

NECESSIDADE DE SUBAMOSTRAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DE SOLO E SEU MAPEAMENTO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Palavras-Chave: Amostragem, qualidade de solo, mapeamento digital de solos.

Autores(as):

PEDRO RODOLFO ZOLIN, FEAGRI – UNICAMP

EURIANA MARIA GUIMARÃES, FEAGRI – UNICAMP

Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA, FEAGRI – UNICAMP

Prof. Dr. MAURÍCIO ROBERTO CHERUBIN, ESALQ – USP

Prof. Dr. LUCAS RIOS DO AMARAL (orientador), FEAGRI - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Os atributos do solo variam ao longo das áreas agrícolas, seja por fatores intrínsecos à sua formação, seja por fatores extrínsecos, como as práticas de manejo e rotação de culturas (CAMBARDELLA e KARLEN, 1999). Para o mapeamento desses atributos e a consequente criação de mapas de prescrição de fertilizantes em agricultura de precisão (AP), o que predomina é a amostragem de solo em grade (COLAÇO e MOLIN, 2014).

Estabelecer um plano de amostragem do solo é uma das etapas mais importantes, já que é preciso conciliar o rendimento da operação, custos envolvidos e a qualidade do levantamento. Nesse sentido, quando se busca representar adequadamente um ponto amostral, é necessário definir um número de subamostras (SA), as quais serão utilizadas para representar uma amostra composta que tenha as coordenadas registradas. Em outras palavras, uma amostra é composta pela média das SA dentro de um raio relativo ao ponto amostral (~5m), o que possibilita reduzir possíveis efeitos locais que contaminariam a investigação espacializada (MOLIN et al, 2015). Entretanto, um número equivocado de SA pode prejudicar o resultado do mapeamento realizado.

Segundo MOLIN et al (2015), é recomendado que na amostragem em grade por ponto para fins de mapeamento da fertilidade dos solos, a quantidade de SA deve ser entre oito e dez. Tal número seria suficiente para diluir possíveis riscos locais de contaminação da amostra, isto é, coleta em locais que não representam fielmente o local amostrado. No entanto, mesmo no caso da amostragem em grade para mapeamento dos parâmetros de fertilidade do solo, que são mais amplamente utilizados na agricultura de precisão, há carência de estudos quanto a essa demanda por SA. Por conta dessa falta de padronização, os usuários e prestadores de serviço em AP acabam balizando a decisão conforme resultados empíricos obtidos localmente, mas sem generalização ou rigor científico, ou, o que é ainda pior, conforme o tempo disponível para a realização da amostragem, não sendo raro encontrar levantamentos sendo realizados com a coleta de apenas três SA.

Além disso, nos últimos anos tem ganhado enfoque questões relacionadas à qualidade/saúde do solo (MENDES e CHERUBIN, 2024). Para tal levantamento, é necessária a caracterização de atributos químicos, físico e biológicos do solo (LEHMANN et al., 2020). Contudo, não há estudos que direcionem como a amostragem deve ser feita para a criação de mapas de saúde do solo, muito menos que abordem a demanda por SA. Esta iniciação científica busca demonstrar a importância da coleta de SA para compor as amostras compostas de solo para, assim, representar adequadamente os pontos amostrais no âmbito da AP em termos de mensuração de atributos e saúde do solo. Contudo, a pesquisa ainda não está finalizada, de modo que ainda não calculamos os índices de saúde do solo.

Sendo assim, este trabalho para este congresso foca em analisar a variabilidade dos atributos químicos, físicos e biológicos, demonstrando a importância da SA.

METODOLOGIA:

A área de estudo foi uma gleba produtora de grãos de 103 ha, localizada no município de Cosmópolis-SP. Por meio de monitor de produtividade instalado na colhedora, seis safras de grãos foram mapeadas, resultando em um mapa de produtividade média e outro do desvio padrão, buscando demonstrar locais com maior variabilidade na produção entre as safras. Por meio da classificação taxonômica dos solos, a área foi dividida em três macro-zonas, compreendendo a região com Gleissolo, uma com Latossolo vermelho argiloso e outra com Latossolo vermelho muito argiloso (FIGURA 1A). Em cada macro-região definimos três pontos de coleta de solos (FIGURA 1E), sendo que para a alocação desses pontos, foi utilizada a variabilidade observada nas camadas de informação da suscetibilidade magnética aparente do solo (SMA – sensor EM38-MK2, Geonics), da produtividade média e do desvio padrão da produtividade (FIGURA 1), buscando alocar pontos amostrais que apresentassem alguma diferença nesses atributos (FIGURA 1E).

Em cada ponto amostral foram coletadas nove SA de indeformada, centralizadas em 5 cm de profundidade e espaçadas 2,5 m, num raio de 5 m (FIGURA 1F). Além disso, para cada macro região, também foi definido um dos pontos amostrais onde seriam coletadas amostras também centralizadas em 30 cm de profundidade. Adicionalmente, imediatamente ao lado do local de coleta com anel volumétrico, coletou-se solo com um trado holandês, nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm para avaliação da fertilidade química e do teor de carbono total. Deste modo, totalizamos 108 amostras deformadas e indeformadas, todas coletadas em novembro de 2023.

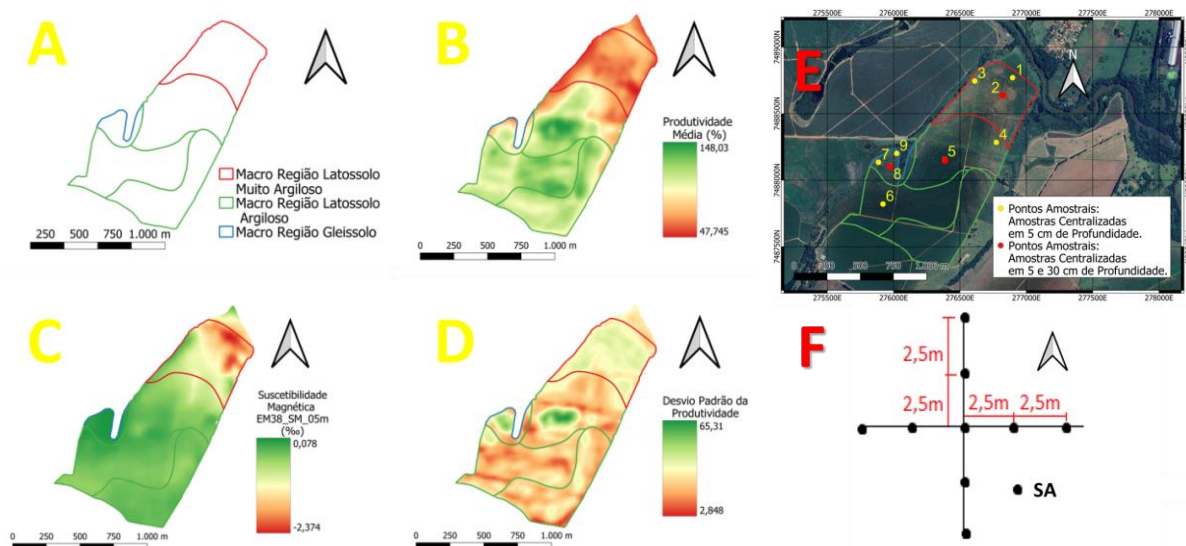


FIGURA 1 - Mapas da área de estudo com a delimitação das três macro-regiões compostas pelas classes de solo (A); Mapa de produtividade média normalizada (B), suscetibilidade magnética aparente do solo (C) e desvio padrão da produtividade normalizada das seis safras (D). Localização dos pontos amostrais na área (E) e esquema de coleta de SA para cada ponto amostral, onde cada SA foi espaçada em 2,5 metros (F).

As amostras indeformadas foram analisadas no laboratório de solos da FEAGRI para obtenção dos atributos físicos do solo: resistência do solo à penetração, densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total (TEIXEIRA et al., 2017). As amostras deformadas foram encaminhadas para laboratório comercial para caracterização da fertilidade química do solo, seguindo metodologia de RAIJ et al. (2001) e análise do teor de carbono total pelo método da combustão à seco (NELSON e SOMMER, 1996). Assim, os atributos da fertilidade química estudados foram: fósforo (P), matéria orgânica (M.O.), pH (em CaCl₂), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), Acidez Total, capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%). Já os atributos físicos foram: resistência à penetração, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade

e microporosidade. Além disso, o teor de carbono total do solo também foi medido, o qual é dependente de processos físicos e biológicos e muitas vezes têm sido usado para avaliar a saúde biológica do solo (CHERUBIN et al., 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

De posse de todos os dados de SA para todos os atributos, criamos uma tabela de estatística descritiva para tudo, contudo a tabela é muito extensa, de modo a não ser viável expô-la aqui. De modo a resumir essa tabela e conseguir uma maneira intuitiva de observar quais atributos tiveram maior variabilidade entre SA e, conseqüentemente, mais dependem dessa subamostragem, calculamos a média dos coeficientes de variação de todos os pontos para cada atributo (TABELA 1).

A partir dessa tabela, escolhemos apenas três atributos para apresentar neste resumo, de modo a exemplificar a análise geral. Foram eles o fósforo (P), que apresentou alta média de CV e bastante diferença entre as profundidades, a resistência à penetração (RP), que é uma componente muito importante para saúde física do solo e apresentou alta variabilidade, e o carbono total no solo, que foi um caso com CV médio baixo e constante entre as duas camadas, além de poder ser tratado como um representante de saúde biológica do solo (FIGURA 2).

Para analisar os atributos utilizamos classes de teores da literatura (CANTARELLA et al., 2022; SOIL SURVEY STAFF, 2014) ou os coeficientes de variação para julgar a amplitude da variação. Nos gráficos apresentados, é possível notar que as SA coletadas no mesmo ponto podem estar presentes em classes de disponibilidades distintas, o que geraria grande alteração nas doses de fertilizantes recomendadas, por exemplo, entre outros problemas. Enquanto outros atributos, como o carbono total, mostraram certa homogeneidade espacial e uma reduzida demanda por SA para representar um ponto de coleta de amostra composta.

Ademais também foi feito para cada atributo um teste calculando o valor médio para cada ponto amostral a partir de uma configuração de subamostragens pré-definidas, simulando possíveis configurações de coleta no campo (FIGURA 3), os quais foram apresentados em gráficos (FIGURA 4), feitos também para cada atributo selecionado. Observando-os e utilizando a confiável média com nove SA como referência, fica relativamente evidente o número mínimo de SA que parecem fazer com que o valor médio de um ponto amostral seja estável para o atributo em questão.

De modo geral, interpretando de forma integrada os gráficos de dispersões e os de estabilidade da média, conseguimos analisar a variabilidade dos valores das SA e, assim, é possível definir a quantidade recomendada de SA para cada atributo estudado (TABELA 2).

No caso das profundidades de amostragem, nota-se que para a maioria dos atributos estudados, o solo mais profundo apresenta maior estabilidade nos valores, sendo menos dependente da coleta de alto número de SA (TABELA 2). Isso é esperado, já que quanto mais profundo o solo, menor é a variação dos atributos do solo em função do manejo agrícola. Com ressalvas quanto à resistência do solo à penetração e densidade do solo, já que a compactação dos solos pode ser mais evidenciada entre 20 e 30 cm (HAMZA e ANDERSON, 2005) e a observada no caso da saturação por bases, onde se observou maior dispersão para camada mais profunda.

Atributos	CV Médio		Atributos	CV Médio	
	5 cm	30 cm		5 cm	30 cm
Profundidade					
Carbono CHN	11%	11%	SB	19%	34%
MO	13%	14%	V%	9%	24%
pH (CaCl ₂)	6%	7%	Acidez Total (H ⁺ +Al ³)	22%	22%
P	49%	27%	Densidade do solo	6%	7%
K	31%	52%	Porosidade Total	13%	8%
Ca	20%	34%	Macroporosidade	52%	51%
Mg	22%	39%	Microporosidade	9%	6%
CTC	13%	16%	RP Média	47%	32%

TABELA 1 - Coeficientes de variação médios entre as SA de todos os pontos amostrais para cada atributo estudado.

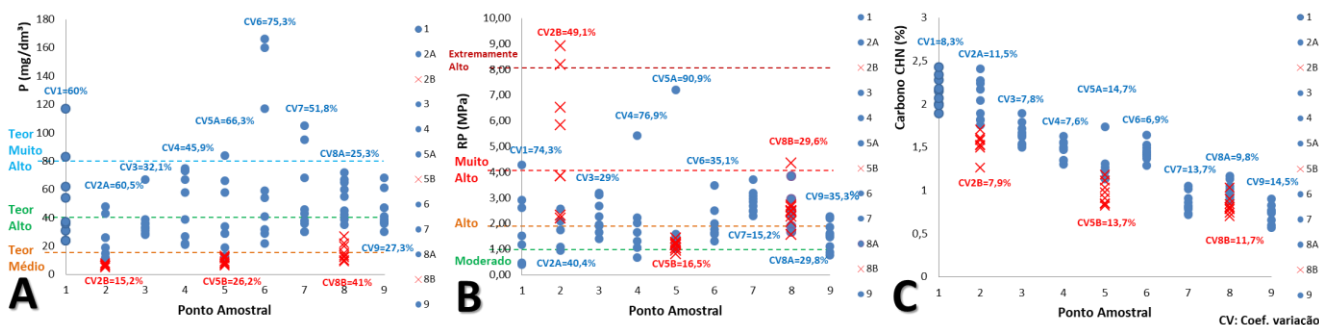


FIGURA 2 – Exemplos dos gráficos produzidos de dispersão dos valores das SA para fósforo (A), resistência à penetração (B) e carbono total (C), com classes de teores e coeficiente de variação para cada amostra composta. SA representadas com “X” vermelho se referem às coletadas em profundidade centrada em 30 cm, e demais em 5 cm.

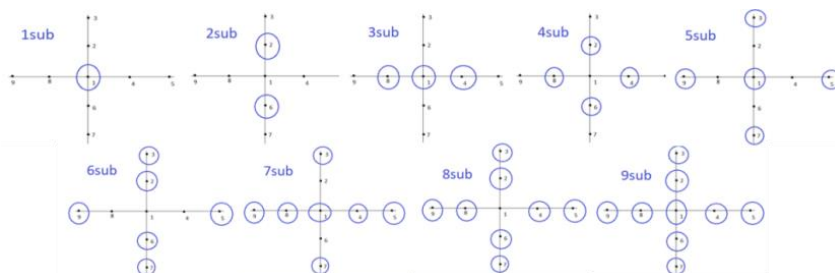


FIGURA 3 - Simulação do número de SA para representar um ponto amostral (valor médio); cenários com 1 a 9 SA, sendo que as SA com círculo representam as que foram usadas no cálculo da média.

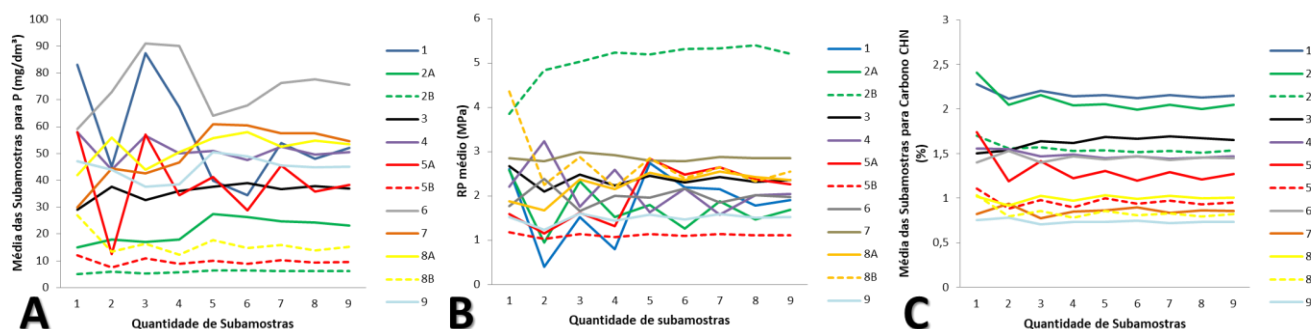


FIGURA 4 - Exemplo dos gráficos de valores médios dos atributos estudados, em função do número de SA utilizado no cálculo, apresentados para fósforo (A), resistência à penetração (B) e carbono total (C) no solo. Linhas tracejadas representam as coletas centradas em 30 cm de profundidade e linhas contínuas na profundidade de 5 cm.

Atributos	Número Mínimo de SA		Atributos	Número Mínimo de SA	
	5 cm	30 cm		5 cm	30 cm
Profundidade	5 cm	30 cm	5 cm	30 cm	
Carbono CHN	3	3	SB	5	5
MO	3	3	V%	5	7
pH (CaCl ₂)	5	5	Acidez Total (H ⁺ +Al ³⁺)	5	5
P	7	5	Densidade do solo	3	3
K	7	5	Porosidade Total	7	5
Ca	5	5	Macroporosidade	7	5
Mg	5	5	Microporosidade	3	3
CTC	5	5	RP Média	7	5

TABELA 2 – Número mínimo de SA recomendado para cada atributo estudado em cada profundidade.

CONCLUSÕES:

Em síntese, os teores de potássio e fósforo disponíveis, bem como a macroporosidade do solo, foram os que apresentaram maior dispersão e que, por consequência, demandam maior quantidade de SA para a representação de um único ponto de coleta. Por outro lado, o carbono total, matéria

orgânica, microporosidade e densidade, foram os que demonstraram menor dispersão e são menos dependentes das SA. Desse modo, é notório que a coleta de SA para representar uma amostra composta (ponto amostral) é fundamental para a correta interpretação da qualidade química, física e biológica de um solo, principalmente quando se almeja criar mapas no âmbito da agricultura de precisão.

Pensando em caracterização química, física e biológica do solo, visando um futuro cálculo de índice de saúde do solo, o número de SA não deveria ser inferior a cinco (no caso de limitações na amostragem), mas idealmente deveriam ser coletadas sete SA para representar uma amostra composta, pois, deste modo, garantir-se-ia exatidão e a precisão dos dados para todas as caracterizações trabalhadas.

Ademais, quanto mais superficiais forem as coletas de solo para análise ou mensuração de dados a campo, maior é a importância das SA.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os alunos dos laboratórios de Solos e de Agricultura de Precisão da FEAGRI/UNICAMP que contribuíram com a parte de campo ou de laboratório nessa pesquisa. Também agradecemos aos graduandos Pedro Chudzik e João Victor Müller Antigo do grupo SOHMA-ESALQ pela orientação técnica para a coleta de amostras indeformadas. Enaltecemos o apoio do CNPq com bolsa de iniciação científica ao primeiro autor e à FAPESP pelo apoio financeiro ao orientador, projeto nº 2022/03160-8.

BIBLIOGRAFIA

- CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, D. L. Spatial analysis of soil fertility parameters. **Precision Agriculture**, v.1, p.5-14, 1999.
- CANTARELLA, H. et al (ed.). **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 2022.
- CHERUBIN, M. R. et al. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 39, p. 615-625, 2015.
- COLAÇO, A. F.; MOLIN, J. P. Amostragem georreferenciada, **Boletim Técnico 02**, Laboratório de Agricultura de Precisão, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://www.agriculturadeprecisao.org.br/boletim-tecnico-02-amostragem-georreferenciada/>>.
- HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.
- LEHMANN, J. et al. The concept and future prospects of soil health. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 10, p. 544–553, 2020
- MENDES, I. C.; CHERUBIN, M. R. . Soil Health and Sustainable Agriculture in Brazil. 1. ed. Madison - Estados Unidos: ACSESS, 2024. v. 1. 432p
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. **Agricultura de Precisão**. São Paulo, Oficina de Textos. 2015. 238 p.
- NELSON, D.W; SOMMER, L.E. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: Spark, D.L., Ed., Method of Soil Analysis, Part 3, American Society of Agronomy, v. 34, p. 961-1010. 1996
- RAIJ, B. van et al. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas-SP: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- SOIL SURVEY STAFF Keys to Soil Taxonomy 12 Ed. Washington: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2014. 372 p.
- TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3ª edição Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, 2017. 573p.