

USO DO SPRING NO PROCESSAMENTO DE DADOS DE FERTILIDADE DO SOLO PARA USO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

RENATA CILENE DAINESE¹
MARCOS ADAMI¹
JOSÉ PAULO MOLIN²
MAURÍCIO ALVES MOREIRA¹

¹INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 – 12201-970 – São José dos Campos – SP, Brasil
{renata, adami, mauricio}@ltid.inpe.br

²ESALQ – Universidade de São Paulo
Caixa Postal 11 – 134818-900 – Piracicaba – SP, Brasil
jpmolin@esalq.usp.br

Abstract One of the premises for precision farming is the yield optimization and its costs, and the minimum application of chemical product in order to minimize environmental impacts. Therefore, it is necessary to manage spatial variability on the field through the determination of spatial referenced information, as well as determining nutrients related to soil fertility. This paper aims at correlating corn yield data with soil chemical parameters analyzed by geostatistics, and the results indicated low correlation; corn yield data were obtained from an agricultural land used for experimental studies, which is ESALQ's property in Pirassununga city, São Paulo State, Brazil. Furthermore, with the intention of evaluating the feasibility of using the software SPRING – a geographic information system – for producing manuring maps for variable rate application (VRT; “*Variable-Rate Treatment*”), some maps were produced for recommending manure/fertilizer application in sowing and in coverage, for corn crops. SPRING software seems to be of high potential applicability involving GIS use in Precision Farming.

Keywords: precision farming, GIS, SPRING software, geostatistics, soil properties, yield mapping, corn.

1. Introdução

A agricultura enfrenta em seu meio um sistema de concorrência perfeita, ou seja, uma grande quantidade de agricultores tem dependência, de uma pequena quantidade de vendedores de insumos e compradores dos produtos gerados pela agricultura, quanto à formação de preços. Aliado a isto, o alto dinamismo do sistema agrícola no espaço e no tempo, influenciado por fatores inerentes à planta, ao solo, ao clima e às ações antrópicas, e a globalização da economia têm levado a uma necessidade de otimização deste sistema.

Uma destas otimizações, associada ao conceito de agricultura de precisão, está relacionada à aplicação de agrotóxicos e fertilizantes que quando aplicados de maneira ineficiente geram problemas ambientais e aumento do custo de produção. A procura da otimização destes bens de produção tem influenciado a busca de novas alternativas tecnológicas e novos conceitos para operacionalização do processo produtivo, aliados à necessidade do manejo de grandes volumes de informações, que variam no espaço e no tempo. Segundo Lamparelli et al. (2001), dentre estas novas tecnologias encontram-se os avanços da eletrônica e da informática, bem como aquelas ligadas ao geoprocessamento – as chamadas geotecnologias.

A tecnologia inerente à agricultura de precisão baseia-se na coleta de informações sobre produtividade, atributos químicos e físicos dos solos, condições da cultura e do terreno, associando-as a sua localização, as quais, podem ser expressas na forma de mapas digitais. Além disto, estas informações são, geralmente, coletadas em forma de amostragem que, neste

caso, apresentam uma dependência espacial, o que exige adequação do seu tratamento estatístico.

O objetivo geral deste trabalho é o de avaliar a viabilidade do uso do sistema de informação geográfica SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo INPE, em algumas etapas de aplicação da Agricultura de Precisão numa área experimental. Para tanto, dividiu-se o trabalho em dois objetivos específicos: a) utilizar um interpolador geoestatístico em parâmetros químicos do solo a fim de correlacioná-los com a produtividade e b) gerar mapas de recomendação de fertilizantes para aplicação em taxa variável (VRT; “*Variable-Rate Treatment*”).

2. Fundamentação Teórica

2.1 Agricultura de Precisão

O termo Agricultura de Precisão, termo este um tanto controverso no sentido da palavra precisão, Usery et al. (1995) e mais tarde Lamparelli et al. (2001) o conceituaram como a técnica que visa otimizar a produção com o menor impacto ambiental possível.

Para Usery et al. (1995), dentre as tecnologias associadas à agricultura de precisão estão o GPS (*Global Position System*) e/ou DGPS (*Differential Global Position System*), sensores contínuos de dados, sensoriamento remoto, VRT (*Variable-Rate Treatment*), ou seja, aplicação por taxa variável, e Geoprocessamento (com a geotecnologia *GIS*).

2.2 Geoprocessamento e Agricultura de Precisão

Uma das grandes contribuições do geoprocessamento para a população, em termos de agricultura, é o potencial do uso das ferramentas GIS para integrar os vários tipos de informações necessárias para o gerenciamento e controle da produção agrícola, e a integração de sua tecnologia com outras, a fim de fornecer um aumento desta produção, quase que, simultaneamente com a redução da degradação ambiental.

Segundo Usery et al. (1995), os GIS formam a essência de três atividades: coleção de dados, análise de dados e tomada de decisão e tratamento da aplicação variável.

2.2.1 Coleção de dados

Para a agricultura de precisão, o banco de dados de um GIS deve conter inúmeros *layers* (que no SPRING são chamados de Planos de Informações) de dados espacializados, cada um com um controle preciso de sua posição no campo. Estes *layers* devem conter as informações de limites de áreas, declividade e aspecto do terreno, conteúdo de água, distribuição de tamanho de partículas, drenagem. Além disso, deve conter, no banco de dados, outros *layers* com atributos da composição química dos solos, tais como, nível de nutrientes, capacidade de troca catiônica, pH, salinidade, potencial de poluição, mesmo tendo um custo elevado para a coleta desses dados. Dados de característica biológica também podem ser inclusos nestes bancos, tais como: quantidade e qualidade do rendimento das culturas, distribuição de doenças, pragas e plantas daninhas e conteúdo de matéria orgânica.

2.2.1 Análise de dados e tomada de decisão

As análises para a agricultura de precisão que podem ser realizadas em dados dentro de um GIS, são as ligadas às funções analíticas e as de processamento de imagens digitais e análise multivariada, estatística espacial e geoestatística.

Lamparelli et al. (2001), descreve a geoestatística como um conjunto de técnicas que estima valores regionalizados e espacializados de atributos ou características de uma

determinada área a ser estudada. A ferramenta básica da geoestatística é o método de interpolação denominado krigeagem (*kriging*), cujo produto é um mapa da área segundo um atributo, com estimativas não viciadas e de mínima variância.

Através da estrutura de variabilidade, conceituada pela agricultura de precisão, pode-se utilizar a interpolação pelo método de krigeagem para a confecção de mapas de parâmetros da área. Esses mapas podem ser utilizados para os mais variados fins, dentre os quais o gerenciamento de aplicações de insumos ou tratamentos diferenciados em agricultura de precisão.

Os mapas obtidos através de todas estas funções podem ser utilizados dentro de outras tecnologias, para as tomadas de decisões e o melhor planejamento para o gerenciamento das variáveis dentro da agricultura de precisão.

2.2.3 Tratamento da aplicação variável

Segundo Earl et al. (2000), os mapas de operações de campo são as instruções que guiam os movimentos do veículo-base no campo e controlam as operações agronômicas. Tipicamente, o campo é dividido em um conjunto de áreas que demarcam diferentes tratamentos. Estas áreas são demarcadas em função do resultado de todo um processo de identificação. Normalmente, a orientação para a implementação das operações de campo é feita manualmente enquanto as instruções de aplicações precisas são dirigidas pelo sistema de controle. Para a orientação automática as instruções necessárias serão passadas diretamente ao sistema de orientação.

3. Material e Métodos

Para conseguir alcançar o objetivo proposto, este trabalho baseou-se na seguinte metodologia: a) análise geoestatística dos parâmetros químicos do solo e verificação da correlação entre estes e a produtividade; b) análise da viabilidade do sistema SPRING para gerar um produto para recomendações de adubação para aplicação em taxa variável.

Essa pesquisa fundamentou-se em dados coletados num experimento conduzido no ano 1999, sob um quadrante de aproximadamente 17,7 ha de um sistema de irrigação por pivô central. O tipo de solo na área é o Latossolo Vermelho Eutrófico e a área foi semeada com milho sob o sistema de plantio direto. A área experimental está localizada no campus da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, em Pirassununga, SP.

A coleta de dados de rendimento do milho foi realizada em 25.387 pontos amostrais, por meio de um sistema implantado em uma colhedora, composto por um GPS e um sensor de fluxo de massa. Os dados foram armazenados em formato codificado em um computador de bordo e exportados para o formato texto.

Um dos preceitos agronômicos para a manutenção da fertilidade do solo é a adubação de reposição dos elementos químicos que compõem este solo. Por esta razão optou-se por gerar mapas de recomendação de adubação para aplicação em taxa variável (VRT). Trabalhos recentes na mesma linha de pesquisa podem ser citados, como os de Oliveira et al. (2002), Umezu e Cappelli (2002) e Baio e Balastreire (2002). Para os parâmetros químicos de solo, foram retiradas 72 amostras, localizadas espacialmente com auxílio de um GPS, em intervalos regulares e espaçadas a uma distância de 50 m uma da outra. Essas amostras foram enviadas ao laboratório para determinação dos seguintes parâmetros do solo: potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica (MO), Fósforo (P), Potássio (K), Manganês (Mn), Cálcio (Ca), Boro (B), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Enxofre (SO₄), Alumínio (Al), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Acidez total (H+Al), Saturação por bases (V%), Soma de bases (SB), Capacidade de troca catiônica (T).

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizado foi o SPRING, na versão 3.6 (Câmara et al., 1996). Inicialmente foi criado um Banco de dados no SPRING, intitulado “Pirassununga”, e um Projeto, “Produtividade”, na projeção UTM/SAD69, cujo retângulo envolvente inclui as seguintes coordenadas: longitude 47° 28’ e 47° 27’ W e latitude 21° 58’ e 21° 57’ S.

Os dados de produtividade e parâmetros de solo foram importados de um arquivo “txt” para categorias cadastrais. Em seguida, os dados de produtividade e parâmetros químicos foram importados como amostras “3D”, em categorias numéricas, onde cada parâmetro químico do solo foi individualizado em planos de informações (PI’s) diferentes. Nas Figuras 1 e 2 podem ser visualizados os pontos de coleta de dados do solo e a malha dos pontos de coleta da produtividade.

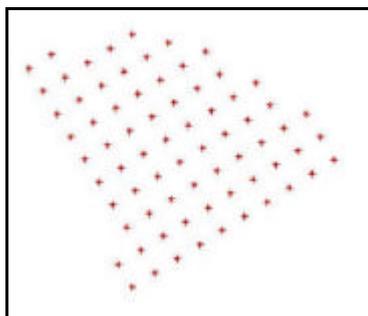


Fig. 1. PI localizando os pontos das coletas das amostras de solo.

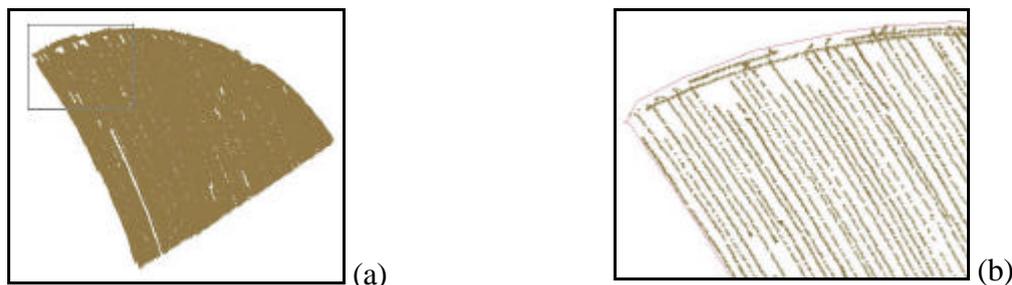


Fig. 2. Pontos amostrais (a) de produtividade de milho, obtidos pela colhedora, e zoom (b) dos pontos apresentando o caminho feito pela colhedora.

Uma vez criado o banco de dados a etapa seguinte foi a aplicação da krigagem em cada parâmetro químico do solo. A krigagem foi obtida pela aplicação da técnica de Análise Geoestatística do SPRING (SPRING, 2001). As informações geradas em forma de grades regulares foram, posteriormente, cadastradas por um programa de Média Zonal em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), para todos os valores de produtividades dos 25.387 pontos da área, a fim de poder observar a correlação entre os dados.

As informações tabuladas foram exportadas para o *software Statistica* onde foi realizada a análise estatística dos dados.

A grade de necessidade de calagem foi elaborada, por um programa em LEGAL, segundo recomendações de Van Raij et al. (1997):

$$NC = (CTC * (V2 - V1)) / (10 * PRNT),$$

onde: NC é a necessidade de calagem, CTC é a capacidade de troca de cátions, V2 foi dado o valor de 70%, V1 é a saturação por bases atual e para o PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) foi atribuído o valor de 67%. Às informações de CTC e V1 foram atribuídos os PI’s correspondentes obtidos pela krigagem dos dados. A grade gerada foi então fatiada por um outro programa em LEGAL (Tabela 3).

Tabela 3 – Programas editados em legal para mapeamento da área quanto à necessidade de calagem.

I – Operador matemático para necessidade de calagem	II – Fatiamento da necessidade de calagem.
<pre>{ Numerico var1 ("Krigeagem"); Numerico var2 ("Krigeagem"); Numerico var3 ("VRT"); var1 = Recuperar (Nome="Krig_V"); var2 = Recuperar (Nome="Krig_T"); var3 = Novo(Nome="VRT_calagem", ResX=1, ResY=1, Escala=10000, Min=0, Max=100); var3 = (var2*(70- var1))/670; }</pre>	<pre>{ Numerico vrt ("VRT"); Tematico tem ("Calagem"); Tematico tem1 ("Calagem"); Tabela tab (Fatiamento); vrt = Recuperar (Nome = "VRT_calagem"); tab = Novo (CategoriaFim = "Calagem", [-2,1] : "sem calagem", [1,2] : "1,5 t", [2,3] : "2,5 t"); tem = Novo (Nome = "FAT_VRT_calagem", ResX=1, ResY=1); tem = Fatie (vrt, tab); }</pre>

Os mapas de necessidade de adubação de Potássio (K) e Fósforo (P) foram gerados por fatiamento (LEGAL), com base nas recomendações técnicas para a cultura de milho para grãos (van Raij *et al.*, 1997), no qual utilizou-se a produtividade máxima esperada (10-12 t/ha) visto que a área possui este potencial produtivo (Tabela 4).

Tabela 4 - Programas editados em LEGAL para mapeamento da área quanto à necessidade de P e K.

<p>III – Fatiamento da necessidade de Potássio</p> <pre>{ Numerico vrt ("Krigeagem"); Tematico tem ("VRT_K"); Tematico tem2 ("VRT_K"); Tabela tab (Fatiamento); Tabela tab1 (Fatiamento); tab = Novo (CategoriaFim = "VRT_K", [2.5,5] : "50 kg/ha"); tab1 = Novo (CategoriaFim = "VRT_K", [2.5,5] : "40 kg/ha"); tem = Novo (Nome = "FAT_VRT_K_plantio", ResX=1, ResY=1, Escala=10000); tem2 = Novo (Nome = "FAT_VRT_K_cobertura", ResX=1, ResY=1, Escala=10000); tem = Fatie (vrt, tab); tem2 = Fatie (vrt, tab1); }</pre>	<p>IV – Fatiamento da necessidade de Fósforo</p> <pre>{ Numerico vrt ("Krigeagem"); Tematico tem ("VRT_P"); Tabela tab (Fatiamento); vrt = Recuperar (Nome = "Krig_P"); tab = Novo (CategoriaFim = "VRT_P", [7,15.5] : "100 kg/ha", [15.5,40] : "70 kg/ha", [40,100] : "50 kg/ha"); tem = Novo (Nome = "FAT_VRT_P", ResX=1, ResY=1, Escala=10000); tem = Fatie (vrt, tab); }</pre>
<p>V – Reclassificação para obtenção do mapa de VRT_cobertura</p> <pre>{ Tematico uso ("Calagem"); Tematico recl ("VRT_Formulados"); Tabela juntar (Reclassificacao); uso = Recuperar (Nome="REC_FAT_VRT_calagem"); recl = Novo (Nome= "VRT_Formulado_Cobertura", ResX=1, ResY=1, Escala = 10000); juntar = Novo (CategoriaIni = "Calagem", CategoriaFim = "VRT_Formulados", "sem calagem": "45:00:18 - 300 kg/ha", "1,5 t": "45:00:18 - 250 kg/ha", "2,5 t": "45:00:18 - 250 kg/ha"); recl = Reclassifique (uso, juntar); }</pre>	<p>VI – Reclassificação para a obtenção do mapa de VRT_semeadura</p> <pre>{ Tematico uso ("VRT_P"); Tematico recl ("VRT_Formulados"); Tabela juntar (Reclassificacao); uso = Recuperar (Nome="REC_FAT_VRT_P"); recl = Novo (Nome= "VRT_Formulado_Semeadura", ResX=1, ResY=1, Escala = 10000); juntar = Novo (CategoriaIni = "VRT_P", CategoriaFim = "VRT_Formulados", "70 kg/ha": "8:24:16 - 300 kg/ha", "50 kg/ha": "8:15:15 - 300 kg/ha"); recl = Reclassifique (uso, juntar); }</pre>

Os mapas de recomendações de adubação para aplicação em taxa variável foram obtidos reclassificando os mapas de necessidade de adubação, através de um programa em LEGAL, conforme apresentado na Tabela 4. Foram recomendados formulados NPK existentes no mercado para adubação no plantio, reclassificando apenas o mapa de necessidade de P (para os outros parâmetros devem ser mantidos valores constantes) e em cobertura, reclassificando o mapa de pH (pelo mesmo motivo).

Para utilizar fórmulas NPK, o primeiro passo é estabelecer a relação aproximada de nutrientes e procurar uma fórmula com a mesma relação ou próxima dela. A quantidade necessária foi encontrada multiplicando-se a soma dos nutrientes necessários e dividindo pelo total da fórmula.

4. Resultados e Discussão

4.1 Aplicação da análise geoestatística nos parâmetros químicos de solo

Pelo fato de se obter a grade de variância dos dados, o interpolador de krigeagem foi então escolhido para serem realizadas as análises sobre os parâmetros químicos do solo. Em outras palavras, aplicou-se o interpolador de krigeagem sobre cada parâmetro do solo, obtido nos 72 pontos amostrais, para obter um mapa mostrando o comportamento do parâmetro em toda área de estudo.

O coeficiente de determinação total, quando correlacionou com os dados dos 16 parâmetros químicos do solo com a produtividade foi de apenas 14,5%. Esse baixo resultado, indica que os parâmetros químicos do solo explicaram apenas 14,5% da produtividade observada. Assim, para esse ano agrícola, os parâmetros químicos tiveram pouca influência na produtividade. As variações na produtividade observada na área de estudo podem ter sido provocadas por outros fatores, que não a fertilidade do solo o que vem a concordar com o trabalho de diversos autores, dentre eles Gimenez e Molin (2002) e Molin et al. (2002), que constataram baixas correlações entre os dados.

Os parâmetros químicos do solo, quando analisados individualmente com a produtividade também apresentaram baixas correlações, sendo que as maiores correlações foram obtidas para os elementos K, MO, Mn, HAl e Ca, apresentando os valores de coeficiente de determinação, respectivamente, de 7,7%, 7,5%, 6,62% 5,51% e 4,1%. Outro fator observado na análise dos dados foi a alta correlação entre alguns parâmetros químicos do solo. A equação de regressão obtida pelo *Statistica* que melhor explicou os resultados obtidos ($r^2=0,137$) s 13,7% dos dados, é descrita a seguir:

$$\text{Produtividade} = 6,41 + 0,63\text{pH} + 0,06\text{pH}^2 - 0,38\text{K} - 0,05\text{K}^2 - 0,10\text{Ca} - 0,1\text{Ca}^2 + 0,10\text{Cu} + 0,4\text{Mn} + 0,01\text{Mn}^2 - 1,42\text{Zn} - 0,31\text{Zn}^2 + 0,56\text{Mg}^2$$

Os mapas gerados para necessidade de reposição química do solo, como a calagem e necessidade de P e K, resultou-se do fatiamento das grades geradas por krigeagem para P e K, e da grade de necessidade de calagem, cujos resultados são mostrados nas Figuras 3 a 6.

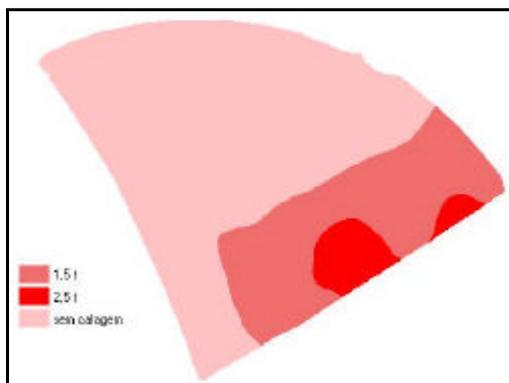


Fig. 3. Mapa de necessidade de calagem na área experimental.

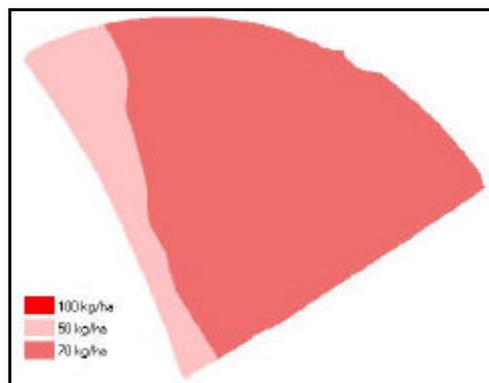


Fig. 4. Mapa da necessidade de adubação fosfatada.

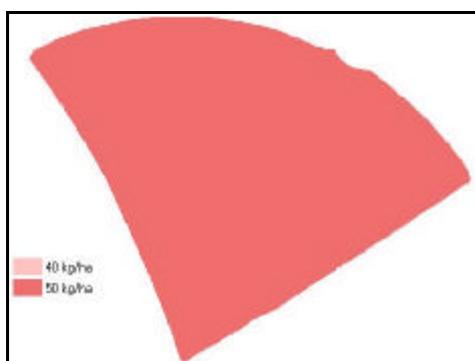


Fig. 5. Mapa da necessidade de adubação com potássio para semeadura.

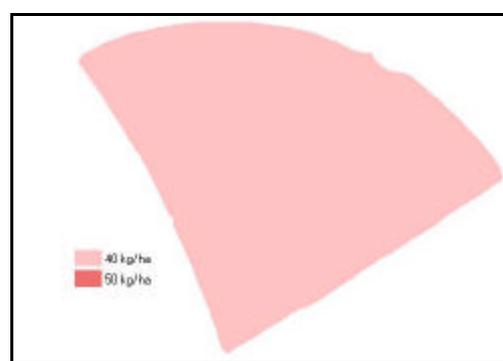


Fig. 6. Mapa da necessidade de adubação com potássio em cobertura.

Com estes mapas, foram gerados novos mapas de recomendação de formulados NPK para semeadura e em cobertura, a partir da reclassificação (LEGAL) dos mapas de necessidade, segundo os parâmetros propostos por van Raij et al. (1997) no Boletim 100 para a cultura do milho para grãos, e para a maior produtividade esperada (10-12 t/ha), já que foi constatado pelo mapa de produtividade o potencial da área para esta produtividade. Estes mapas podem ser visualizados nas figuras 7 e 8.

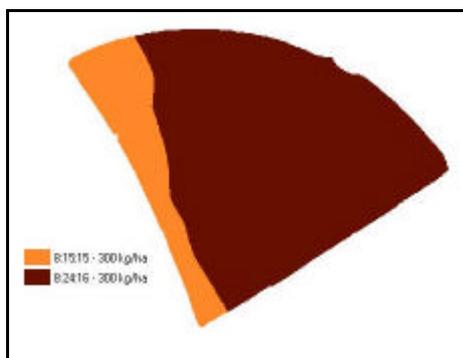


Fig. 7. Mapa da recomendação de formulado NPK para semeadura.

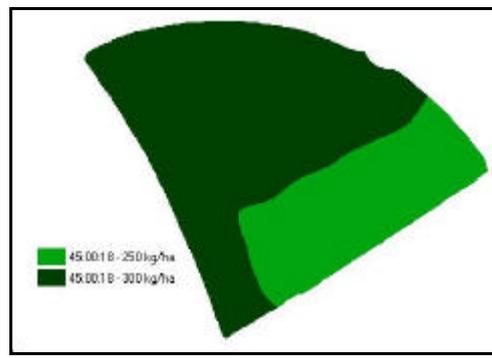


Fig. 8. Mapa da recomendação de formulado NPK em cobertura.

Foram recomendadas as formulações NPK 8:15:15 e 8:24:16 para a semeadura e a formulação 45:00:18 em cobertura.

5. Conclusão

Aplicando-se a análise geoestatística nos parâmetros químicos do solo, referentes a pontos de coleta de amostras de solo, observou-se uma baixa correlação de todos os dados, e de cada um, com a produtividade. Sugere-se neste caso, para trabalhos na mesma linha de pesquisa, a análise de outros parâmetros que possam afetar a produtividade, tais como: disponibilidade hídrica, doenças, infestação de pragas e plantas invasoras, entre outros.

O SPRING demonstrou ser um sistema potencial para o uso em algumas etapas do ciclo da Agricultura de Precisão, principalmente no que diz respeito à geração de mapas de recomendação de adubação e calagem para a aplicação em taxa variável.

Referências

- Baio, F. H. R.; Balastreire, L. A. Avaliação de um sistema para aplicação localizada de defensivos baseado na variabilidade espacial das plantas daninhas *Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001*. [cd-rom] Balastreire, L. A. Piracicaba, SP, 2002.
- Câmara, G., R.C.M. Souza, U. M. Freitas e J. C. P. Garrido, "SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling." *Computers and Graphics*, v.15, n.6, p.13-22, 1996
- Chancellor, W. J.; Goronea, M.A. Effects of spatial variability of nitrogen moisture and weeds on the advantages of site-specific applications for wheat, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 37 (3): 717-724 (1994).
- Earl, R.; Thomas, G.; Blackmore, B. S. The potential role of GIS in autonomous field operations. *Computers and Electronics in Agriculture* 25 (2000) 107-120
- Gimenez, L. M.; Molin, J. P. Fertilidade do solo e sua influência no rendimento das culturas – propostas de uma metodologia para definição de unidades de manejo *Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001*. [CD-room] Balastreire, L. A. Piracicaba, SP, 2002.
- Instituto Agronômico de Campinas (IAC) *Boletim 100 - Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*, por B. Van Raij, H. Cantarella, J. A. Quaggio e A. M. C. Furlani. 2.ed.rev.atual. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997.
- Lamparelli, R. A. C.; Rocha, J. V.; Borghi E. *Geoprocessamento e agricultura de precisão*, Guaíba: Agropecuária, (2001), 118 p.
- Molin, J. P.; Ribeiro Filho, A. C.; Torres, F. P.; Shiraisi, L. E.; Sartori, S.; Sarriés, G. A. Mapeamento da produtividade de café e sua correlação com componentes da fertilidade do solo em duas áreas piloto. *Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001*. [CD-room] Balastreire, L. A. Piracicaba, SP, 2002.
- Oliveira, F. A. de; Couto, E. G.; Sacramuza, J.F.; Maraschin, L.; Fonseca Neto, L.; Bronzatti, C. C. Variabilidade espacial e manejo localizado do Fósforo em solo cultivado com algodão no estado do Mato Grosso. *Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001*. [CD-room] Balastreire, L. A. Piracicaba, SP, 2002.
- Umezu, C. K.; Cappelli, N.L. Desenvolvimento de um sistema para formulação, dosagem e aplicação de fertilizante sólidos, a taxas variáveis. *Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001*. [CD-room] Balastreire, L. A. Piracicaba, SP, 2002.
- Usery, E. L.; Pocknee, S.; Boydell, B. Precision Farming data management using Geographic Information Systems. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, V61, n11, November 1995, pp. 1383-1391.