

ALÉM DAS CORES, A INTIMIDADE DOS SOLOS

Mapeamento com sensores, drones e satélites melhora a produtividade agrícola e expõe erosão ou perda de água

Carlos Fioravanti

Hematita (ao lado), mineral responsável pela cor vermelha dos solos, com restos de raízes (ao lado, abaixo). Ampliações de 100 e 300 vezes, por microscopia eletrônica de varredura

Em meados de 2022, o engenheiro-agrônomo Diego Siqueira reencontrou seu ex-colega da faculdade Diogo Barbieri, cada um à frente de suas próprias empresas de análises de solos, ambas instaladas em Jaboticabal, no interior paulista. Siqueira contou sobre seus avanços com os sensores de magnetismo, usados para identificar terras apropriadas para plantar cafés especiais, e propôs ao colega usar a mesma técnica em canaviais, abundantes na região norte do estado de São Paulo, onde vivem. Barbieri gostou da proposta, que acenava com a possibilidade de ampliar seus negócios com a oferta de testes com custos menores que os resultantes de reações químicas, adotados até então.

Sensores de magnetismo e outros equipamentos, como satélites, drones e espectrofotômetros – aparelhos que medem a intensidade de luz absorvida e refletida por determinado material –, fazem uma espécie de radiografia do solo, diferenciam solos aparentemente iguais e motivam agricultores a aprimorar os cuidados com suas terras.

Mas também expõem problemas, como perdas de água e nutrientes do solo, e, por vezes, sua fragilidade. Siqueira exemplifica: as nuvens vermelhas de terra que em setembro de 2021 assustaram os moradores de cidades do norte e oeste paulista se formaram porque ventos fortes varreram áreas com solos expostos, com baixa umidade e sem os minerais que favorecem sua agregação e evitam sua dispersão.

Siqueira – desde 2019 coproprietário da Quanticum (ver Pesquisa FAPESP nº 299) – e Barbieri – desde 2008 um dos sócios da Athenas – fizeram mestrado e doutorado com o também engenheiro-

-agrônomo José Marques Júnior, coordenador de um laboratório de caracterização do solo na Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* de Jaboticabal. Marques Júnior começou em 2006 a aprimorar a técnica de identificação de minerais do solo, como maghemita e magnetita, ambas formadas por óxido de ferro, com propriedades magnéticas.

O grupo da Unesp se apoiou nos estudos feitos no início dos anos 2000 pelo agrônomo espanhol José Torrent, da Universidade de Córdoba, na Espanha, que aplicou sensores de magnetismo e de cor para identificar óxidos de ferro, a partir dos conceitos do químico alemão Udo Schwertmann (1927-2016). Esses minerais definem não apenas os tons de vermelho, mas também a agregação do solo; em contrapartida, os solos arenosos e amarelados, pobres nesses compostos, são pouco compactos.

“Como a cor, o magnetismo sinaliza interações complexas, que determinam a capacidade do solo de reter água e nutrientes”, diz Marques Júnior. “Com os sensores magnéticos, que hoje são pouco maiores que um celular, conseguimos determinar, em campo, os teores de maghemita e de fósforo com mais

de 80% de precisão e de matéria orgânica com 75%.”

Com sua equipe, Marques Júnior analisou os teores de óxido de ferro de 42 amostras de latossolo, um dos 13 tipos básicos, em duas áreas de cultivo de cana-de-açúcar com colheita mecânica em Guataparã e Guariba, municípios próximos a Ribeirão Preto. Mesmo com histórias geológicas similares, os solos apresentaram uma variação de 10 vezes na proporção de óxido de ferro, de 22 gramas por quilograma (g/kg) a 253 g/kg. Nesse estudo, detalhado em agosto de 2015 na revista *Geoderma Regional*, a análise da cor do solo, chamada de espectroscopia de refletância, mostrou-se capaz de registrar teores de óxido de ferro cristalino abaixo de 5%, além de fornecer os resultados em 20 minutos, enquanto a difração de raio X, também utilizada, demorava 55 horas.

Em outro trabalho, publicado em 2022 na *Scientia Agricola*, uma análise de 88 amostras de solos mostrou que as áreas cultivadas de cana-de-açúcar em Luiz Antônio, também na região centro-norte paulista, com teores mais altos de óxido de ferro apresentavam maior potencial para a produção de açúcar e álcool.

“Depois de 40 anos de pesquisas nessa área, ainda faltam mapas oficiais, detalhados e atualizados, mas já temos um conhecimento relativamente satisfatório da variação de solos brasileiros”, diz Marques Júnior.

Com outros especialistas da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP), da Unesp e de centros de pesquisa da França e da Austrália, ele participou de um mapeamento nacional que identificou solos mais ricos em óxido de ferro no Paraná, Pará, em São Paulo, Mato Grosso e Goiás (*ver mapa na página 68*).

“Solos com maior teor de ferro possuem as melhores características físicas, como boa infiltração de água, consistência e agregação”, comenta. Os resultados desse mapeamento, fundamentados na análise de 30.344 amostras de todo o país, foram detalhados em abril de 2023 na *Geoderma*.

DRONES

Quanto mais detalhes os mapeamentos revelam, maiores são as possibilidades de melhorar a produtividade agrícola. Em uma área experimental de cana-de-açúcar no interior paulista, o engenheiro-agrô-



Ímã atrai nanopartículas de minerais magnéticos do solo

nomo José Eduardo Corá, também da Unesp de Jaboticabal, detectou as áreas que precisavam de doses maiores ou menores de adubo nitrogenado com base nas imagens produzidas pelas câmeras de um drone que sobrevoou a plantação.

“O sensor multiespectral, com câmeras fotográficas adaptadas, capazes de gerar imagens de um mesmo objeto com diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas, mostra o que o olho humano não consegue enxergar”, comenta. Segundo ele, ao conhecer as interações da planta com o solo e os efeitos de pragas e do clima, os agricultores podem intervir antes que os eventuais problemas se agravem, assim economizando tempo e dinheiro. Já adotada por produtores nos Estados Unidos e de modo incipiente no Brasil, essa técnica indicou também áreas com solos compactados, que limitavam o crescimento da cana-de-açúcar.

Outro exemplo vem de um estudo de setembro de 2023 publicado na *Revista Ciência Agrônômica*. Um grupo de pesquisadores das universidades federais do

Rio Grande do Sul (UFRGS) e de Goiás (UFG) e do Instituto Federal Goiano, em Rio Verde, usou um drone dotado de uma câmera com 12 bandas (faixas de comprimentos de ondas eletromagnéticas) e identificou áreas do solo com nematoides, pragas comuns nas plantações de soja.

Para dar ao agricultor a opção de agir com mais precisão, a Cromai Tecnolo-

gias Agrícolas, sediada em São Paulo, desenvolveu um programa de inteligência artificial para processar imagens aéreas capturadas por drones e identificar, por exemplo, plantas daninhas em lavouras de cana-de-açúcar. “Os arquivos são compatíveis com a maior parte dos tratores e drones de pulverização: basta inseri-los no equipamento para fazer a aplicação nos locais corretos”, comentou o engenheiro mecânico Guilherme Barros Castro, diretor da empresa, à Agência FAPESP. Segundo ele, essa técnica, aprimorada por meio de projeto apoiado pelo programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe) da FAPESP, permite a aplicação de herbicida apenas onde for necessário, com uma redução de 65% nos custos e menor impacto ambiental.

Na Esalq, o engenheiro-agrônomo José Alexandre Demattê caracteriza solos usando sensores de satélite, que podem diferenciar solos de acordo com as cores que refletem – cada tipo de solo tem uma cor, por refletir a luz de modo distinto. Variações da cor indicam mudanças na composição ou na proporção entre minerais, matéria orgânica, microrganismos, água e ar, os elementos básicos dos solos.

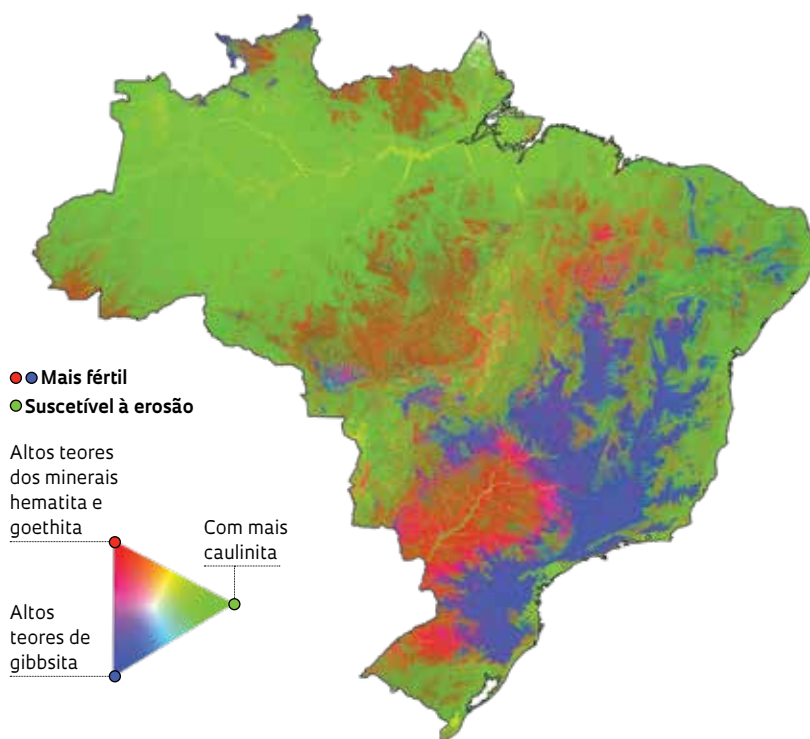
Os pesquisadores examinaram imagens produzidas pelos satélites norte-americanos Landsat de 1982 a 2019, com resolução de 30 metros quadrados (m²), de uma área de 735 mil quilômetros quadrados (km²) de sete unidades da federação – Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Paraná e São Paulo. Como detalhado em um artigo publicado em julho de 2023



O Brasil já fabrica drones empregados na dispersão de herbicidas

MINERAIS DOS SOLOS DO BRASIL

Análises de quatro tipos de argila (hematita, goethita, caulinita e gibbsita) em 30 mil amostras indicaram as áreas mais férteis e as sujeitas à erosão



FONTE ROSIN, N. A. ET AL. GEODERMA. 2023

O mapeamento das irregularidades do solo pode conter processos erosivos como este, em Mato Grosso



na *Scientific Reports*, a técnica do infravermelho, que detecta uma faixa de luz não visível, indicou que 14% das terras ocupadas por pastagem ou soja eram de nascentes ou áreas úmidas, cobertas para aumentar o espaço economicamente útil.

“A legislação ambiental determina que as fontes ou reservas de água têm de ser preservadas e não podem ser cobertas”, ele comenta. Essa, por sinal, é uma recomendação sobre conservação de solos que ele dá quando conversa com funcionários de órgãos públicos, de cooperativas de produtores rurais e de empresas da região de Piracicaba.

Com imagens dos Landsat de 1985 a 2020, o engenheiro-agrônomo Rodnei Rizzo, da Esalq, examinou outro problema, a erosão, fenômeno natural causado pela chuva e intensificado pela transformação de áreas de vegetação nativa em plantio ou pastagem. De acordo com uma análise feita por pesquisadores da China, publicada em junho de 2022 na *Environmental Science & Technology*, a agricultura, que ocupa cerca de 11% da superfície mundial, responde por 50% da área de terra erodida. China, Índia, Estados Unidos e Brasil respondem por 65% da erosão do solo em áreas agrícolas.

“Quanto maior a erosão, menor a cobertura vegetal, maior a degradação e menor a fertilidade do solo”, comenta Rizzo. Demattê acrescenta: “No Brasil,

as taxas de degradação do solo têm oscilado nos últimos 40 anos. Ainda é alta nas fronteiras agrícolas da região Norte, mas já está menor no Sudeste, com a intensificação do plantio direto sobre a palha e a colheita mecanizada da cana-de-açúcar”.

O grupo da USP participou de um mapeamento global que abarcou 38,5% da superfície da Terra, correspondente ao solo exposto, sem florestas, e 82,2% da área ocupada por agricultura, como detalhado em dezembro de 2023 na revista *Remote Sensing of Environment*. A análise da variação da cor ao longo do tempo se mostrou eficiente para detectar mudanças não apenas globais, mas também locais, na superfície do solo, que se torna mais brilhante quando perde a cobertura vegetal, como resultado da erosão.

Demattê enfatiza: quanto mais um solo fica exposto, mais intensos os efeitos da temperatura, maior o risco de erosão e menor a produtividade.

“Com base no conhecimento detalhado do solo, conseguimos identificar áreas com diferentes potenciais agrônômicos”, comenta um dos usuários das novas pesquisas, o engenheiro-agrônomo Luís Gustavo Teixeira, diretor agrícola e de tecnologia da São Martinho, uma das maiores produtoras nacionais de açúcar e etanol. Segundo ele, conhecer o teor de óxido de ferro ajuda a planejar melhor o uso do solo, de água, de fertilizantes e de herbicidas.

Entre os pequenos produtores, porém, Barbieri, da Athena, nota a resistência em fazer análises de solo, ainda que custem menos de R\$ 80, e o ímpeto em usar fertilizantes, mesmo quando não são necessários. Mas ele também observa avanços nas práticas de conservação do solo. “Antes se pensava que, quanto mais curva de nível [platôs feitos em terrenos íngremes para reduzir a velocidade da água das chuvas e evitar a formação de enxurradas], melhor”, diz. “Hoje é exatamente o contrário. Quanto menos mexer no solo, melhor.” ■



Minerais puros encontrados em solos do Brasil, do acervo da Unesp de Jaboticabal

Os projetos e os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.