



Variabilidade espacial e temporal da produtividade de soja no Cerrado brasileiro

Spatial and temporal variability of soybean productivity in Brazilian Savannah

Eduardo Leonel Bottega¹, Francisco de Assis de Carvalho Pinto¹, Daniel Marçal de Queiroz¹, Nerilson Terra Santos², Cristiano Márcio Alves de Souza³

¹Universidade Federal de Viçosa (UFV), Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola
Av. PH Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP: 36570-000 - Viçosa, MG. E-mail: eduardo-bottega@hotmail.com

²Universidade Federal de Viçosa (UFV), Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Informática, Viçosa, MG

³Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Ciências Agrárias (FAC), Dourados, MS

Recebido em: 10/01/2012

Aceito em: 18/02/2013

Resumo. A região do cerrado brasileiro é uma das mais importantes no cenário nacional de produção de grãos, porém, apresenta solos de baixa fertilidade natural. Regiões com essas características apresentam potencial para o emprego de técnicas de agricultura de precisão. O mapeamento da produtividade, neste cenário, torna-se importante, auxiliando na prescrição de aplicação de fertilizantes a doses variadas. Neste contexto, o presente estudo objetivou analisar a variabilidade espacial e temporal da produtividade de soja, em uma área situada no cerrado brasileiro, onde se adota o sistema de plantio direto e rotação de culturas. O mapeamento da produtividade de soja foi realizado em uma propriedade localizada no estado do Mato Grosso do Sul, em área de Cerrado. Foram estudados três anos de mapeamento da produtividade, sendo representativos das safras de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010. Para avaliar a dependência espacial e temporal da produtividade, técnicas estatísticas e geoestatísticas foram empregadas. Foi observada dependência espacial e temporal da produtividade de soja para as três safras avaliadas. Na análise da variabilidade temporal da produtividade foi detectado que 12,7% da área apresentaram produtividade instável.

Palavras-chave. Agricultura de precisão, geoestatística, mapeamento da produtividade

Abstract. The Brazilian Savannah region is one of the most important in the national production of grains, however, has low soil fertility. Regions with these characteristics have potential for the use of precision farming techniques. The yield mapping, in this scenario, it becomes important, assisting in the prescription of fertilizer application to varying doses. In this context, this study aimed to analyze the spatial and temporal variability of soybean yield in an area located in the Brazilian Savannah, where he adopts the no-tillage and crop rotation. The mapping of the soybean yield was performed on a property located in the state of Mato Grosso do Sul, in Savannah. We studied three years of yield mapping, and representing the harvest of 2007/2008, 2008/2009 and 2009/2010. To evaluate the spatial and temporal dependence of the productivity statistics and geostatistical techniques were employed. We observed spatial and temporal dependence of the soybean yield for three crops evaluated. In the analysis of temporal variability in productivity was found that 12.7% of the area showed productivity unstable.

Keywords. Precision agriculture, geostatistics, yield mapping

Introdução

O sistema plantio direto representa a mais significativa alteração no manejo de solos da história moderna da agricultura, podendo ser considerado uma das mais eficientes estratégias para a melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola (Amado et al., 2007b). Embora

melhore o potencial produtivo de uma determinada área, a produtividade não é homogênea, sendo observado em um mesmo campo áreas com maior e menor desempenho produtivo. Isto ocorre porque a distribuição espacial dos atributos químicos, físicos e físico-químicos do solo apresenta. O mapeamento da produtividade pode servir como importante



ferramenta na detecção e manejo das regiões de menor desempenho da cultura implantada.

Para determinação da produtividade de soja, três parâmetros precisam ser medidos: a massa de grãos, área colhida e o teor de água do produto. Para confecção de um mapa, a informação de localização também é necessária. O monitor de produtividade geralmente incorpora dados dos sensores de massa, de umidade do produto, de velocidade de deslocamento e da posição geográfica. Com base nas informações obtidas por esses sensores e informações pré-definidas, como largura de corte da plataforma de colheita, é possível determinar a produtividade. O mapa de produtividade é uma informação importante quando se quer otimizar o sistema de produção agrícola em uma determinada área.

Os mapas de produtividade podem ser utilizados na tomada de decisão sobre como o solo deve ser manejado, auxiliando na prescrição de aplicação de fertilizantes a doses variadas (Mckinion et al., 2010). A caracterização da variabilidade na produtividade deve ser feita considerando a análise de, ao menos, três anos de mapeamento, para que, a tomada de decisão referente ao manejo a ser empregado possa ser feita de forma precisa e eficaz (Santi, 2007). No entanto, Amado et al. (2007a), em estudo realizado no mesmo ano, relataram que no Brasil ainda eram escassas as áreas com um conjunto de mapas de produtividade que permitissem esta análise temporal.

A região do cerrado brasileiro é uma das mais importantes no cenário nacional de produção de grãos. Essa região geralmente apresenta solos de baixa fertilidade natural, o que demanda a utilização de grandes quantidades de fertilizantes por parte dos produtores e faz com que os fertilizantes sejam um importante componente no custo de produção. Regiões com essas características apresentam potencial para o emprego de técnicas de agricultura de precisão, pois, com o uso de técnicas de agricultura de precisão, o produtor pode conseguir ganhos em produtividade reduzindo o custo de produção. Entretanto, a pesquisa envolvendo a análise da variabilidade espacial e temporal da produtividade ainda é incipiente.

O objetivo do presente estudo foi analisar a variabilidade espacial e temporal da produtividade de soja, em uma área situada no cerrado brasileiro, onde se adota o sistema de plantio direto e rotação de culturas.

Material e Métodos

A coleta de dados foi realizada na Fazenda Recanto, localizada no município de Sidrolândia, Mato Grosso do Sul, zona 21 Sul, com coordenadas UTM 702879,040 metros Leste e 7673084,461 metros Norte, no *datum* SIRGAS 2000. Essa propriedade possui uma área total de 2.491,07 hectares, destinados à agricultura, em que se cultiva soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e algodão (*Gossypium hirsutum* L.), em sistema de rotação de culturas, realizado por meio de plantio direto, há mais de 10 anos. Para o estudo, foi utilizada uma área de 35 hectares, isso porque, essa área possuía histórico de mapeamento de três safras.

A altitude média é de 490 m. O relevo é considerado levemente ondulado. O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 2006). O clima que predomina é classificado como chuvoso de savana, caracterizado por uma distribuição anual das chuvas que se concentram nos meses de novembro, dezembro e janeiro, com ocorrência bem definida de um período seco nos meses mais frios do ano (junho/julho). A precipitação pluviométrica anual da região está entre 1.078 e 1.336 mm. A temperatura média anual é de 22,7 °C (Embrapa, 2010).

Foram estudados três anos de mapeamento da produtividade da soja, sendo representativos das safras de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010. Os dados de produtividade foram obtidos por meio de mapeamento da produtividade utilizando uma colhedora de grãos combinada, marca CaseIH, modelo 8010, equipada com o monitor de produtividade AFS[®] modelo Pro 600.

Os arquivos contendo os dados de produtividade foram exportados do sistema de mapeamento da colhedora para um pen drive no formato shape e analisados utilizando o programa computacional ArcGIS (ESRI[®], Redlands, CA, 2008), versão 9.3. Para a análise de discrepantes utilizou-se a ferramenta *Spatial Statistics Tools* e o método de análise por *cluster*. Foram considerados discrepantes, os dados inferiores a média menos 2 vezes o desvio padrão e maiores que a média mais 2 vezes o desvio padrão (Juerschik & Giebel, 1999). Inicialmente os valores de produtividade dos três anos estudados foram padronizados para 13% de umidade. Posteriormente foi realizada uma análise de detecção de valores discrepantes para tomada de decisão de eliminação ou não destes valores, considerado sua magnitude e localização na área de estudo.



Após a análise de discrepantes, as coordenadas com respectivos valores de produtividade foram exportadas para um arquivo texto, utilizando a ferramenta Spatial Statistics Tools, que permite a exportação de valores em um arquivo de formato texto. A partir dos arquivos texto foi criada uma planilha com as coordenadas geográficas e os valores de produtividade de cada ponto para as safras de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010, essa planilha serviu de base de dados para as análises da variabilidade espacial e temporal da produtividade. Para assegurar que os mapas de produtividade das diferentes safras possuísem a mesma localização geográfica, no processo de interpolação, os mapas resultantes foram produzidos com o mesmo número de pontos interpolados, garantindo assim que as coordenadas dos pontos, independente da safra, fossem as mesmas.

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, calculando-se a média, mediana, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de variação, quartil inferior, quartil superior, desvio padrão, coeficiente de assimetria e de curtose, buscando assim caracterizar suas distribuições. A dependência espacial foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionariedade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 1.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (1)$$

Em que,

$\hat{\gamma}(h)$ = semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos;

h = distância de separação entre pares de pontos, m;

N (h) = número de pares experimentais de observações Z(x_i) e Z (x_i+h) separados por uma distância h.

O variograma é representado pelo gráfico $\gamma(h)$ versus h. Ajustou-se o modelo que melhor representou a relação entre $\gamma(h)$ e h, podendo assim determinar os parâmetros: efeito pepita (C₀), patamar (C₀ + C) e alcance (A). O índice de dependência espacial (IDE) foi determinado e classificado, segundo Zimback (2001), utilizando a Equação 2 e assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para IDE ≤ 25%, moderada para 25% < IDE ≤ 75% e forte para IDE >75%.

$$IDE = \left(\frac{C}{C_0 + C} \right) 100 \quad (2)$$

Para análise da variabilidade temporal da produtividade, foi utilizada metodologia adotada por Molin (2002), em que os valores de cada ponto foram padronizados e normalizados em torno da produtividade média do talhão de cada safra estudada. Foram confeccionados mapas de classes de produtividade (alta, média e baixa) para cada safra e para a média das três safras estudadas, utilizando os seguintes parâmetros:

- produtividade do ponto com valor acima da média do talhão mais 1,5 vezes o desvio padrão (produtividade alta);
- produtividade do ponto com valor compreendido no intervalo entre a média do talhão mais 1,5 vezes o desvio padrão e a média do talhão menos 1,5 vezes o desvio padrão (produtividade média);
- produtividade do ponto com valor abaixo da média do talhão menos 1,5 vezes o desvio padrão (produtividade baixa).

A variabilidade temporal foi analisada a partir do cálculo da estabilidade e instabilidade da produtividade. Para a análise da variabilidade temporal foram utilizadas as informações de produtividade das três safras estudadas. A estabilidade foi calculada utilizando as Equações 3, 4 e 5.

Considerou-se estável o ponto do mapa com coeficiente de variação (CV) da produtividade, menor que 30%. Valores de produtividade com CV maior que 30% foram considerados de produtividade instável. Após esta análise, confeccionou-se um mapa de estabilidade e instabilidade da produtividade.

$$\bar{P}_i = \sum_{j=1}^r \frac{P_{ij}}{r} \quad (3)$$

Em que,

\bar{P}_i = Produtividade média de soja no ponto i, do mapa interpolado, nas três safras estudadas;

P_{ij} = Produtividade no ponto i na safra j;

r = número de safras estudadas.



$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^r (P_{ij} - \bar{P}_i)^2}{r-1}} \quad (4)$$

Em que,

S_i = Desvio padrão da produtividade no ponto i nas três safras estudadas.

$$CV_i = \frac{S_i}{P_i} 100 \quad (5)$$

Em que,

CV_i = Coeficiente de variação no ponto i .

As análises de correlação e a estatística clássica foram realizadas no programa Statistica,

versão 7. Os modelos dos semivariogramas das variáveis estudadas foram ajustados utilizando o programa de computador GS+, versão 9, bem como a confecção dos mapas temáticos da distribuição espacial das variáveis que apresentaram dependência espacial. A interpolação dos valores foi realizada utilizando krigagem ordinária.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 é apresentado o resumo da análise de valores discrepantes. A quantidade de valores representativos de cada mapa não foi uniforme, fato este decorrente de falhas no sistema de mapeamento durante a colheita, mas devido o elevado número de informações, não houve influência para as análises decorrentes.

Tabela 1. Número total dos valores dos mapas de produtividade das safras de soja e respectivos valores discrepantes

| Variáveis | Número total de valores | Valores discrepantes | Porcentagem de valores discrepantes |
|---|-------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Safra 2007/ 2008 (kg ha ⁻¹) | 9769 | 962 | 9,8 |
| Safra 2008/2009 (kg ha ⁻¹) | 19638 | 1474 | 7,5 |
| Safra 2009/2010 (kg ha ⁻¹) | 8590 | 837 | 9,7 |

Todas as safras analisadas apresentaram valores discrepantes, porém, estes valores se mantiveram abaixo de 10%. Os valores discrepantes de produtividade podem ser explicados, pois ao mapear a produtividade, o sistema associa um valor de produtividade a um par de coordenadas cartesianas, adquiridas por um GPS. As subestimativas da produtividade ocorrem no momento de início da colheita, em que o fluxo de grãos no interior da colhedora não é estável e também pela colheita em áreas com infestação de plantas daninhas, em que o material colhido, não é eficientemente trilhado, retornando ao sistema pelo processo de retrilha.

A retrilha de material colhido em pontos já passados pela colhedora, associado à massa colhida no ponto atual, superestima o valor de produtividade no ponto, gerando assim valores elevados. Segundo Menegatti & Molin (2004), o processo de filtragem e extração dos pontos considerados errôneos eleva o nível qualitativo da informação contida em mapas

de produtividade, independente do sistema utilizado para a coleta de dados.

Observou-se que a máxima produtividade média (5092,6 kg ha⁻¹) foi obtida no ano agrícola de 2007/2008, decrescendo nos anos subsequentes. O maior coeficiente de variação foi observado para a safra 2009/2010 e o menor para a safra 2008/2009. O valor do desvio padrão para as safras 2007/2008 e 2009/2010 foi semelhante, sendo o menor valor observado para a safra 2008/2009, conforme estatística descritiva dos valores de produtividade apresentada na Tabela 2.

Os valores observados para o coeficiente de variação da produtividade de soja nos anos estudados foram classificados, segundo Warrick e Nielsen (1980), como baixos para os anos de 2008 e 2009 ($CV < 12\%$) e médio para o ano de 2010 ($12\% < CV < 60\%$).

O menor coeficiente de variação foi observado para a safra de 2008/2009, o que indica que neste ano a produtividade tendeu a ser mais homogênea na área estudada. Amado et al. (2007a)



e Milani et al. (2006) observaram coeficiente de variação entre 12 e 27%, estudando a variabilidade

espacial e temporal da produtividade de soja para as safras de 1999/2000 a 2004/2005.

Tabela 2. Estatística descritiva e distribuição de frequência da produtividade de soja das três safras estudadas

| Parâmetros estatísticos | Produtividade (kg ha ⁻¹) | | | Média |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|--------|
| | 2007/2008 | 2008/2009 | 2009/2010 | |
| Média | 5092,6 | 4479,7 | 2950 | 4174,1 |
| Mediana | 5143,4 | 4489,2 | 2847,8 | 4160,1 |
| Mínimo | 3903,7 | 3703,6 | 2061 | 3222,8 |
| Máximo | 6130,9 | 5228,7 | 4070,8 | 5143,5 |
| CV% | 8,2 | 6,6 | 14,2 | 9,7 |
| Quartil Superior | 5384,4 | 4690,2 | 3220,9 | 4431,8 |
| Quartil Inferior | 4832,9 | 4276,1 | 2653,4 | 3920,8 |
| s ⁽¹⁾ | 418,9 | 295,1 | 418,1 | 377,4 |
| Cs ⁽²⁾ | -0,40 | -0,13 | 0,58 | 0,02 |
| Ck ⁽³⁾ | 2,86 | 2,54 | 2,59 | 2,66 |
| W ⁽⁴⁾ | ns | ns | ns | ns |

⁽¹⁾Desvio-padrão; ⁽²⁾Coeficiente de assimetria; ⁽³⁾Coeficiente de curtose; ⁽⁴⁾Distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk's a 5% de probabilidade.

Todas as safras estudadas apresentaram distribuição de frequência dos dados classificada como leptocúrtica, pois o coeficiente de curtose (Ck), que mensura o grau de achatamento da distribuição de frequência dos dados, foi maior que 1. Este valor indica um alongamento da curva de distribuição, ou seja, forte concentração dos valores em torno da média. Observou-se também, que para todas as safras estudadas, a distribuição dos dados tendeu a ser simétrica, pois apresentaram valores de medidas de tendência central (média e mediana) próximos. Para as safras de 2007/2008 e 2008/2009 observou-se tendência de concentração dos valores de produtividade pouco abaixo da média (coeficiente de assimetria negativo), o contrário foi observado para a produtividade de 2009/2010.

Um fato que chama a atenção é a queda brusca de produtividade média das safras de 2007/2008 e 2008/2009 para a safra de 2009/2010 apresentada na Tabela 2. Mundstock & Thomas (2005) enfatizam que o crescimento, desenvolvimento e conseqüentemente, a produtividade da cultura da soja resultam das interações: cultivar utilizada e fatores decorrentes da sensibilidade ao fotoperíodo e temperatura do ar (que induzem o florescimento e o momento da

floração); sensibilidade ao acamamento (reduz a indução da floração e favorece o crescimento vegetativo, diminuindo o número de vagens); sensibilidade a retenção foliar durante o período de formação de vagens e grãos (mantém a planta em crescimento vegetativo em detrimento do crescimento reprodutivo) e a sensibilidade ao excesso ou falta de água (o excesso de água resulta em excessivo crescimento vegetativo, na falta de chuvas o crescimento vegetativo é escasso e a planta não forma suficientes nós no caule e ramos, locais estes onde serão geradas as flores).

Segundo Embrapa (2008) a necessidade total de água da cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 e 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Uma possível causa da queda de produtividade média para a safra de 2009/2010 pode ter sido o excesso de chuva registrado para o mês de fevereiro, embora esta safra tenha sido favorecida por chuvas no momento de desenvolvimento inicial da cultura da soja (mês de outubro). Conab (2010) relata que o excesso de umidade favorece a incidência de doenças fúngicas causadas como, por exemplo, a antracnose (*Colletotrichum dematium var. truncata*)

e a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), prejudicando a fase de formação de grãos, prevista para o mês de fevereiro no estado de Mato Grosso do Sul. Este fato foi confirmado pelo produtor, que relatou um severo ataque de doenças de final de ciclo, segundo ele, responsável pela queda de produtividade na área estudada.

É apresentada na Figura 1 a distribuição de chuvas para os meses que compreendem a semeadura, desenvolvimento e colheita da cultura da soja. O acumulado para o ciclo da cultura nas safras de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010 foi de 863,8; 557,5 e 904,5 mm, respectivamente (Fundação MS, 2010).

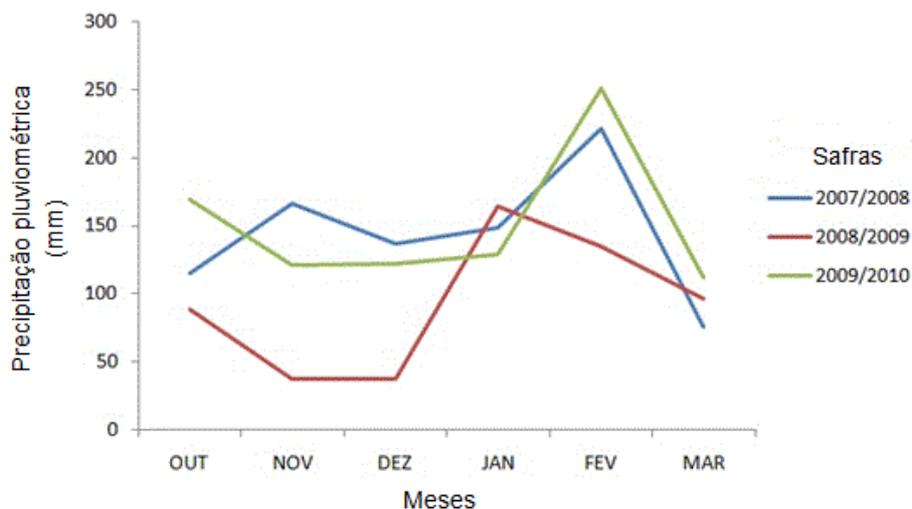


Figura 1. Distribuição de chuvas durante o ciclo produtivo da cultura da soja para as safras 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010. Fonte: Fundação MS, 2010.

Na Figura 2 é apresentado o ajuste do modelo de variograma teórico ao variograma empírico, para a produtividade em cada ano. Observou-se que, o modelo teórico ajustado não foi o mesmo para todas as safras. O modelo gaussiano foi ajustado para a safra de 2007/2008, esférico para a safra de 2008/2009 e exponencial para a safra de 2009/2010. Para todos os modelos foram observados elevados valores de coeficiente de determinação, sendo o maior coeficiente observado para o modelo ajustado para produtividade da safra 2007/2008 (0,96).

Na análise da dependência espacial, os modelos teóricos ajustados a semivariância empírica dos dados encontrados neste estudo diferem dos modelos ajustados por Milani et al. (2006) e Amado et al. (2007a), em que os modelos exponencial e esférico foram ajustados a semivariância empírica dos valores de produtividade de soja. O modelo gaussiano indica a existência de alta correlação entre valores situados em pontos próximos um do outro, ou seja, grande continuidade entre valores para pequenos intervalos de distância. O modelo esférico apresenta patamar bem definido. Neste modelo, atinge-se o patamar quando se tem a distância de separação (h) igual ao alcance, indicando menor continuidade espacial da variável estudada em

relação ao gaussiano. O modelo exponencial, assim como o modelo gaussiano atinge patamar assintoticamente, ou seja, quando a distância de separação tende a infinito.

Observou-se forte dependência espacial para a produtividade da safra 2007/2008 (IDE > 75), para as demais análises constatou-se dependência espacial média ($25 < IDE \leq 75$), de acordo com classificação proposta por Zimback (2001). Quanto maior o valor do IDE, menor é o valor do efeito pepita em relação ao valor do patamar, ou seja, mais forte é a dependência espacial.

O maior alcance foi observado para a modelagem da produtividade da safra de 2009/2010 (764 metros); as produtividades das safras de 2007/2008 e 2008/2009 apresentaram alcances semelhantes (602 e 604 metros). Os valores de alcance podem influenciar na qualidade das estimativas, uma vez que eles determinam o número de valores usados na interpolação, assim, estimativas feitas com interpolação por krigagem ordinária utilizando valores de alcances maiores tendem a ser mais confiáveis, apresentando mapas que representem melhor a realidade (Corá et al., 2004).

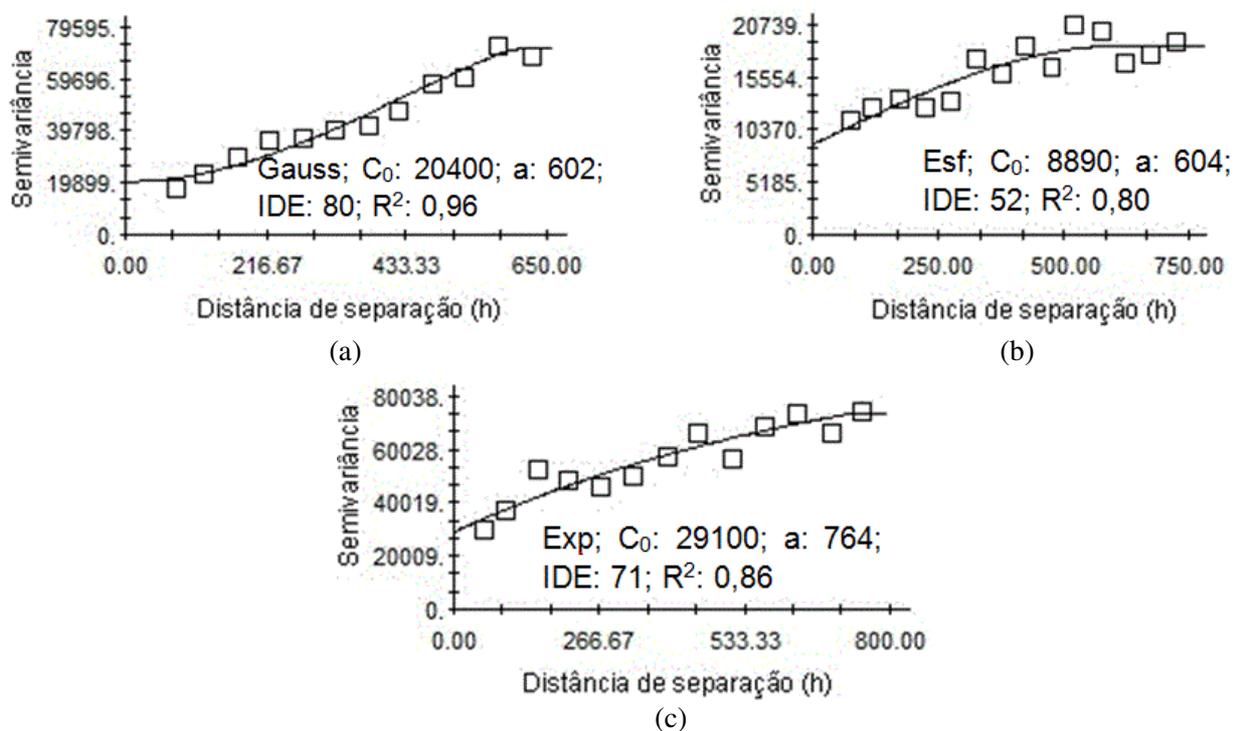


Figura 2. Variogramas dos modelos teóricos ajustados aos valores de produtividade das três safras analisadas: 2007/2008 (a), 2008/2009 (b) e 2009/2010 (c); parâmetros de ajuste: modelo; efeito pepita (C_0); alcance (a); índice de dependência espacial (IDE); coeficiente de determinação (R^2)

Os gráficos de validação cruzada entre valores observados e estimados de produtividade das três safras são apresentados na Figura 3. O melhor ajuste entre valores estimados versus valores amostrados foi observado para a validação cruzada da safra de 2007/2008, que apresentou o maior coeficiente de determinação (0,66). A validação cruzada das safras de 2008/2009 e 2009/2010 apresentou coeficientes semelhantes, 0,24 e 0,28, respectivamente.

Amado et al. (2007a), estudando a variabilidade espacial e temporal de soja e milho em sistema de plantio direto observaram resultados semelhantes. A técnica de validação cruzada, segundo Isaaks & Srivastava (1989), pode ser usada para testar o modelo ajustado ao semivariograma, isto é, testar o modelo para valores reais. A técnica

consiste em retirar um valor real do banco de dados e estimá-lo usando a krigagem. A validação é realizada comparando os valores estimados com os valores reais, usando a regressão linear como critério de comparação.

Observou-se inferioridade dos valores do coeficiente de determinação para validação cruzada das safras 2008/2009 e 2009/2010, em detrimento ao coeficiente de determinação observado para validação cruzada da safra 2007/2008. Porém, ao analisar os demais parâmetros da validação cruzada como o coeficiente de regressão (ideal quando mais próximo de um), o intercepto (ideal quando mais próximo de zero) e o erro padrão (ideal quando mais próximo de zero), ambos apresentaram coeficientes próximos ao ideal, podendo ser considerados como satisfatórios.

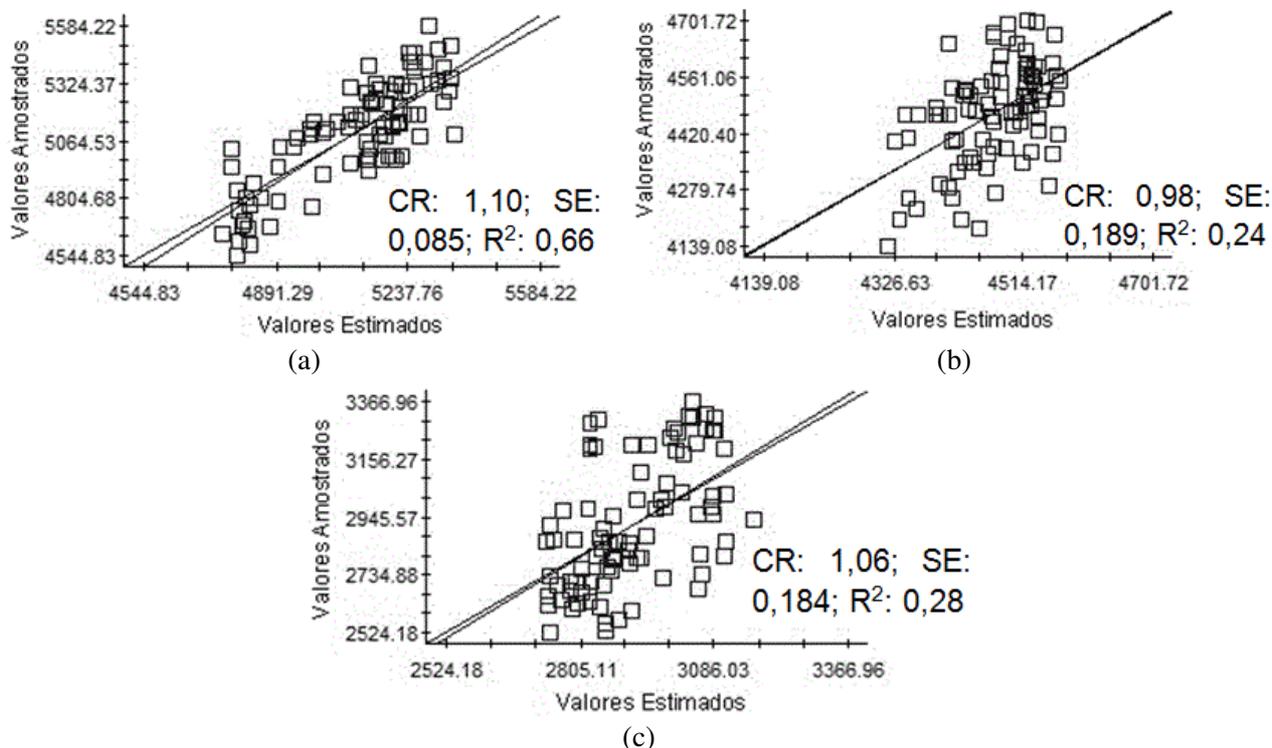


Figura 3. Gráficos de validação cruzada para as safras de 2007/2008 (a), 2008/2009 (b) e 2009/2010 (c) e parâmetros do ajuste: coeficiente de regressão (CR); erro quadrático (SE) e coeficiente de determinação (R^2)

Os mapas de variabilidade espacial da produtividade da área amostrada para as três safras estudadas após a eliminação dos valores discrepantes são apresentados na Figura 4. Analisando os três mapas é possível observar que para a safra de 2007/2008 (Figura 4a) foi predominante produtividades acima de 5000 kg ha^{-1} , sendo 4700 kg ha^{-1} a menor produtividade observada, produtividade esta, superior a maior produtividade observada para as safras de 2008/2009 (Figura 4b) e 2009/2010 (Figura 4c), demonstrando assim a superioridade produtiva da safra de 2007/2008 em relação às demais.

Na Figura 5 são apresentados os mapas de classificação categórica da produtividade para cada safra estudada. Pode-se observar que para todas as safras estudadas, a produtividade classificada como média foi predominante, ou seja, produtividade do ponto com valor compreendido no intervalo entre a média do talhão mais 1,5 vezes o desvio padrão e a média do talhão menos 1,5 vezes o desvio padrão. A

produtividade observada para a safra de 2007/2008 (Figura 5a) foi classificada em apenas duas classes, média e baixa. As safras de 2008/2009 (Figura 5b) e 2009/2010 (Figura 5c) apresentaram valores de produtividade classificados em três classes: alta, média e baixa. A produtividade de soja da safra de 2008/2009 foi a mais homogênea, onde 90,8% da área apresentaram produtividade classificada como média. Esse fato pode ser comprovado pelo valor do CV(%) encontrado na análise exploratória dos dados e apresentado na Tabela 3.

Os mapas temáticos da variabilidade espacial da produtividade de cada safra isoladamente, após análise visual, pode apenas informar ao produtor em qual safra obteve maiores e menores produtividades. Porém, não permite distinguir regiões onde esta produtividade é estável ou não, muito menos a que classe (alta, média ou baixa) pertence, por esta razão, a análise da variabilidade temporal é de suma importância

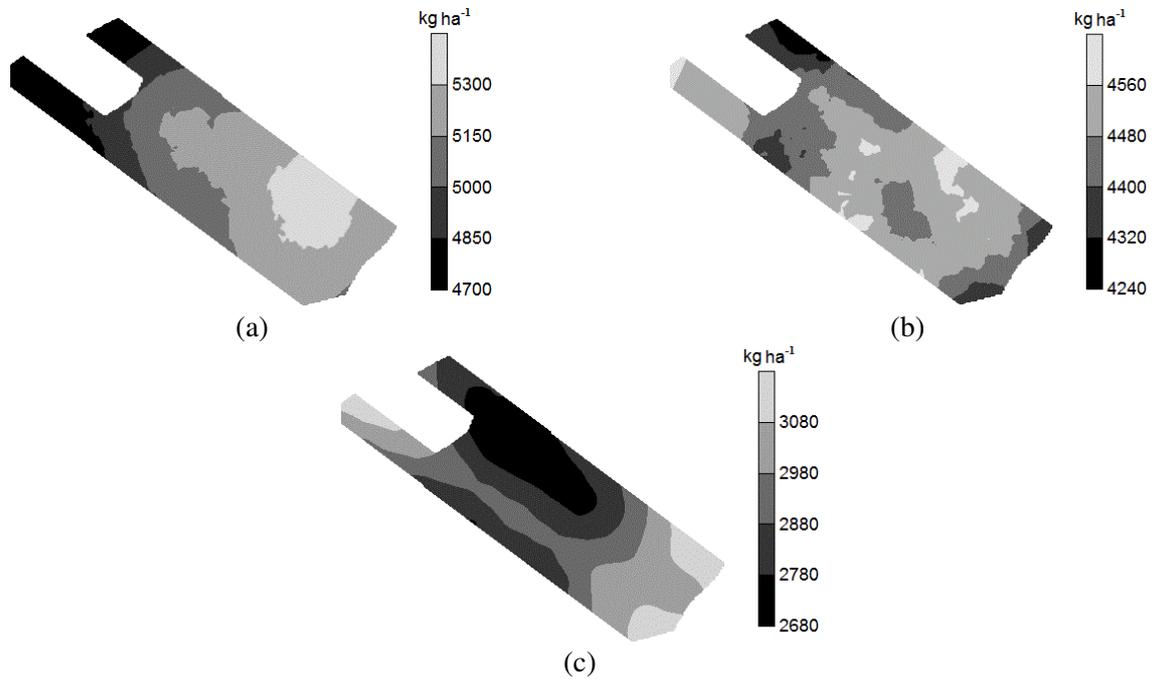


Figura 4. Mapas da distribuição espacial da produtividade de soja das safras 2007/2008 (a), 2008/2009 (b) e 2009/2010 (c)

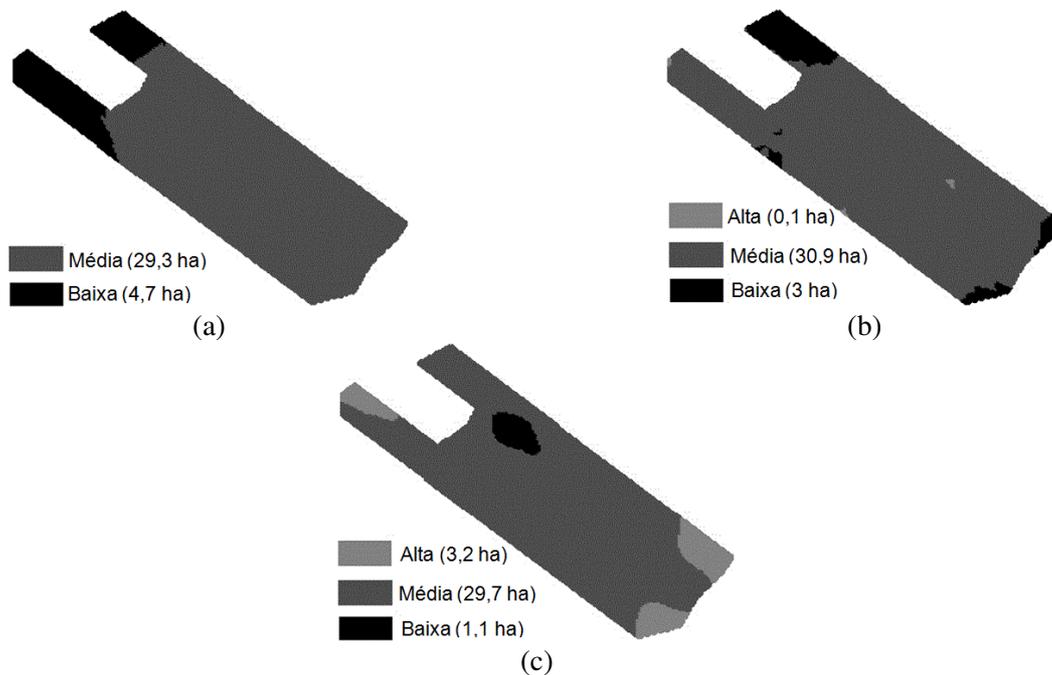


Figura 5. Mapas da classificação categórica da produtividade para as safras: 2007/2008 (a); 2008/2009 (b) e 2009/2010 (c)

Analisando o mapa de classificação da estabilidade (Figura 6a) verifica-se que a produtividade apresentou-se estável nas três safras avaliadas para 87,3% da área e instável apenas para

12,7%. A instabilidade da produtividade apresentou-se de forma agrupada na área de estudos, o que facilita sua investigação.

A produtividade média da área, para as três safras estudadas (Figura 6b), mostrou uma grande uniformidade e predominância de pontos com produtividade classificada como média (85,9%). Analisando o mesmo mapa de produtividade média das três safras, observou-se que 6,5% da área apresentaram produtividade baixa e 7,7% produtividade classificada como alta.

Vários pesquisadores têm enfatizado a utilização de análise espacial e temporal de mapas de produtividade para definição de unidades de manejo é apropriada (Taylor et al., 2007; Amado et al., 2007a). Estes mapas podem ser utilizados no direcionamento de amostragens de solo em áreas consideradas idênticas por algum fator produtivo (estabilidade ou classes), reduzindo tempo e custo de amostragem, além de se obter informações importantes para tomada de decisão na prescrição de aplicação de fertilizantes a taxas variadas, minimizando assim o custo de produção e a agressão ao meio ambiente. Neste contexto, os

mapas de estabilidade e classificação da produtividade mostram-se como importantes ferramentas na delimitação de zonas de manejo.

Após análise temporal da produtividade, uma região muito bem definida de instabilidade da produtividade foi observada. O mapa confeccionado possui coordenadas geográficas que permitem a localização, em campo, desta região. Uma vez localizada, é possível de se realizar uma investigação mais detalhada dos possíveis motivos que levaram esta região a apresentar instabilidade da produtividade, que podem ser relacionadas à fertilidade do solo, características física do solo, presença de pragas, incidência de doenças, dentre outros fatores. O mesmo raciocínio pode ser aplicado ao mapa de variabilidade temporal da produtividade, considerando os três anos estudados, reforçando assim, a importância da utilização da informação proveniente do mapeamento da produtividade, ferramenta importante para o sucesso das intervenções em agricultura de precisão.



Figura 6. Mapa de Estabilidade e Instabilidade (a) e produtividade média para as três safras estudadas (b)

Conclusões

Observou-se dependência espacial e temporal da produtividade de soja para as três safras avaliadas. Na análise da variabilidade temporal da produtividade foi detectado, pelos critérios adotados, que 12,7% da área apresentaram produtividade instável. A análise da variabilidade temporal e a confecção de mapas temáticos de instabilidade e estabilidade da produtividade mostram-se como ferramentas de elevado potencial para investigação de áreas que apresentam baixa produtividade.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo. À Fazenda Recanto pela disponibilização da área para o estudo. À Fundação

de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro aos autores.

Referências

- AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M.; SULZBACH, L.A.S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1101-1110, 2007a.
- AMADO, T.J.C.; PERES, R. B.; COSTA, J.A.; NICOLOSO, R.S.; TEIXEIRA, T.G. A safra recorde analisada pelos mapas de rendimento no RS. **Revista Plantio Direto**. n. 101, p. 18-123, 2007b.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim agroclimático para avaliação de impactos nas culturas : trimestre 2010: janeiro, fevereiro e



- março. Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, 2010. 50 p.
- CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Monitoramento por Satélite. Disponível em <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=107>>. Acesso em 10-Nov-2010.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste. Tecnologias de produção de soja para região central do Brasil. Londrina, 2008. 262p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 2006. 412p.
- FUNDAÇÃO MS. Fundação MS para pesquisa e difusão de tecnologias agropecuárias. Disponível em <<http://www.fundacaoms.org.br/page.php?26>>. Acesso em 09-set-2010.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford Universit, 1989. 561p.
- JUERSCHIK, P.; GIEBEL, A. Processing of point data from combine harvesters for precision farming In: European Conference on Precision Agriculture, n.2, 1999. **Precision Agriculture**, v.1, Odense, p. 297-307, 1999.
- MCKINION, J.M.; WILLERS, J.L.; JENKINS, J.N. Spatial analyses to evaluate multi-crop yield stability for a field. **Computers and Electronics in Agriculture**, n.70. p.187–198, 2010.
- MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.126-134, 2004.
- MILANI, L.; SOUZA, E.G.; URIBE-OPAZO, M.A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J.A.; PEREIRA, J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.591-598, 2006.
- MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.83-92, 2002.
- MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. Soja: fatores que afetam o crescimento e rendimento de grãos. Departamento de plantas de lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 31 p. 2005.
- SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; XAVIER, A, C. Distribuição e incerteza da acidez de um latossolo vermelho-amarelo húmico sob cultivo de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1053-1060. 2009.
- TAYLOR, J.A.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. Establishing Management Classes for Broadacre Agricultural Production. **Agronomy Journal**, v.99, p.1366-1376, september–october 2007.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). Applications of soil physics. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.
- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.