



ZONAS DE MANEJO PARA AMOSTRAGEM DE SOLO E PRESCRIÇÃO DE FERTILIZANTES: CONCEITOS, POTENCIAIS E LIMITAÇÕES

LUCAS RIOS DO AMARAL¹

¹ Professor Associado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - lucas.amaral@feagri.unicamp.br

A agricultura de precisão, amplamente adotada no país, foi sustentada desde o início de sua adoção, em meados dos anos 2000, pela amostragem de solo em grade, seguida pela interpolação dos dados do laboratório de análise para a criação dos mapas de fertilidade e de recomendação de fertilizantes em doses variadas. No entanto, há consenso de que essa investigação demanda alto investimento para ser realizada de forma eficaz e que, portanto, muitas vezes o número de amostras, também chamado de densidade amostral, fica aquém do ideal para a correta caracterização da variabilidade química dos solos agrícolas. Assim, nos últimos anos tem crescido o interesse pelo processo de amostragem de solo baseado em zonas de manejo. Aqui já fica a ressalva de que o termo “zona de manejo”, do inglês *management zone*, pode ser entendido como um termo mais amplo, sendo sua delimitação utilizada para todo um pacote de manejo que não apenas a amostragem de solo e prescrição de fertilizantes, como apresentamos no livro Agricultura de Precisão (Molin; Amaral; Colaço, 2015), e que, por consequência, optamos por referenciá-la como “Unidade de Gestão Diferenciada (UGD)”. Assim, deixo claro que aqui neste texto me refiro às zonas para amostragem de solo.

A diferenciação entre os dois métodos de amostragem (grade *versus* zonas) é clara: sai-se de um cenário dependente de uma alta quantidade de amostras de solo, que podem gerar uma variação contínua de doses de fertilizante ao longo da lavoura, para um cenário onde uma única amostra, composta por

subamostras, poderia diagnosticar adequadamente a fertilidade de cada zona, ou seja, subentende-se que um valor médio para cada atributo do solo é o mais adequado para representar toda uma zona de manejo. Apresento, na Figura 1, um exemplo que compara os mapas resultantes de cada abordagem. Em outras palavras, esse método é um refinamento do método de amostragem ensinado nas disciplinas de fertilidade do solo e adubação dos cursos de Agronomia e afins, em que as áreas são divididas em glebas homogêneas e, em cada gleba, coletam-se subamostras que representarão uma amostra composta a ser enviada ao laboratório para o diagnóstico da fertilidade química. Entretanto, com as diversas opções de ferramentas digitais existentes hoje, essas glebas homogêneas (ou seja, zonas de amostragem) passam a ser virtuais e a ter diferentes formatos e tamanhos, não precisando seguir os limites “arbitrários” dos talhões ao longo das fazendas, mais ligados a questões logísticas.

Porém, tenho observado, ao longo dos anos, nas oportunidades de interação com os usuários em minhas palestras, treinamentos e consultorias, que falta clareza na comunidade da AP sobre um ponto crucial na delimitação das zonas de amostragem: para que a delimitação das zonas de manejo seja adequada para agrupar solos com características químicas semelhantes, é fundamental que as variáveis usadas para delimitar tais zonas tenham relação espacial com os atributos de solo. A possibilidade de camadas de informação (variáveis auxiliares) é ampla, como a condutividade elétrica aparente

do solo, mapas de produtividade, imagens de satélite, mapas topográficos, entre outros, mas a escolha correta entre essa vasta gama de opções é o que garantirá o retorno adequado dessa abordagem de prescrição de fertilizantes em doses variadas.

Há diversos protocolos e ferramentas para a construção/delimitação das zonas de manejo publicados na literatura científica (Castrignanò *et al.*, 2017; Córdoba *et al.*, 2016; Hamed Javadi; Guerrero; Mouazen, 2022; Jovanović *et al.*, 2025; Melo; Cunha; Amaral, 2025; Oldoni *et al.*, 2025; Paccioretti; Córdoba; Balzarini, 2020; Scudiero *et al.*, 2018; Sobjak *et al.*, 2024), embora haja poucos que focaram especificamente em zonas para amostragem de solo (Kerry *et al.*, 2024; Melo; Cunha; Do Amaral, 2026; Peralta; Costa, 2013; Valente *et al.*, 2024). Em suma, as etapas fundamentais são: 1) Escolha das variáveis auxiliares; 2) Análise de agrupamento (cluster) com padronização das variáveis para a mesma escala de valores; e 3) definição do número e/ou tamanho mínimo/máximo das zonas. Dessa forma, é natural que haja subjetividade e, de certa forma, baixa reprodutibilidade nos mapeamentos de zonas realizados; seu resultado depende fortemente do conhecimento técnico do analista/consultor e, em muitas situações, a consulta ao agricultor/técnico que conhece a lavoura se mostra fundamental para demarcar as zonas e levantar hipóteses sobre suas características. Tenho confiança de que, muitas vezes, sentar-se à mesa com o agricultor e mostrar-lhe algumas camadas de informação já permitiria uma boa delimitação de zonas desenhadas manualmente sobre um mapa de referência. As ferramentas digitais podem ajudar nisso, mas é pouco provável que consigam eliminar completamente a dependência do conhecimento tácito dos técnicos de campo, bem como da experiência e da sensibilidade do agricultor.

Retomando, o ponto central nessa estratégia de delimitação de zonas de amostragem reside na necessidade de haver correlações entre as variáveis auxiliares disponíveis (sejam de fontes gratuitas ou levantadas especificamente para isso) e os atributos de interesse do mapeamento. Não

tem sentido usar uma camada de informação para delinear as zonas se ela não tiver correlação real com os atributos que se quer medir (muitas das vezes são P, K, CTC e V% para recomendação dos fertilizantes fosfatados, potássicos e calcário). A pergunta que precisa ser feita é: esta variável realmente tem relação com ao menos um desses atributos? Se essa relação não existir, todo o serviço de amostragem e recomendação de fertilizantes em doses variadas pode ser comprometido.

Para quem já tem dados coletados, fica a provocação: faça um teste, relacione as variáveis, selecione as que têm alguma relação com os atributos do solo, aplique o procedimento de delimitação de zonas e verifique se elas seriam eficientes para agrupar pontos de solo com características semelhantes. A métrica de redução da variância (VR%) apresentada por Melo *et al.* (2025) é uma forma interessante de avaliar se as zonas contemplam adequadamente a variabilidade dos atributos do solo.

Para quem não tem dados disponíveis, por que não iniciar a investigação em uma área realizando uma amostragem esparsa? Considere 5 ou 10 hectares por amostra, preferencialmente em pontos que possam ser direcionados com base em variáveis auxiliares já disponíveis, para, na sequência, testar as relações entre as variáveis. Caso obtenha boas correlações, na próxima oportunidade de amostragem (safra seguinte), empregue a amostragem por zonas de forma mais assertiva. Inclusive, fica uma ressalva: se o solo for extremamente variável, uma zona de amostragem poderá abranger uma amplitude muito grande de valores dos atributos do solo, mas isso não quer dizer que a amostragem em grade seguida por interpolação dos dados seria melhor; tenho confiança de que “não seria”; também os provoco a realizarem esse teste! Obviamente esse material não esgota o assunto e assumo que a academia precisa gerar diretrizes claras para os usuários (estamos caminhando nisso), mas fica a provocação técnica

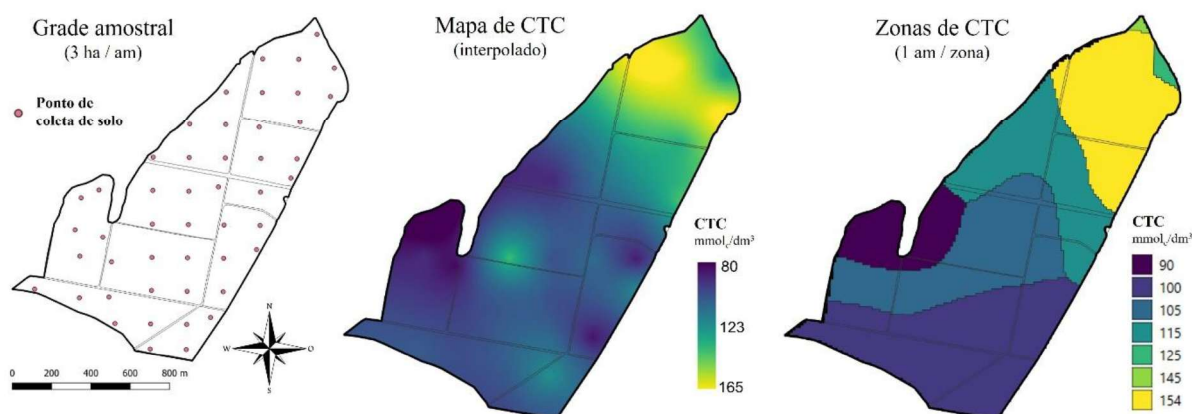


Figura 1. Área de produção de grãos composta por 10 talhões, totalizando aproximadamente 100 hectares: à esquerda, a grade amostral, com coleta de uma amostra de solo composta a cada 3 hectares; no centro, o mapa de CTC do solo após a interpolação dos dados; à direita, o mapa de CTC do solo gerado a partir de uma amostra composta de solo coletada em cada zona de amostragem.

Referências

- CASTRIGNANÒ, A.; BUTTAUFUOCO, G.; QUARTO, R.; VITTI, C.; LANGELLA, G.; TERRIBILE, F.; VENEZIA, A. A Combined Approach of Sensor Data Fusion and Multivariate Geostatistics for Delineation of Homogeneous Zones in an Agricultural Field. *Sensors*, v. 17, 12, 2017.
- CÓRDOBA, M. A.; BRUNO, C. I.; COSTA, J. L.; PERALTA, N. R.; BALZARINI, M. G. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. *Biosystems Engineering*. v. 143, 2016.
- HAMED JAVADI, S.; GUERRERO, A.; MOUAZEN, A. M. Clustering and Smoothing Pipeline for Management Zone Delineation Using Proximal and Remote Sensing. *Sensors* v. 22, 2, 2022.
- JOVANOVIĆ, D.; GOVEDARICA, M.; GAVRILOVIĆ, M.; ČABILOVSKI, R.; VAN DER WAL, T. Multi-Source Data Integration for Sustainable Management Zone Delineation in Precision Agriculture. *Sustainability (Switzerland)*. v. 17, 15, 2025.
- KERRY, R.; INGRAM, B.; OLIVER, M.; FROGBROOK, Z. Soil sampling and sensed ancillary data requirements for soil mapping in precision agriculture I. delineation of management zones to determine zone averages of soil properties. *Precision Agriculture*, v. 25, 3, 2024.
- MELO, D. D.; CUNHA, I. A.; AMARAL, L. R. Precision Zones: An Open-Source QGIS Plugin for Management-Zone Segmentation in Precision Agriculture. *AgriEngineering*, v. 7, 12, 2025.
- MELO, D. D.; CUNHA, I. A.; AMARAL, L. R. Optimizing the number of subsamples for characterization of soil attributes in management zones. *Engenharia Agrícola*. v. 46, e20250063, 2026.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. *Agricultura de Precisão*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- OLDONI, H.; MAGALHÃES, P. S. G.; OLIVEIRA, A. L. G.; LIMA, J. P.; FIGUEIREDO, G. K. D. A.; MORO, E.; AMARAL, L. R. Management zones delineation: a proposal to overcome the crop-pasture rotation challenge. *Precision Agriculture*, v. 26, 1, 2025.
- PACCIORETTI, P.; CÓRDOBA, M.; BALZARINI, M. FastMapping: Software to create field maps and identify management zones in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. v. 175, 2020.
- PERALTA, N. R.; COSTA, J. L. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture*. v. 99, 2013.
- SCUDIERO, E.; TEATINI, P.; MANOLI, G.; BRAGA, F.; SKAGGS, T. H.; MORARI, F. Workflow to Establish Time-Specific Zones in Precision Agriculture by Spatiotemporal Integration of Plant and Soil Sensing Data. *Agronomy*, v. 8, 11, 2018.
- SOBJAK, R.; SOUZA, E. G. De; BAZZI, C. L.; HACHISUCA, A. M. M. AgDataBox-Map - A web application for creating thematic maps and management zones: users' evaluation. *Caderno Pedagógico*. v. 21, 12, 2024.
- VALENTE, D. S. M.; PEREIRA, G. W.; DE QUEIROZ, D. M.; ZANDONADI, R. S.; AMARAL, L. R.; BOTTEGA, E. L.; COSTA, M. M.; FREITAS COELHO, A. L.; GRIFT, T. Accuracy of Various Sampling Techniques for Precision Agriculture: A Case Study in Brazil. *Agriculture*, v. 14, 12, 2024.