



Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada em sistema de integração lavoura-pecuária: um estudo de caso

Alberto C. de Campos Bernardi¹
Ricardo Yassushi Inamasu²
Ladislau Marcelino Rabello³

Introdução

O termo 'Agricultura de Precisão' tem sido utilizado no Brasil para designar o sistema de produção, já adotado por agricultores em outros países, nos quais é denominado *Precision Agriculture*, *Precision Farming* ou *Site-Specific Crop Management* (MANZATTO et al., 1999). Esse novo conceito de agricultura é caracterizado pelo manejo de lavouras agrícolas ou pecuárias em uma escala espacial menor que aquela tradicionalmente adotada (PLANT, 2001). Fundamentalmente, a Agricultura de Precisão engloba o uso de determinadas tecnologias de manejo de solo, de insumos e de plantas, de forma a considerar as variações espaciais e temporais de fatores que afetam a produtividade das culturas. Para tanto, emprega técnicas de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas (GIS) e sistema de posicionamento global (GPS) (EMBRAPA, 1997).

Desse modo, a Agricultura de Precisão tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e das culturas no espaço e no tempo. A implementação das técnicas que a compõe tem por meta o manejo dos diferentes fatores de produção, de modo georreferenciado, otimizando o uso de insumos, aumentando a renda dos agricultores e mantendo a qualidade do ambiente (COELHO, 2003). Desse modo, pode ser definida como o manejo da variabilidade dos fatores de produção agrícola visando aumentar o benefício econômico e reduzir o impacto no meio ambiente (BLACKMORE, 2002). Segundo Cambardella e Karlen (1999), a Agricultura de Precisão contém três componentes primários: a) o GPS que fornece a posição onde o equipamento está localizado; b) os mecanismos de controle de aplicação de nutrientes, defensivos agrícolas, água e outros insumos em tempo real; e c) um banco de dados que fornece a informação necessária para

¹ Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, alberto@cnpse.embrapa.br

² Engenheiro Mecânico, Dr., Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP,

³ Engenheiro Elétrico, Dr. Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP,

desenvolver as relações causa-efeito e as respostas à aplicação de insumos às várias condições especificamente localizadas.

O uso desse conjunto de tecnologias permite quantificar a variabilidade espacial dos fatores produtivos e, portanto, da produtividade das culturas. A partir dessas informações torna-se possível interferir ou manejar as diferenças quantificadas, por meio da aplicação localizada dos insumos agrícolas, de acordo com a necessidade específica local (SEARCY, 1995).

O uso dessa tecnologia tem possibilitado aos produtores manejar ou variar as taxas de aplicação de fertilizantes, de acordo com as diferenças de produtividade das culturas ou dos parâmetros de fertilidade dentro de um campo de produção. Essa prática ficou conhecida como 'taxa variável de aplicação de fertilizantes' (LARSON e ROBERT, 1991). Segundo Manzatto et al. (1999) e Bernardi et al. (2004), essa é a principal vantagem do uso da Agricultura de Precisão, ou seja, a possibilidade de aplicar os insumos no local correto, no momento adequado, nas quantidades necessárias à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam.

Diferentemente da aplicação uniforme de fertilizantes e corretivos, que podem resultar em áreas com aplicações abaixo ou acima da dose necessária, a aplicação com taxas variáveis pode aumentar a produtividade e a eficiência do uso de nutrientes, ao mesmo tempo em que reduz o potencial para poluição ambiental (MULLA et al., 1992; ROBERT, 1993; WOLLENHAUPT et al., 1994; MULLA e SCHEPERS, 1997; BERNARDI et al., 2004; BONGIOVANNI e LOWENBERG-DEBOER, 2004).

Os benefícios da agricultura de precisão vêm da aplicação dessa em pontos exatos, reduzindo as perdas por aplicações excessivas de fertilizantes. Bongiovanni e Lowenberg-Deboer (2004), em uma extensa revisão de literatura, confirmaram que as técnicas de agricultura de precisão podem contribuir para manutenção da sustentabilidade da agricultura devido à aplicação de fertilizantes apenas nos locais em que há necessidade e quando é necessário.

Larson et al. (1997) avaliaram o potencial dos benefícios ambientais da agricultura de precisão na prática da adubação. Observaram que havia poucas informações de campo disponíveis e demonstraram que em uma área com variação na textura do solo, submetida a técnicas de agricultura de precisão, houve perdas médias de 29 kg ha⁻¹ de N lixiviado; enquanto nessa mesma área, a utilização da técnica convencional de aplicação resultou na perda de 60 kg ha⁻¹ de N lixiviado.

A rotação de culturas anuais com pastagens, também conhecida como sistema de integração lavoura-pecuária (SILP), tem sido utilizada como uma das alternativas para a sustentabilidade, econômica e ecológica, dos sistemas de produção agropecuária. De acordo com Kluthcouski e Aidar (2003), a utilização do consórcio de culturas anuais (arroz, milho, soja ou sorgo) com forrageiras, principalmente as do gênero *Brachiaria*, pode ser preconizado na formação e na reforma de pastagens, na produção de forragem para alimentação animal na entressafra e também no confinamento de bovinos, bem como na obtenção de cobertura morta para plantio direto de culturas. As pastagens de gramíneas tropicais são excelentes alternativas nessa associação, pois apresentam diversos benefícios agrônômicos ao sistema de produção, dentre eles a recuperação das propriedades físicas do solo e a reciclagem de nutrientes, e funcionam como barreiras contra a invasão e a disseminação de pragas, doenças e plantas daninhas.

O objetivo do presente trabalho foi o mapear a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e elaborar mapas de necessidade de aplicação de insumos de forma localizada, em área cultivada no sistema de integração lavoura-pecuária situada em São Carlos (SP).

Condução do trabalho

O estudo foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (22°01' S e 47°54' W; 856 m acima do nível do mar), em área de solo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média/argilosa (CALDERANO FILHO et al., 1998). O clima da região é tropical de altitude, com histórico de 1502 mm de precipitação pluvial anual, e médias de temperaturas mínima e máxima de 16,3°C (julho) e de 23°C (fevereiro), respectivamente.

A área estudada de 6 ha vinha sendo cultivada no sistema de integração lavoura pecuária há 3 anos (BERNARDI et al., 2007). As amostragens do solo, realizadas em outubro de 2008, precederam a semeadura do milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto. Esta foi realizada sobre palhada dessecada de *Brachiaria brizantha*, realizada em dezembro de 2008 e de forma a resultar em uma população de 5 plantas por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,8 m. A semeadura da forrageira *Brachiaria brizantha* cv Piatã (4 kg ha⁻¹ de sementes comerciais) ocorreu concomitantemente à do milho, entre linhas, porém em operação distinta e sem adubação de plantio.

A amostragem de solo georreferenciada foi feita utilizando-se uma grade de amostragem hexagonal (Figura 1) com 6 subamostras para compor uma amostra composta. A coleta de amostras de solo foi realizada com um quadriciclo equipado com GPS e trado de rosca de aço inoxidável, com regulagem de profundidade e de acionamento elétricos (Figura 2), que possibilitou a delimitação dos pontos com suas respectivas coordenadas geográficas.

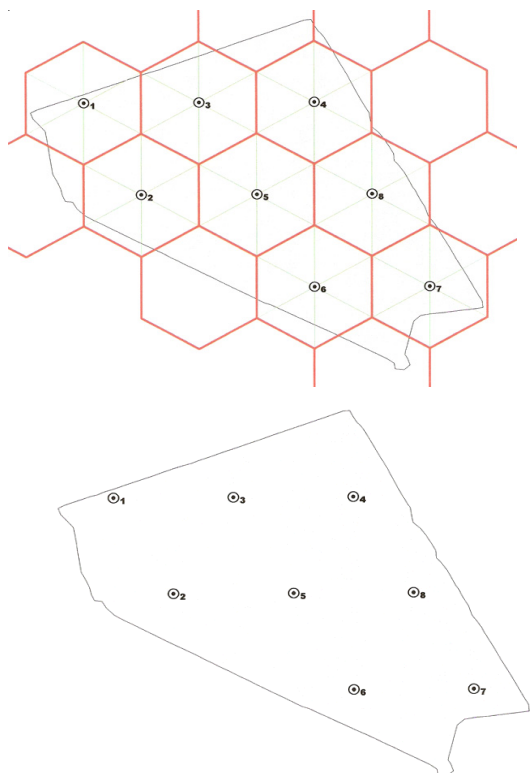


Figura 1. Esquema da amostragem de solo em malha regular hexagonal e a localização dos pontos.



Figura 2. Quadriciclo equipado com amostrador de solo. (Foto: Bunge Fertilizantes).

As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em peneira de malha de 2 mm e analisadas de acordo com Primavesi et al. (2005) para determinação do pH em CaCl₂, da matéria orgânica, do P disponível pelo método da resina, dos teores trocáveis de K, Ca e Mg, da acidez trocável e potencial, e dos teores de sulfato e de argila. Indiretamente foram calculados, através do uso dos parâmetros anteriores, a soma de bases, a saturação por bases e a capacidade de troca de cátions (CTC) ao pH 7,0.

Adotou-se, para cálculo da necessidade de calagem, a fórmula proposta por Van Raij et al. (1996), que considera o nível de acidez atual do solo, a capacidade tampão do solo, expressa pela CTC ao pH 7,0, e a saturação por bases ideal para a cultura, que no caso, foi de 70%, por se tratar de área de cultivo de milho. O cálculo da dose de fertilizante potássico considerou a elevação desse nutriente em 3% da CTC e de fósforo, uma fosfatagem para elevação do P disponível a 10 mg dm⁻³.

A espacialização da variabilidade de atributos de solo e da necessidade de calagem e adubação com P e K foi feita pelo uso de programa computacional SSToolbox v.3.4 (SST Development Group).

Apresentação e discussão dos resultados

Na Tabela 1 são apresentados os resultados, a média, a mediana, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos atributos do solo da área de estudo na profundidade de 0 a 20 cm. Os dados relativos ao intervalo e aos coeficientes de variação indicam a variabilidade dos atributos analisados: pH em CaCl_2 ; matéria orgânica; P disponível pelo método da resina; teores trocáveis de K, Ca e Mg; acidez trocável e potencial; teor de sulfato e argila, soma de bases, saturação por bases e a capacidade de troca de cátions (CTC) ao pH 7,0. O teor de matéria orgânica, o pH, a CTC, a acidez potencial e o teor de Ca^{2+} foram os atributos que apresentaram as menores magnitude de variação, ou seja, coeficiente de variação (CV) inferior a 10%. Os teores de argila, Mg^{2+} , P em resina, soma de bases e saturação por bases (V%) apresentaram CV entre 10 e 150%, ao passo que K^+ e S apresentaram as mais altas variabilidades, ou seja, CV maior que 30%. No caso do S_{SO_4} , a alta variabilidade verificada pode estar relacionada à falta de sensibilidade do método analítico em determinar níveis baixos desse elemento no solo. As tendências de variação dos valores dos atributos de solo obtidos nesse estudo estão de acordo aos observados por Mulla e McBratney (2000) e Machado et al. (2004) para diversos parâmetros de solo.

Tabela 1. Parâmetros de fertilidade do solo dos pontos amostrados na área de estudo.

	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	SB	V	S _{SO₄}	Argila
	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹
1	5,1	33	4	0,9	9	5	28	0	42,9	14,9	34,7	4	366
2	4,9	32	4	1,0	11	6	31	0	49,0	18,0	36,7	8	392
3	5,2	30	4	2,0	11	6	25	0	44,0	19,0	43,2	1	331
4	5,0	27	3	1,3	10	5	28	0	44,3	16,3	36,8	6	339
5	4,8	30	3	1,0	10	4	32	0	47,0	15,0	31,9	3	331
6	4,8	28	3	1,1	9	4	30	0	44,1	14,1	32,0	8	301
7	5,0	27	3	1,4	9	4	27	0	41,4	14,4	34,8	2	260
Média	5,0	29,6	3,4	1,2	9,9	4,9	28,7	-	44,7	16,0	35,7	4,6	331,4
Mediana	5,0	30,0	3,0	1,1	10,0	5,0	28,0	-	44,1	15,0	34,8	4,0	331,0
Desvio padrão	0,15	2,37	0,53	0,38	0,90	0,90	2,43	-	2,55	1,89	3,83	2,82	42,72
CV	3,0	8,0	15,6	30,4	9,1	18,5	8,5	-	5,7	11,9	10,7	61,7	12,9

Os mapas apresentados na Figura 3 referem-se à distribuição espacial dos valores de: pH em CaCl_2 ; matéria orgânica; P resina; K, Ca e Mg; acidez potencial; teores de sulfato e argila, SB, V% e CTC medidos na camada de solo de 0 a 20 cm. A partir da análise dos mapas mostrados, é possível verificar a dependência espacial dos atributos analisados. Esses resultados podem subsidiar a tomada de decisão das práticas da calagem e da adubação. E com isso, aumentam as chances de se corrigir, com sucesso, a acidez do solo e a disponibilidade de nutrientes, de modo espacializado, com a aplicação de calcário e fertilizante a taxas variáveis.

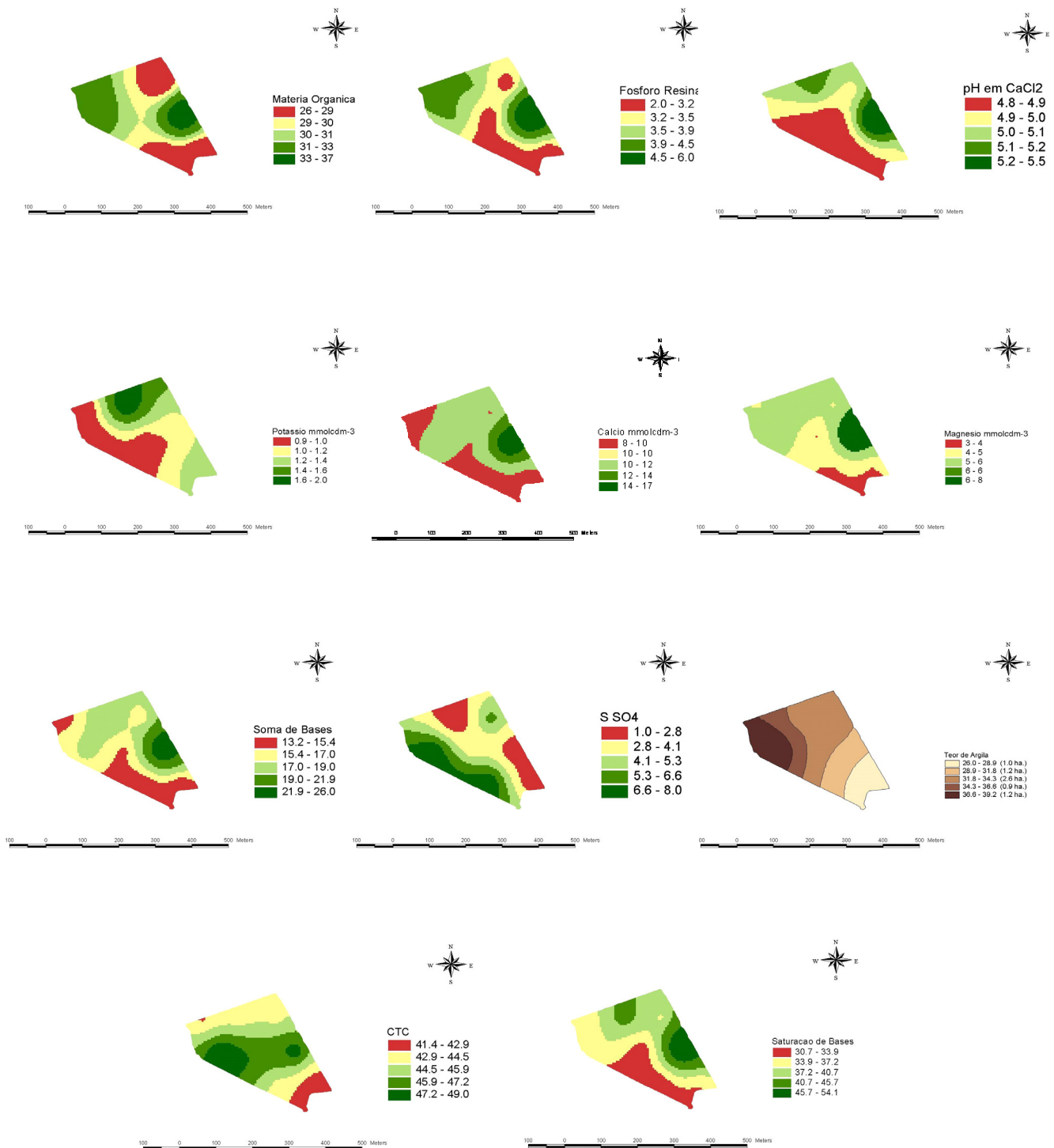


Figura 3. Mapas especializados dos parâmetros de fertilidade do solo na área de estudo.

A partir da malha de pontos amostrados, estabeleceram-se as informações para serem utilizadas no manejo da cultura no campo. Dessa forma, o mapa com as doses de fósforo, potássio e calcário para aplicação em taxas variáveis são apresentados na Figura 4. A espacialização da necessidade de calagem e das doses de P e K foi feita considerando-se cinco faixas de doses. Dessa forma, as menores doses recomendadas de calcário, de fertilizante potássico e de fosfato reativo foram, respectivamente, de 800, 50 e 413 kg ha⁻¹, e as maiores, de 1800, 100 e 550 kg ha⁻¹.

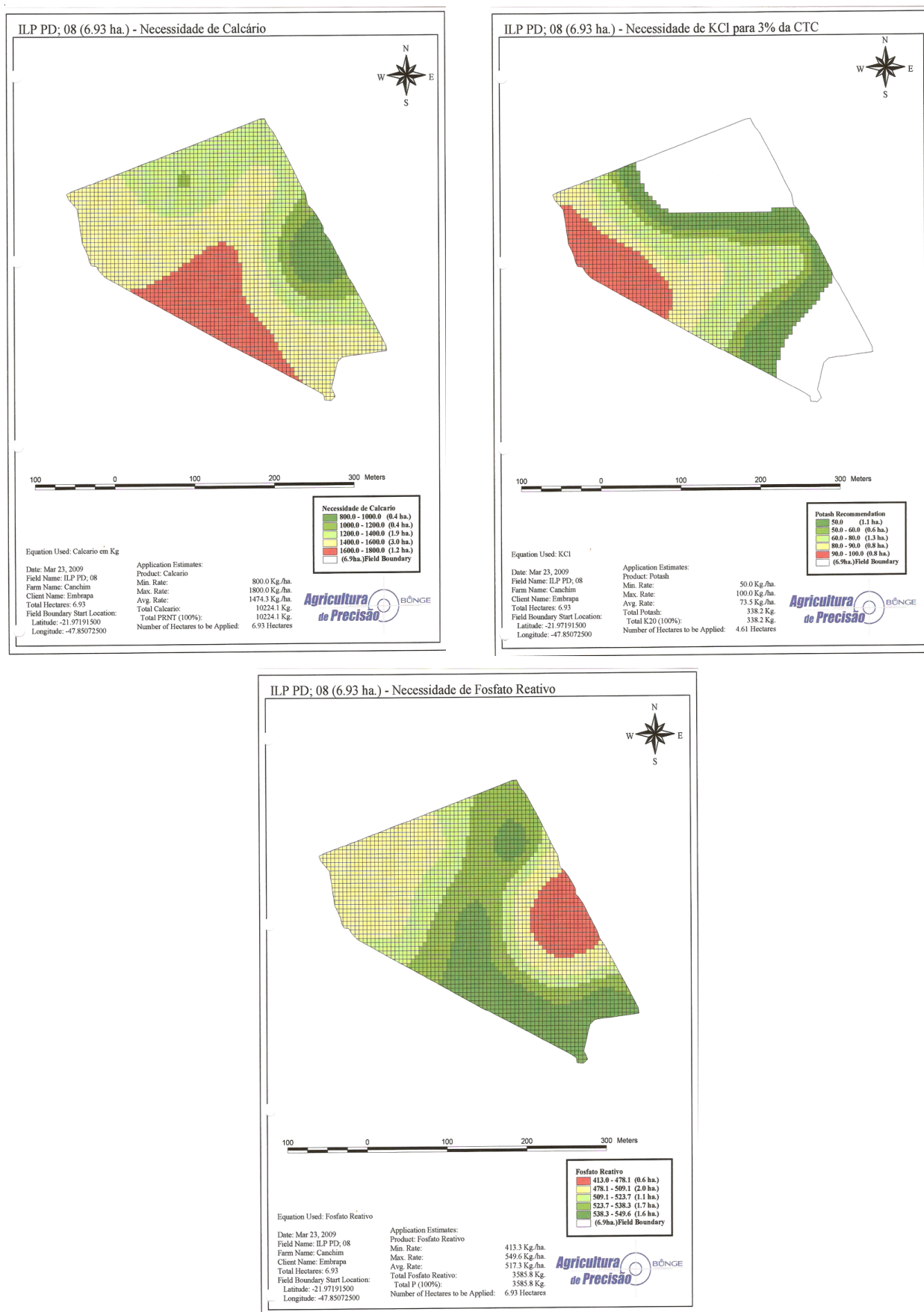


Figura 4. Recomendação espacializada da estimativa de calagem e adubação com P e K para o plantio de milho no sistema de integração lavoura-pecuária na área em estudo.

Conclusão

O uso das ferramentas de Agricultura de Precisão permitiu conhecer a variabilidade espacial dos parâmetros de fertilidade do solo em área cultivada no sistema de integração lavoura-pecuária.

A matéria orgânica, o pH, a CTC, a acidez potencial e o teor de Ca^{2+} foram os atributos de menor variabilidade. Os teores de K^+ e S-SO_4 apresentaram as maiores variabilidades.

Agradecimentos

À Bunge Fertilizantes pelo apoio no desenvolvimento deste estudo.

Referências bibliográficas

- BERNARDI, A. C. C.; GIMENEZ, L. M.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Aplicação de fertilizantes a taxas variáveis. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 153-164.
- BERNARDI, A. C. de C.; VINHOLIS, M. de M. B.; BARBOSA, P. F.; ESTEVES, S. N. **Reforma de pastagem e terminação de bovinos jovens em sistema de integração lavoura-pecuária em São Carlos, SP**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. (Comunicado Técnico / Embrapa Pecuária Sudeste; 83).
- BLACKMORE, S. Precision farming: a dynamic process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002. Minneapolis. **Proceedings...** Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2002. p. 84-104.
- BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. **Precision Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 359-387, 2004.
- CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, D. L. Spatial analysis of soil fertility parameters. **Precision Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 5-14, 1999.
- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; FONSECA, O. O. M.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. **Os solos da fazenda Canchim**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS; São Carlos, SP: EMBRAPA-CPPSE, 1998. 95 p. (Boletim de Pesquisa, 7).
- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 3, p. 249-290. 2003.
- EMBRAPA. Tecnologia em mecanização no Brasil: Equipamentos e sistemas para o futuro. In: SEMINÁRIO TEMÁTICO PARA PROSPECÇÃO DE DEMANDAS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL, 1997, Sete Lagoas. [Anais...]. Disponível em: < <http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/seminario.doc> >. Acesso em 3 maio 2008.
- KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 183-225.
- LARSON, W.; LAMB, J.; KHAKURAL, B.; FERGUSON, R.; REHM, G. Potential of site-specific management for nonpoint environmental protection. In: PIERCE, F.; SADLER, E. **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1997. p. 337-367.
- LARSON, W. E.; ROBERT, P. C. Farming by soil. In: LAL, R.; PIERCE, F. J. **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil Water Conservation Society, 1991. p. 103-112.
- MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S.; VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S.; MOLIN, J. P.; PAULETTI, V.; GIMENEZ, L. M. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja em plantio direto. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 113-127.

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos**. 1999. Disponível em: < <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html> >. Acesso em: 3 mai 2009.

MULLA, D. J.; SCHEPERS, J. S. Key processes and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F. J.; SADLER, E. J. (Ed.). **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1997. p. 1-18.

MULLA, D. J.; BHATTI, A. U.; HAMMOND, M. W.; BENSON, J. A. A comparison of winter wheat yield and quality under uniform versus spatially variable fertilizer management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 38, n. 3, p. 301-311, 1992.

MULLA, D. J.; McBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. P. A321-352.

PLANT, R. E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 30, n. 1, p. 9-29, 2001.

PRIMAVESI, A. C.; ANDRADE, A. G.; ALVES, B. J. R.; ROSSO, C.; BATISTA, E. M.; PRATES, H. T.; ORTIZ, F. R.; MELLO, J.; FERRAZ, M. R.; LINHARES, N. W.; MACHADO, P. L. O. A.; MOELLER, R.; ALVES, R. C. S.; SILVA, W. M. Métodos de análise de solo. In: NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 67-130.

ROBERT, P. C. Characterization of soil conditions at the field level for soil specific management. **Geoderma**, v. 60, n. 1, p. 57-72, 1993.

SEARCY, S. W. Engineering systems for site specific management: opportunities and limitations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., 1994, Minneapolis, **Proceedings...** Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1995. p. 603-647.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. Ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, Fundação IAC, 1996. 285 p. (Instituto Agronômico de Campinas. Boletim Técnico, 100).

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P.; CLAYTON, M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, v. 7, p. 441-448, 1994.

Comunicado Técnico, 93

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na: **Embrapa Pecuária Sudeste**
Endereço: Rod. Washington Luiz, km 234, São Carlos, SP
Fone: (16) 3411-5600
Fax: (16) 3361-5754
E-mail: sac@cppse.embrapa.br

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



1ª edição on-line: (2009)

Comitê de publicações

Presidente: *Ana Rita de Araujo Nogueira*.
Secretário-Executivo: *Simone Cristina Méo Niciura*.
Membros: *Ane Lisye F.G. Silvestre*,
Maria Cristina Campanelli Brito,
Milena Ambrosio Telles,
Sônia Borges de Alencar.

Expediente

Revisão de texto: *Simone Cristina Méo Niciura*.
Editoração eletrônica: *Maria Cristina Campanelli Brito*.

Apoio:

