

Resumo

Fora da faixa ideal de pH, as culturas encontram limitação quanto à disponibilidade dos nutrientes, logo a calagem está ligada diretamente à produtividade da cultura, sendo a aplicação comumente realizada baseado em um valor médio da Necessidade de Calcário (NC). Dessa forma o trabalho teve como objetivo a construção do mapa da NC, utilizando as ferramentas de Agricultura de Precisão (AP) e por meio da metodologia convencional, realizando posteriormente uma comparação entre os métodos de aplicação de NC utilizados, determinando os benefícios da aplicação em taxa variada. Foram coletadas 59 amostras, por meio de um *Grid* amostral, dentro da área experimental de 82,67 ha. Com a utilização da Geoestatística determinou-se a variabilidade espacial da NC na área estudada, com um grau moderado de dependência espacial entre os pontos amostrados, assim possível construir um mapa temático da NC. Ao comparar a quantidade de calcário calcítico a ser aplicado segundo o mapa temático com a metodologia convencional de aplicação a partir da média da NC, a quantidade de calcário aplicado a taxa variada diminuiu na ordem de 73%, proporcionando com isso, maiores benefícios ambientais ao solo e também financeiros em virtude da economia na quantidade de corretivo.

Palavras-chave: geoestatística; acidez do solo; agricultura de precisão

Caracterização da variabilidade espacial da necessidade de calcário para aplicação à taxa variada em uma área agrícola comercial

Diego Della Justina¹, Erivelto Mercante², Miguel Uribe Opazo³

Caracterización de la variabilidad espacial de la necesidad de aplicación de cal en tasa variable en área agrícola comercial

Resumen

Fuera del rango óptimo de pH, las culturas encuentran limitaciones en la disponibilidad de nutrientes, por lo que el ajuste de pH está directamente relacionado con la productividad de los cultivos, la aplicación se realiza con frecuencia sobre la base de un valor promedio de la necesidad de cal (CN). Así, el estudio tuvo como objetivo la construcción del mapa de la NC, utilizando las herramientas de la Agricultura de Precisión (AP) y por el método convencional, realizando a continuación una comparación entre los métodos de aplicación de NC utilizados, con la determinación de los beneficios de la aplicación tasa variada. Fueron recolectadas 59 muestras a través de una red de muestreo, en el área experimental de 82,67 hectáreas. Con el uso de Geoestadística se determinó la variabilidad espacial de la CN en el área de estudio, con un grado moderado de dependencia espacial entre los puntos de muestreo, y se puede construir un mapa temático de la CN. Al comparar la cantidad de cal calcítica que se aplicará de acuerdo con el mapa temático con el método convencional de aplicación a partir de lo promedio de la CN, la cantidad de cal aplicada sufre disminución en la orden del 73%, proporcionando así, mayores beneficios ambientales a lo suelo y también financieros debido a los ahorros en la cantidad de correctivos.

Palabras clave: geoestadística; la acidez del suelo; agricultura de precisión

Introdução

A acidez do solo promove modificações nas características químicas do solo, como aumento da concentração de elementos tóxicos para as plantas, também limitando a adsorção e disponibilidade

de nutrientes no solo, afetando negativamente a lavoura e dificultando o aproveitamento, pelas plantas, dos elementos nutritivos que existem no solo. As consequências são os prejuízos causados pelo baixo rendimento produtivo das culturas. Portanto, a correção da acidez dos solos, através da calagem,

Recebido em: 23 mar. 2010. Aceito para publicação em: 09 jun. 2010.

1 Graduando Eng^a Agrícola, UNIOESTE/Cascavel - PR. E-mail: diego_della_justina@hotmail.com

2 Professor Adjunto do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – CCET, UNIOESTE/Cascavel – PR.

3 Professor Associado do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – CCET, UNIOESTE/Cascavel – PR. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Rua Universitária, 2069 – Jardim Universitário – Fone (45) 3220-3000 – Fax (45) 3324-4566 CEP 85819-110 – Cascavel – PR.

Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia v3 n3 Set.- Dez. 2010

Print-ISSN 1983-6325 (On line) e-ISSN 1984-7548

é fundamental para uma atividade agropecuária produtiva.

A necessidade de calagem por sua vez é determinada através da análise de química do solo, a primeira e mais crítica etapa da análise é a amostragem de solo. A metodologia de amostragem do solo que vem sendo empregada e difundida ao longo dos anos prevê a subdivisão da propriedade em áreas uniformes de até 10 hectares, para a retirada de amostras. Cada uma dessas áreas deverá ser uniforme quanto à cor, topografia, textura e quanto às necessidades adubações e calagem. As amostras devem ser retiradas, caminhando-se ao acaso em zigue-zague na área, para formar a amostra composta. O número de amostras simples não deve ser inferior a 10 pontos por talhão homogêneo, sendo ideal em torno de 20 pontos. Não se deve coletar amostras próximas a casas, galpões, brejos, voçorocas, caminhos de pedestres, formigueiros etc., evitando introduzir erros na amostragem (BORGES e ACCIOLY, 2007).

Porém estudos realizados comprovam que existe variabilidade espacial dos atributos do solo mesmo em áreas muito pequenas, GOTWAY et al. (1996) descobriu que em muitos casos onde o espaço de distribuição é bastante complexo, faz-se necessário um grid amostral mais denso para a produção de mapas de prescrição exata. Nos dias atuais as tecnologias associadas a Agricultura de Precisão (AP) permitem fazer um estudo mais detalhado do solo, determinando a variabilidade existente em áreas antes consideradas uniformes, através de sensores, computadores e receptores de sinal do Sistema de Navegação Global por Satélite – GNSS (MURAKAMI 2006).

No ciclo da AP o modelamento da variabilidade espacial das informações é realizado por meio de técnicas geoestatísticas, a qual tem como fundamento a “Teoria das Variáveis Regionalizadas” que surge como uma técnica que leva em consideração a distribuição espacial das medidas (dados coletados), o que permite definir o raio de dependência espacial entre amostras. Esta teoria depende em especial das funções de semivariância e covariância que são usadas no estudo da estrutura da dependência espacial ou temporal de processos estocásticos (GIACOMIN et al., 2009).

Estas tecnologias de AP e geoestatística possibilitaram o gerenciamento e ampliação do

conhecimento das áreas cultivadas com avaliação e tratamento da variabilidade espacial até então presente, porém sem alternativa de determinação em áreas comerciais, como exemplos pode-se citar os trabalhos de SOUZA et al. (1999); MERCANTE et al. (2003); JOHANN et al. (2010).

Na adoção do conceito de AP definida por MANZATTO et al. (1999) como aplicação de insumos no local correto, no momento adequado, com as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, em áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto, a tecnologia e os custos envolvidos o permitam, com a implementação do ciclo de AP, visa-se otimizar a aplicação do corretivo, aumentando a produção em regiões que apresentarem maior NC e reduzir assim custos com a diminuição do volume de corretivo em áreas de menor necessidade.

Nesse contexto, a construção do mapa da NC, utilizando as ferramentas de Agricultura de Precisão - AP e por meio da metodologia convencional, teve por objetivo comparar os resultados de cada um dos métodos, determinando os benefícios da aplicação à taxa variada.

Material e Métodos

Os dados para a realização deste trabalho são provenientes de pesquisa em andamento e desenvolvida pelo Grupo de Estatística Aplicada - GGEA com apoio dos Laboratórios de Estatística Aplicada-LEA/CCET/UNIOESTE e de Topografia e Geoprocessamento – GeoLab/CCET/UNIOESTE. O ano agrícola em estudo foi a safra de “verão” 2008/2009 (Novembro de 2008 a Março de 2009), a pesquisa foi desenvolvida em área agrícola comercial, na qual o solo foi classificado em Latossolo Vermelho Distrófico, conforme EMBRAPA (1999).

A área agrícola em estudo (Figura 1) possui 82,67 ha de extensão e esta localizada no município de Cascavel – PR, suas coordenadas UTM são 262.900,00 metros e 7.138.300,00 metros, no fuso 22 S para o Datum SAD 69.

Primeiramente, no levantamento dos dados, foi efetuada a planimetria e o georreferenciamento da área com uso de um aparelho receptor GPS da marca Trimble, modelo GeoExplorer3, com precisão de 1 a 5 metros com código C/A segundo o fabricante

(GeoExplorer 3 Operation Guide). No delineamento amostral entre os pontos georreferenciados, adotam-se uma malha irregular com distâncias de 50, 75 e 140 metros, como forma de melhor caracterizar a variabilidade espacial existente, sendo assim, definiu-se um total de 59 pontos amostrais em toda a área. Com auxílio de um trado elétrico de rosca, coletou-se cinco sub-amostras de solo na profundidade de 0,00 - 0,20 metros para cada um dos 59 pontos amostrais, que após serem homogêneas davam origem a uma amostra composta para análise química do solo.

As análises químicas do solo por sua vez, foram realizadas no laboratório de química de solo da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC. A partir do método da elevação da saturação de bases, calculou-se a NC para o calcário calcítico com PRNT de 80% por meio método da saturação de bases (Equações 1, 2, 3, 4 e 5). A saturação de bases é variável para cada estado ou região, segundo EMBRAPA SOJA (1993) a recomendação para o estado do Paraná é 70%.

$$NC = \frac{[(V_2 - V_1) \cdot T \cdot f]}{100} \quad (1)$$

$$V_1 = 100 \cdot \left(\frac{S}{T}\right) \cdot V \quad (2)$$

$$S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ \quad (3)$$

$$T = S + (H + Al^{3+}) \quad (4)$$

$$f = \frac{100}{PRNT} \quad (5)$$

Em que:

NC = Necessidade de Calagem (t ha⁻¹)

V₂ = Valor da saturação de bases trocáveis que se deseja (%);

V₁ = Valor da saturação de bases trocáveis do solo (%); S = Soma de bases (cmol_c dm⁻³);

T = Capacidade de troca de cátions, (cmol_c dm⁻³);

f = Fator de correção do PRNT do calcário;

Ca = Cálcio (cmol_c dm⁻³);

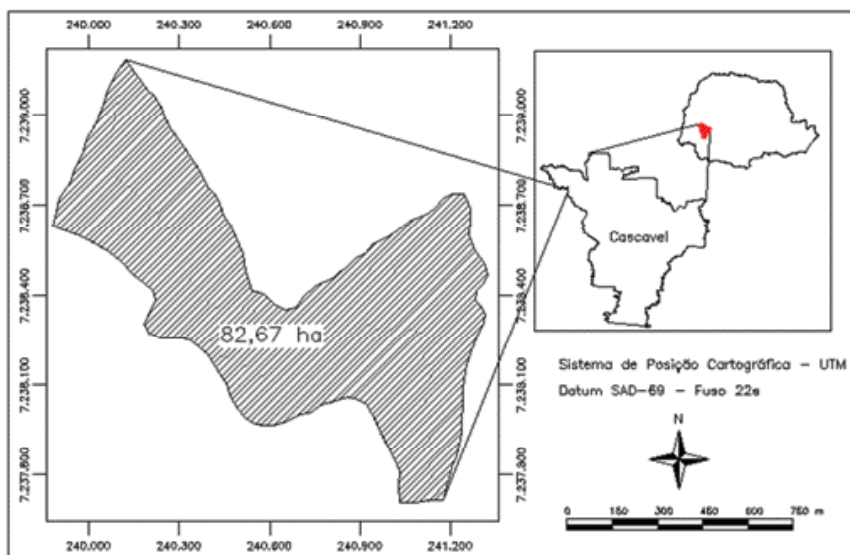
Mg = Magnésio (cmol_c dm⁻³);

K = Potássio (cmol_c dm⁻³);

H = Hidrogênio (cmol_c dm⁻³);

Al = Alumínio (cmol_c dm⁻³).

Os dados de NC inicialmente foram trabalhados com o auxílio de planilhas eletrônicas para realizar a estatística descritiva. Para estimar os atributos do solo nas áreas entre os pontos amostrados



Fonte: próprio autor.

Figura 1. Área de pesquisa com 82,67 ha.

utilizou-se a Geoestatística, com as análises e modelamentos feitos nos softwares *Geo R* e *Surfer 9.0*.

Antecedendo as análises de dependência espacial pela geoestatística, foi verificada a normalidade, assimetria, curtose, média, desvio-padrão e coeficiente de variação.

Dentro da geoestatística utilizou-se o estimador dos momentos designado pela equação 6 (PANNATIER 1996):

$$\gamma(h) = \left(\frac{1}{2}\right) (N(h)) \cdot \sum N(h)[z(si + h) - z(si)] \quad (6)$$

Em que:

$z(si)$ = Valor da variável no ponto si ;

$z(si + h)$ = Valor da variável no ponto $si + h$

$N(h)$ = Número de pares separados a uma distância h .

Como o variograma real dos dados NC é desconhecido, necessitou-se de um semivariograma teórico de referência que melhor se ajustasse ao variograma experimental, de modo que a partir do modelo teórico, possam ser feitas inferências sobre o variograma verdadeiro. Com o auxílio do módulo de geoestatística *Geo R*, (RIBEIRO JR. e DIGGLE, 2001), determinou-se os semivariogramas dos modelos esféricos, exponencial e gaussiano para os métodos de ajustes mínimos quadrados (OLS), mínimos quadrados ponderados (WLS1), máxima verossimilhança (ML) e máxima verossimilhança restrita (RML).

Na confecção dos mapas temáticos que expressam a variabilidade espacial da NC foi utilizada a interpolação por krigagem ordinária, pela qual se obteve a previsão de valores em lugares não amostrados na área em estudo. Os mapas foram reclassificados em subáreas, com os valores

dos Quartis foi criado um mapa temático de NC, relatando as diferentes características dentro da área agrícola analisada.

Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta a análise exploratória dos valores calculados para a NC. Verifica-se que o valor de NC médio foi de 2.501,80 kg ha⁻¹ para o calcário calcítico com PRNT de 80%.

Através do teste de Anderson Darling verificou-se que os dados possuem distribuição normal, com p-value de 0,54. Em relação ao coeficiente de variação (CV) de 55,53%, os dados são classificados como heterogêneos segundo GOMES (2000). O desvio padrão (S) de 1.389,28 também indica que os dados possuem alta dispersão, o que pode ser comprovado com valores máximos e mínimos encontrados (Tabela 1).

A Tabela 2 apresenta os parâmetros da modelagem da variabilidade espacial efetuada para os dados de NC e obtida através do estudo variográfico.

O modelo do semivariograma de melhor ajuste foi o *Esférico*, com raio de dependência espacial de 260,9 metros. Analisando o efeito pepita relativo (E), que foi de 27,8%, observa-se que as amostras apresentam um moderado grau de dependência espacial, visto que o valor está entre $0,25 \leq e \leq 0,75$ classificados como moderado por CAMBARDELLA et al. (1994).

O mapa temático de NC apresentado na Figura 2 foi obtido por meio da interpolação por krigagem através do software *Surfer 9.0*, utilizando os parâmetros da análise espacial, efeito pepita (C0), contribuição (C1) e alcance, obtidos através do modelo ajustado ao variograma (Tabela 2).

A partir do mapa temático, determinaram-se as áreas da distribuição espacial da NC para cada

Tabela 1. Análise exploratória da NC.

Variável	Nº	Média	Mediana	Q1	Q3	Mín	Máx	S	CV (%)
NC	59	2.501,80	2.610,00	1.382,00	3.443,00	0,00	6.819,00	1.389,28	55,53

Nota: N° - número de amostras; Q1 - quartil 1; Q3 - quartil 3; Mín - mínimo; Máx - máximo; S - desvio padrão; CV - coeficiente de variação.

Tabela 2. Análise espacial da NC.

Variável	Modelo	C0	C1	E= C0/(C0+ C1)	Alcance (m)
C	Esférico	454.435,52	1.630.467,24	27,80%	260,9

Nota: C0: efeito pepita, C1: contribuição e E: efeito pepita relativo (%).

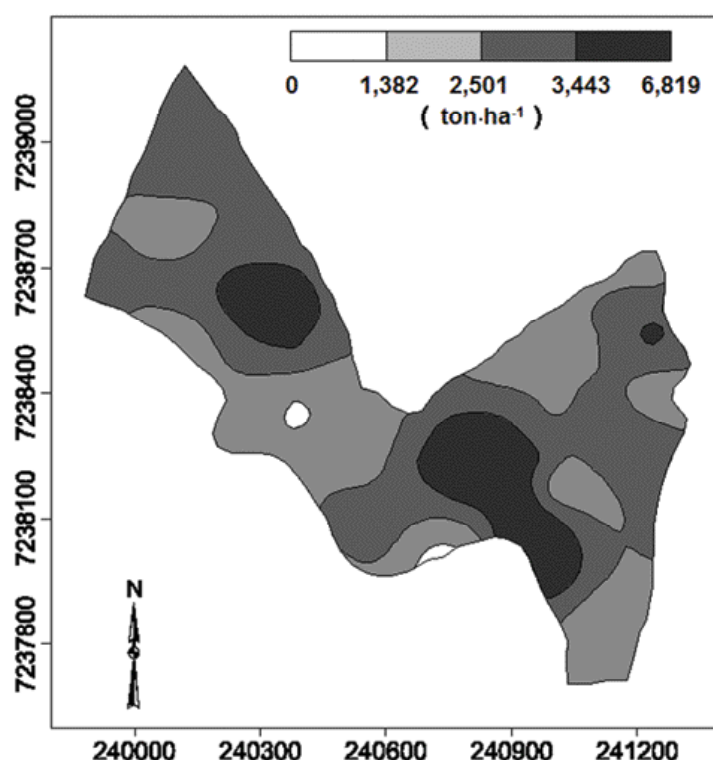


Figura 2. Mapa da distribuição espacial da NC ($t\ ha^{-1}$).

classe criada por meio dos valores dos Quartis, ou seja, para as classes visualizadas na legenda.

Esses resultados podem ser visualizados na Tabela 3, a qual também contém os cálculos da NC e da quantidade total (ton) a serem aplicadas em cada uma das áreas discretizadas no mapa temático.

Como forma de comparar a utilização

da técnica de AP em relação à metodologia convencional, para correção da acidez do solo por meio da NC, foram realizados os cálculos da Tabela 4. Nesta apresenta-se a NC média de toda a área, obtida a partir do valor médio de NC das amostras sistemáticas a fim de simular a quantidade total de calcário a ser aplicado segundo esta metodologia de

Tabela 3. Área e quantidade de calcário a ser aplicado conforme mapa temático de NC.

Região	NC ($t\ ha^{-1}$)	Área (ha)	Qtde Calcário (t)
1 ^o Q	0 – 1,38	0,71	0,49
2 ^o Q	1,38 – 2,50	29,97	16,77
3 ^o Q	2,50 – 3,44	39,80	18,83
4 ^o Q	3,44 – 6,62	12,01	19,07
$\Sigma =$		82,67	55,16

Nota: 1^oQ – primeiro quartil; 2^oQ – segundo quartil; 3^oQ – terceiro quartil; 4^oQ – quarto quartil.

Tabela 4. Quantidade de calcário para a metodologia convencional.

Região	NC ($t\ ha^{-1}$)	Área (ha)	Qtde Calcário (t)
Média	2,501	82,67	206,76

recomendação.

Ao comparar-se a quantidade necessária de calcário calcítico para corrigir a acidez do solo na área total, verifica-se que a correção da acidez, por meio do método convencional, necessitou de 206,76 ton, contra apenas 55,16 ton (Tabela 3) apresentada pelo método de aplicação à taxa variável dentro da AP. Isso representou uma diminuição significativa na quantidade de corretivo a ser aplicado, aproximadamente 73,32% ou 151,6 ton.

Os resultados vantajosos encontrados, quanto à diminuição da quantidade de calcário calcítico a ser aplicada na área com a aplicação a taxa variável dentro da AP, corroboram com os resultados encontrados por GIACOMIN et al. (2009), entretanto, esses autores diagnosticaram uma diminuição de apenas 6,9% na quantidade de calcário calcítico, com a aplicação a taxa variável em relação a metodologia convencional.

Conclusões

A construção do mapa da NC, utilizando as ferramentas de Agricultura de precisão – AP e

por meio da metodologia convencional, realizando posteriormente uma comparação entre os métodos de aplicação de NC utilizados, mostrou que aplicações a taxa variável utilizam menos corretivo do que as convencionais aplicações uniformes.

Os resultados indicaram que menos da metade de calcário calcítico foi realmente necessária para esta área de pesquisa, determinando assim os benefícios da aplicação em taxa variada, quando comparada ao tratamento uniforme.

Agradecimentos

Agradece-se ao CNPq e Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

Referências

Apresentadas no final da [versão em inglês](#).