

Foto: Claudio Lucas Capeche



## Variabilidade Espacial de Teores de Nutrientes em Folhas de Soja como Ferramenta para Agricultura de Precisão

Alberto Carlos de Campos Bernardi<sup>1</sup>  
Ciríaca Arcângela F. de Santana do Carmo<sup>1</sup>  
Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado<sup>1</sup>  
Carlos Alberto Silva<sup>2</sup>  
Luiz Ivan O. Valencia<sup>3</sup>  
Margareth Simões Meirelles<sup>1</sup>

### Introdução

A busca por novas tecnologias que possibilitem o aumento de produtividade com o menor impacto sobre o meio ambiente tem, como um dos principais exemplos, a adoção do sistema de plantio direto. Mais recentemente, na região de Campos Gerais no Paraná, o advento da utilização das técnicas de agricultura de precisão tem ocasionado mudanças na forma de gerenciar o agronegócio pelos agricultores. O impulso a este novo conjunto de tecnologias foi iniciado com o aprimoramento das técnicas de posicionamento geográfico preciso através de informações obtidas por satélites. Com isso, iniciou-se um novo ciclo de gerenciamento de informações, que possibilita associar a variabilidade da produtividade das culturas com o estado nutricional das plantas.

O uso das técnicas de agricultura de precisão configura-se em um grande avanço na agricultura, pois possibilita o aumento de produtividade e a diminuição do impacto sobre o meio ambiente da atividade agrícola. Isso é possível pois esta técnica permite a localização exata no campo dos fatores limitantes ao rendimento das culturas, como por exemplo as condições do solo, estado nutricional,

ocorrência de pragas e doenças, ou invasoras. Assim é possível identificar em que parte da lavoura, especificamente, deverão ser realizadas as intervenções e quais nutrientes estão sendo limitantes à produção. No entanto, como toda nova tecnologia, existem ainda várias questões que devem ser respondidas. Uma destas questões é com relação à variabilidade espacial destes fatores limitantes à produtividade.

A análise quantitativa do solo, usando a Geoestatística, tem sido o método mais comumente utilizado para determinar a distribuição espacial da disponibilidade de nutrientes para as plantas (McBratney & Pringle, 1999; Mulla & McBratney, 2000), pois fornece informação indireta sobre a disponibilidade deles no solo. Já a análise de tecidos vegetais é uma medida direta, pois os resultados correspondem à quantidade de nutriente absorvida pelas plantas (Munson & Nelson, 1990). Desta forma, o teor de nutrientes nos tecidos vegetais reflete sua real disponibilidade no solo, uma vez que existe uma relação entre o fornecimento de um nutriente pelo solo ou por um fertilizante e a concentração na folha, e uma relação entre essa concentração e a produção da cultura.

<sup>1</sup> Pesquisadores da Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1.024. Rio de Janeiro - RJ. CEP: 22460-000. E-mail: alberto@cnpes.embrapa.br, ciríaca@cnpes.embrapa.br, pedro@cnpes.embrapa.br e margaret@cnpes.embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Lavras - UFLA - MG - Dep. de Ciência do Solo

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - Instituto de Geociências

Para a estimativa espacial ótima dos atributos de solo e de planta, é necessário desenvolver estratégias eficientes de amostragem baseadas na geoestatística. McBratney & Pringle (1999) mostraram que a geoestatística foi essencial para descrever e quantificar a variabilidade espacial de fatores limitantes da alta produtividade. Apesar de já existirem alguns estudos mostrando a variabilidade espacial dos atributos de solo, ainda são poucos os resultados sobre esta variabilidade para a diagnose foliar, especialmente no sistema de plantio direto. Os estudos de Franzen & Peck (1995a; 1995b; 1997) relacionaram os teores de Ca, Mg, P e K em folhas de milho com os teores no solo. Os autores concluíram que a análise de plantas foi útil no mapeamento de áreas nas quais a análise de solo não foi eficaz para explicar a resposta das plantas à aplicação de nutrientes.

Através do alcance do semivariograma, a geoestatística pode contribuir para o estabelecimento da malha de amostragem. O alcance é um dos parâmetros do modelo de semivariograma e indica a distância até onde o atributo apresenta continuidade espacial. Ele depende da direção e da escala espacial da área de estudo. De fato, a extensão da célula de amostragem de atributos de solo é definida, de acordo com Mulla & McBratney (2000), como sendo 0,25 a 0,5 do valor de alcance do atributo sob análise.

Este estudo teve como objetivo avaliar, por meio de técnicas de agricultura de precisão e utilizando a geoestatística, a variabilidade espacial dos teores de nutrientes nas folhas de soja cultivada em sistema plantio direto na Região dos Campos Gerais, Paraná.

## Material e Métodos

A área de estudo localiza-se na Fazenda Tabatinga, na região de Campos Gerais, no município de Carambeí, Paraná, nas coordenadas 24°51'45" S e 50°15'58" W, e está situada entre 615 e 870 m de altitude. O clima é subtropical com média de 1.560 mm anuais de chuva e temperatura anual média de 17,6°C. O tipo de solo predominante na área experimental é o Latossolo Vermelho distroférrico, com teores de argila variando de 180 a 720 g kg<sup>-1</sup>. Na Figura 1, é apresentada uma foto da área.

O sistema de plantio direto vem sendo adotado nesta área desde 1988 e, de acordo com o seguinte esquema: cultivo de soja no verão, por duas safras consecutivas, em rotação com trigo e aveia preta no inverno; após estas safras, cultiva-se o milho no verão. Por ocasião do plantio, no ano de avaliação, foram utilizadas as doses de 62,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 62,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (250 kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 0-25-25). As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium spp.* Foram feitas também, na fase anterior à floração da cultura, pulverizações foliares com sulfato de manganês.

As amostragens de folhas foram realizadas no verão de 2000 (janeiro), início do florescimento da soja, sendo a malha de amostragem composta de uma grade maior com células de 40 x 40 m, num total de 107 pontos de amostragem cobrindo 13 ha. Observou-se duas áreas com diferenciação textural e nelas estabeleceram-se 2 novas malhas de amostragem mais densa, com subdivisões de 20 X 20 m ; 10 X 10 m e; 5 X 5 m, perfazendo, um total de 72 amostras cada. O esquema das malhas de amostragem adotado está apresentado na Figura 1.

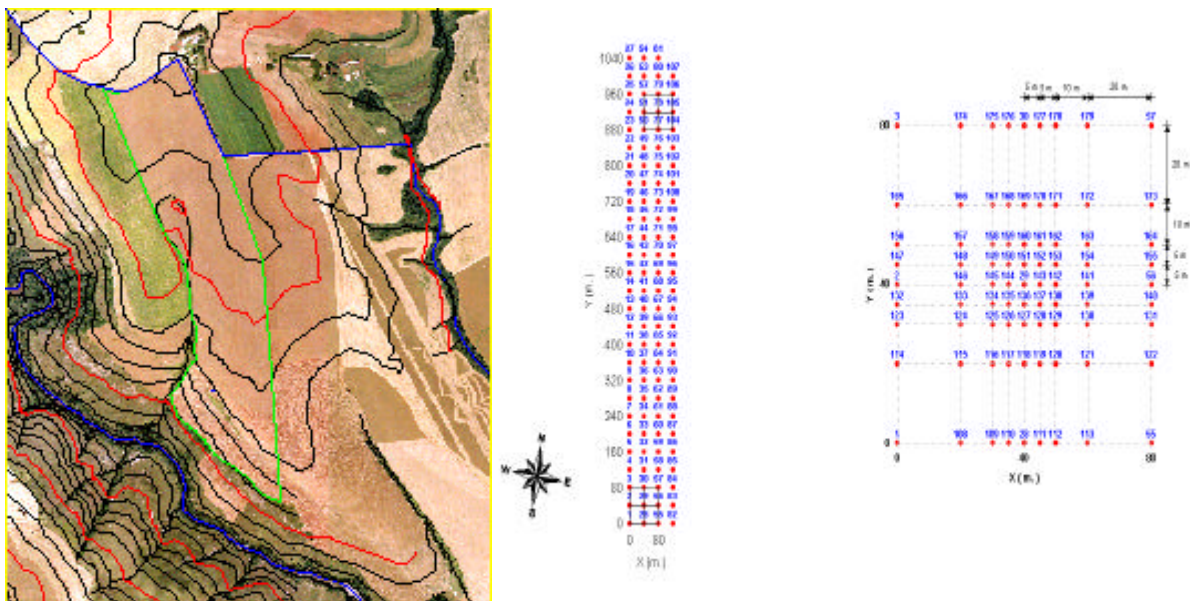


Fig. 1. Ortofoto da área de estudo (destacada em verde) e esquema das grades de amostragens adotado na fazenda Tabatinga em Carambeí, PR.

As coordenadas geográficas dos pontos amostrados foram obtidas através do uso de aparelho GPS Trimble® Geoexplorer 3C, com precisão de cerca de 2 metros.

Para a diagnose foliar, foram amostradas as folhas mais novas, totalmente expandidas, quando mais de 50% das plantas estavam no florescimento, seguindo as recomendações de Sfredo *et al.* (1986). Foram coletadas folhas de 30 plantas em volta de cada ponto de amostragem. Analisou-se os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S e os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, de acordo com a metodologia de Carmo *et al.* (2000).

A análise geostatística consistiu da construção de semivariogramas experimentais nas direções X e Y e o ajuste de modelos de continuidade espacial gaussiana, esférica e exponencial. Os dados foram analisados utilizando-se métodos geostatísticos do programa GSLIB (Deutsch & Journel, 1992).

## Resultados e Discussão

As médias, intervalos de confiança, desvio padrão e coeficientes de variação da produtividade de grãos de soja e teores de nutrientes analisados nas folhas encontram-se na Tabela 1. Estes resultados das análises de folhas foram submetidos à análise de geoestatística para determinar a variabilidade espacial dos valores. Os semivariogramas para todos os teores de nutrientes nas folhas foram ajustados, e os resultados da análise espacial e os parâmetros dos modelos ajustados estão na Tabela 2. Todas as variáveis foram ajustadas a modelos exponenciais, com exceção do P ao qual ajustou-se o modelo esférico, indicando que estas são variáveis. Nesta Tabela 2 também são apresentados os valores relativos ao alcance dos semivariogramas para atributos da diagnose foliar. Os valores médios, para as direções X e Y, foram de 67 a 43 m para planta. De acordo

com a metodologia proposta por Mulla e McBratney (2000), a célula de amostragem de solo pode ser definida como sendo 0,5 do valor do alcance do semivariograma. Assim, os valores para a célula de amostragem seriam de 34 X 22 m. Os resultados sugerem a coleta de 14 amostras por hectare e que são muito próximos aos valores encontrados por Silva *et al.* (2002).

O número elevado de amostras a ser coletado por área pode inviabilizar a adoção da agricultura de precisão, por parte dos agricultores e técnicos, numa propriedade rural, considerando não só o trabalho com a coleta de amostras mas, principalmente, o custo da análise em laboratório. Estes resultados mostram a necessidade de se testar novas ferramentas como sensores em tempo real, para solo (ex. sensor para a condutividade elétrica) e planta (ex. sensor do teor de clorofila e imagens espectrais), bem como novas rotinas automatizadas e de baixo custo de análises laboratoriais. A amostragem por grade também poderia ser utilizada numa gleba da propriedade rural e não, necessariamente, em todos os anos agrícolas, pois os resultados de atributos de solo e de planta, combinados com o mapa de colheita e com o conhecimento do histórico de desempenho da cultura na gleba, podem auxiliar no estabelecimento de zonas de manejo.

Além disto, como foi demonstrado neste trabalho e no anterior, de Silva *et al.* (2002), o diagnóstico do estado nutricional da cultura combinado com a avaliação da fertilidade do solo, após a identificação do nutriente limitante da produção, poderia se fazer a análise do solo especificamente para este nutriente.

**Tabela 1.** Parâmetros estatísticos dos teores de nutrientes nas folhas de soja, cultivada em sistema plantio direto em Carambeí, PR.

Parâmetros Estatísticos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
<b>Média</b>	44,7	2,8	14,6	1,9	6,2	2,3	15,8	33,2	5,7	63,3	29,6
<b>Desvio padrão</b>	2,7	0,4	3,2	0,3	0,5	0,2	1,8	3,8	0,6	13,5	4,3
<b>Mediana</b>	44,72	2,78	14,74	1,83	6,21	2,31	15,4	33,29	5,64	60,6	29,1
<b>Mínimo</b>	36,14	1,91	7,31	1,36	5	1,96	12,9	22,14	4,41	47,9	19,9
<b>Máximo</b>	56,08	3,88	20,79	2,89	7,4	3,11	21,3	42,87	8,81	154	44,2
<b>CV</b>	6,1	14,9	21,7	16,9	7,3	8,7	11,1	11,5	10,7	21,4	14,6

**Tabela 2.** Modelos de variogramas e seus coeficientes para os nutrientes nas folhas da soja cultivada em sistema plantio direto em Carambeí, PR.

Nutriente nas folhas	Modelo	Alcance		C <sub>0</sub>	C	Patamar
		X	Y			
<b>N</b>	Exponencial	60	20	0,40	1,20	0,80
<b>P</b>	Esférico	60	60	0,02	0,12	0,10
<b>K</b>	Exponencial	60	60	0,40	0,90	0,50
<b>Ca</b>	Exponencial	60	30	0,30	0,70	0,40
<b>Mg</b>	Exponencial	80	80	0,30	0,75	0,45
<b>S</b>	Exponencial	80	30	0,20	0,90	0,70
<b>B</b>	Exponencial	70	25	0,35	0,95	0,60
<b>Cu</b>	Exponencial	80	35	0,35	0,90	0,55
<b>Fe</b>	Exponencial	60	60	0,20	0,55	0,35
<b>Mn</b>	Exponencial	50	20	12,0	22,0	10,0
<b>Zn</b>	Exponencial	80	35	0,20	0,70	0,50

## Conclusões

Dentro das condições que foi conduzido este trabalho, o uso da geoestatística permitiu conhecer a variabilidade espacial dos teores de nutrientes nas folhas de soja cultivadas em sistema plantio direto. O conhecimento desta variabilidade espacial é a etapa inicial e imprescindível para subsidiar o planejamento e o manejo da área.

## Agradecimentos

Ao Programa Prodetab (Projeto N°. 041-01/99), pelo financiamento, e à Fundação Giacometti pelo apoio na administração dos recursos. À Fundação ABC, através dos pesquisadores Volnei Pauletti e Leandro Gimenez pelo apoio técnico-científico. Ao proprietário da Fazenda Tabatinga, Sr. Geraldo Slob, pela permissão para a utilização da área no estudo, e ao Eng. Agrônomo José Carlos Sguario Jr. pelo apoio.

## Referências Bibliográficas

- CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2000. 41 p. (Embrapa Solos. Circular técnica, 6).
- DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB geostatistical software library and user's guide**. Oxford University Press: New York, 1992. 341p.
- FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Spatial variability of plant analysis calcium and magnesium levels before and after liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26, n.13/14, p.2263-2277, 1995a.
- FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Spatial variability of plant analysis phosphorus levels. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, n.17/18, p.2929-2940, 1995b.
- FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Spatial variability of plant analysis potassium levels. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.28, n.13/14, p.1081-1091, 1997.
- McBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, Dordrecht, Holanda v. 1, n.1, p.125-152, 1999.
- MULLA, D. J.; McBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton : CRC Press, 2000. A 321-352.

MUNSON, R. D.; NELSON, W. L. Principles and practices in plant analysis. In: WESTERMAN, R. L.; BAIRD, J. V.; CHRISTENSEN, N. W.; FIXEN, P. E.; WHITNEY, D. A. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA. 1990. p.359-387.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, A. F.; CAMPO, R. J.; BORKERT, C. M. **Soja, nutrição mineral, adubação e calagem**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO. 1986. 21p. (EMBRAPA-CNPSO., Documentos, 64).

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S.; VALENCIA, L. I. O.; ANDRADE, A. G.; PENELLO, M. S. **Amostragem de solo em área de soja sob plantio direto: uso de técnicas de agricultura de precisão**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, n. 10).

### Comunicado Técnico, 17

Ministério da  
Agricultura,  
Pecuária e  
Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser obtidos na  
**Embrapa Solos**  
**Endereço:** Rua Jardim Botânico, 1024 Jardim  
Botânico - Rio de Janeiro, RJ  
**Fone:** (21) 2274.4999  
**Fax:** (21) 2274.5991  
**E-mail:** sac@cnps.embrapa.br  
<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>  
**1ª edição**  
1ª impressão (2002): **300 exemplares**

### Expediente

**Supervisor editorial:** *Jacqueline S. Rezende Mattos*  
**Revisão de texto:** *André Luiz da Silva Lopes.*  
**Tratamento das ilustrações:** *Sanny Reis Bizerra.*  
**Editoração eletrônica:** *Sanny Reis Bizerra.*