



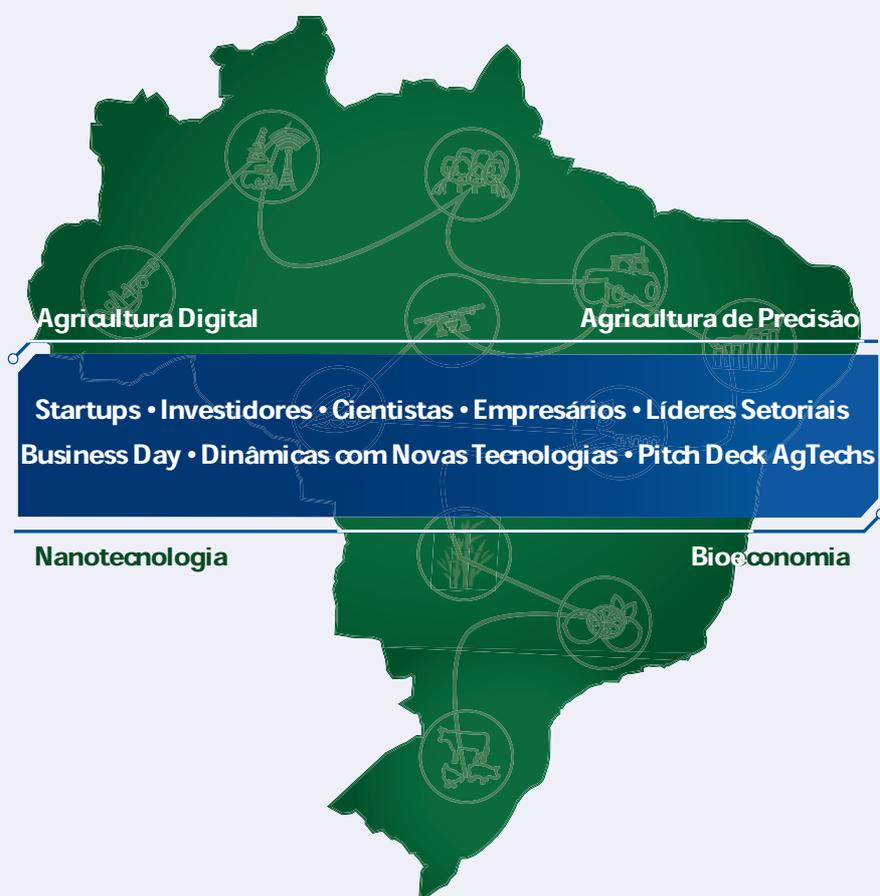
Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária

SIAGRO

Ciência, Inovação e Mercado

03 a 05 de dezembro de 2019
Embrapa Instrumentação

Anais



ISSN 2358-9132

Editores

Paulino Ribeiro Villas-Boas

Maria Alice Martins

Débora Marcondes Bastos Pereira Milori

Ladislau Martin-Neto

Embrapa

Instrumentação

MELHORIA DA FERTILIDADE DO SOLO E OTIMIZAÇÃO DO USO DE INSUMOS EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA COM FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

Alberto C. de Campos Bernardi^{1,*}; Nicolle Laurenti²; Giovana Maranhão Bettiol³; Patrícia P. Anção de Oliveira¹; Teresa Cristina Alves¹; André de Faria Pedroso¹; Sérgio Novita Esteves¹, José Ricardo Macedo Pezzopane¹

¹ Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP

² Engenharia Agrônômica, UNICEP, São Carlos, SP

³ Embrapa Cerrados, Planaltina – DF

* Autor correspondente, e-mail: alberto.bernardi@embrapa.br

Resumo: O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é útil para o uso racional dos insumos, como na aplicação localizada de calcário e fertilizantes nos sistemas de integração lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). A agricultura de precisão (PA) é a ferramenta para melhorar a eficiência do uso destes insumos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a aplicação calagem e de fertilizantes a taxas variáveis em um sistema ILPF. O estudo de campo foi realizado em uma área de 30 ha da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP. As amostras de solo foram coletadas a 0-0,2 m de profundidade, e cada amostra representou um piquete. A variabilidade espacial das propriedades do solo e das necessidades específicas de calcário e fertilizantes foram modeladas. Os resultados mostraram que o SIG é ferramenta útil para revelar a variabilidade espacial do solo e estratégias de manejo de solo. As análises espaciais das necessidades e necessidades das culturas podem fornecer ferramentas de gestão para evitar potenciais problemas ambientais causados por nutrientes em desequilíbrio. A tecnologia da aplicação de insumos à taxa variável pode ser utilizada como ferramenta de correção e adubação do solo levando à maior homogeneidade dos atributos químicos do solo.

Palavras-chave: geoprocessamento, taxa variável, sistemas integrados, calagem, adubação fosfática.

SOIL FERTILITY IMPROVEMENT AND INPUTS USE OPTIMIZATION OF A CROP-LIVESTOCK-FOREST INTEGRATION SYSTEM WITH PRECISION AGRICULTURE TOOLS

Abstract: Knowledge on spatial variability of soil properties is useful for the rational use of inputs, as in the site specific application of lime and fertilizer in the crop-livestock-forest integrated systems (CLFIS). Precision agriculture (PA) is the tool to improve the efficiency of use of these issues. The objective of this research was to evaluate liming and fertilizer variable rate application in CLFIS. The field study was carried out in a 30-ha area at Embrapa Pecuária Sudeste in São Carlos, SP, Brazil. Soil samples were collected at 0-0.2 m depth, and each sample represented a paddock. The spatial variability of soil properties and site-specific liming and fertilizer need were modeled by inverse distance weighting (IDW) technique. The results showed that GIS were useful tools for revealing soil spatial variability and supporting management strategies. Soil nutrients were used to classify the soil spatial distribution map and design site-specific lime and fertilizer application zones. Spatial analyses of crop needs and requirement can provide management tools for avoiding potential environmental problems, caused by unbalanced nutrient supplies. The VRT of inputs can be used as a tool for correction and fertilization of the soil leading to greater homogeneity of soil chemical attributes.

Keywords: geoprocessing, variable rate, integrated systems, lime, phosphorus fertilizer.

1. Introdução

Os Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) têm sido utilizados como uma estratégia de intensificação agrícola sustentável que integra atividades anuais de cultivo, árvores e pecuária na mesma área e na mesma safra (BALBINO et al., 2011). Entre os fatores controláveis que determinam a produtividade e a qualidade das culturas, está o manejo da fertilidade do solo. Nos solos intemperizados, de baixa fertilidade e ácidos da região tropical brasileira (BERNARDI et al. 2012) o fornecimento balanceado de nutrientes é importante para obter-se altos rendimentos e é essencial para manter alta qualidade e rendimentos rentáveis no ILPF. A análise química é essencial para avaliar a fertilidade do solo. Pois, com a interpretação dos resultados é possível realizar manejo químico do solo de maneira eficiente e econômica (RAIJ, 1991). Além disso, o balanço de nutrientes no sistema solo-planta pode ser considerado um indicador da sustentabilidade do uso agrícola do solo. No entanto, a gestão da fertilidade do solo, sem levar em conta a variação espacial pode afetar diretamente a produtividade e a qualidade ambiental (BERNARDI et al., 2016).

Uma abordagem de agricultura de precisão (AP) baseada em zonas de manejo parte do pressuposto de que as variações de topografia, classe de solo, nível de solo, água e nutrientes podem ser mapeadas e as diferentes zonas delineadas. Assim, cada zona torna-se então uma unidade de gestão na qual são implementadas as aplicações de taxa variável baseadas em sistemas globais de navegação por satélite (GNSS) para alcançar máximos rendimento, qualidade e rentabilidade econômica. Devido às características do pastejo rotativo, em que a área de pastagem pode ser dividida em sub-pastagens, denominadas "piquetes", esta subdivisão torna-se uma unidade de manejo (BERNARDI et al., 2017). O uso de ferramentas de AP, como a amostragem de solo georreferenciada, estabelecimento de zonas de manejo e aplicação de insumos a taxa variável podem ser úteis para a gestão de sistemas ILPF. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a aplicação calagem e de fertilizantes a taxas variáveis em um sistema ILPF.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em área experimental (Figura 1) da Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos, Brasil (21°57'S, 47°50'W, 860 m alt) em Latossolo vermelho-amarelo (Haplortox). O clima é tropical, com 1502 mm de precipitação anual e temperatura média mínima e temperatura máxima de 16,3° C (julho) e 23° C (fevereiro), respectivamente. O sistema ILPF totaliza 30 ha e inclui diferentes combinações: i) pastagem intensiva (INT) de capim Piatã (*Urochloa brizantha*); ii) Integração lavoura-pecuária (ILP), em que um terço da área é renovada anualmente plantando milho consorciado com capim Piatã; iii) integração floresta-pecuária-floresta (ILPF) plantado com *Eucalyptus urograndis* (GG100) em fileiras simples com espaçamento de 15 m e distância de 2 m entre árvores; iv) integração de pastagem-floresta (IPF), com capim Piatã e eucalipto; v) sistema extensivo (EXT) de capim braquiária (*Urochloa decumbens*). As pastagens são manejadas em sistema rotacionado com 6 dias de pastejo e 35 dias de repouso em épocas de chuvas e secas. Os piquetes são divididos com cercas elétricas em 6 subdivisões de 0,5 ha cada com 2 repetições.

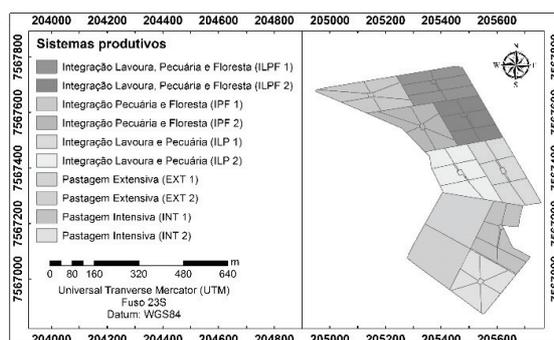


Figura 1. Localização da área de estudo, o sistema ILPF da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos – SP, Brasil.

2.2. Amostragem do solo e recomendação de insumos

A estratégia de amostragem do solo foi baseada na coleta de 6 sub-amostras a 0-0,2 m de profundidade em cada piquete de 0,5 ha nas safras de 2015/6 a 2018/9. As propriedades químicas foram determinadas como segue: as medições de pH do solo foram feitas em CaCl_2 , o carbono orgânico foi determinado por combustão úmida e o P disponível foi avaliado pelo método da resina. Determinou-se a acidez potencial (H+Al) pelo método do pH SMP. Também foram medidos K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis. A capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação de base (% V) foram calculadas. O teor de argila foi determinado pelo método do densímetro.

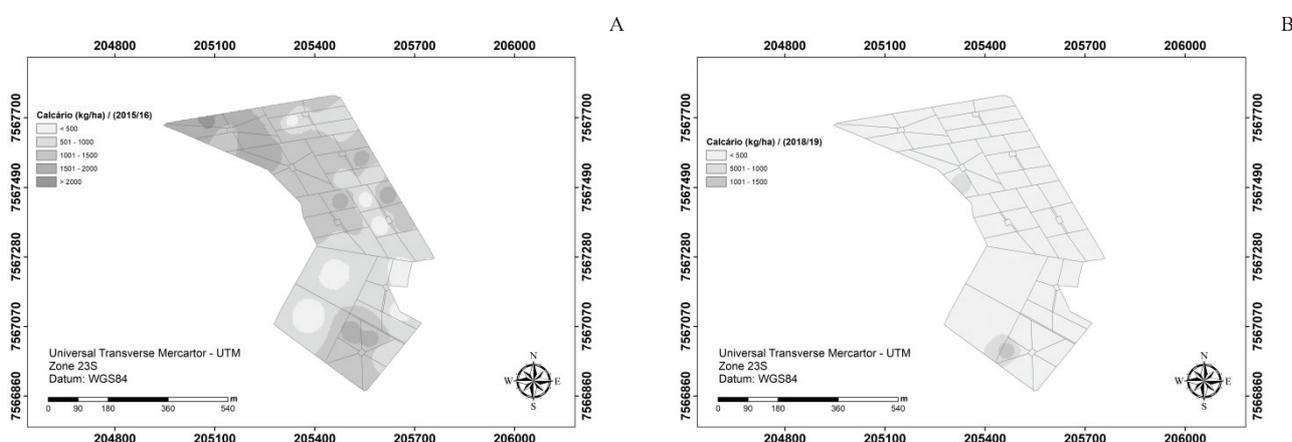
A recomendação de calcário e fertilizantes foi calculada com base em Rajj et al. (1996) e Bernardi et al. (2012), tendo sido utilizados os critérios: calagem para aumentar a saturação de base para 70% para o milho e 60% para as pastagens, adubação com o P (superfosfato simples, 18% P_2O_5) para aumentar o solo P para 15 mg dm^{-3} e fertilizante K (KCl 60% K_2O) para elevar a K^+ a 3% da CTC do solo. Cada piquete foi considerado uma "unidade de manejo", e a recomendação de calcário e fertilizantes foi calculada considerando a área de 0,5 ha, conforme descrito em Bernardi et al. (2017). Anualmente realizou-se a correção do solo e adubação seguindo os resultados obtidos e critérios estabelecidos.

2.3. Análise de dados

Os parâmetros estatísticos foram estimados para todas as variáveis (Tabela 1) em ambas safras. Foi utilizada a interpolação pela ponderação do inverso da distância (IDW) para obtenção dos mapas de contorno (Figura 2) das necessidades de calcário e superfosfato simples (SSP) com o software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2009).

Tabela 1. Estatística descritiva de atributos do solo e recomendações de calcário e fertilizante fosfatada de um ILPF em São Carlos – SP, Brasil.

Parâmetros Estatísticos	Argila	pH		P		CTC		V		Calagem		SSP	
	g/kg	CaCl_2		mg/dm^3		$\text{mmol}_c/\text{dm}^3$		%		kg/ha			
	-	2015/6	2018/9	2015/6	2018/9	2015/6	2018/9	2015/6	2018/9	2015/6	2018/9	2015/6	2018/9
μ	340	4,8	5,4	8,1	13,2	58,3	71,2	45,6	65,2	1.090,0	549,0	120,0	234,0
σ	33,4	0,2	0,3	5,0	6,9	6,9	9,7	8,7	8,8	660,0	243,2	295,5	186,9
Mínimo	275	4,3	4,9	1,0	6,0	45,0	53,0	28,0	47,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	414	5,4	6,0	26,3	34,0	77,0	92,0	66,0	81,0	2.500,0	950,0	1.500,0	500,0
CV (%)	9,8	3,9	4,7	61,0	52,4	11,8	13,6	19,0	13,5	60,6	44,3	246,3	79,9
Curtose	-0,66	2,13	-0,10	3,86	2,01	0,05	-0,58	-0,16	-1,09	-0,76	0,27	10,05	-1,54
Assimetria	0,05	0,59	0,20	1,73	1,56	0,26	0,35	0,31	-0,04	-0,12	-0,81	2,98	-0,15
N	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50



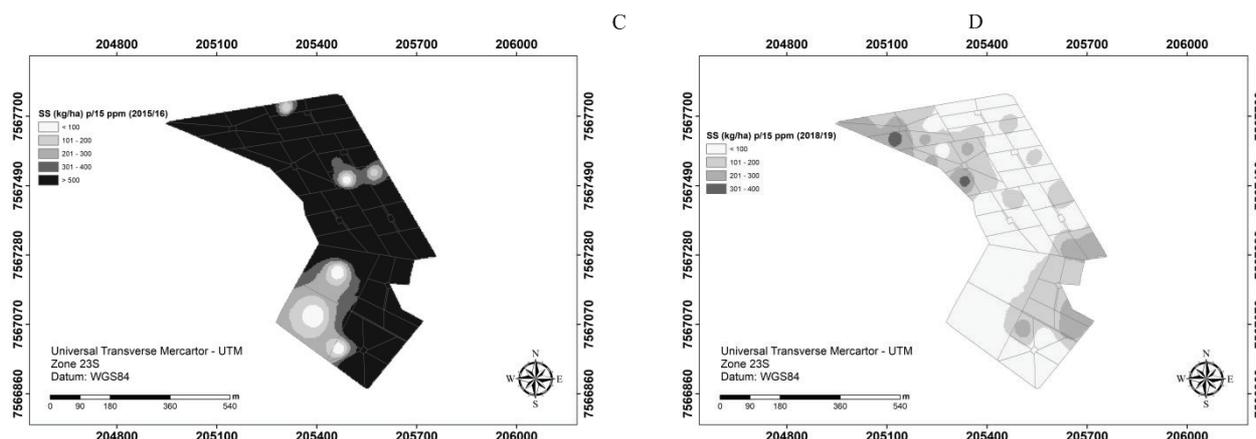


Figura 2. Mapas da recomendação de calagem (A, B), e superfosfato simples – SSP (C, D) nas safras 2015/16 e 2018/19 em um ILPF.

3. Resultados e Discussão

Os parâmetros estatísticos de todas as variáveis analisadas são apresentados na Tabela 1. Estes parâmetros estatísticos como média, variância, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, assimetria e curtose foram obtidos para verificar a existência de uma tendência central e dispersão de dados. De acordo com Carvalho et al. (2000), em um conjunto de dados que se aproxima da distribuição normal, os valores para os coeficientes de assimetria e curtose se aproximarão de zero. Estes valores, juntamente com os outros parâmetros estatísticos clássicos, são úteis para avaliar a magnitude da dispersão de dados em torno de um valor de tendência central. Para a maioria das variáveis estudadas, houve distribuição normal, conforme indicado pelos coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero, com exceção de pH na 1ª safra e P em ambas safras.

O pH do solo e a argila representaram propriedades do solo com baixa variabilidade com um coeficiente de variação abaixo de 10%. A CTC e V% representaram propriedades do solo com variabilidade média (CV 10 a 30%). O teor de P foi a propriedade do solo com maior variabilidade. De acordo com Kravchenko (2003), o nível de variabilidade dos dados é importante na gestão da AP, uma vez que as propriedades do solo com alta variabilidade são potencialmente melhores candidatas a serem administradas numa base específica de sítios do que as propriedades do solo mais uniformemente distribuídas. Por outro lado, o mapeamento das propriedades do solo com maior variabilidade pode ser menos preciso do que o das propriedades do solo com menor variabilidade. As tendências na variação dos atributos do solo obtidas neste estudo são consistentes com as observadas por Bernardi et al. (2016 e 2017) para os mesmos parâmetros do solo.

Os resultados da análise química de solo determinam o estoque de nutrientes no solo e os limitantes químicos no momento anterior ao plantio, possibilitando a recomendação de correção e adubação, bem como monitorar e avaliar periodicamente o balanço dos nutrientes no solo. Comparando-se os resultados obtidos nas 1ª. e 2ª. safras indicaram que houve uma melhoria geral dos parâmetros analisados, e indicando que está havendo uma melhoria da fertilidade solo.

Os mapas da Figura 2 comprovam esta melhoria da fertilidade pois indicam que no sistema ILPF com pastagens de capim Piatã, em rotação como milho e com árvores de eucalipto, utilizando as ferramentas de AP, conforme descrito por Bernardi et al. (2015, 2016, 2017), foi possível reduzir em 89 e 57% as quantidades totais de calcário e supersimples. As doses de totais aplicadas em 30ha variaram de 54,5 e 27,5 t/ha aplicadas em 2015, para 6,0 e 11,7 t/ha aplicados em 2018, respectivamente.

4. Conclusões

Os resultados mostraram que a geoestatística e o SIG são ferramentas úteis para revelar a variabilidade espacial do solo e estratégias de manejo de solo. As análises espaciais das

necessidades e necessidades das culturas podem fornecer ferramentas de gestão para evitar potenciais problemas ambientais causados por nutrientes em desequilíbrio. A tecnologia da aplicação de insumos à taxa variável pode ser utilizada como ferramenta de correção e adubação do solo levando à maior homogeneidade dos atributos químicos do solo.

Agradecimentos

Ao International Potash Institute – IPI e Associação Rede ILPF, pelo apoio financeiro ao projeto.

Referências

- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; FERREIRA, R. P.; SANTOS, K. E. L.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Spatial variability em São Carlos – SP, Brasil of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. **Precision agriculture**, v. 17, p. 737-752, 2016.
- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília v. 32, n. 1/2, p. 205-221, 2015.
- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; MAZZUCO, G. G.; ESTEVES, S. N.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Spatial variability of soil fertility in an integrated crop livestock forest system. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 2, p. 590-593, 2017.
- BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, P.P.A.; PRIMAVESI, O. Soil fertility of tropical intensively managed forage system for grazing cattle in Brazil. In: WHALEN, J.K. **Soil fertility improvement and integrated nutrient management - a global perspective**. Rijeka, Croatia: Intechopen, 2012. p. 37-56.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1151-1159, 2002.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres; Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.
- RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronomico/IAC, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).