

AMOSTRAGEM PARA MAPEAMENTO E MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO NA ABORDAGEM DE AGRICULTURA DE PRECISÃO¹

Álvaro V. Resende²

Antonio Marcos Coelho³

1. INTRODUÇÃO

Os atributos de fertilidade química, física e biológica do solo expressam grande variabilidade espacial e temporal, influenciando o potencial produtivo nos ambientes agrícolas. Considerando que o manejo da adubação constitui-se num dos principais condicionantes da produtividade das culturas, uma boa caracterização edáfica, com utilização frequente da análise de solo, é procedimento básico para nortear a tomada de decisão no gerenciamento agrônomico das lavouras na agricultura moderna. Nesse contexto, a agricultura de precisão (AP) busca maior grau de detalhamento nas informações sobre as condições do solo, para subsidiar decisões de manejo mais acertadas. Dentre as aplicações da AP, as amostragens georreferenciadas de solos permitem mapear as variações de fertilidade dentro das áreas cultivadas e definir intervenções de manejo localizado (ou sítio-específico), visando otimizar o uso de corretivos e fertilizantes, por meio de aplicações a taxa variável conforme a demanda em cada local da lavoura. Tais amostragens oferecem subsídios também para a adoção da semeadura a taxa variável de culturas anuais, bem como para a melhor alocação de culturas e cultivares com níveis de exigência nutricional ou características adaptativas distintas.

Na amostragem tradicional, normalmente, uma ou poucas amostras são tomadas para representar a condição média do solo nos talhões de cultivo de uma propriedade. No caso da amostragem georreferenciada, ao dispor de informações baseadas num número maior de amostras de solo, expressas na forma de mapas de fertilidade, já de início o agricultor usufruirá de melhor entendimento sobre as condições de sua lavoura. Contudo, uma amostragem georreferenciada mal feita poderá afetar negativamente não apenas o manejo do solo, mas também as demais etapas e aplicações da AP, pois distorções nos mapas de atributos do solo poderão fazer com que todas as práticas culturais realizadas no talhão estejam desconectadas da variabilidade real existente naquele ambiente. Nesse artigo são abordados critérios, aspectos práticos e procedimentos relativos ao processo de amostragem de solo para fins de agricultura de precisão, com enfoque na caracterização da variabilidade espacial e temporal da fertilidade de solos para o cultivo de espécies anuais.

2. INTEGRAÇÃO ENTRE PRINCÍPIOS GEOESTATÍSTICOS E VIABILIDADE OPERACIONAL

No manejo da fertilidade do solo via AP, geralmente o terreno é subdividido conforme uma grade amostral regular (*grid*)

Abreviações: Al = alumínio; AP = Agricultura de Precisão; B = boro; Ca = cálcio; Cu = cobre; Fe = ferro; GPS = *Global Positioning System*; K = potássio; Mg = magnésio; Mn = manganês; N = nitrogênio; Na = sódio; P = fósforo; SIG = sistema de informação geográfica; Zn = zinco.

¹ Versão adaptada e ampliada da publicação: RESENDE, A.V.; COELHO, A.M. Muestreo para mapeo y manejo de la fertilidad del suelo. In: MANTOVANI, E. C.; MAGDALENA, C. (Org.). **Manual de agricultura de precisión**. 1. ed. Montevideo: IICA, 2014, v. 1, p. 47-57.

² Pesquisador em Fertilidade do Solo e Adubação, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG; email: alvaro.resende@embrapa.br

³ Pesquisador em Fertilidade do Solo e Adubação, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG; email: antoniomarcos.coelho@embrapa.br

INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

Publicação trimestral gratuita do International Plant Nutrition Institute (IPNI), Programa Brasil. O jornal publica artigos técnico-científicos elaborados pela comunidade científica nacional e internacional visando o manejo responsável dos nutrientes das plantas.

ISSN 2311-5904

COMISSÃO EDITORIAL

Editor

Valter Casarin

Editores Assistentes

Lúis Ignácio Prochnow, Eros Artur Bohac Francisco,
Sílvia Regina Stipp

Gerente de Distribuição

Evandro Luis Lavorenti

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI)

Presidente do Conselho

Norbert Steiner (K+S)

Vice-Presidente do Conselho

Tony Will (CF Industries Holdings, Inc.)

Tesoureiro

Dmitry Osipov (Uralkali)

Presidente

Terry L. Roberts

Vice-Presidente, Coordenador do Grupo da Ásia e África

Kaushik Majumdar

Vice-Presidente, Coordenadora do Grupo do Oeste Europeu/Ásia Central e Oriente Médio

Svetlana Ivanova

Vice-Presidente Senior, Diretor de Pesquisa e Coordenador do Grupo das Américas e Oceania

Tom Bruulsema

PROGRAMA BRASIL

Diretor

Lúis Ignácio Prochnow

Diretores Adjuntos

Valter Casarin, Eros Artur Bohac Francisco

Publicações

Sílvia Regina Stipp

Analista de Sistemas e Coordenador Administrativo

Evandro Luis Lavorenti

Assistente Administrativa

Elisângela Toledo Lavorenti

Secretária

Jéssica Silva Machado

ASSINATURAS

Assinaturas gratuitas são concedidas mediante aprovação prévia da diretoria. O cadastramento pode ser realizado no site do IPNI:

<http://brasil.ipni.net>

Mudanças de endereço podem ser solicitadas por email para:
jmachado@ipni.net

Nº 159 SETEMBRO/2017

CONTEÚDO

Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem da Agricultura de Precisão	
<i>Álvaro V. Resende, Antonio Marcos Coelho</i>	1
O Big Data agrícola no processo produtivo de uma fazenda	
<i>Mauricio Netto, Adriano Morel, Pedro Mokfa</i>	9
Agricultura de precisão a serviço da otimização da adubação	
<i>Alan Acosta, Pedro Magalhães</i>	13
Divulgando a Pesquisa	17
IPNI em Destaque	18
Painel Agrônômico	21
Evento do IPNI	21
Cursos, Simpósios e outros Eventos	22
Publicações Recentes	23
Ponto de Vista	24

NOTA DOS EDITORES

Todos os artigos publicados no Informações Agronômicas estão disponíveis em formato pdf no website do IPNI Brasil: <<http://brasil.ipni.net>>

Opiniões e conclusões expressas pelos autores nos artigos não refletem necessariamente as mesmas do IPNI ou dos editores deste jornal.

FOTO DESTAQUE



Dr. Valter Casarin, Diretor Adjunto do IPNI (à esquerda), com o Engº Agrº Hugo Abelardo González Villalba, um dos vencedor do IPNI Scholar Award de 2017.

com determinado tamanho de malha ou quadrícula, de modo a se efetuar uma amostragem sistemática com pontos georreferenciados. A associação com as coordenadas geográficas possibilita interpolar espacialmente os resultados das análises de solo do conjunto de amostras coletadas e gerar mapas que representem a variabilidade dos atributos de interesse. Uma vez obtidos os produtos das interpolações, como, por exemplo, mapas de disponibilidade de potássio e de saturação por bases no solo, é possível elaborar outros mapas que contenham a prescrição das quantidades de fertilizantes e corretivos necessários em diferentes partes do talhão. Equipamentos aplicadores disponíveis no mercado apresentam dispositivos eletrônicos que reconhecem os mapas de prescrição e mecanismos automáticos que ajustam as doses dos produtos à medida que se deslocam na área a ser manejada a taxas variáveis.

Os dados obtidos com amostragens georreferenciadas visando o mapeamento da fertilidade do solo devem ser processados e validados segundo princípios geoestatísticos, sendo os mapas finalizados e manipulados via sistema de informação geográfica (SIG). Há requerimento de coleta de certo número de amostras para que os dados possam ser analisados geoestatisticamente e sejam obtidos mapas confiáveis.

É importante salientar a escolha do nível de detalhamento com o qual se deseja trabalhar, que está diretamente relacionado à densidade amostral a ser empregada no campo. Respeitando os princípios da geoestatística, pode-se obter bons mapas com cerca de 50 pontos amostrais georreferenciados na área a ser mapeada. Essa referência pode se aplicar a talhões de diferentes tamanhos. Assim, talhões com dimensões superiores a 250 hectares (comuns na região do cerrado no Brasil) poderão contar com um número razoável de amostras mesmo empregando-se grades amostrais pouco densas, com tamanho de quadrícula de área superior a 4 hectares. Obviamente, mantendo-se os 50 pontos amostrais em talhões de menor

dimensão, haverá adensamento da grade amostral, com reflexos positivos na qualidade dos mapas gerados, o que resultará em maior confiabilidade para os fins agrônômicos pretendidos.

A condição principal que viabiliza o uso de um determinado tamanho de quadrícula é que os dados oriundos da amostragem apresentem dependência espacial, ou seja, que exista correlação do valor de um atributo amostrado num local com os valores desse atributo em pontos vizinhos na grade amostral, de modo a permitir estimar dados para os locais não amostrados por meio de interpolação e, assim, gerar um mapa representativo da variação espacial daquele atributo no campo. Logicamente, quanto maior o tamanho de quadrícula, maior será a distância entre os pontos amostrais e menor o grau de similaridade entre os valores medidos. A partir de certa distância, deixa de existir qualquer correlação entre eles, não sendo mais possível detectar dependência espacial.

As pesquisas no Brasil relacionadas à definição do tamanho da quadrícula da grade amostral têm indicado a necessidade de um grande número de pontos amostrais com o intuito de melhor identificar a variabilidade do solo nas lavouras (MACHADO et al., 2004; RESENDE et al., 2006; GIMENEZ; ZANCANARO, 2012). Num Latossolo do cerrado de Goiás, Resende et al. (2006) estudaram grades amostrais numa lavoura de 97,5 hectares, considerando tamanhos de quadrícula variando de 0,25 a 9,0 hectares. Para grades amostrais com quadrículas de até 4 hectares, a geração de mapas respeitando os princípios da geoestatística (obtendo-se dependência espacial) foi possível para os atributos matéria orgânica, potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). A Figura 1 ilustra a situação verificada para o K. No caso do fósforo (P), obteve-se dependência espacial apenas quando se utilizou a amostragem mais densa, com tamanho de quadrícula de 0,25 hectare. A literatura brasileira tem comprovado que, via de regra, os atributos textura, matéria orgânica, pH, K, Ca e Mg apresentam maior continuidade

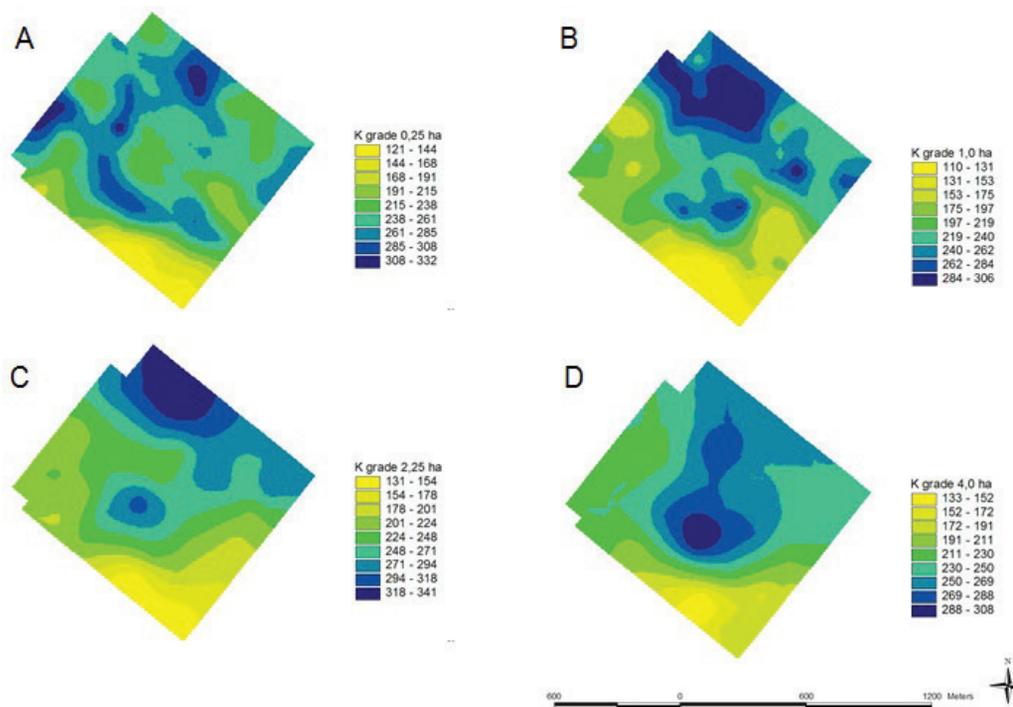


Figura 1. Mapas de teores de potássio (mg dm^{-3}) no solo obtidos a partir de amostragens em grades com quadrículas de 0,25 ha (A), 1,0 ha (B), 2,25 ha (C) e 4,0 ha (D). Note-se que, mesmo existindo dependência espacial nas quatro situações, a conformação das regiões de maior e menor disponibilidade do nutriente modifica-se conforme a densidade amostral, o que levaria à delimitação de zonas para manejo sítio-específico diferentes em cada caso.

Fonte: Adaptada de Resende et al. (2006).

espacial do que P e micronutrientes. Ou seja, para esses últimos há maior probabilidade de não se encontrar dependência espacial em amostragens pouco densas.

A recomendação do tamanho de malha para amostragem de solos varia em função da resolução desejada (“precisão” do mapeamento) associada aos custos. Malhas mais densas proporcionam maior fidedignidade dos mapas, mas aumentam a necessidade de mão de obra e o número de amostras a serem coletadas, refletindo-se no gasto com análises de solo e no custo final do manejo com AP.

Devido aos elevados custos de amostragem e de análises de fertilidade, há dificuldade em se aliar o rigor geoestatístico com a viabilidade econômica e operacional para a caracterização da fertilidade do solo em escala comercial. A necessidade de compatibilização técnica e econômica vem sendo considerada e, atualmente, a maioria das empresas prestadoras de serviços de AP no Brasil adota grades amostrais com tamanho de quadrícula de 1 a 4 hectares. Num passado recente, ainda se trabalhava com quadrículas com área acima de 5 hectares e, algumas vezes, acima de 10 hectares nas lavouras de grande extensão.

Contudo, essa escolha deve ser criteriosa e, sem dúvida, a utilização de grades amostrais mais densas, com quadrícula de 1 hectare, por exemplo, é recomendável ao se iniciar na agricultura de precisão e também de forma intercalada com amostragens menos densas, aprimorando-se o diagnóstico da evolução da lavoura frente às intervenções ao longo do tempo. Ao se ponderar os custos, é preciso considerar que, geralmente, as informações obtidas dos mapas de fertilidade podem ser utilizadas por um período de até três anos. Outro aspecto importante é que a amostragem georreferenciada de solo deve resultar em maior eficiência no uso de corretivos e fertilizantes, podendo levar à redução no gasto global com esses insumos.

3. PRÉ-REQUISITOS PARA UMA AMOSTRAGEM REPRESENTATIVA

A ocorrência de variações de produtividade dentro de uma área de cultivo é o pressuposto básico que justifica trabalhar com AP. O ponto chave é demarcar os locais dessas variações e identificar as suas causas, para então definir a melhor estratégia de manejo para cada local. A variabilidade do solo detectada num talhão precisa ser agronomicamente relevante, a fim de que justifique o manejo localizado, evitando que se realizem intervenções diferenciadas porém inúteis ou desnecessárias. Nesse quesito, são demandadas técnicas que permitam otimizar o esforço amostral, mantendo a confiabilidade na recomendação do manejo sítio-específico.

Tendo em vista a eficiência do processo de amostragem de solo para AP, esta operação não deve se limitar à determinação dos contornos georreferenciados do talhão e sobreposição de uma grade amostral pré-definida por meio de um programa de computador, expediente comumente utilizado pelos prestadores de serviço. Se o objetivo da utilização da AP é detalhar o diagnóstico da fertilidade do solo, procedimentos adicionais de caracterização dos talhões devem ser associados para melhor direcionar a etapa de amostragem. Sobretudo quando se trata de uma área extensa, outros tipos de informação georreferenciada podem ser importantes para orientar sua subdivisão em partes mais homogêneas, que deverão ser amostradas e mapeadas isoladamente, caso seja conveniente.

Assim, aspectos normalmente observados para a amostragem tradicional são válidos também para a amostragem georreferenciada. As diferenças de cor do solo, de cobertura vegetal, de histórico de uso anterior (incluindo o histórico de erosão/degra-

dação eventual), de textura, de relevo e de drenagem costumam ter implicações sobre a fertilidade do solo e o potencial produtivo ao longo das áreas de cultivo, sugerindo a necessidade de uma estratificação prévia em subambientes. Mapas de classificação de solos, cartas topográficas, imagens de satélite, fotografias aéreas, índices de vegetação determinados por meio de sensores específicos e outras formas de sensoriamento remoto permitem identificar padrões contrastantes que podem ser utilizados na identificação de subambientes que devem ter o solo amostrado e mapeado de forma individualizada. Sensores de condutividade elétrica, de pH e de matéria orgânica também vêm sendo empregados para a detecção de zonas contrastantes de solo na agricultura comercial em alguns países, mas ainda requerem mais estudos visando sua validação e calibração para as condições de solos tropicais.

Um subsídio de grande relevância à delimitação de zonas homogêneas para amostragem direcionada do solo é a identificação de subáreas de produtividade diferenciada dentro dos talhões. O registro de dados de produtividade realizado com sensores embarcados nas colhedoras exige processamento posterior, mas, dada a quantidade de mensurações realizadas, cerca de um registro a cada dois segundos, o mapa de produtividade devidamente gerado constitui informação extremamente detalhada e confiável.

Dados de produtividade de um talhão obtidos numa sequência de três ou mais safras, mesmo com diferentes culturas, podem ser relativizados e integrados num único mapa, revelando subambientes estáveis, que consistentemente apresentam potencial produtivo distinto ao longo do tempo (por exemplo: partes do talhão que sempre produzem mais e outras que sempre produzem menos). Além de ser útil para orientar a amostragem de solo e a adubação a taxa variável, esse tipo de informação abre a possibilidade de se aplicar outras abordagens de AP, tais como adubação baseada na exportação de nutrientes na colheita, alocação preferencial de espécies/cultivares com maior/menor exigência ou responsividade à fertilidade do solo, e semeadura a taxa variável. A cultura do milho costuma expressar de forma mais nítida as diferenças de potencial produtivo entre locais da lavoura. Nas mesmas condições, a soja, mais rústica e com capacidade de compensar limitações ambientais, tende a exibir menor amplitude nas medidas de produtividade.

O conhecimento do histórico de uso e de eventuais variações no manejo do solo e de insumos em diferentes partes do talhão é um aspecto imprescindível na estratificação de subambientes para amostragem individualizada. Áreas que atualmente formam um único talhão podem ter sido abertas ao cultivo em épocas distintas. A utilização de calcário e fertilizantes por períodos de tempo diferentes cria “impressões digitais” no solo que não podem ser “apagadas” pelo manejo mais recente, induzindo a formação de zonas com fertilidade diferencial. Para se identificar esse tipo de situação, é fundamental a interação com o produtor ou com pessoas que estão diretamente ligadas ao dia a dia da condução das lavouras. Mesmo a partir de observações empíricas, eles podem auxiliar muito na interpretação de mapas de produtividade e na tomada de decisão para o manejo localizado em diferentes partes do talhão.

Enfim, critérios baseados em características topográficas do talhão, cor do solo, atributos físicos, profundidade do solo, espessura do horizonte A, drenagem, dados de sensoriamento remoto, mapas de produtividade, mapas de condutividade elétrica, histórico de uso, além de critérios conjugados, podem ser utilizados para orientar a delimitação de subambientes para amostragens de interesse. Essa estratégia deve ser sempre buscada a fim de se aprimorar o manejo da fertilidade do solo via AP.

4. PROCEDIMENTOS NA AMOSTRAGEM GEORREFERENCIADA

Um conjunto de ações deve ser executado de forma planejada, visando obter uma boa amostragem de solo para fins de AP. Vários métodos podem ser empregados para identificar, caracterizar e entender a variabilidade dos atributos dos solos, mas o processo que tem sido mais utilizado para a amostragem sistematizada e mapeamento intensivo do solo consiste no estabelecimento de uma grade amostral regularmente distribuída no campo (Figura 2), a qual permite o processamento geoestatístico e posterior interpolação dos dados de análise de solo para geração dos mapas diagnósticos da fertilidade.

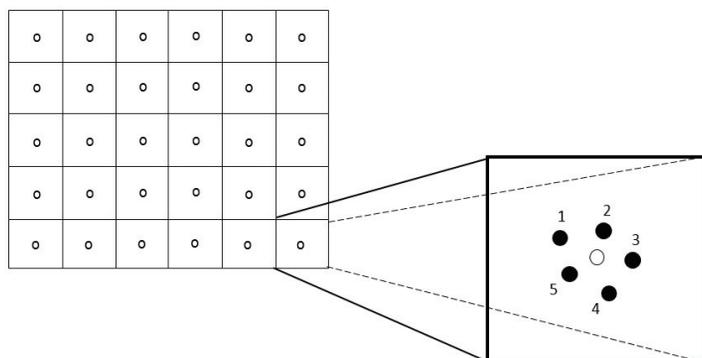


Figura 2. Esquema ilustrativo de uma grade amostral regular. No detalhe, locais de coleta de amostras simples próximos (3 a 6 metros) ao ponto central da quadrícula.

Fonte: elaborada por Álvaro Resende.

O procedimento ilustrado na Figura 2 atende aos critérios geoestatísticos, mas pode ser questionado quanto à representatividade das amostras no que diz respeito ao enfoque agrônomo. Muitas vezes, cada quadrícula da grade amostral tem uma grande área superficial, comumente acima de 1 hectare, e a coleta de solo somente nas proximidades (3 a 6 metros) do ponto central suscita dúvidas sobre a efetividade da amostragem assim executada, ou seja, o *status* de um determinado atributo do solo na quadrícula pode não estar bem representado na amostra pontual que irá gerar o valor a ser interpolado em relação a outros pontos relativamente distantes, localizados nas quadrículas vizinhas. Uma tentativa de contornar essa possível distorção consiste em se coletar as amostras simples ao longo de uma trajetória de deslocamento do amostrador, de modo a distribuir os locais de coleta numa área maior dentro da quadrícula, em diagonal ou zigue-zague, conforme as opções mostradas na Figura 3. Geralmente, essa forma de amostragem tem sido economicamente viável para o manejo da fertilidade do solo com aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável.

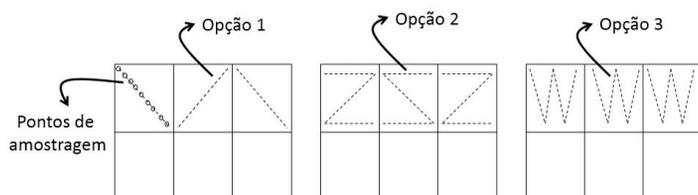


Figura 3. Esquema ilustrativo de algumas opções de deslocamento utilizadas por prestadores de serviço de agricultura de precisão para coleta de amostras simples ao longo de uma grade amostral. A identificação da amostra composta é associada às coordenadas geográficas do ponto central da quadrícula.

Fonte: elaborada por Álvaro Resende.

Os procedimentos que vão desde a amostragem georreferenciada de solo até as aplicações de nutrientes a taxa variável representam os serviços de AP mais amplamente disseminados aos agricultores. Empresas especializadas empregam amostradores hidráulicos de solo adaptados em quadriciclos (Figura 4) ou caminhonetes com GPS (*Global Positioning System*) para as coletas a campo, processam os resultados de análise por meio de programas computacionais de geoestatística e utilizam algum programa de SIG para produzir os mapas diagnósticos e de prescrição de insumos, os quais são reconhecidos pelos equipamentos distribuidores de corretivos e fertilizantes a taxa variável.



Figura 4. Amostrador hidráulico tipo broca (foto menor) montado em quadriciclo – equipamento comumente utilizado na amostragem georreferenciada de solo. O GPS é o dispositivo de cor branca acoplado à frente do veículo, ao lado da caixa de armazenamento de amostras.

Crédito das fotos: Álvaro Resende.

A amostragem de solo para aplicação da AP normalmente inicia-se pela obtenção, com GPS, dos contornos georreferenciados do talhão ou, se for o caso, dos subambientes a serem mapeados de forma independente, conforme comentado no tópico anterior. Uma vez definida a densidade da malha amostral (a qual recomenda-se que seja de quadrículas com área de 1 hectare ou menos para um primeiro mapeamento da fertilidade), a grade contendo os pontos de coleta de solo é ajustada aos contornos do talhão e plotada com utilização de um programa de navegação e posicionamento por satélite. Na sequência, as informações da grade e dos pontos de coleta georreferenciados são transferidos para o GPS e, a partir de então, o amostrador pode ir ao campo e realizar a amostragem seguindo as coordenadas geográficas dos respectivos pontos de coleta das amostras simples.

Cada amostra composta, referente a uma quadrícula, precisa ser adequadamente identificada por um código para envio ao laboratório de análises. A esse código devem estar associadas informações como a identificação do talhão, a profundidade de coleta do solo e, logicamente, as coordenadas geográficas do ponto central da quadrícula, as quais permitirão o processamento dos resultados da análise de solo em programas geoestatísticos e SIG.

Para um tratamento geoestatístico satisfatório e obtenção de mapas mais representativos, o ideal é que o talhão seja caracterizado com um mínimo de 40 a 50 amostras compostas, que representarão 40 a 50 dados georreferenciados para a determinação de modelos

de variabilidade espacial de atributos do solo na área. Bons modelos matemáticos é que possibilitarão as interpolações e estimativas mais realistas de valores dos atributos nos locais não amostrados, gerando mapas mais confiáveis. Essa premissa do número mínimo de amostras compostas pode ser considerada no momento de definição da densidade da malha amostral. Como o processamento de dados georreferenciados da forma desejável exige certo grau de conhecimento técnico, existem programas computacionais que realizam essa tarefa de maneira automática, mediante modelos padronizados. Essa é uma opção mais acessível aos usuários em geral, mas que pode penalizar a qualidade da informação obtida.

Os solos explorados com culturas anuais apresentam atributos químicos (por exemplo: pH, matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes) e físicos (por exemplo: textura e compactação) que variam horizontal e verticalmente (Figura 5). Além das variações pedogenéticas devidas à influência dos materiais de origem e dos fatores de formação do solo, a ação antrópica representa uma constante fonte de variabilidade decorrente das operações de uso e manejo. É bem conhecida a variabilidade horizontal oriunda das diferenças de fertilidade química nas linhas e entrelinhas de lavouras condu-

zidas sob plantio direto com adubação no sulco de semeadura. De forma análoga, o acúmulo de nutrientes menos móveis na camada mais superficial do perfil cria uma estratificação que corresponde à variabilidade vertical. Assim, é importante atentar para uma melhor definição dos locais exatos e da profundidade de coleta de amostras no campo, de acordo com as características e histórico do talhão.

Quando é visível a posição das linhas de adubação do cultivo anterior, deve-se padronizar a coleta de solo apenas nas entrelinhas ou manter uma proporção fixa de amostras simples coletadas nas linhas e nas entrelinhas (por exemplo: obter 1/3 ou 1/4 das amostras simples na linha). Esse cuidado visa prevenir o risco de ocorrência de valores muito discrepantes nos resultados das análises (*outliers*), o que pode prejudicar a qualidade do mapeamento a ser feito.

A profundidade de coleta deve ser definida conforme as mesmas premissas consideradas na amostragem tradicional. O mais comum é se caracterizar a camada de 0 a 20 cm de profundidade. Amostragens estratificadas (por exemplo: 0 a 10 cm; 10 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade) podem ser convenientes para determinadas situações em que se faz necessário um melhor diagnóstico das condições de fertilidade no perfil.

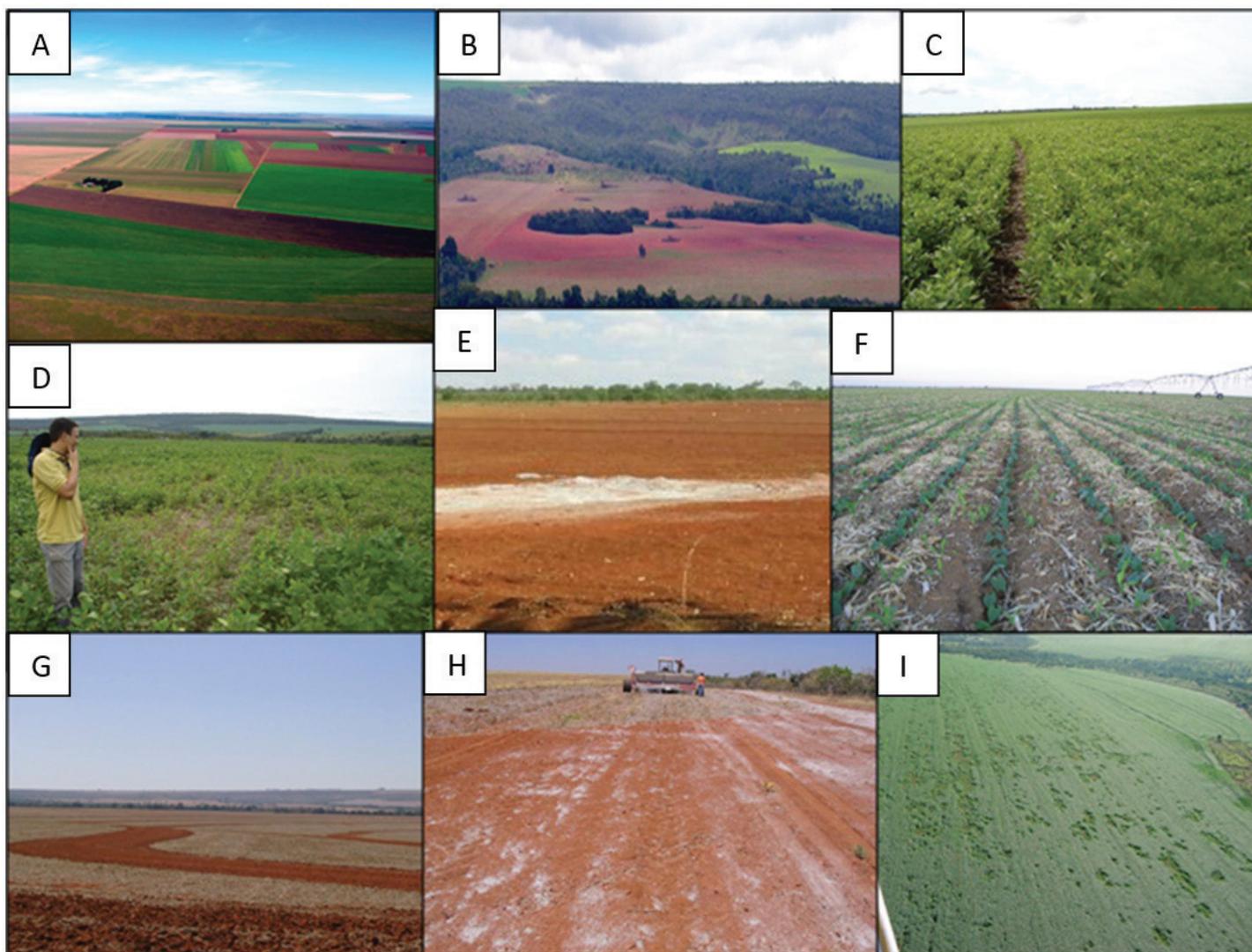


Figura 5. Fatores frequentemente associados a variações pontuais de fertilidade do solo e que podem constituir fontes de erros ou distorções nos mapas gerados a partir da amostragem georreferenciada. Diferenças de histórico de uso e manejo a curta distância (A); mudanças abruptas de relevo ou mineralogia (B); falhas de plantas ou reboleiras improdutivas onde não há absorção de nutrientes aplicados na linha de semeadura (C, D); locais de depósito de calcário na lavoura (E); linhas de adubação que mantêm residual de fertilizantes (F); rebaixamento de terraços com exposição de subsolo (G); aplicação desuniforme de fertilizantes e corretivos (H) e lavouras que promovem exportação heterogênea de nutrientes (I).

Crédito das fotos: A – Marina Vilela; B e I – Luciano Shiratsuchi; C, D, E, F, G e H – Álvaro Resende.

Na amostragem tradicional para análises de fertilidade, o número de amostras simples recomendado para a formação de uma amostra composta varia de 20 a 30, com o objetivo de garantir boa representatividade. Na prática da amostragem para AP, dada a demanda de mão de obra para maior intensidade de coleta na área a ser mapeada, o número de amostras simples tem ficado entre 5 e 10 por quadrícula. Todavia, uma recomendação mais criteriosa indica que esse número não deve ser inferior a 10.

Embora existam opções de equipamentos com maior grau de automação no processo de amostragem, em princípio, qualquer tipo de amostrador de solo pode ser usado para AP, bastando que seja empregado juntamente com um GPS. O importante é que cada amostra enviada ao laboratório possa ser associada às coordenadas geográficas do local de coleta.

As principais determinações analíticas, que possibilitarão identificar o nível de fertilidade do solo no talhão e serão a base para as recomendações de manejo localizado de corretivos e fertilizantes, são: pH, cátions trocáveis (Al, Ca, Mg, K e, eventualmente, Na), P disponível, matéria orgânica e granulometria (areia, silte e argila). Normalmente, para redução de custos, a análise granulométrica não é feita para todos os pontos da malha, mas em um número menor de amostras distribuídas de forma esparsa no talhão. A determinação da disponibilidade de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) é bastante útil no diagnóstico da fertilidade, embora ainda seja incomum o manejo de micronutrientes com aplicações a taxa variável.

A frequência de amostragem deve ser tanto maior quanto mais intensiva for a utilização do solo. Quando se trabalha com duas ou mais safras ao ano, com adubações a cada cultivo, é maior a necessidade de monitoramento das alterações nas condições de fertilidade do solo na lavoura. Assim, as amostragens devem ser realizadas em intervalos de 1 a 3 anos, condicionadas a uma ponderação de custo/benefício. Nesse aspecto, deve-se ter em mente que o ponto forte da AP é o aperfeiçoamento do processo decisório no manejo da propriedade agrícola como um todo, não devendo se restringir à aplicação das tecnologias disponíveis para o fornecimento de nutrientes. Sob essa ótica, parte do retorno do investimento em amostragem do solo não será imediato, mas proveniente das melhorias nas decisões gerenciais ao longo do tempo. Os demais procedimentos e cuidados requeridos na amostragem georreferenciada são os mesmos tradicionalmente preconizados para a coleta, manuseio e preparação de amostras de solo para análises de fertilidade.

Cabe enfatizar que a descrição do comportamento espacial por meio da geoestatística constitui uma abordagem eficiente para atributos cuja variabilidade depende essencialmente de processos naturais (por exemplo: aqueles associados às características de formação do solo, como a textura e a mineralogia) e que tendem a permanecer estáveis ao longo do tempo. Existem complicadores que tornam mais complexa a caracterização da variabilidade do solo em áreas agrícolas, especialmente no caso da fertilidade química (por exemplo: teores de nutrientes). A distribuição espacial de locais que tiveram os teores de nutrientes alterados por falhas ou desuniformidade no manejo nutricional (calagem, adubação) das culturas é aleatória (Figura 5), implicando em descontinuidade no padrão de variabilidade dos nutrientes. Amostras coletadas em locais com condições muito discrepantes na lavoura, e sem expressão em termos de área (*outliers*), influenciam no procedimento de interpolação e podem distorcer os mapas de fertilidade. Quando devidamente identificados, os dados que constituem *outliers* devem ser desconsiderados.

Em áreas extensas de cultivos anuais no cerrado brasileiro, parte das amostragens para AP ainda vem sendo feita em malhas

pouco densas, sendo frequentes tamanhos de quadrícula acima de 4 hectares. Nessa situação, as estimativas de valores de atributos do solo para os locais situados entre os pontos amostrais podem ser muito diferentes da realidade, com prejuízo para a qualidade do manejo com AP. Para minimizar esse problema, Gimenez e Zancanaro (2012) sugeriram que se utilize a amostragem em células, na qual cada célula corresponde a uma quadrícula da grade amostral onde são coletadas 20 amostras simples percorrendo-se toda a sua área. O valor assim obtido para um dado atributo passa a constituir o valor médio para a área total daquela célula e não se faz o procedimento de interpolação. Desse modo, elimina-se a possibilidade de uma amostra problemática afetar a conformação do mapa diagnóstico, uma vez que o valor referente a uma célula não é relacionado aos das células vizinhas para a composição desse mapa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a fatores como qualidade das operações de adubação e correção do solo, eventual ocorrência de locais com problema de sanidade na lavoura, além da própria colheita (exportação de nutrientes) e disposição da palhada (créditos de nutrientes) a cada cultivo, acumulam-se interferências que levam à modificação dos padrões de variabilidade numa mesma área ao longo do tempo. Assim, dificilmente os padrões espaciais encontrados para os atributos de fertilidade química do solo numa área são extrapoláveis para outras ou se mantêm inalterados com o passar do tempo, independentemente de se utilizar ou não o manejo sítio-específico (Figuras 6 e 7). Decorre, então, que a AP no manejo de solo deve se voltar para o monitoramento dos talhões numa perspectiva de ajustes contínuos ao longo do tempo, utilizando-se não apenas de amostragens periódicas de solo, mas de toda ferramenta que agregue e permita detalhar informações sobre a variabilidade espacial e temporal da fertilidade nas áreas de cultivo.

Como relatado, o mapeamento com o emprego de grades amostrais apresenta imperfeições, e a economicidade desse procedimento poderá inviabilizar a continuidade da AP em fertilidade do solo nos moldes atuais, à medida que os ganhos financeiros se tornem menos compensadores ao produtor após as primeiras intervenções. É sabido que, no tocante ao componente edáfico, a produtividade em diferentes partes de uma lavoura depende de características do terreno, como a posição no relevo, o tipo de solo, a textura e a capacidade de retenção de umidade, que interagem com a fertilidade química. Portanto, um diagnóstico preliminar das causas de variação da produtividade, considerando esses componentes, possibilita direcionar as amostragens, reduzir o número de pontos de coleta e otimizar custos, além de melhorar a qualidade das informações expressas nos mapas de fertilidade e aumentar a confiabilidade na tomada de decisão quanto ao manejo localizado.

Por fim, cabe lembrar que raramente se verifica alta correlação entre um fator de produção isolado, seja ele edáfico ou não, e a produtividade em áreas consolidadas de produção tecnificada. Assim, os fatores de produção relacionados à fertilidade do solo e manejáveis com o uso de corretivos e fertilizantes compõem apenas uma parcela dos condicionantes da produtividade final de uma lavoura. Atributos físicos do solo como textura, densidade, porosidade e capacidade de armazenamento de água podem ter grande importância relativa na determinação da produtividade, assim como outros fatores abióticos e bióticos que nem sempre são considerados na AP. Essas constatações reforçam a necessidade de se trabalhar com uma abordagem transdisciplinar na aplicação da AP, visando melhor aproveitar o seu potencial na busca de maior eficiência no gerenciamento da propriedade agrícola.

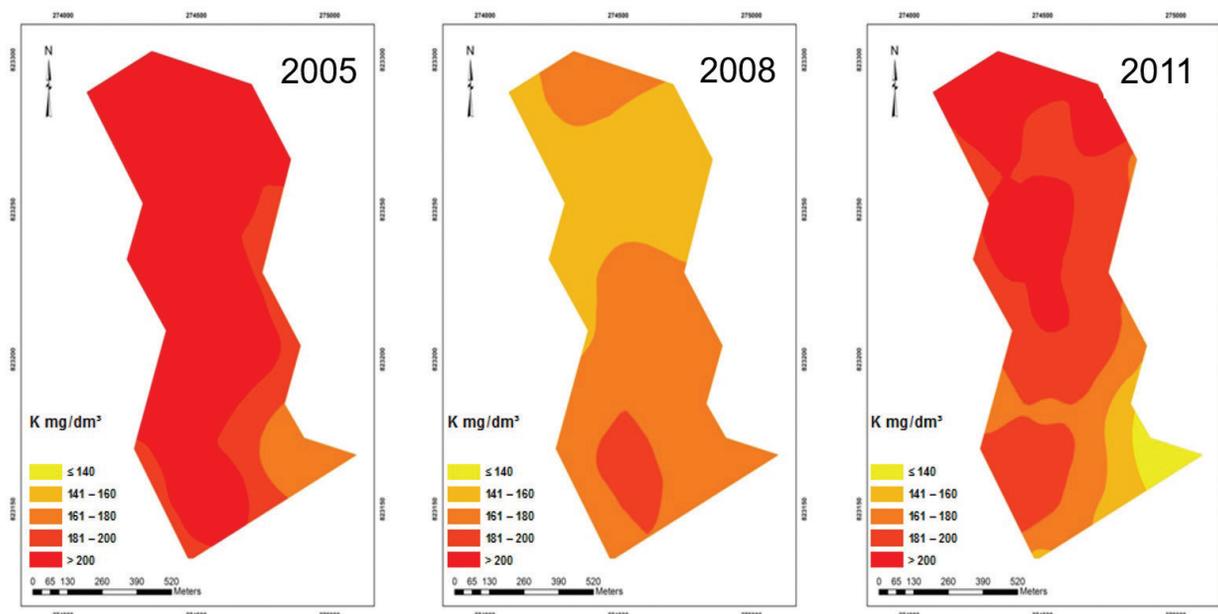


Figura 6. Diferentes padrões de variação da disponibilidade de potássio (K) no solo a partir de amostragens em malha de 2 ha, realizadas em 2005, 2008 e 2011, em lavoura de 119 ha, manejada com adubação a taxa uniforme.

Fonte: Wilda (2013).

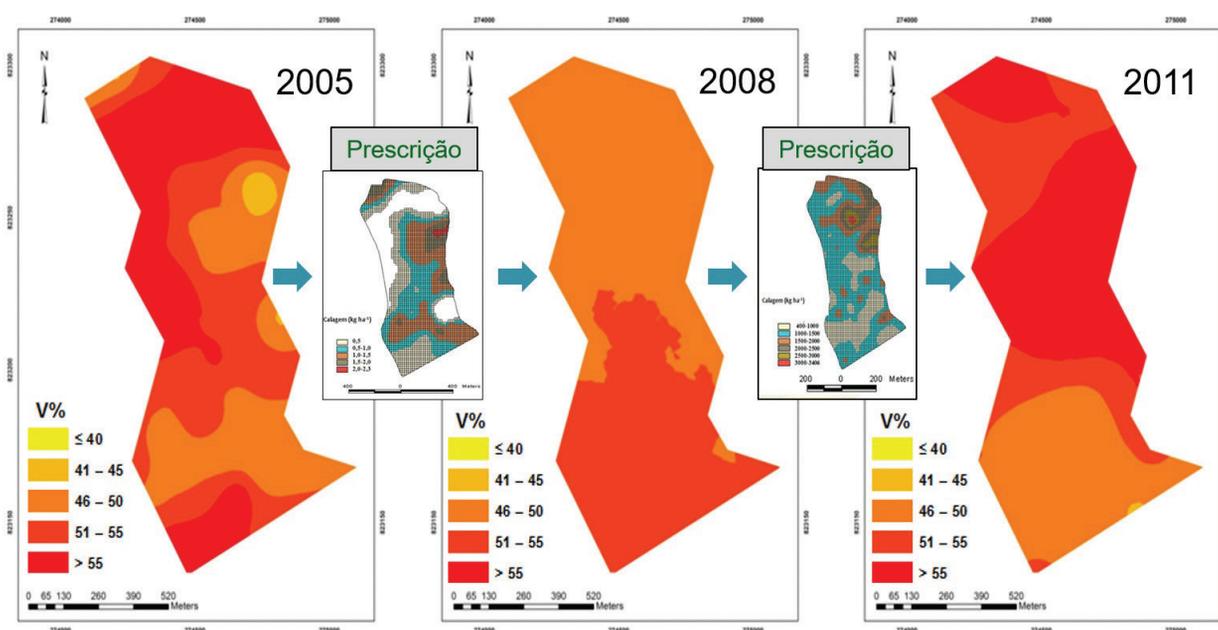


Figura 7. Variação da saturação por bases (V%) no solo a partir de amostragens em malha de 2 ha, realizadas em 2005, 2008 e 2011, em lavoura de 119 ha, manejada com calagem a taxa variável. Nota-se que depois de seis anos, após dois ciclos de amostragem do solo e aplicação diferencial de calcário, ainda não se evidencia plena uniformização da área, havendo certa alternância da localização de zonas com maior acidez no talhão.

Fonte: Wilda (2013).

6. REFERÊNCIAS

GIMENEZ, L. M.; ZANCANARO, L. Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica de amostragem em grade. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 138, p. 19-25, 2012.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. et al. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja. In: MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 115-129.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; SENA, M. C.; KRAHL, L. L.; OLIVEIRA, J. V. F.; CORRÊA, R. F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro, SP. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006. (CD-Rom).

WILDA, L. R. M. **Amostragem georreferenciada e aplicação à taxa variável de corretivos e fertilizantes: dinâmica da fertilidade do solo em lavouras de grãos no cerrado**. 2013. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.