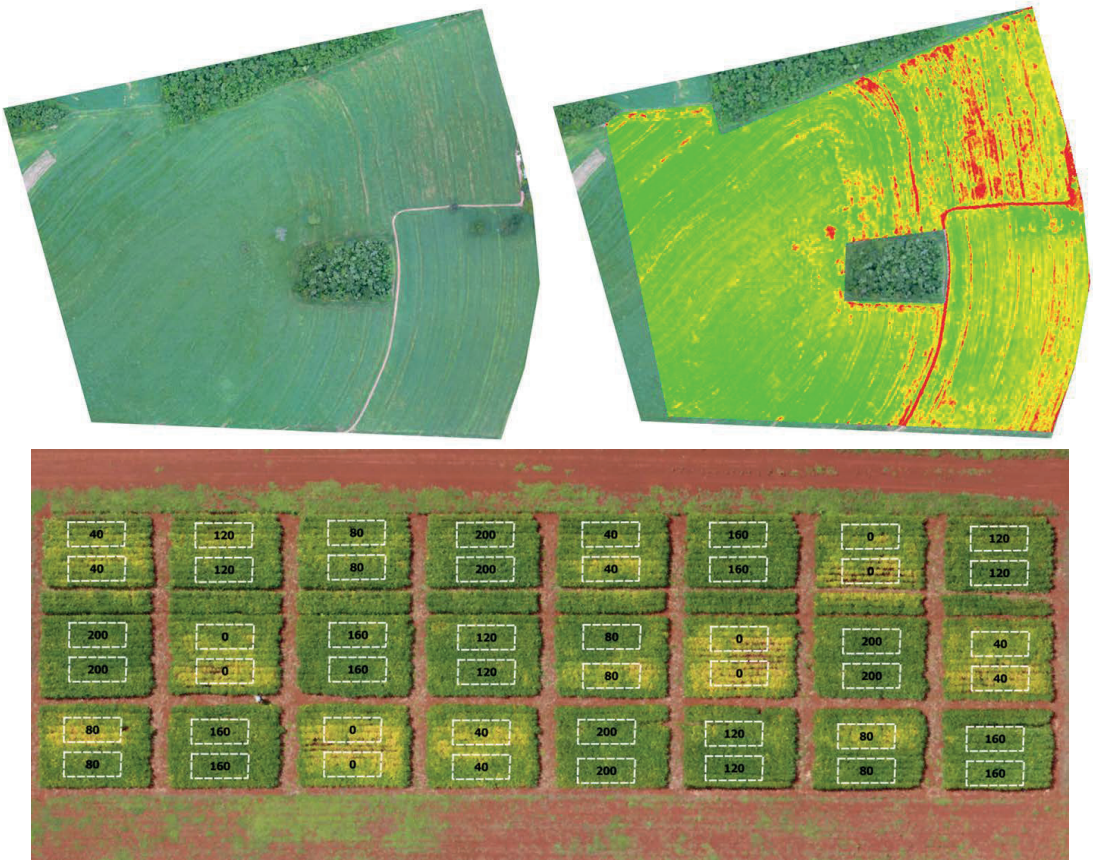
ISSN 2176-2937
Dezembro / 2018

DOCUMENTOS
408

Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja



Embrapa

ISSN 2176-2937
Dezembro/2018

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

DOCUMENTOS 408

Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja

Julio Cezar Franchini
Alvadi Antonio Balbinot Junior
Lúcio André de Castro Jorge
Henrique Debiasi
Waldir Pereira Dias
Claudia Vieira Godoy
Adilson de Oliveira Junior
Fabricio Bueno Corrêa
Maria Cristina Neves de Oliveira

Autores

Embrapa Soja
Londrina, PR
2018

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja
Rodovia Carlos João Strass, s/n
Acesso Orlando Amaral. Caixa Postal 231
CEP 86001-970, Distrito de Warta, Londrina, PR
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Ricardo Vilela Abdelnoor

Secretária-Executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudine Dinali Santos Seixas, Fernando Augusto Henning, José Marcos Gontijo Mandarino, Liliane Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira, Norman Neumaier e Osmar Conte

Supervisão editorial
Vanessa Fuzinatto Dall´Agnol

Normalização bibliográfica
Ademir Benedito Alves de Lima

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Thais Sofia Ribeiro Santos

Fotos da capa
Julio Cezar Franchini

1ª edição
PDF digitalizado (2018)

Todos os direitos reservados.
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Soja

Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja /
Julio Cezar Frachini [et al.]. – Londrina : Embrapa Soja, 2018.
PDF (39 p.) : il. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n.408)

1.Equipamento agrícola. 2.Agricultura de precisão. 3.Soja. 4.Produção agrícola. I.Franchini, Julio Cezar. II.Balbinot Junior, Alvadi Antonio. III.Jorge, Lúcio André de Castro. III.Debiasi, Henrique. IV.Dias, Waldir Pereira. V.Godoy, Claudia Vieira. VI.Oliveira Junior, Adilson de. VII.Corrêa, Fabricio Bueno. VIII.Oliveira, Maria Cristina Neves de.

CDD 681.763

(Ademir Benedito Alves de Lima (CRB 9/530)

© Embrapa, 2018

Autores

Adilson de Oliveira Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Alvadi Antonio Balbinot Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Claudia Vieira Godoy

Engenheira-agrônoma, doutora, pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR

Fabricio Bueno Corrêa

Engenheiro-agrônomo, Coamo, Campo Mourão, PR

Henrique Debiasi

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Julio Cezar Franchini

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Lúcio André de Castro Jorge

Engenheiro-elétrico, doutor, pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP

Maria Cristina Neves de Oliveira

Matemática, doutora, pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR

Waldir Pereira Dias

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Apresentação

A agropecuária contemporânea visa conciliar altas produtividades e rentabilidades com a conservação dos recursos ambientais e a produção de alimentos e outros bens com alta qualidade, refletindo-se em benefícios sociais. Para atingir esse propósito, é fundamental a geração e utilização de inovações tecnológicas.

Na última década, imagens aéreas obtidas com drones têm proporcionado novas visões do ambiente produtivo, subsidiando a tomada de decisão sobre práticas para aprimorar os sistemas de produção, focando no aumento de produtividade e/ou redução de custos. Essa é uma área de conhecimento em franca expansão e a divulgação de informações sobre o tema é importante para acelerar o uso dos conhecimentos gerados pela pesquisa.

Essa publicação apresenta possíveis aplicações práticas de imagens áreas, obtidas com drone equipado com câmeras simples, em sistemas de produção que envolvem a cultura da soja. Espera-se que contribua para acelerar a utilização dessa ferramenta, fortalecendo a cadeia produtiva da soja e de culturas associadas.

Ricardo Vilela Abdelnoor
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Soja

Sumário

Introdução.....7
Obtenção das imagens.....8
Índices de vegetação.....9
Avaliação da resposta da soja à qualidade do solo 10
Identificação de áreas com erosão em microbacias ou em propriedades ...13
Índice de vegetação de culturas e sua correlação com a produtividade.....17
Análise do crescimento da soja em função da dessecação pré-semeadura 21
Visualização de falhas de estande da soja 24
Identificação de áreas de soja com problema de ferrugem-asiática 24
Estimativa de danos à soja ocasionados por nematoides 27
Avaliação do estado nutricional da soja em função fertilidade do solo 34
Considerações finais 37
Referências 38

Introdução

Nas ciências aplicadas, o termo sensoriamento remoto se refere à obtenção de imagens à distância sobre a superfície terrestre, utilizando sensores embarcados (aeronaves ou satélites). O sensoriamento remoto oferece solução sinótica para o monitoramento de plantas, tendo potencial de uso na agropecuária (Dörnhöfer; Oppelt, 2016; Yu et al., 2016). O sensoriamento remoto aplicado à agricultura é baseado na espectroscopia da radiação refletida após interação da radiação eletromagnética incidente proveniente do sol com diferentes alvos na superfície da terra. Essas medidas são oriundas do espectro refletido, mais especificadamente abrangendo a região do visível (0.4 – 0.7 µm), infravermelho próximo (0.7 – 1.3 µm) e infravermelho de ondas curtas (1.3 – 2.5 µm) (Jorge; Inamasu, 2014). O uso de imagens capturadas por satélites têm grande utilidade na agricultura, todavia possui algumas limitações decorrentes da frequência na obtenção de imagens, da presença de nuvens que inviabilizam seu uso, principalmente no verão - época de maior interesse para a cultura da soja -, custos elevados, baixa resolução e necessidade de conhecimento específico para o processamento das imagens (Samseemoung et al., 2012).

Por outro lado, o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTS), popularmente conhecidos como drones, permite a obtenção de imagens aéreas de grandes áreas com baixo custo, com maior frequência e com alta resolução (na escala de centímetros), o que viabiliza o uso desta ferramenta em larga escala. A estimativa de parâmetros biofísicos e bioquímicos com alta acurácia e baixo custo são importantes para a evolução das práticas de manejo e do potencial produtivo de sistemas de produção dentro dos preceitos da agricultura de precisão (Vibhute; Bodhe, 2012). O alto rendimento e precisão espacial na estimativa destas características por meio de imagens aéreas obtidas por drones pode ajudar na avaliação do comportamento de genótipos, práticas de manejo e impactos de estresses bióticos e abióticos, contribuindo na tomada de decisão dos produtores.

O desenvolvimento dos drones surgiu como uma importante ferramenta para a agricultura de precisão (King, 2017). No entanto, há poucas informações na literatura sobre o uso prático de imagens sinóticas e de índices de vegetação simples, obtidos com câmeras que captam a região do visível, como

ferramenta para ajustes de manejo, objetivando aumento de produtividade e/ou redução dos custos de produção (Kavoosi et al., 2018). Ou seja, o vasto conhecimento produzido nessa área de conhecimento não tem sido traduzido em uso prático no agronegócio. O objetivo desse trabalho é apresentar e discutir possíveis utilizações de imagens áreas, obtidas com drone equipado com câmeras simples, em sistemas de produção que envolvem a cultura da soja.

Obtenção das imagens

Para obtenção das imagens apresentadas neste documento foram utilizados dois tipos de drones:

1) Asa fixa (Batmap 1) equipado com câmera multiespectral (Rededge-M) de 5 bandas (azul, verde, vermelho, borda do infravermelho e infravermelho próximo).

2) Quadricoptero (Phantom 4 Pro®) com câmera RGB (azul, verde e vermelho).

Os voos foram realizados a altura máxima de 120 metros. Para a câmera RGB esta altura de voo determinou um nível de detalhamento do terreno, mais conhecido como GSD (do inglês *ground sample distance*), em torno de 4 cm/pixel. Para a câmera multiespectral esse valor ficou em torno de 10 cm/pixel.

As imagens obtidas em experimentos de longo prazo foram obtidas em alturas menores, tendo, portanto, maior resolução, chegando a valores e 1 cm/pixel.

Os planos de voo foram elaborados com softwares específicos para cada drone (Pix4D, para o quadricóptero e *Mission planner* para o asa fixa, respectivamente), porém ambos de uso gratuito. Foi utilizada uma sobreposição longitudinal de 80% e lateral de 60%. Para a cobertura de talhões maiores do que 50 ha, foi necessária a elaboração de mais que um plano de voo. Para a elaboração dos orthomosaicos e modelos digitais de elevação, quando aplicável, foi utilizado o software PhotoScan Agisoft.

Não foi utilizado nenhum tipo de controle para correção da radiação incidente. Para minimizar esses efeitos sobre imagens tomadas em diferentes datas no mesmo local, procurou-se realizar o processo sempre que possível no período entre 9:00 e 11:00 da manhã.

Índices de vegetação

A avaliação de índices de vegetação, obtidos a partir de imagens aéreas representa um recurso rápido, econômico e confiável para o monitoramento de culturas (Candiago et al., 2015), facilitando o monitoramento de forma não destrutiva e em tempo real (Von Bueren et al., 2015).

Para avaliar e monitorar o crescimento de determinada cultura foram desenvolvidos diversos índices de vegetação, que consistem em operações algébricas de valores obtidos de diferentes faixas do espectro, principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo, também denominadas bandas espectrais. Posteriormente, é possível correlacionar esses índices com variáveis da cultura, como, por exemplo, a biomassa, cobertura pelo dossel e teor de clorofila (Sakamoto et al., 2012; Maimaitijiang et al., 2017).

Um índice que representa a resposta espectral da vegetação na região do espectro visível é o MPRI (*Modified Photochemical Reflectance Index*), o qual avalia a diferença normalizada da resposta espectral na região do verde e do vermelho, com o intuito de realçar a cobertura verde das culturas (Gonçalves et al., 2017). O MPRI é calculado pela equação a seguir:

$$MPRI = \frac{Verde - Vermelho}{Verde + Vermelho}$$

Outro índice utilizado é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que calculado pela diferença entre as refletâncias detectadas nas bandas do visível (0,58 à 0,68μm) e infravermelho próximo (0,725 a 1,1μm), dividida pelas somas dessas quantidades. O NDVI é calculado pela equação a seguir:

$$NDVI = \frac{Infravermelho - Vermelho}{Infravermelho + Vermelho}$$

Avaliação da resposta da soja à qualidade do solo

A qualidade do solo indica a sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, a fim de sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens (Doran, 1997). Nas condições tropicais brasileiras, o Sistema Plantio Direto (SPD) tem contribuído para a melhoria de atributos químicos, físicos e biológicos do solo, incrementando a sua qualidade e potencializando a produtividade e a estabilidade de culturas agrícolas, como a soja (Franchini et al., 2012).

A qualidade do solo pode ser expressa no crescimento das plantas de soja, por isso é possível identificar zonas com maior ou menor qualidade do solo via imagens aéreas. A Figura 1 demonstra diferentes padrões de coloração da soja no período de enchimento de grãos, em função do histórico de manejo do solo. As parcelas que apresentam dossel verde mais intenso se referem ao manejo do solo em SPD, conduzido por 15 ou 25 anos. Em contrapartida, nas parcelas com manejo convencional do solo, com aração e gradagem, as plantas de soja apresentam coloração verde menos intensa, tendendo ao amarelo, em alguns casos. Em razão das melhores condições edáficas proporcionadas pelo SPD, houve atraso na senescência das plantas em relação ao sistema convencional (Figura 2).

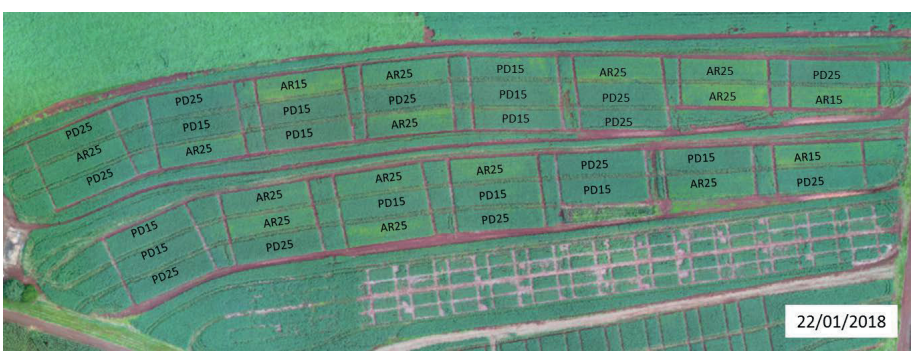


Figura 1. Imagem aérea da cultura da soja no estádio R5.4, obtida na safra 2017/2018, em experimento de manejo do solo de longa duração. PD15 e PD25 = área manejada em Sistema Plantio Direto por 15 e 25 anos. AR15 e AR 25 = área manejada com aração e gradagem por 15 e 25 anos. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2018.

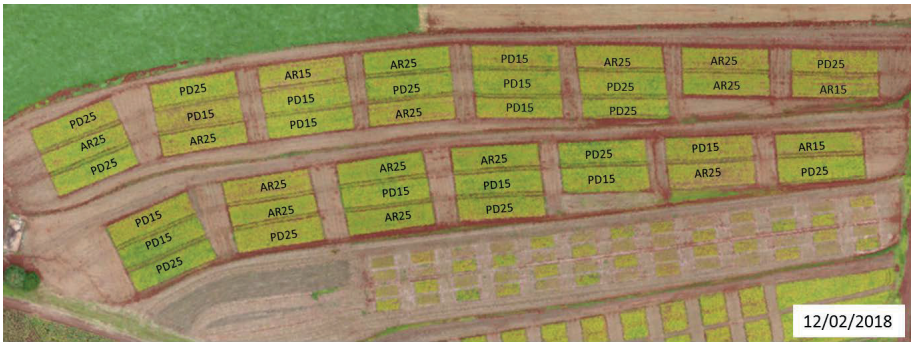


Figura 2. Imagem aérea da cultura da soja no estádio R7, obtida na safra 2017/2018 em experimento de manejo do solo de longa duração. PD15 e PD25 = área manejada em Sistema Plantio Direto por 15 e 25 anos. AR15 e AR 25 = área manejada com aração e gradagem por 15 ou 25 anos. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2018.

Em quatro imagens obtidas no experimento referido anteriormente, os valores do índice MPRI foram maiores no SPD em relação ao convencional (Figura 3), indicando as melhores condições do SPD para o crescimento e manutenção das plantas verdes por maior período. Isso se refletiu em maiores produtividades de grãos no SPD conduzido por 15 e 25 anos em relação ao solo manejado convencionalmente (Figura 4). Dessa forma, o uso de imagens simples, no campo do visível, pode indicar áreas em que há necessidade de aprimorar a qualidade do solo, seja do ponto de vista químico ou físico.

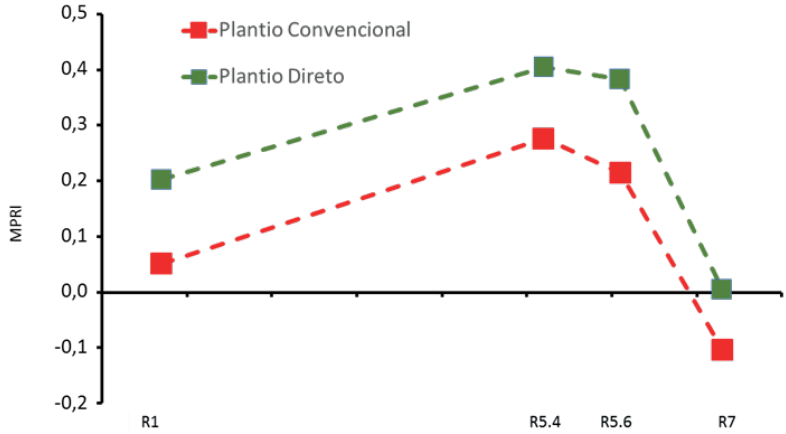


Figura 3. Índice MPRI estimado por meio de imagens aéreas de alta resolução da cultura da soja nos estádios R1, R5.4, R5.6 e R7, em experimento de manejo do solo de longa duração, com Sistema Plantio Direto e convencional. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2018.

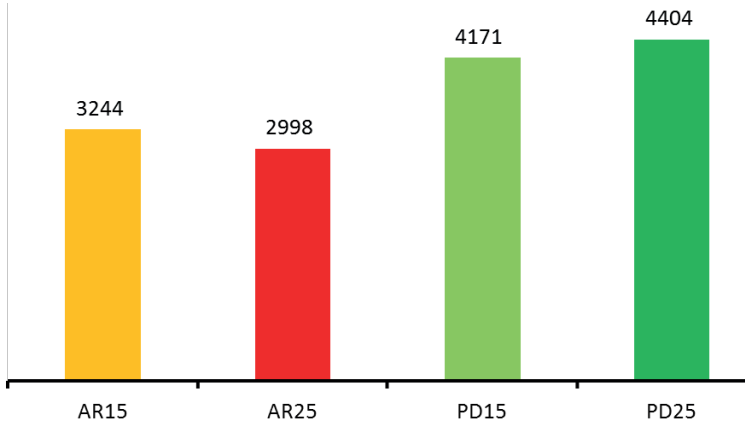


Figura 4. Produtividade de grãos de soja (kg ha^{-1}) em diferentes sistemas de manejo do solo: PD15 e PD25 = área manejada em Sistema Plantio Direto por 15 e 25 anos. AR15 e AR 25 = área manejada com aração e gradagem por 15 e 25 anos. Médias comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Embrapa Soja, Londrina, PR, safra 2017/18.

Após constatar as diferenças visuais do dossel da soja entre os sistemas de manejo do solo, por meio de imagem sinótica, bem como as diferenças do índice MPRI e produtividade de grãos, verificou-se que um dos possíveis fatores limitantes ao crescimento e à produtividade no sistema convencional foi a compactação do solo, abaixo de 20 cm de profundidade (Figura 5). Observa-se que no SPD há uma camada (15 a 25 cm) em que a resistência à penetração (RP) foi superior a 2,5 MPa, mas, abaixo dessa camada, a RP foi inferior a 2,5 MPa. Por sua vez, no sistema convencional, a RP na camada superficial foi baixa, em função da mobilização do solo promovida pela aração e gradagem, contudo na camada de 40 a 60 cm a RP chegou a 4,5 MPa, limitando o crescimento das raízes e, consequentemente, a utilização de água e nutrientes em subsuperfície.

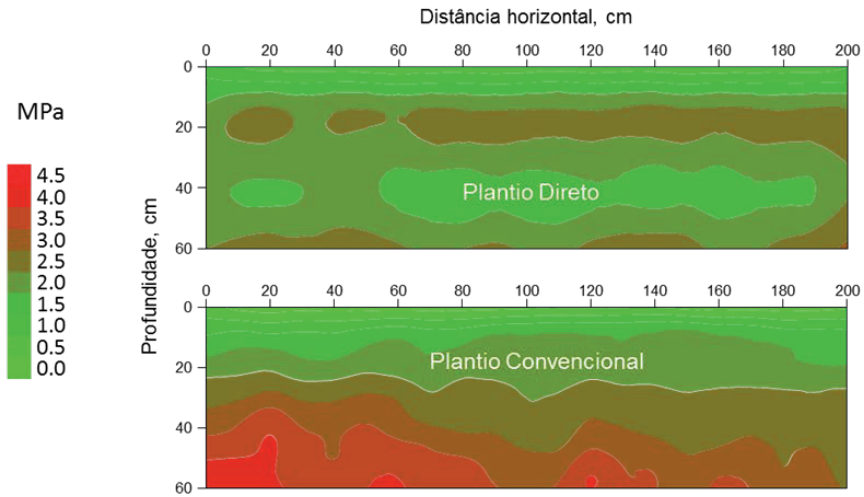


Figura 5. Resistência à penetração (MPa) no perfil do solo após 25 anos de manejo em Sistema Plantio Direto e convencional. Embrapa Soja, Londrina, PR, safra 2017/18.

Identificação de áreas com erosão em microbacias ou em propriedades

No Brasil, o uso do SPD contribuiu para a redução da erosão hídrica (Schick et al., 2000). No entanto, em razão de problemas com o manejo do solo e a retirada de terraços, tem-se observado graves problemas de erosão, principalmente em regiões que apresentam áreas cultivadas com declividades superiores a 5%. Nessas condições, a erosão tem provocado impacto ambiental negativo, além de prejuízos econômicos decorrentes de perdas de produtividade e aumento de custos com fertilizantes.

Em geral, a análise do estado de conservação do solo e da água tem sido realizada em nível de propriedade rural. Todavia, o processo erosivo transcende os limites de propriedades, por isso a análise considerando bacias ou microbacias hidrográficas é de extrema importância. Por sua vez, a análise do processo erosivo na escala de microbacia deve focar nos pontos críticos geradores das principais perdas de solo e água (Didone et al., 2015). Nesse contexto, o uso de imagens aéreas obtidas por drones pode auxiliar na identificação de pontos críticos de erosão na microbacia, subsidiando as tomadas de decisão para minimizar o problema.

Durante a safra 2017/2018, foram obtidas imagens aéreas de uma microbacia, na região norte do Paraná, nos dias 06/12/2017, 05/01/2018, 17/02/2018, 12/03/2018 e 30/03/2018 (Figura 6). A microbacia analisada é composta por nove propriedades rurais, totalizando 285 ha.

Nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro não foi possível identificar as áreas críticas quanto à conservação do solo e da água, já que a cobertura do solo pela cultura da soja impediu a visualização dos sulcos de erosão. Porém, quando a soja já havia sido colhida, ou já se encontrava totalmente seca, em março, foi possível identificar claramente as áreas com maior problema. Na imagem do dia 12/03/2018 foi constatada maior intensidade de erosão por meio da visualização de sulcos, em três propriedades rurais – B, F e I (Figura 6). Já na imagem do dia 30/03/2018, após uma sequência de dias com chuvas, foi possível constatar uma intensificação do processo erosivo em todas as glebas, sendo, no entanto, mais expressivo em cinco delas: A, B, C, F e I (Figura 6) Nas glebas C e F, a semeadura do milho no sentido do declive e ausência de terraços, respectivamente, tornou o processo erosivo mais intensificado. Além da ausência de práticas de conservação de solo, que agravam o processo erosivo, a água proveniente de estradas e carreadores contribuiu muito para o início da erosão, como observa-se nas glebas A e B (Figura 6). Em função do sistema de produção adotado na região, onde cultiva-se milho na sequência da soja, a semeadura deste sobre uma resteva com pouca palha, como é o caso da soja, somado a ação de mecanismos sulcadores que promovem maior mobilização de solo no sulco de semeadura e período de chuvas intensas, fazem desta ocasião um momento crítico para ocorrência de erosão hídrica.

Com base nessa identificação, a próxima etapa é realizar uma observação *in loco* para avaliar as causas do processo erosivo e as formas para sanar ou minimizar a erosão. Enfatiza-se que o problema pode ser decorrente de características de solo e/ou relevo, como declividade elevada; falta ou inadequado dimensionamento dos terraços; e deficiências no manejo do solo, que, por sua vez, pode reduzir a taxa de infiltração de água no solo e/ou fornecer baixa cobertura com plantas ou com palha. Esses fatores potencializam o processo erosivo. Além disso, é necessário verificar se a gênese da enxurrada decorre do fluxo de água proveniente de outras propriedades, redundando nos sulcos identificados nas imagens. Essa análise dever ser realizada por um técnico na própria microbacia.

Nas propriedades B e F, a água e os sedimentos levados pela enxurrada têm como destino as propriedades vizinhas, o que pode causar graves problemas a jusante dos pontos identificados pelas imagens aéreas. No caso da propriedade B, a enxurrada também está sendo direcionada para uma estrada, o que pode comprometer a conservação desse acesso. No tocante à propriedade C, verifica-se que o destino da enxurrada é a área de mata contígua à área cultivada, que circunda o curso de água da microbacia. Portanto, fica clara a necessidade de implementar medidas de manejo e contenção da erosão considerando toda a microbacia e não apenas propriedades rurais isoladas.

Nesse contexto, o uso de imagens aéreas de alta resolução possibilita a identificação de pontos críticos em relação ao processo erosivo em microbacias hidrográficas.

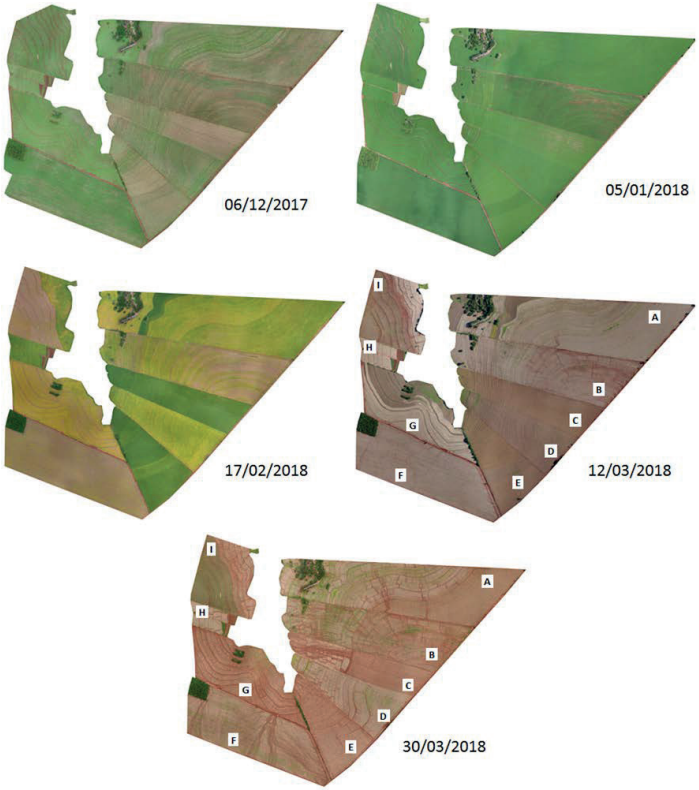


Figura 6. Imagens aéreas obtidas durante a safra 2017/2018 na microbacia de primeira ordem no município de Rolândia, Paraná. A, B, C, D, E, F, G, H, e I correspondem à divisão das glebas que compõem a microbacia.

Em outro trabalho, foi possível identificar facilmente as áreas com maior problema com erosão em uma propriedade de 93 hectares (Figura 7). A partir das imagens aéreas foi possível determinar a altimetria e a declividade do talhão. Esta base de dados foi utilizada para simular projetos de terraceamento por meio do *software* Terraço 4.1, desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa. O projeto simulado mais próximo do sistema implantado prevê uma taxa de infiltração estável (TIE) de 60 mm/h. Provavelmente, a TIE real na área de estudo esteja abaixo deste valor, uma vez que houve extravasamento sequencial de vários terraços, conforme pode ser observado na Figura 8.

Desta forma, o projeto implantado na área deveria ser revisado para o aumento do número de terraços. Outra alternativa, é a adoção de práticas de manejo do solo para incremento da TIE, por meio do uso de plantas com potencial de recuperação da estrutura do solo. O uso de plantas de cobertura como a aveia, muito bem adaptada à região, assim como o consórcio de milho com forrageiras tropicais, também seria indicado para melhoria continua da qualidade do solo e da capacidade do sistema de terraceamento suportar a ocorrência de eventos extremos.

Figura 7. Imagem aérea de talhão de produção (93 ha) após a colheita da soja (esquerda) e após estabelecimento do milho (direita), apresentando sulcos de erosão. Embrapa Soja, Ubiratã/PR, 2018.

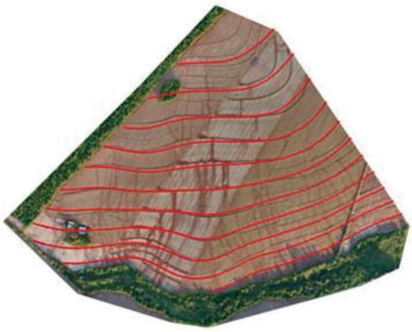


Figura 8. Simulação de sistema de terraceamento adequado para contenção da enxurrada pelo software Terraço 4.1. Embrapa Soja, Ubiratã, PR, 2018.

Para as condições edáficas e topográficas da área em questão seria necessário aumentar o número de terraços ou adotar práticas de manejo que aumentem a TIE. A abordagem técnica utilizada, com a tomada de imagens aéreas e formação de uma base de dados de altimetria e declividade se mostrou adequada para o planejamento e avaliação prévia das possibilidades de projeto para o redimensionamento de terraços.

Índice de vegetação de culturas e sua correlação com a produtividade

A definição da correlação entre os índices de vegetação de culturas e a produtividade é relevante, uma vez que, se houver correlação, é possível prever a produtividade de modo simples, rápido, barato e não destrutivo (Hoyos-Villegas; Fritschi, 2013). No entanto, sabe-se que a produtividade é uma variável complexa, que depende de uma série de fatores e suas relações, de tal forma que nem sempre o maior crescimento das plantas confere as maiores produtividades.

Em uma área comercial, foi possível associar o índice NDVI do milho segunda safra no pendoamento com a produtividade de grãos (Figuras 9 e 10). Observou-se aumento linear da produtividade com o incremento do NDVI. Provavelmente, isso ocorreu porque o milho é uma espécie C4, que apresenta elevada resposta de produtividade frente ao aumento do índice de área foliar (IAF) (Sangoi et al., 2011). Além disso, percebeu-se claramente que o teor de argila no solo foi determinante para o crescimento e a produtividade do milho (Figura 11). Isso possivelmente ocorreu porque o milho segunda

safra é cultivado em uma época do ano com menor precipitação pluvial e o maior teor de argila no solo confere maior retenção de água, reduzindo o déficit hídrico da cultura.

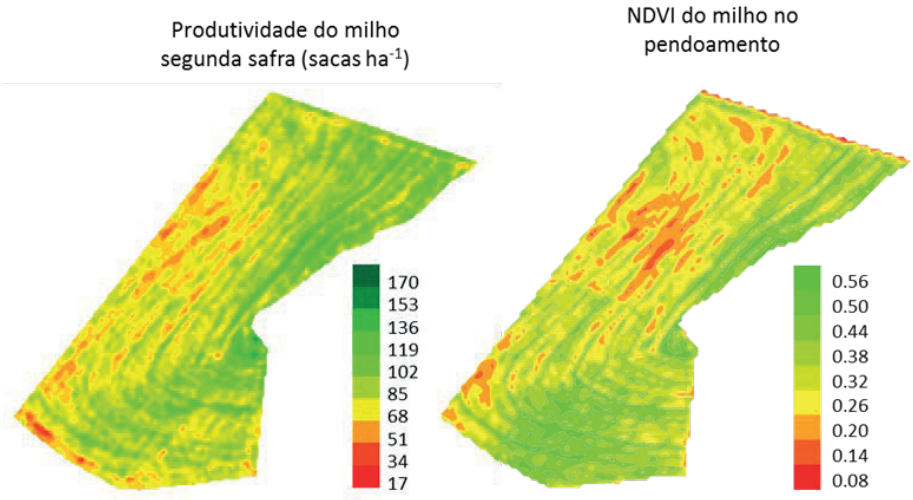


Figura 9. Mapas da variabilidade espacial da produtividade do milho segunda safra e do índice NDVI da cultura no estádio de pendoamento. Embrapa/Coamo, 2018.

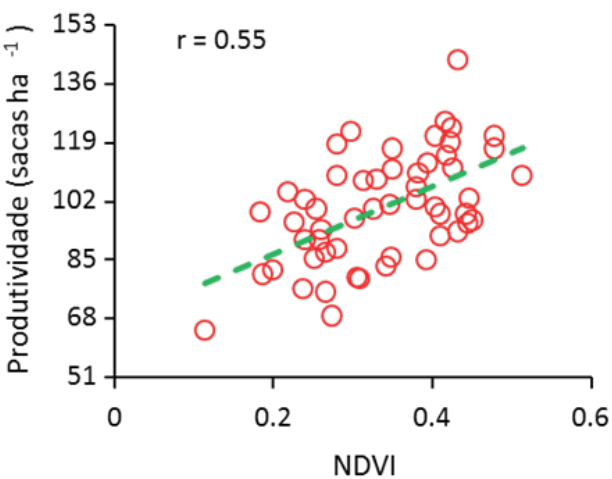


Figura 10. Correlação entre o NDVI do milho segunda safra, avaliado no pendoamento, com a produtividade. Coeficiente significativo (p≤0,05). Embrapa/Coamo, 2018.

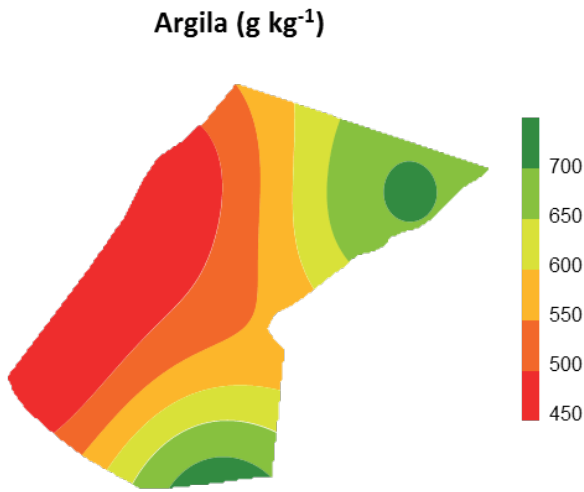


Figura 11. Mapas da variabilidade espacial do teor de argila na camada de 0 a 20 cm na área avaliada. Embrapa/Coamo, 2018.

O comportamento da produtividade da soja em sucessão ao milho segunda safra foi inverso do cereal, ou seja, nas regiões em que o milho produziu mais, a soja produziu menos (Figuras 12 e 13). Na safra 2017/18, durante o cultivo da soja, houve adequada disponibilidade de água à cultura e, aparentemente, nas regiões com maior teor de argila o crescimento e a produtividade foram prejudicados. Isso demonstra a complexidade em associar características de solo com o crescimento e a produtividade das culturas. Outro ponto interessante é que em alguns pontos da lavoura a produtividade se aproximou de 100 sacas ha^{-1} (6 t ha^{-1}), sobretudo nas regiões com teor de argila de 450 a 500 (g kg^{-1}).

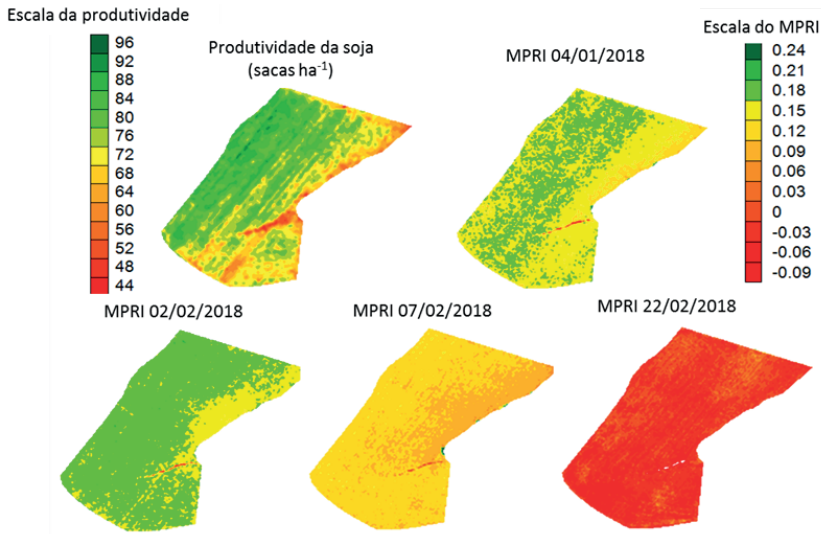


Figura 12. Mapas da variabilidade espacial da produtividade da soja e do índice MPRI da cultura em quatro momentos do ciclo. Embrapa/Coamo, 2018.

Constatou-se correlação positiva entre o MPRI, avaliado em quatro momentos do ciclo da soja, e a produtividade (Figura 13). Isso indica que, nesse caso, as condições de solo que limitaram o crescimento da cultura também se refletiram na limitação da produtividade de grãos.

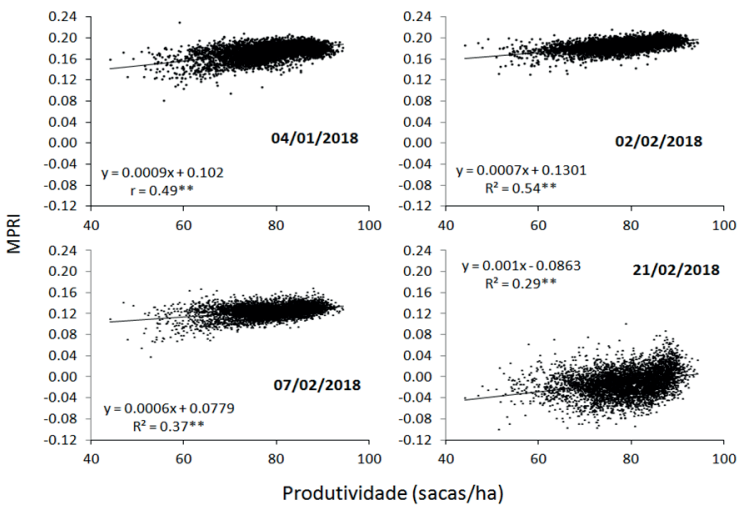


Figura 13. Correlações entre a produtividade da soja e o MPRI, avaliado em quatro épocas. Embrapa/Coamo, 2018.

Análise do crescimento da soja em função da dessecação pré-semeadura

No Sistema Integração Lavoura-Pecuária (SILP), o intervalo entre a dessecação da pastagem e a semeadura da soja pode influenciar o crescimento e a produtividade da oleaginosa. Em trabalho desenvolvido na Embrapa Soja, constatou-se variação significativa do índice MPRI da cultura em função de épocas de dessecação de pastagem perene de braquiária brizanta (1, 15, 30, 45 e 60 dias antes da semeadura) (Figura 14). Nesse sentido, o crescimento da cultura em função de práticas de manejo pode ser estimado por meio de imagens sinóticas e avaliação do índice MPRI.

Na pré-semeadura da cultura da soja, o sistema desseque/plante (dessecação 1 dia antes da semeadura da oleaginosa) proporcionou o maior MPRI, em função de que as plantas de braquiária ainda estavam vivas (Figura 15). Do estádio V1 até o início do enchimento dos grãos, o MPRI da soja em sistema desseque/plante foi menor do que nos tratamentos com dessecação antecipada. No entanto, durante o período de enchimento de grãos o MPRI não variou entre os intervalos de dessecação. Franchini et al. (2015) também verificaram que o crescimento da soja é menor em intervalos curtos entre a dessecação da braquiária e a semeadura da soja, mas essas diferenças não ocorreram durante o enchimento dos grãos, refletindo-se ausência de efeitos na produtividade de grãos, como observado no presente trabalho (Figura 16).

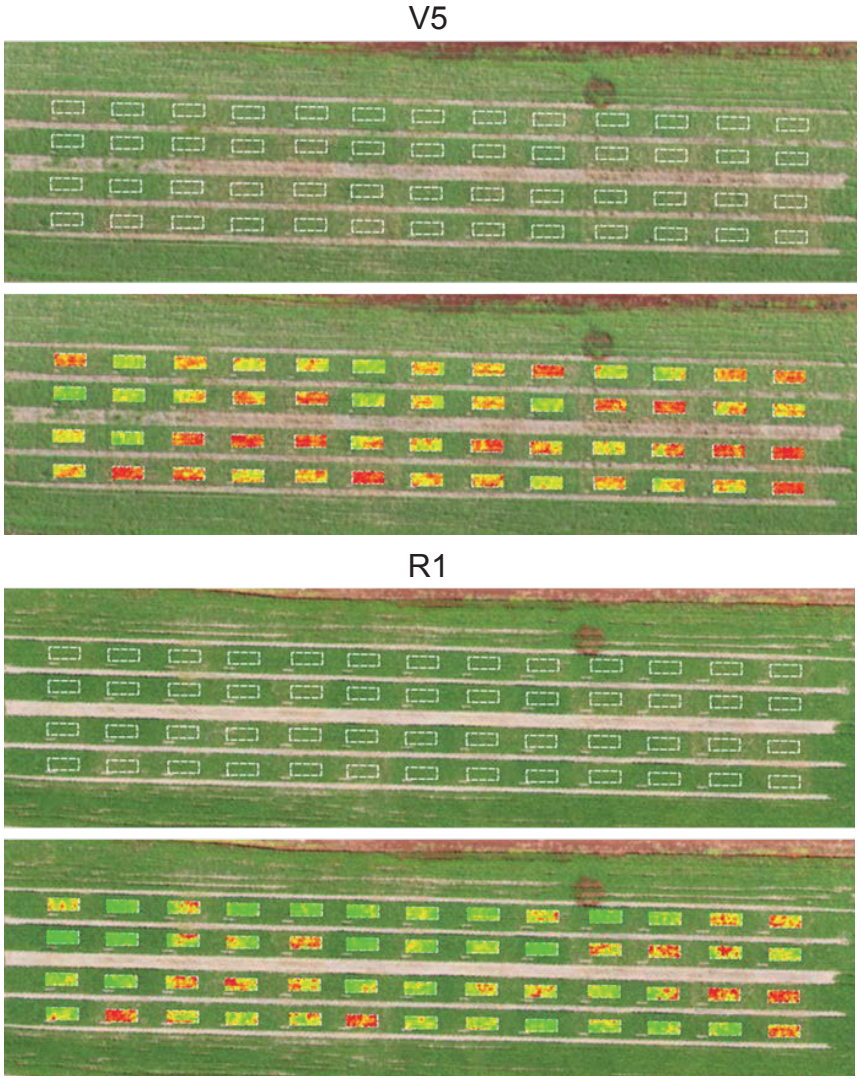


Figura 14. Vista aérea de experimento com cinco intervalos entre a dessecação de pastagem perene de braquiária brizanta e a semeadura da soja (1, 15, 30, 45 e 60 dias) e índice MPRI da cultura em dois estádios de desenvolvimento (V5 e R1). Embrapa Soja, Londrina, PR, 2018.

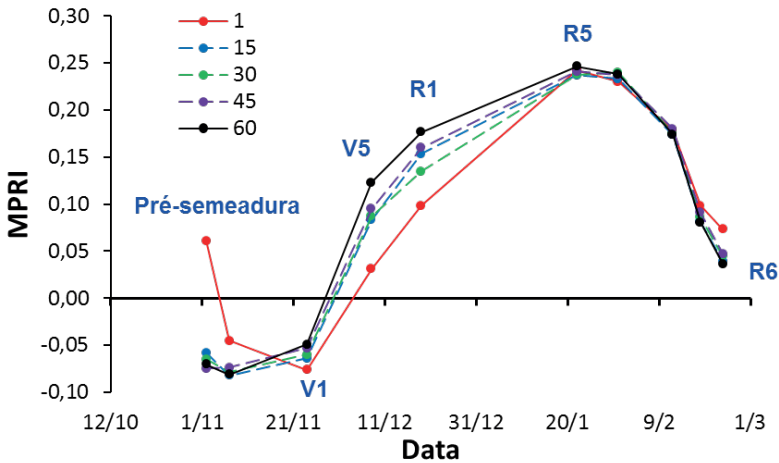


Figura 15. Índice MPRI da cultura da soja durante o ciclo de desenvolvimento em cinco intervalos entre a dessecação de pastagem de braquiária brizanta e a semeadura da cultura (1, 15, 30, 45 e 60 dias). Embrapa Soja, Londrina, PR, 2018.

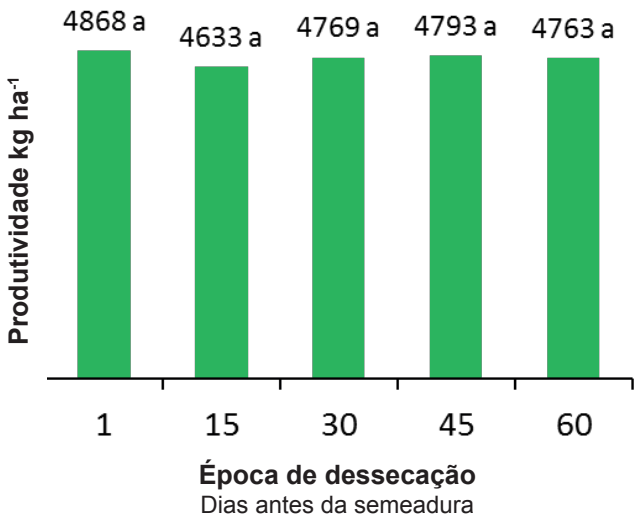


Figura 16. Produtividade da cultura da soja após pastagem de braquiária brizanta em diferentes intervalos entre a dessecação da pastagem e a semeadura da cultura (1, 15, 30, 45 e 60 dias). ns = diferenças não significativas. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2018.

Visualização de falhas de estande da soja

A observação de falhas de estande é relevante para identificar as causas do problema, que pode estar relacionada à má qualidade das sementes, falhas de distribuição ou qualquer estresse biótico ou abiótico. Na safra 2017/18, identificaram-se, por meio de imagem aérea, falhas de estante em lavoura comercial em Lucas do Rio Verde, MT (Figura 17). No presente caso, o fator que ocasionou o problema foi a infestação de lagarta elasmo *(Elasmopalpus lignosellus).* Essa informação é relevante para evitar o problema em safras vindouras.

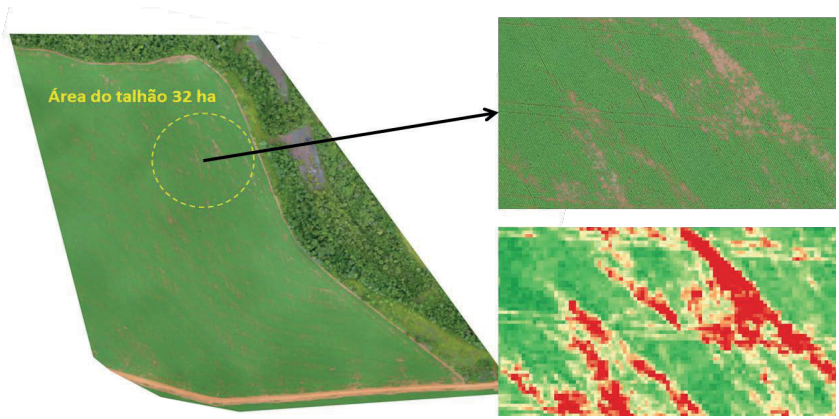


Figura 17. Imagem aérea de talhão de produção comercial de soja apresentando falhas de estande devido ao ataque de lagarta elasmo *(Elasmopalpus lignosellus)* na safra 2017/18. No detalhe a região com maior problema. Imagem aérea: 12/12/2017. Embrapa Soja, Lucas do Rio Verde/MT, 2018.

Identificação de áreas de soja com problema de ferrugem-asiática

A ferrugem-asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é uma das doenças mais severas que incidem na cultura da soja, com danos variando de 10 a 90% nas diversas regiões em que foi registrada (Hartman et al., 2015). Na última década, vários fungicidas tiveram sua eficiência reduzida pela seleção de isolados do fungo menos sensíveis aos principais modos de

ação, tornando o controle da doença mais complexo e oneroso. A avaliação de eficiência de controle via imagens aéreas é uma ferramenta importante para reduzir o tempo de avaliação, podendo aumentar a precisão de diferenciação entre os tratamentos.

Em experimento conduzido na Embrapa Soja, com 22 fungicidas (Figura 18), foi possível visualizar e correlacionar o índice MPRI no estádio R5.5 com a severidade, a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e a produtividade de grãos (Figuras 19 e 20). 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.

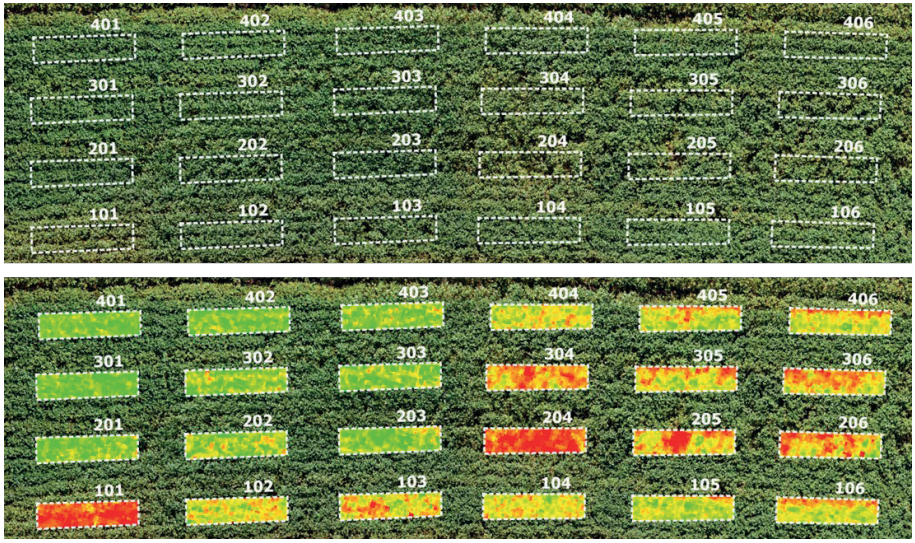


Figura 18. Imagem aérea parcial de experimento de eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja no estádio R5.5. Parcelas 101 e 204 representam a testemunha, sem aplicação. Imagem inferior representa o MPRI das parcelas. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2018.

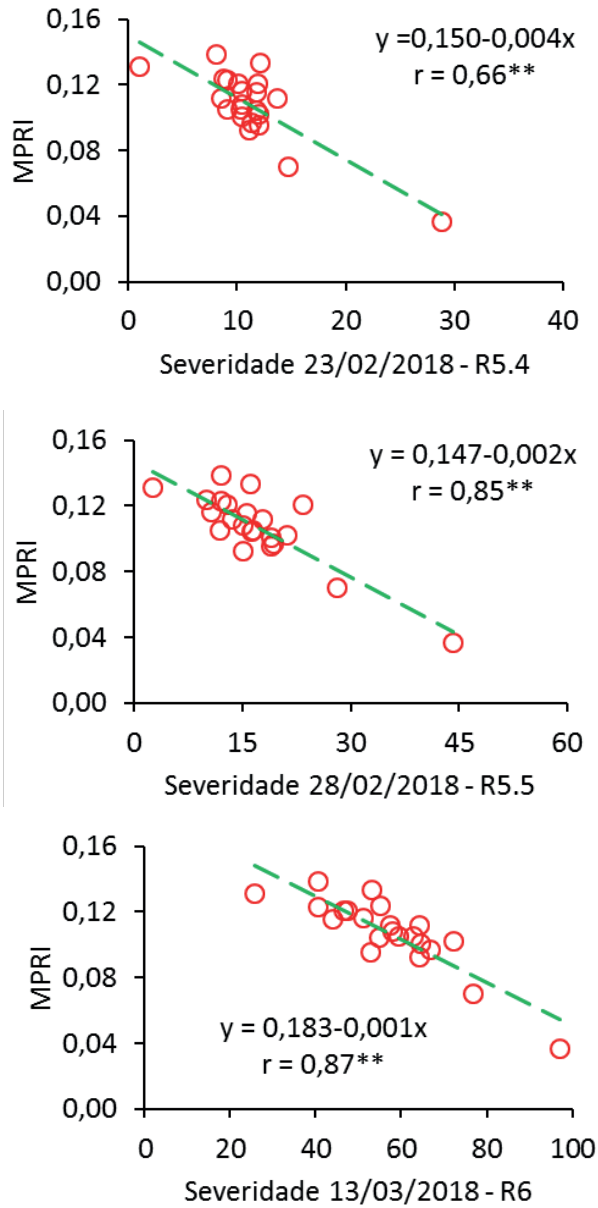


Figura 19. Correlação entre o índice MPRI no estádio R5.5 e a severidade da ferrugem-asiática avaliada visualmente nos estádios R5.4, R5.5 e R6, em experimento de eficiência de fungicidas para o controle da doença. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2018.

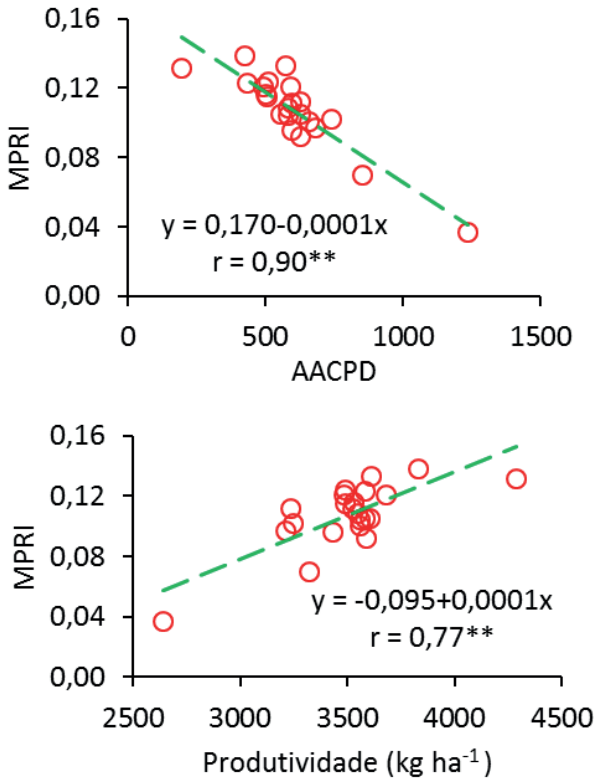


Figura 20. Correlação entre o índice MPRI no estádio R5.5 e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e a produtividade de grãos, em experimento de eficiência de fungicidas para o controle da doença. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2018.

Estimativa de danos à soja ocasionados por nematoides

Um dos principais desafios para a sustentabilidade da cultura da soja no Brasil é o manejo de nematoides, especialmente na região Centro Oeste. No entanto, a maioria dos produtores que possuem o problema tem dificuldades em quantificá-lo e especializá-lo nas propriedades. Por isso, imagens aéreas podem subsidiar a identificação das áreas com maior problema, a fim de tomar decisão para minimizar os danos à soja e culturas associadas.

Em um trabalho desenvolvido no MT, foi possível visualizar e quantificar os danos pelo nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*)

(Figuras 21 e 22). Isso demonstra que imagens aéreas podem se constituir em importante ferramenta para identificar as glebas com maior problema, subsidiando o agricultor na tomada de decisão mais assertiva quanto ao manejo desse estresse biótico. Aliado a isso, no referido trabalho, comprovou-se o efeito da calagem na redução de danos do parasita, fundamentando a prática da calagem para reduzir os prejuízos oriundos desse nematoide.

Figura 21. Imagem aérea de experimento de manejo do nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) na safra 2017/18, em solo com textura arenosa. Imagem aérea: 13/12/2017. Embrapa Soja, Tapurah, MT, 2018.

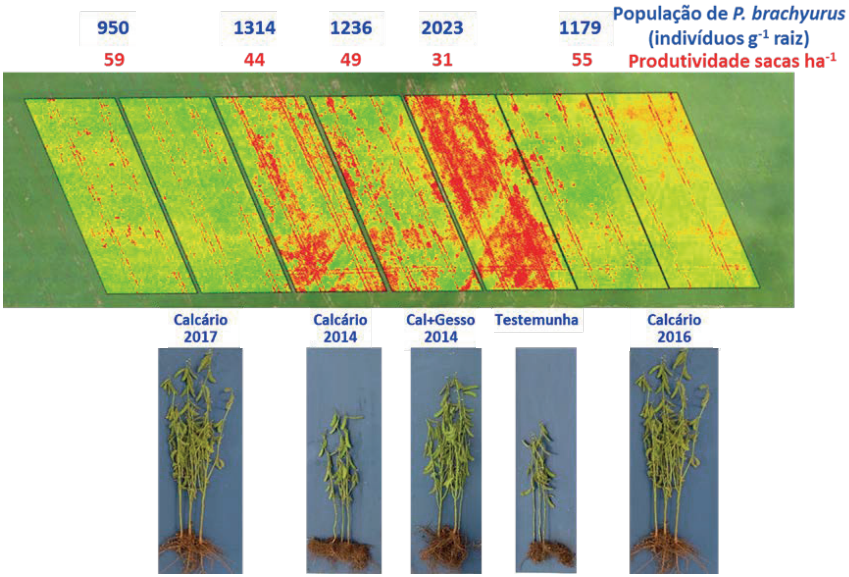


Figura 22. Índice MPRI de experimento de manejo do nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*), na safra 2017/18 em solo com textura arenosa. Imagem aérea: 13/12/2017. Tapurah, MT, 2018.

Nas lavouras, é comum a presença concomitante de duas ou mais espécies de nematoides. Em um trabalho realizado em Tapurah, MT, em uma gleba de 82 ha com histórico de danos por nematoides de cisto e das lesões radiculares, foi possível identificar as regiões com maior problema na soja (Figura 23).

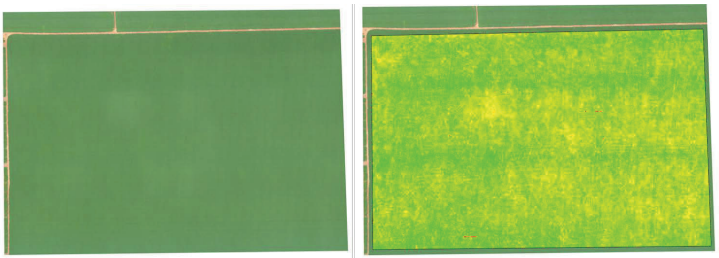


Figura 23. Imagem aérea e índice MPRI de área de produção comercial de soja (82 ha) com ataque dos nematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) e do cisto (*Heterodera glycines*), na safra 2017/18, em solo com textura muito argilosa. Imagem aérea: 13/12/2017. Embrapa Soja, Tapurah, MT, 2018.

Dentro da gleba de 82 ha, foi selecionada uma área de 5 ha para avaliação da variabilidade espacial da população dos dois nematoides avaliados (Figura 24). Inicialmente, foi possível observar que a espécie que estava ocasionando redução de crescimento da soja era o *Heterodera glycines* e não *Pratylenchus brachyurus.* Adicionalmente, constatou-se correlação negativa entre a população dos dois parasitas. Essa informação é relevante uma vez que a imagem indica claramente as regiões com maior problema, nas quais é necessária intervenção, focando na redução dos danos do nematoide de cisto, principalmente pelo uso de cultivares com resistência a raça 9, identificada na área.

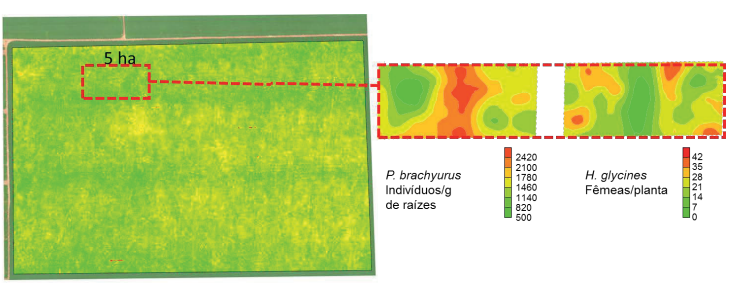


Figura 24. Índice MPRI de área de produção comercial de soja (82 ha) com ataque dos nematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) e do cisto (*Heterodera glycines*) e área de 5 ha avaliada quanto à população dos dois parasitas na safra 2017/18. Solo com textura muito argilosa. Imagem aérea: 13/12/2017. Embrapa Soja, Tapurah, MT, 2018.

No Brasil, os problemas com nematoides são mais intensos em solos arenosos, com teores de argila inferiores a 20%. Nessa circunstância, é comum a presença do nematoide das lesões radiculares associada aos nematoides de galhas. Em trabalho desenvolvido em Assis, SP, foi avaliado o efeito de culturas de entressafra e cultivares de soja sobre os danos desses nematoides. Por meio de imagens aéreas e índice MPRI, foi possível identificar os tratamentos mais promissores para o manejo desses nematoides (Figuras 25, 26, 27 e 28). Houve correlação positiva entre o índice MPRI da soja e a produtividade, indicando que as culturas de entressafra e as cultivares de soja que proporcionaram maior crescimento produziram mais (Figura 26). Outro ponto que merece destaque é a grande contribuição das cultivares BRS 360 e BRS 7380 para o manejo desses nematoides (Figura 28).

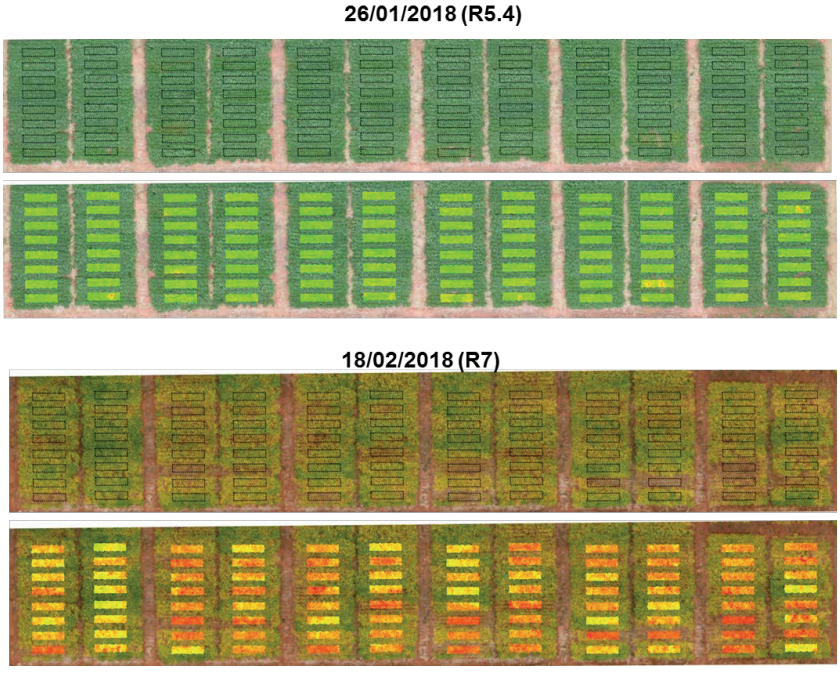


Figura 25. Imagem aérea e índice MPRI em área experimental com presença do nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) e de galhas (M*eloidogyne incógnita*), safra 2017/18, em solo com textura arenosa. Embrapa Soja, Assis, SP, 2018.

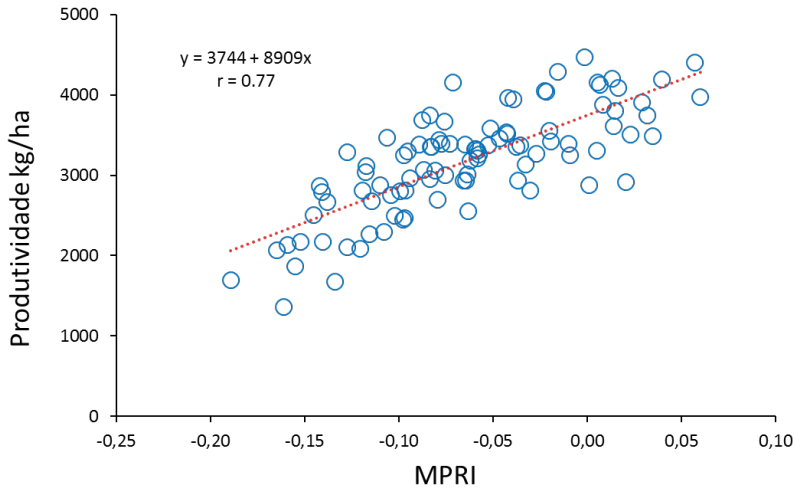


Figura 26. Correlação entre o índice MPRI e a produtividade da soja na presença do nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) e de galhas (*Meloidogyne incognita*), safra 2017/18, em solo com textura arenosa. Embrapa Soja, Assis, SP, 2018. Data da imagem: 18/02/2018, soja em R5.4.

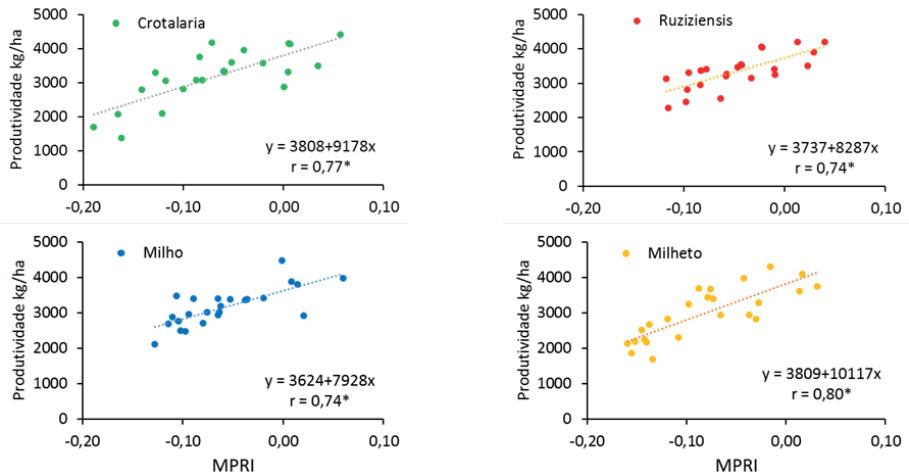


Figura 27. Correlação entre o índice MPRI e a produtividade da soja na presença do nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) e de galhas (M*eloidogyne incognita*), safra 2017/18, em quatro culturas de entressafra (média de quatro cultivares). Solo com textura arenosa. Embrapa Soja, Assis, SP, 2018. Data da imagem: 18/02/2018, soja em R5.4. * Significativo (p≤0,05).

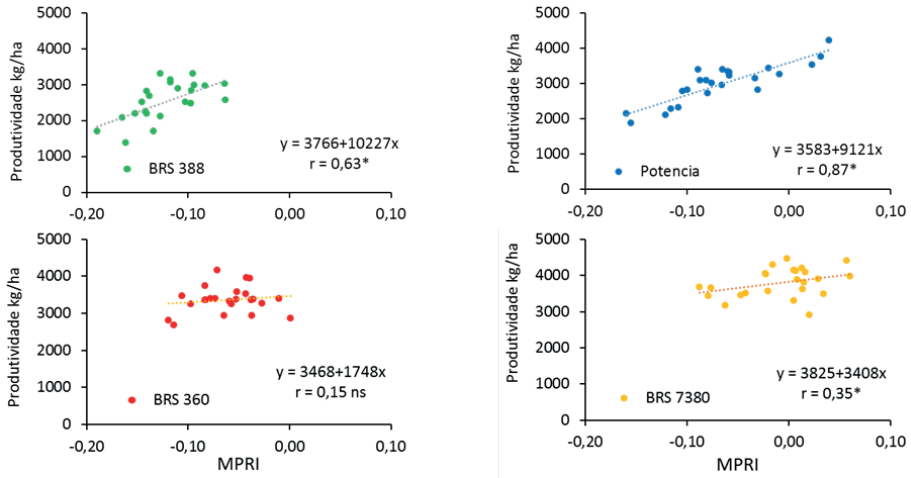


Figura 28. Correlação entre o índice MPRI e a produtividade da soja na presença do nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) e de galhas (M*eloidogyne incognita*), safra 2017/18, em quatro cultivares de soja (média de quatro culturas de entressafra). Solo com textura arenosa. Embrapa Soja, Assis, SP, 2018. Data da imagem: 18/02/2018, soja em R5.4. * Significativo (p≤0,05). ns = não significativo.

Com relação à interação entre a fertilidade do solo, infestação pelo nematoide das lesões radiculares e produtividade da soja, foi realizado um trabalho em Cambé, PR, em solo muito argiloso. A Figura 29 mostra a cultura da soja em uma área comercial em quatro momentos do ciclo de desenvolvimento. Constata-se a variabilidade de crescimento das plantas na área trabalhada, sendo possível visualizar as áreas com crescimento vegetativo menos intenso, bem como as áreas em que a senescência foi precoce.

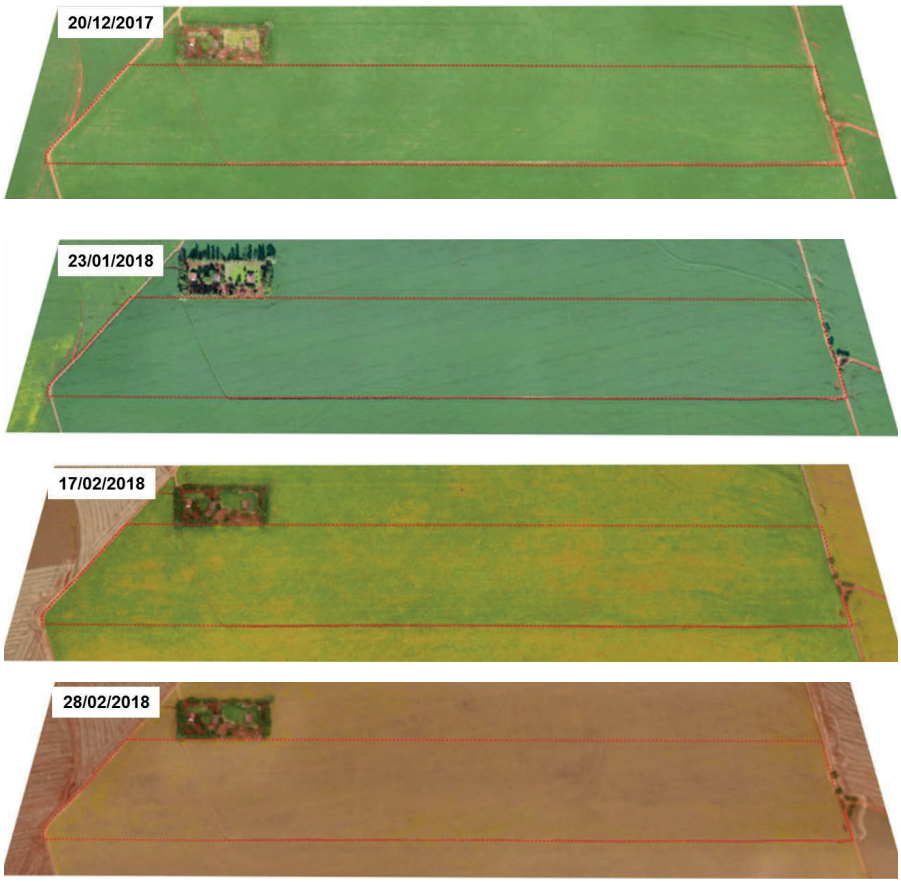


Figura 29. Imagens aéreas de área comercial de soja (20 ha), em quatro momentos do ciclo da cultura. Solo com textura muito argilosa. Embrapa Soja, Fazenda Santo Antônio, Cambé, PR, 2018.

A variação da produtividade da soja foi de 43 a 73 sacas ha^{-1} (Figura 30). Houve correlação negativa entre a população do nematoide das lesões radiculares e a produtividade, bem como correlação positiva entre os teores de Ca e Mg e a produtividade, indicando que a calagem nas regiões de menor produtividade é uma opção para melhoria da fertilidade e redução das danos ocasionados pelo nematoide.

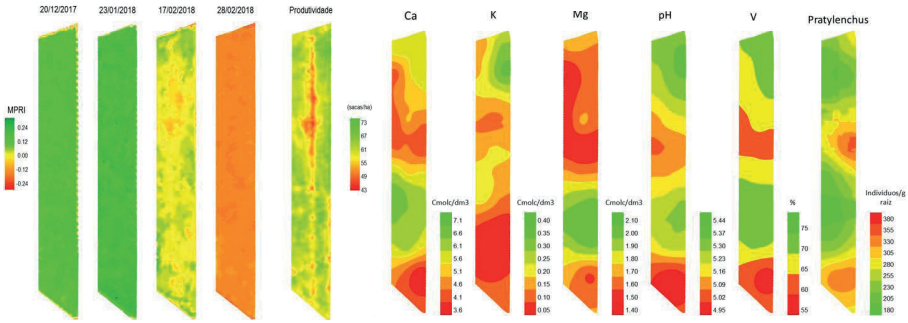


Figura 30. Variabilidade espacial do índice MPRI em quatro momentos do ciclo da soja, produtividade de grãos, cálcio, potássio, magnésio, pH e saturação da CTC por bases e população do nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) de área comercial de soja (20 ha). Solo com textura muito argilosa. Embrapa Soja, Fazenda Santo Antônio, Cambé, PR, 2018.

Avaliação do estado nutricional da soja em função fertilidade do solo

A fertilidade do solo e o programa de adubação utilizado em um sistema de produção de culturas graníferas tem grande impacto sobre o estado nutricional das culturas e isto pode alterar a fisiologia da planta e, consequentemente, determinar alterações na produção de biomassa, no ciclo de desenvolvimento da cultura e finalmente sobre a produtividade. Na fazenda experimental da Embrapa Soja, em Londrina, vem sendo desenvolvido, desde 1994, um experimento com ciclos de aplicação de potássio (K), na forma de cloreto de potássio (KCl), seguido de ciclos de depleção (efeito residual) da disponibilidade de K, sendo que, em média, cada ciclo durou de cinco a sete safras. Assim, entre 2008 e 2015 em todos os tratamentos foi suprimida a aplicação de K. A partir de 2015 as parcelas foram subdivididas e metade delas passou a receber reaplicação de K, de acordo com os tratamentos iniciais, e metade permaneceu sem a aplicação do nutriente. O efeito do período de supressão e reaplicação do K pode ser observado na imagem aérea (Figura 31). O índice de vegetação obtido a partir da imagem aérea permite observar que a supressão da adubação potássica por sete anos (2008 a 2015) causou redução do MPRI nos tratamentos com doses de K até 120 kg/ha. No entanto,

a reaplicação de potássio no período entre 2015 a 2018, nas doses de 80 e 120 kg/ha, foi suficiente para manter o MPRI ao nível considerado adequado, observado nas maiores doses. Portanto, o MPRI apresentou correlação com os teores de K no solo e, consequentemente, com a produtividade. Os resultados deste estudo indicam que para áreas com monitoramento continuo da fertilidade do solo é possível identificar sintomas de deficiência de K, oriundas de aplicação insuficiente ou falhas de aplicação, utilizando imagens aéreas.

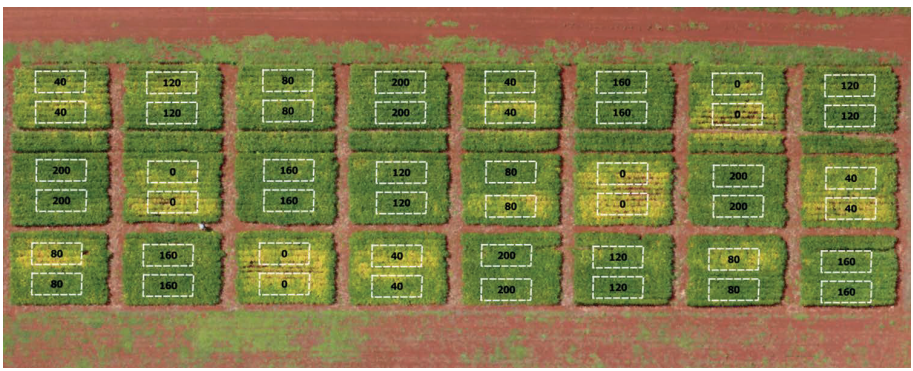


Figura 31. Imagem aérea da cultura da soja em experimento com e sem reaplicação anual de potássio (kg/ha/ano de K_2O). Solo com textura muito argilosa. Londrina, Embrapa Soja, 2018. Imagem 16/02/2018, estádio 5.3.

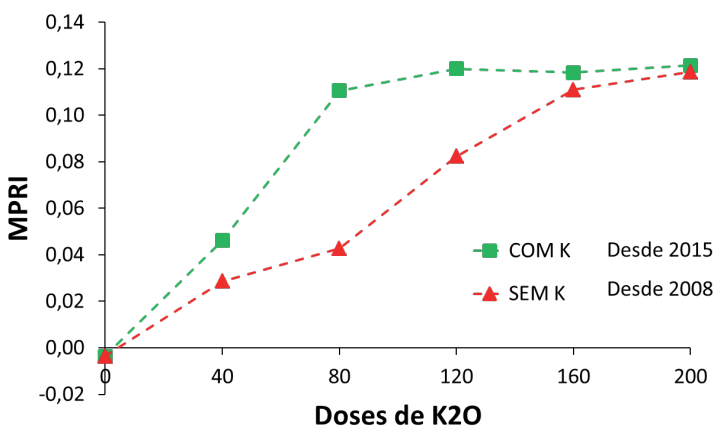


Figura 32. Índice MPRI da soja em experimento com e sem reaplicação de Potássio (KCl). Londrina, Embrapa Soja, 2018. Imagem 16/02/2018, estádio 5.3.

Em outro experimento de longa duração (iniciado em 1989) que avalia diferentes estratégias de manejo da adubação do sistema de produção de soja e trigo na região norte do Paraná, o uso de imagens aéreas permitiu diferenciar os sistemas em três grupos (Figuras 33 e 34). O primeiro grupo foi composto pelos sistemas sem aplicação de fósforo e potássio (T1) ou sem aplicação de potássio (T3) ou sem aplicação de fósforo (T4), onde foram observados os menores valores de MPRI. A seguir, vem o grupo com valores intermediários de MPRI, para os tratamentos que suprimiram a aplicação de P ou K em uma das culturas no verão ou no inverno (T2; T5; T6; T9 e T10). Finalmente o terceiro grupo representado pelos maiores valores de MPRI para os tratamentos com estratégias de adubação de P e K no verão e no inverno (T7; T8; T11 e T12).

0	50	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	**K Inverno**
0	50	50	0	50	50	50	50	50	50	50	50	**P Inverno**
0	0	0	0	0	0	80	40	40	80	60	80	**K Verão**
0	0	0	0	45	60	45	60	0	0	45	60	**P Verão**
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	

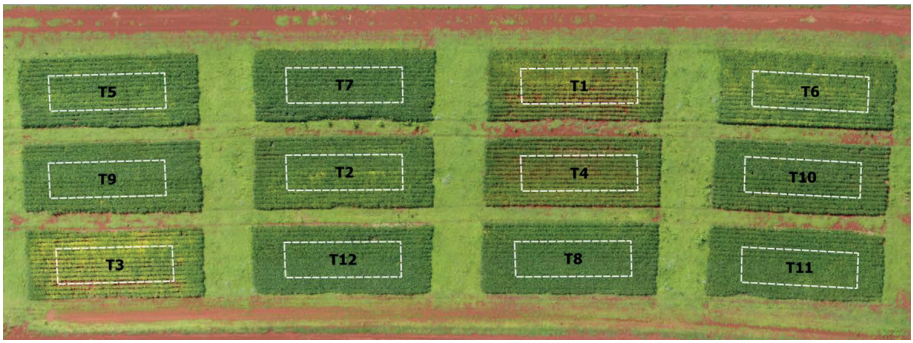


Figura 33. Imagem aérea da cultura da soja em experimento de longa duração com diferentes estratégias de adubação do sistema de produção de soja e trigo. Solo com textura muito argilosa. Londrina, Embrapa Soja, 2018. Imagem 16/02/2018, estádio R5.3.

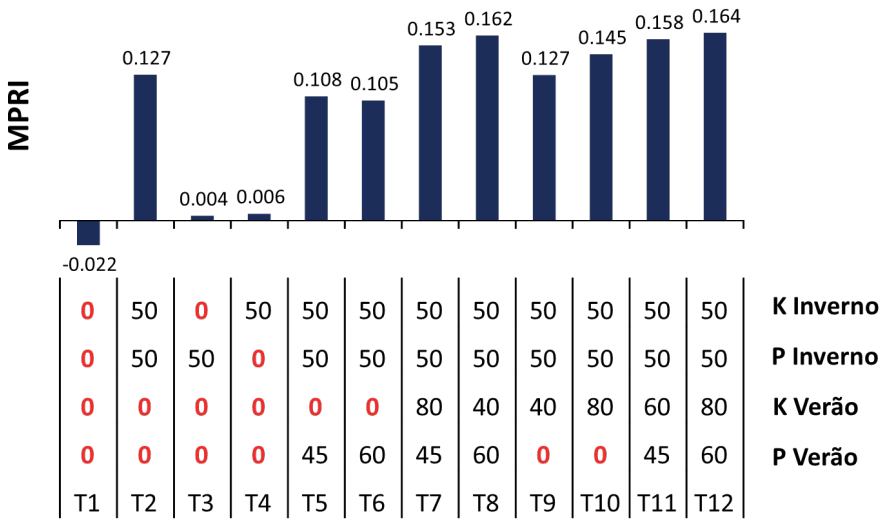


Figura 34. MPRI da cultura da soja em experimento de longa duração com diferentes estratégias de adubação do sistema de produção de soja e trigo. Solo com textura muito argilosa. Londrina, Embrapa Soja, 2018. Imagem 16/02/2018, estádio R5.3.

Nesse contexto, os resultados indicam, mais uma vez, que o monitoramento contínuo da fertilidade do solo e do estado nutricional das culturas, com o suporte de imagens aéreas, pode facilitar/auxiliar no diagnóstico de deficiências nutricionais, fornecendo informações importantes para o aumento na eficiência do uso dos nutrientes.

Considerações finais

Nesse documento foram apresentados e discutidos alguns usos de imagens áreas e índices de vegetação em sistemas de produção de soja, obtidos com equipamentos simples e acessíveis a grande parte de técnicos e/ou produtores rurais. As informações obtidas por imagens sinóticas tem grande utilidade nas tomadas de decisões, focando aumento de produtividade e/ou redução de custos de produção. No entanto, para o adequado uso desses equipamentos, embora com funcionalidades acessíveis, é preciso capacitação e vários cuidados metodológicos. Adicionalmente, é certo que imagens aéreas e índices de vegetação apresentam vários outros usos que não foram apresenta-

dos nesse documento, uma vez que o objetivo do trabalho não foi esgotar o assunto, pelo contrário, foi estimular a reflexão sobre novas possibilidade de uso de conhecimentos sobre sensoriamento remoto no agronegócio.

Referências

CANDIAGO, S.; REMONDINO, F.; DE GIGLIO, M.; DUBBINI, M.; GATTELI, M. Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming application from UAV images. **Remote Sensing**, v. 7, p. 4026-4047, 2015.

DIDONE, E. J.; MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Quantifying soil erosion and sediment yield in a catchment in southern Brazil and implications for land conservation. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 2334–2346, 2015.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. **Rio de Janeiro**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

DÖRNHÖFER, K.; OPPELT, N. Remote sensing for lake research and monitoring – recent advances. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 105-122, 2016.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Crescimento da soja influenciado pela adubação nitrogenada na cultura, pressão de pastejo e épocas de dessecação de *Urochloa ruziziensis*. **Agro@mbiente On-line**, v. 9, p. 129, 2015.

GONÇALVES, L. M.; BARBOSA, B. D. S.; FERRAZ, G. A. S.; MACIEL, D. T.; SANTOS, H. F. D. Variabilidade espacial e temporal do índice de vegetação MPRI aplicado às imagens de grama São Carlos obtidas por aeronave remotamente pilotada. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, p. 340-349, 2017.

HARTMAN, G. L.; SIKORA, E. J.; RUPE, J. C. Rust. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (Ed.). **Compendium of soybean diseases and pests**. 5. ed. Saint Paul: APS Press, 2015. p. 56-59.

HOYOS-VILLEGAS, V.; FRITSCHI, F. B. Relationships among vegetation indices derived from aerial photographs and soybean growth and yield. **Crop Science**, v. 53, p. 2631-2642, 2013.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134.

KAVOOSI, Z.; RAOUFAT, M. H.; DEHGHANI, M.; JAFARI, A.; ABDOLREZA, S. A.; NAZEMOSSADAT, M. J. Feasibility of satellite and drone images for monitoring soil residue cover. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.06.001. in press.

KING, A. Technology: the future of agriculture. **Nature**, v. 544, p. 21-23, 2017.

MAIMAITIJIANG, M.; GHULAM, A.; SIDIKE, P.; HARTLING, S.; MAIMAITIYIMING, M.; PETERSON, K., SHAVERS, E.; FISHMAN, J.; PETERSON, J.; KADAM, S.; BURKEN, J.; FELIX F. Unmanned Aerial System (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 134, p. 43-58, 2017

SAKAMOTO, T.; GITELSON, A. A.; NGUY-ROBERTSON, L.; ARKEBAUER, T. J.; WARDLOW, B. D.; SUYKER, A. E.; VERMA, S. B.; SHIBAYAMA, M. An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 154, p. 113-126, 2012.

SAMSEEMOUNG, G.; SONI, P.; JAYASURIYA, H. P. W.; SALOKHE, V. M. Application of low altitude remote sensing (LARS) platform for monitoring crop growth and weed infestation in a soybean plantation. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 611-627, 2012.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F.; SCHMITT, A.; VARGAS, V. P., CASA, R. T.; SOUZA, C. A. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 609-616, 2011.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I-Perdas de solo e água. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 24, p. 427-436, 2000.

VIBHUTE, A.; BODHE, S. K. Applications of image processing in agriculture: a survey. **International Journal of Computer Applications**, v. 52, p. 34-40, 2012.

VON BUEREN, S. K.; BURKART, A.; HUENI, A.; RASCHER, A.; TUOHY, M. P.; YULE, I. J. Deploying four optical UAV-based sensors over grassland: challenges and limitations. **Biogeosciences**, v. 12, p. 163-175, 2015.

YU, N.; LI, L.; SCHMITZ, N.; TIAN, L. F.; GREENBERG, J. A.; DIERS, B. W. Development of methods to improve soybean yield estimation and predict plant maturity with an unmanned aerial vehicle based platform. **Remote Sensing of Environment**, v. 187, p. 91-101, 2016.

Embrapa

Soja

CGPE número