

Geração de Mapas de Produtividade para Experimentos com Milho no Âmbito de Fazenda

Luciano Shozo Shiratisuchi¹

Um dos questionamentos, na adoção de algumas ferramentas da agricultura de precisão, diz respeito ao custo de aquisição e depreciação dos equipamentos utilizados. Os mais essenciais nas culturas de grãos são os sensores e monitores de produtividade, utilizados na coleta de dados para a geração de mapas de produtividade durante a colheita. Eles são aferidores de práticas do manejo agrônomo adotado. Segundo [Makepeace \(1996\)](#) e [Molin \(2000\)](#) os mapas de produtividade são responsáveis por materializar o potencial de resposta de cultivos. No Brasil, dispense-se cerca de US\$10.000 para instrumentalizar uma colhedora com os respectivos sensores e monitores. Esses possibilitam, mapeamento para aferir técnicas de manejo, monitoramento da colheita e outras atividades na propriedade. Citam-se como exemplos: geração de histórico de áreas georreferenciadas (base de dados); prestação de serviços a outros agricultores; adoção de técnicas de rastreabilidade vegetal; apoio a ensaios conduzidos por produtores rurais.

Os ensaios no âmbito de fazenda ([Knighton, 2003](#); [Doerge, 2003](#)) são benefícios extras que o produtor tem ao equipar sua colhedora com a instrumentação de monitoramento de produtividade.

Há vários produtores que realizam os experimentos “on farm”, porém a aferição e o delineamento são realizados sem controle, com medições sem a utilização das ferramentas da agricultura de precisão que facilitam o trabalho.

Muitos produtores semeiam híbridos de milho, lado-a-lado, para selecionar o melhor nas suas condições; outros testam insumos (adubo, inseticidas, fungicidas, herbicidas etc.) em grandes parcelas para identificar os mais adequados. Portanto, a experimentação na fazenda utiliza amostragens médias da produtividade, da fertilidade dos solos, da infestação de plantas daninhas, doenças e pragas. Para serem mais efetivos, esses experimentos devem utilizar ferramentas que facilitam e melhoram a aferição dos tratamentos.

Exemplo hipotético de experimento utilizando a colhedora instrumentada com ferramentas para o mapeamento da produtividade

Com o mapa de fertilidade, no plantio em faixas lado a lado, onde a largura da plataforma de colheita seja igual à de trabalho da semeadora, ao colocar, em cada metade, sementes de híbridos diferentes, é possível realizar a colheita individual e gerar um mapa de produtividade de cada híbrido em separado ([Figura 1](#)).

¹ Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados, shozo@cpac.embrapa.br

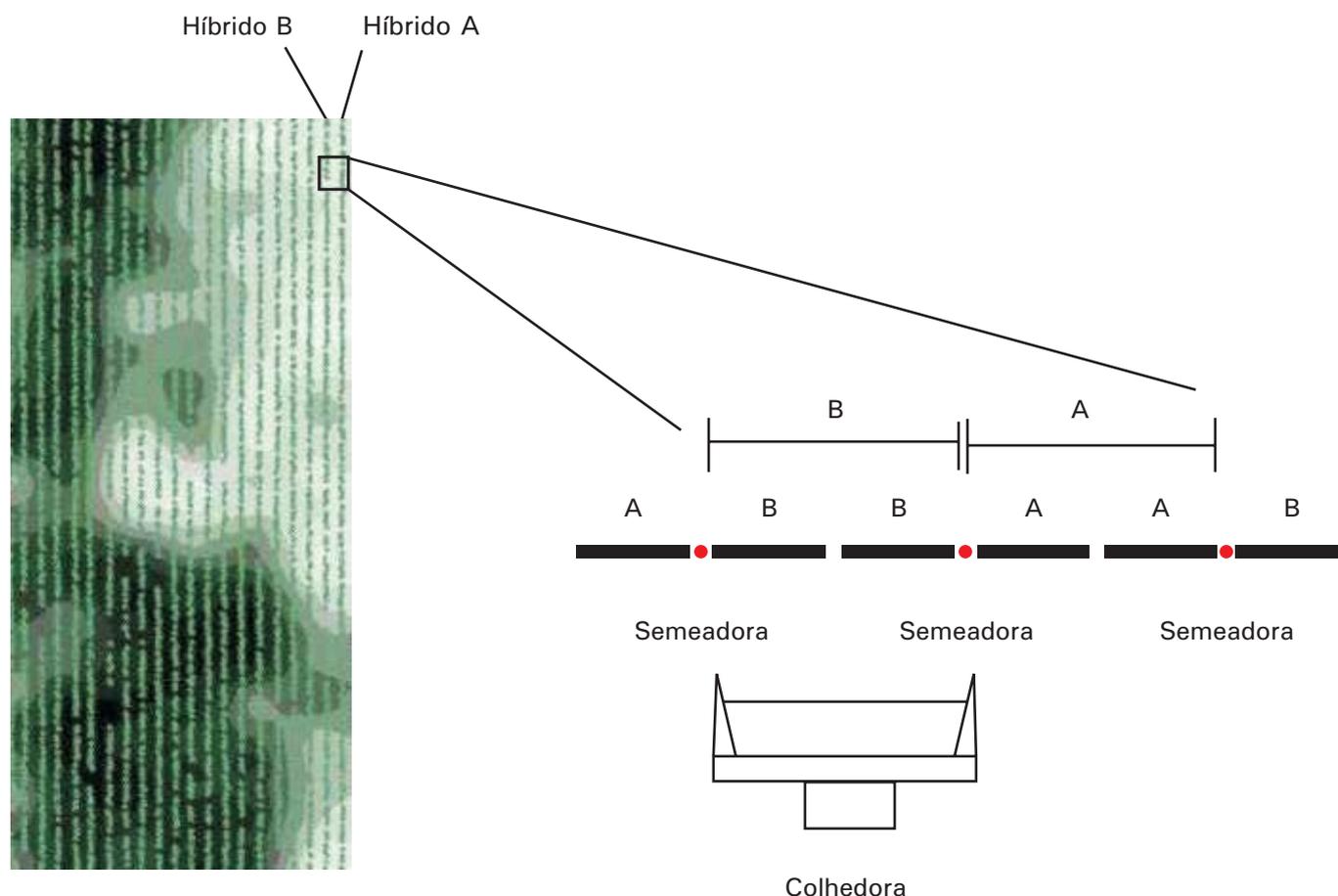


Figura 1. Delineamento de um experimento em fazenda com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão.

Com os mapas confeccionados, algumas questões poderão ser respondidas, tais como: Qual híbrido foi melhor em áreas de alta fertilidade ou baixa fertilidade? Qual produziu mais nas mesmas condições de fertilidade? Qual sofreu maior queda de produtividade na infestação de determinada planta daninha ou ataque de pragas? Qual o melhor nas condições de manejo da propriedade? Além disso, podem ser confeccionados mapas das diferenças entre os tratamentos adotados.

Nesses tipos de experimentos podem ser combinados vários fatores: híbridos de milho em vários níveis de determinado insumo, com populações de plantas diferentes, entre outros.

Nesse tipo de experimento os mapas resultantes podem ser: i) testemunha; ii) tratamento 1, iii) tratamento 2, e assim por diante; a produtividade de cada híbrido é medida nas condições mais uniformes possíveis de data de plantio, estande, maturidade, umidade do grão na colheita, fertilidade do solo, sistema de cultivo, manejo da cultura anterior, plantas daninhas, insetos, doenças, tipo de solo, drenagem, compactação e topografia (Knighton, 2003).

Na geração de mapas de produtividade, entretanto, ainda não se encontra disponível uma metodologia de colheita que responda às perguntas: Qual o número de tratamentos

em faixas que se pode empregar sem comprometer a confecção do mapa de produtividade? Qual a distância entre passadas que se pode adotar em determinada área sem perder as grandes tendências de produtividade?

O objetivo deste trabalho é demonstrar o efeito do espaçamento entre faixas de colheita na geração de mapas de produtividade na cultura de milho para facilitar a experimentação na fazenda e otimizar o uso da tecnologia de geração de mapas pelos agricultores e técnicos.

O ensaio

Para este estudo foram utilizados dados de colheita de milho da fazenda Maria das Águas Santas, Luís Eduardo Magalhães, BA. A cultura foi conduzida em irrigação por pivô-central, numa área de 100 ha. Escolheu-se uma subárea de 27,47 ha, onde houve melhor condição operacional da colhedora, como: velocidade de colheita constante, acompanhamento da calibração do sensor de produtividade, baixa infestação de plantas daninhas, condições ótimas de trafegabilidade e maior variabilidade espacial da produtividade.

Equipamentos e materiais

A cultura de milho foi semeada com espaçamento de 0,80 m, em uma população de 66.000 plantas/ha. Na colheita

foi utilizada colhedora automotriz da marca AGCO®, modelo MF 38®, plataforma de milho marca Vence Tudo®, modelo 7LM, equipada com sensores de produtividade, monitor de produtividade (Datavision/Fieldstar®) e Sistema de Posicionamento Global (GPS). Para o georreferenciamento da colheita foi utilizado equipamento GPS com correção diferencial via satélite.

A coleta dos dados foi realizada pelo monitor de produtividade e a gravação dos dados em cartão de memória PCMCIA para o processamento e análise em software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) específico denominado Arc View 3.2®

Condições de colheita

A colheita foi realizada no dia 3 de junho de 2003, em condições climáticas ótimas para a colheita de milho. A área possuía um relevo plano com 2% de declividade do ponto mais alto ao mais baixo.

A velocidade de colheita variou entre 4,43 e 6,64 km/h, com uma coleta de 9628 dados pontuais de monitoramento de produtividade, obtendo-se densidade de 350 pontos/ha. Cada ponto representou aproximadamente 28 m² de área colhida.

Descrição das etapas de coleta de dados

Os dados brutos foram coletados pelo monitor de produtividade Datavision®, depois da colheita da área total (100 ha), e transferidos para um computador portátil

e gravados no formato Fieldstar® (FSY). Esse é compatível com o Excel e outras planilhas eletrônicas, sendo facilmente trabalhado em qualquer programa de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Geração de mapas

Na geração de mapas, com diferentes distâncias entre faixas de colheita, utilizaram, como referência, os dados de produtividade obtidos na colheita da área selecionada (27 ha). Os dados brutos pontuais, obtidos durante a colheita, depois da identificação e da remoção dos erros, foram submetidos a uma análise de dependência espacial utilizando a geoestatística e interpolados por “krigagem” ordinária. Esse método utiliza interpolação com variância mínima e não tendencioso, na obtenção de mapa confiável, pois no mapeamento da produtividade a quantidade de pontos coletados é muito grande. A krigagem é, entretanto, trabalhosa e exige conhecimento em geoestatística.

Os dados foram organizados no SIG, simulando uma colheita, retirando 2, 4, 6, 8 e 10 faixas ou 11,2m; 22,4m; 33,6m; 44,8m e 56m, identificadas pelo sentido da operação (Norte ou Sul) proposta por [Menegatti \(2002\)](#).

Essa disposição pode ocorrer na situação real quando a colheita é realizada com colhedora instrumentada e outras, sem a instrumentação utilizada para mapear a produtividade, ou pela colheita de diferentes tratamentos de experimentos realizados em faixas (Figura 2).

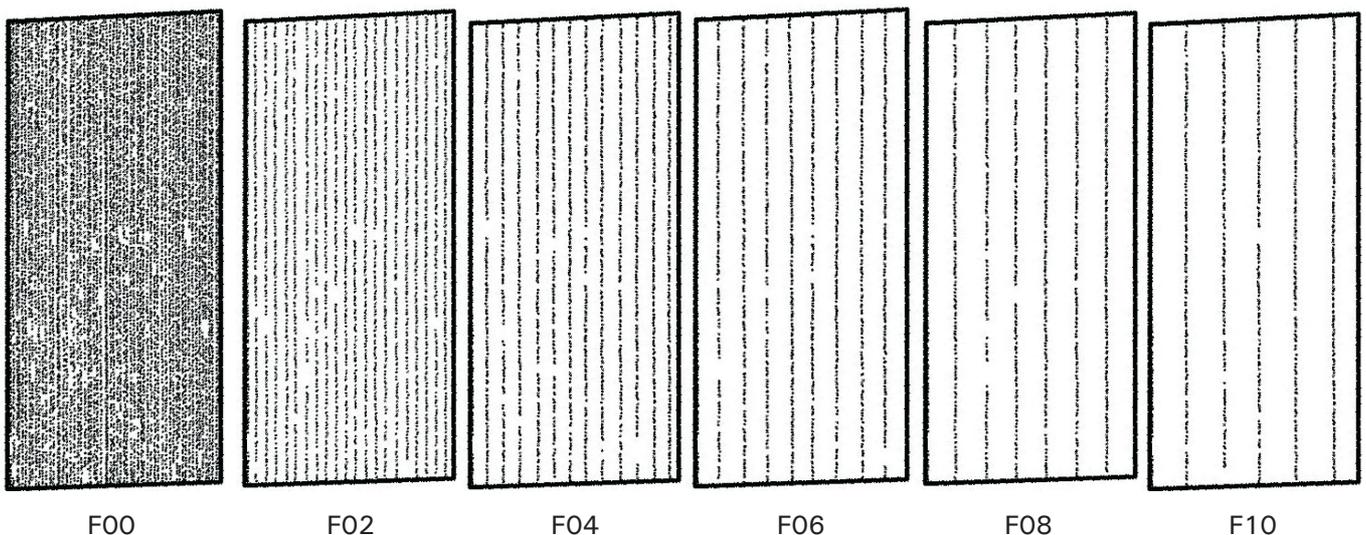


Figura 2. Simulação de colheita em faixas para F00, F02, F04, F06, F08 e F10. A primeira representa todos os dados; as demais com supressão progressiva de passadas.

Além da “krigagem”, utilizou-se o método de interpolação pelo inverso da distância que não exige um conhecimento em técnicas geoestatísticas. Nessa interpolação foram

utilizados 12 vizinhos e um peso igual a dois. Esse método é padrão da maioria dos programas de SIG, desenvolvidos para a agricultura de precisão disponíveis

no mercado. Em ambas as interpolações, definiu-se uma célula de 2 m para o mapa de quadriculas resultante. A comparação dos métodos possibilita estabelecer os limites de utilização de cada um.

Os mapas resultantes dos dados dispostos em faixas espaçadas foram comparados com os mapas resultantes da interpolação de uma grade regular gerada pela metodologia aqui chamada de média circular na faixa (MCF).

Média circular na faixa de colheita (MCF)

A MCF obtém-se pelo cálculo da média aritmética dos pontos abrangidos num diâmetro correspondente a 80% da distância entre as faixas de colheita. Permite confeccionar uma grade regular, proporcional à distância entre passadas da máquina, para melhorar a interpolação posterior na geração dos mapas.

Por exemplo: na distância entre faixas de 36 m, calcula-se a média dos pontos abrangidos por um círculo de diâmetro de 28,8 m (80 % de 36) e atribui o valor médio no ponto central (Figura 3).

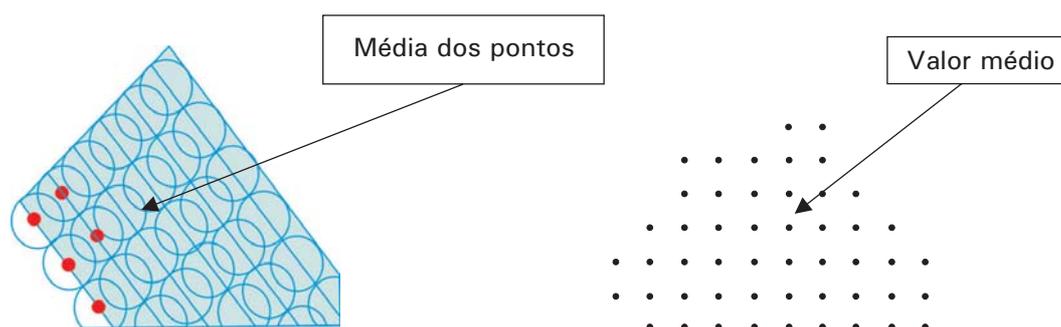


Figura 3. Obtenção da média circular na faixa de colheita (MCF) antes da interpolação para a geração dos mapas.

Vários programas de SIG podem ser utilizados para tentar simular esse tipo de metodologia. Neste trabalho empregou-se o Arc View 3.2®, por meio de comandos próprios, específicos, como o *clip* para a seleção dos pontos dentro de determinado polígono. Esse se originou no círculo criado de acordo com o espaçamento entre faixas de colheita.

A aplicação da metodologia MCF aos dados da colheita, transformou as faixas colhidas em uma grade regular. Onde: P00 (grade regular de 4,48 x 4,48 m, que corresponde a 80% da distância em metros entre uma passada da colhedora e outra), P02 (8,96 x 8,96 m, 80% do espaçamento de duas vezes a largura da plataforma), P04 (17,92 x 17,92 m, 80% do espaçamento de quatro vezes a largura da plataforma), P06 (26,88 x 26,88 m, 80% do espaçamento de seis vezes a largura da plataforma), P08 (35,84 x 35,84 m, 80% do espaçamento de 8 vezes a largura da plataforma) e P10 (44,8 x 44,8 m, 80% do espaçamento de 10 vezes a largura da plataforma) (Figura 4).

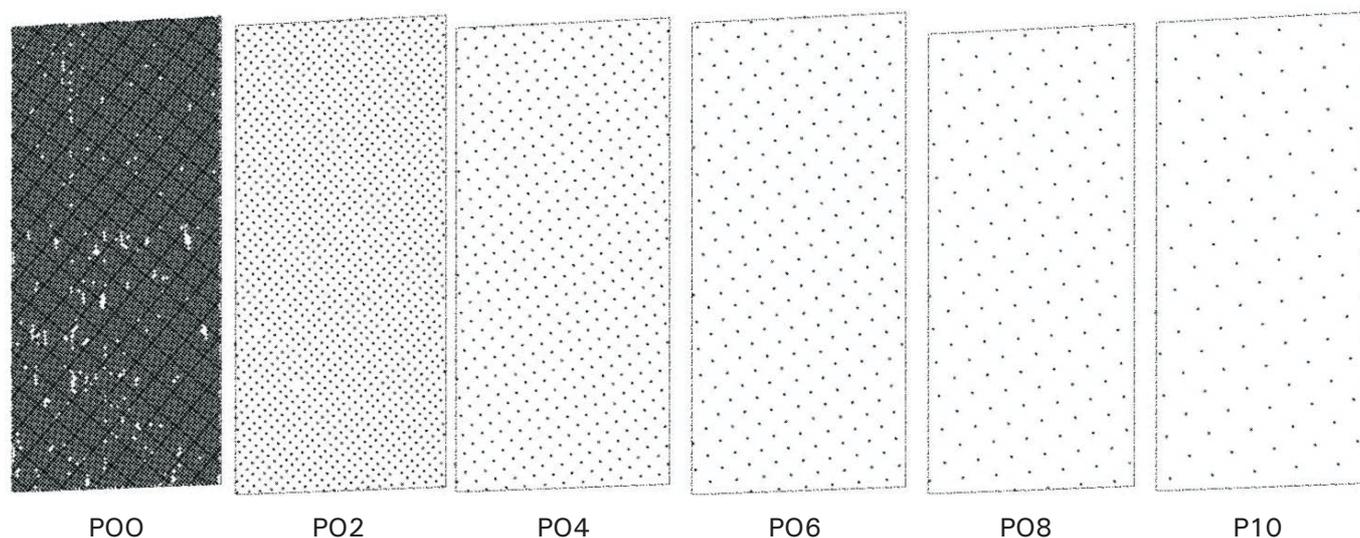


Figura 4. Aplicação da MCF aos dados da colheita em faixas de 2, 4, 6, 8 e 10 vezes a largura da plataforma da máquina.

Análises geoestatísticas

Antes da análise de dependência espacial pela geoestatística, efetuou-se descrição preliminar dos dados brutos, já filtrados, sem a retirada de faixas, coletados em toda a área experimental. Foram verificados a normalidade, assimetria, curtose, média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Esses parâmetros são importantes para verificar se os dados ajustam ao uso da geoestatística; a normalidade dos dados pode favorecer mas não é um imperativo ([Jounel & Huijbregts, 1978](#); [Isaaks & Srivastava, 1989](#)).

Os dados contidos no polígono F00 (sem a retirada de passadas) foram submetidos à análise de dependência espacial para determinação da distância máxima, ou alcance (range) que corresponde à distância até a qual os dados possuem dependência espacial.

A distância máxima entre faixas de colheita foi escolhida com base no alcance do semivariograma, ajustado com todos os dados de colheita depois da filtragem e remoção de erros.

Análises de correlação linear

A interpolação com a aplicação e sem a aplicação da metodologia MCF gerou dez mapas por "krigeagem" (F02k, F04k, F06k, F08k, F10k, P02k, P04k, P06k, P08k e P10k) e dez obtidos pelo inverso da distância (F02idw, F04idw, F06idw, F08idw, F10idw, P02idw, P04idw, P06idw, P08idw e P10idw), onde: F – Faixas de colheita; P – Pontos gerados pela metodologia MCF (Média circular na Faixa); 2 a 10 – Número de faixas de colheita de 5,6 m; k - Interpolação por krigeagem; idw – Interpolação pelo inverso da distância.

Depois da geração dos mapas, avaliou-se a correlação destes com o de colheita da área total (27 ha – F00), pelo método de Pearson para uma grade amostral de 5,6 x 5,6 m (largura da plataforma).

Análise estatística

Os dados apresentaram uma distribuição normal e elevada simetria, com valores de 0,22 (Figura 5). O coeficiente de variação foi de 21%, demonstrando grande variabilidade nas produtividades pontuais de milho medidas pelo sensor, com amplitude entre 3.093 e 10.308 kg/ha.

A análise detalhada dos dados de produtividade apresentou alguns parâmetros muito semelhantes aos obtidos por [Noack et al. \(2003\)](#) (Tabela 1).

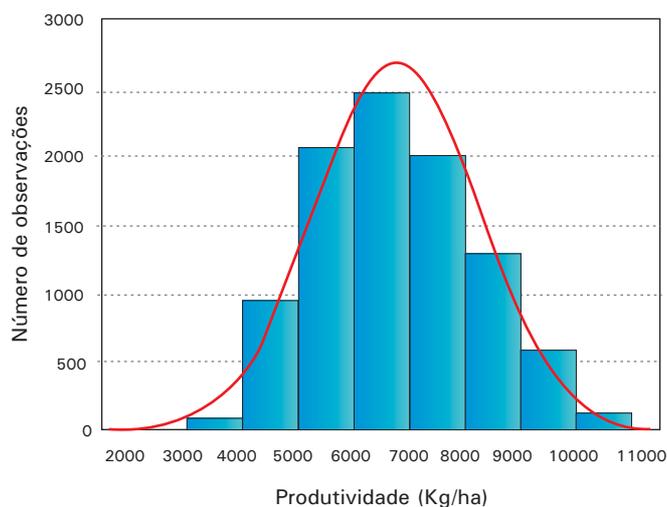


Figura 5. Histograma dos valores de produtividade de milho em kg/ha, com curva de normalidade esperada.

Tabela 1. Dados estatísticos da produtividade de milho.

Total de pontos	9628
Média	6766,53
Mediana	6671,5
Valor Mínimo	3093
Valor Máximo	10308
Variância	2031488
Desvio Padrão	1425,303
Assimetria	0,222035
Curtose	-0,53353
Coeficiente de variação (%)	21,06
(Shapiro Wilks)	0,0001

Análise de dependência espacial e correlação entre os mapas

Os dados de produtividade da área experimental de 27 ha, sem a retirada das faixas de colheita, apresentaram alcance em torno de 37 m. Nessa distância existe uma dependência espacial entre as amostras pelas técnicas geoestatísticas (Tabela 2). Resultados semelhantes foram obtidos por [Menegatti \(2002\)](#) e [Blackmore \(2003\)](#).

Como 37 m é uma distância maior que 6 faixas de colheita também foram feitas modelagens dos parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de F02, F04, F06, P02, P04 e P06, que apresentaram um alcance médio de 38 m, confirmando a dependência espacial do semivariograma ajustado sem a retirada de dados.

Nessa situação, as faixas de colheita na cultura de milho poderiam distanciar-se em até 37 m obtendo-se um mapa confiável, na interpolação por krigagem,

gerando pontos intermediários com variância mínima e sem tendenciosidade. Portanto, é possível realizar colheita diferenciada de até seis tratamentos de experimentos em faixas (5,6m) e obter dados para interpolação e geração de mapas de colheita representativos das tendências de variabilidade. Esses permitem a comparação dos tratamentos.

Os mapas gerados, com o uso de dados de colheita em faixas ou depois da aplicação da MCF, espaçados de 37 m, provieram da interpolação utilizando-se os parâmetros do semivariograma ajustado com a totalidade dos pontos. Os demais mapas gerados, a partir da retirada de 8 e 10 faixas, foram interpolados utilizando-se parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados distanciados de 44,8 e 56 m (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos semivariogramas referentes aos dados F00, F08, F10, P08 e P10.

Dados utilizados	Modelo	Intercepto (Nugget)	Patamar (Sill)	Alcance (range)
F00	Esférico	1085886	1700807	37.04
F02,F04, F06, P02, P04, P06	Esférico	1105632*	1780526*	38.32*
F08	Esférico	1230566	1982356	112.1
F10	Esférico	1005632	2482355	249.5
P08	Esférico	155235	755621	255.5
P10	Esférico	0	1205635	385.1

*Média dos parâmetros ajustados aos semivariogramas (F02, F04, F06, P02, P04 e P06)

Verificou-se a tendência de ajuste em distâncias maiores para o mapa de produtividade, dependendo dos dados utilizados. Como não existe metodologia única aos ajustes dos semivariogramas, eles devem ser modelados e ajustados de acordo com o conhecimento do fenômeno estudado ([Journel & Huijbregts, 1978](#)).

Análise dos mapas de produtividade

Nas Figuras de 6 a 9, encontram-se os mapas gerados por diferentes espaçamentos entre faixas simulados depois da colheita da área total, e interpolados por krigagem e inverso da distância, com utilização e sem utilização da MCF, onde: F – faixas sem MCF; P – grade gerada pela MCF; 2-10 – número de faixas retiradas antes da geração dos mapas; k – mapas por krigagem; idw – mapas pelo inverso da distância.

Os dados ao serem interpolados, em distância maior que 37 m, com a utilização de MCF, demonstraram uma correlação significativa, semelhante à interpolação por “krigagem” ($r^2 = 0,8$).

A correlação com o mapa referência (F00k) foi significativa até a distância de 44,8m (pulando-se 8 passadas da máquina). Os valores de correlação, relativos ao mapa referência, depois da aplicação de MCF, estão apresentadas na [Figura 10](#).

A correlação linear significativa para todas comparações mostra que os mapas mantiveram a estabilidade das grandes tendências de variação em produtividade existente quando as distâncias aumentam ([Figuras de 6 a 9](#)).

No tratamento de áreas com zonas de produtividade, a partir da interpolação, ficou evidenciado estatisticamente que a “krigagem” foi melhor que o inverso da distância em todas as situações testadas, principalmente quando a distância entre faixas era grande.

Ressalta-se que, quando não se dispõe do conhecimento da geoestatística, mapas gerados de dados em que foram aplicados a MCF, seguidos da interpolação feita pelo inverso da distância, em até 22,4 m, (equivalente a quatro faixas de colheita) demonstraram um nível de detalhamento satisfatório para trabalhar com as tendências de produtividade na área. Percebeu-se que em todos os casos, na aplicação de MCF antes da interpolação (“krigagem” ou inverso da distância) a correlação foi semelhante ou superior.

É perfeitamente possível fazer uma colheita diferenciada com máquina instrumentada de até seis tratamentos, quando se realiza experimentos em faixas, ou realizar a colheita com uma máquina instrumentada associada até outras seis sem esses equipamentos, aumentando o rendimento operacional da colhedora instrumentada, desde que se aplique MCF antes da interpolação por “krigagem”.

Deve-se ressaltar que a distância entre essas faixas de colheita depende da variabilidade espacial da produtividade na área, sendo mais adequado ter pelo menos um mapa de colheita antes da tomada de decisão.

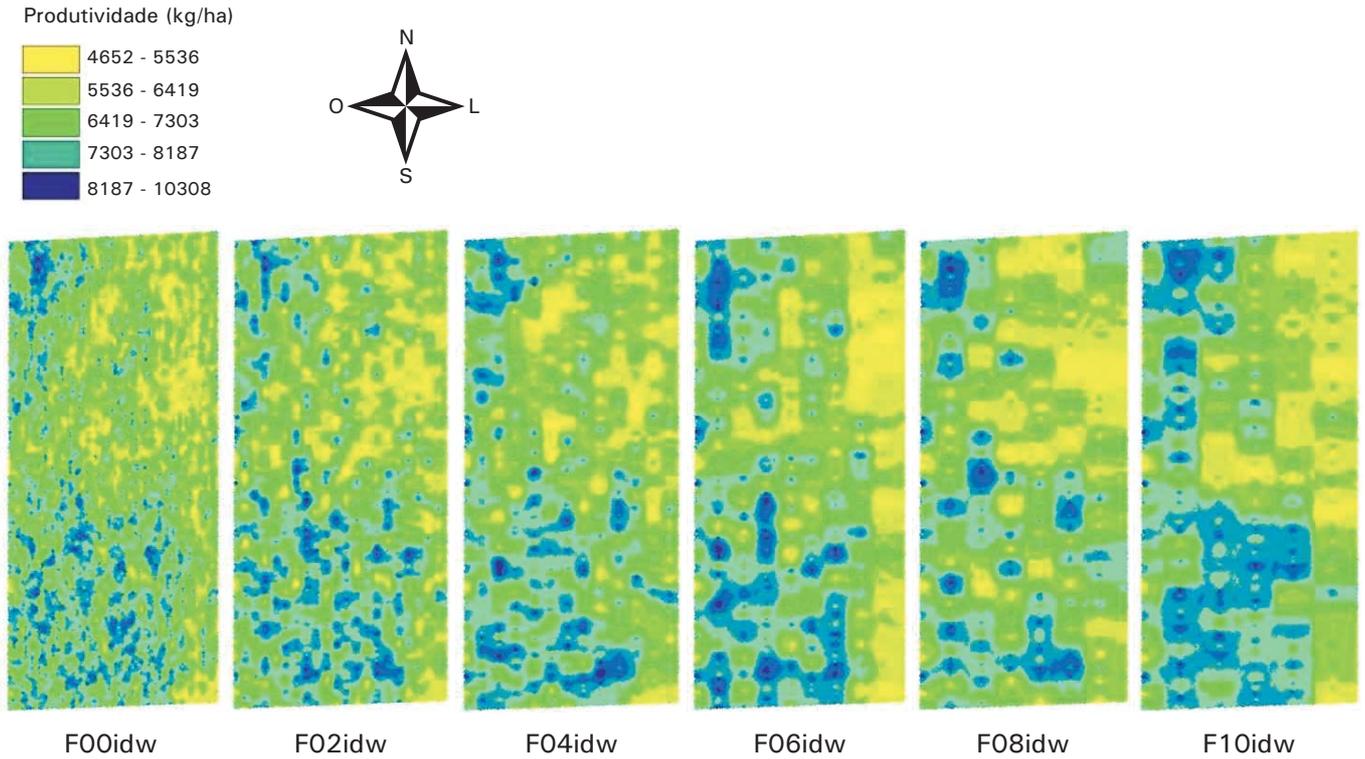


Figura 6. Mapas interpolados pelo inverso da distância, sem a utilização da Média Circular na Faixa (MCF). (F00idw, F02idw, F04idw, F06idw, F08idw, F10idw).

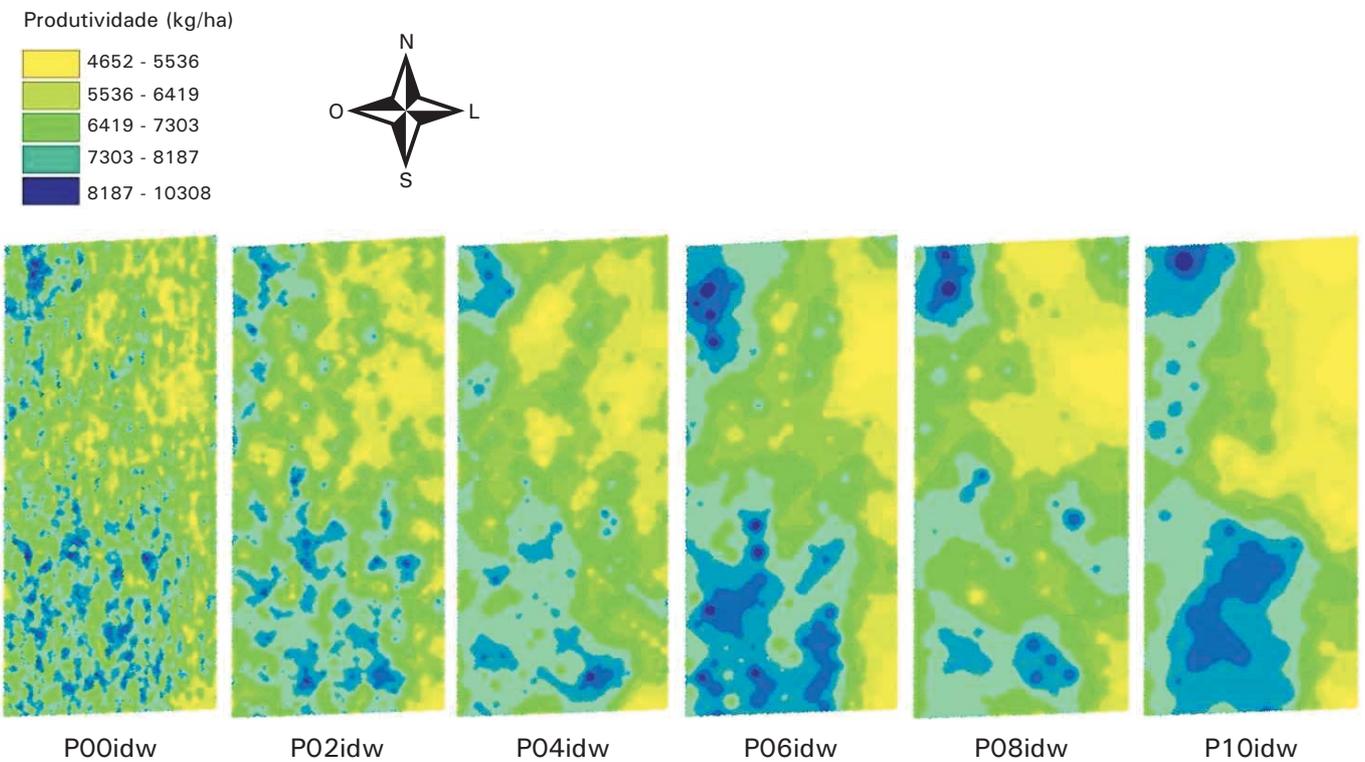


Figura 7. Mapas interpolados pelo inverso da distância, com a utilização de Média Circular na Faixa (MCF). (P00idw, P02idw, P04idw, P06idw, P08idw, P10idw).

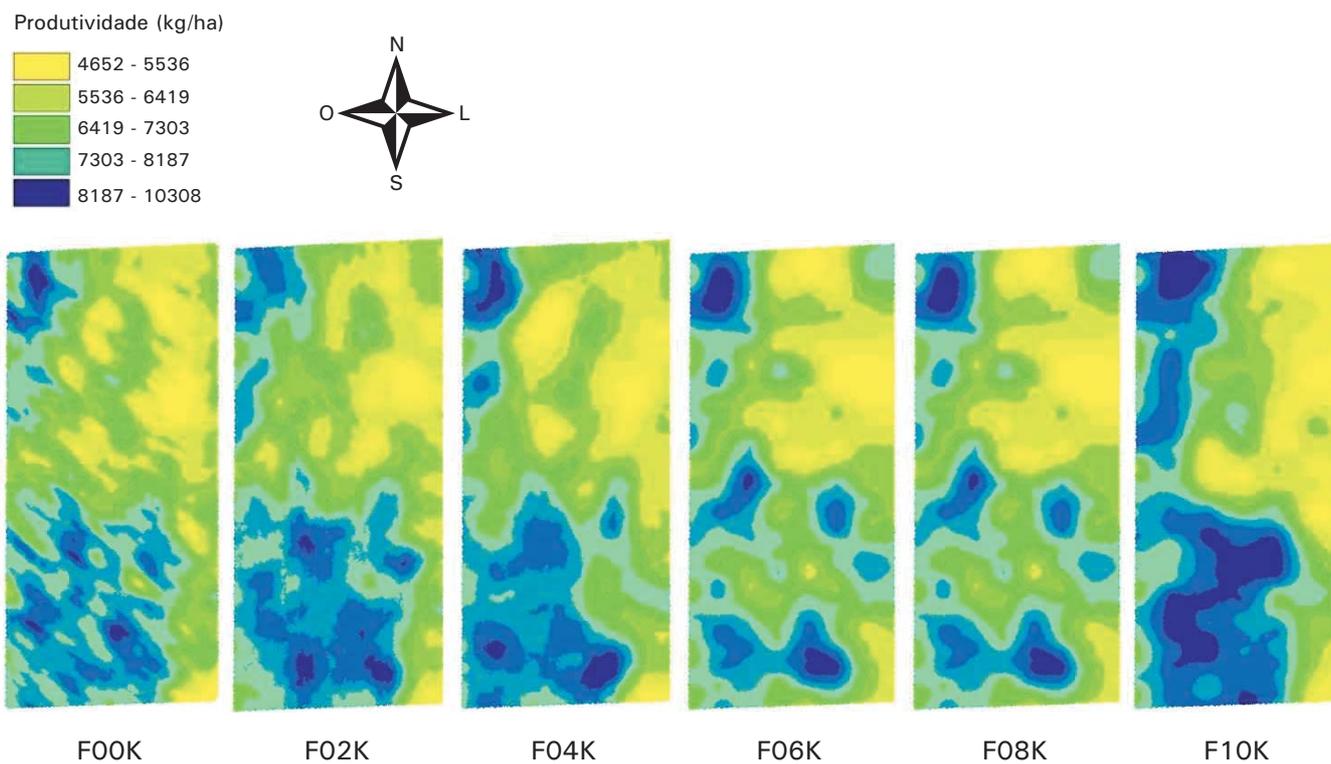


Figura 8. Mapas interpolados por krigagem, sem a utilização da Média Circular na Faixa (MCF). (F00k, F02k, F04k, F06k, F08k, F10k).

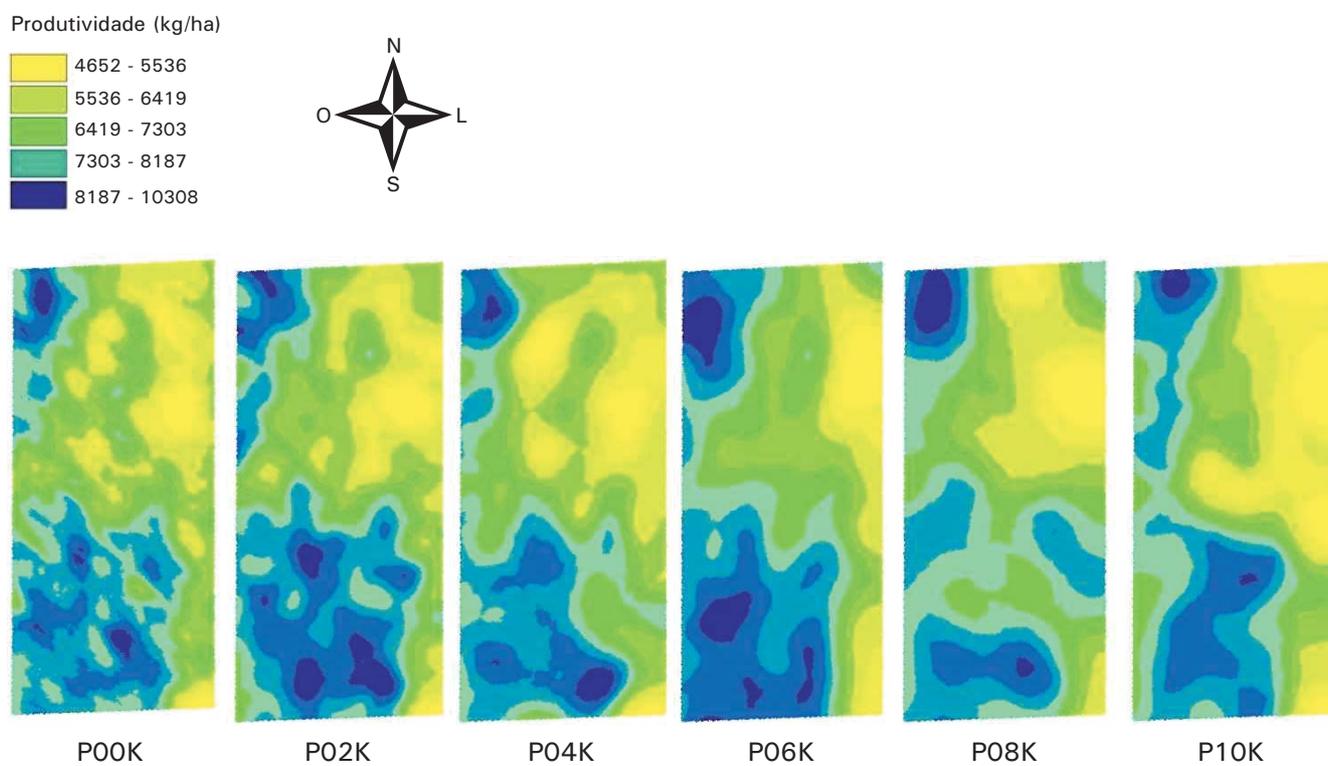


Figura 9. Mapas interpolados por "krigagem", com a utilização da Média Circular na Faixa (MCF). (P00k, P02k, P04k, P06k, P08k, P10k).

Referências Bibliográficas

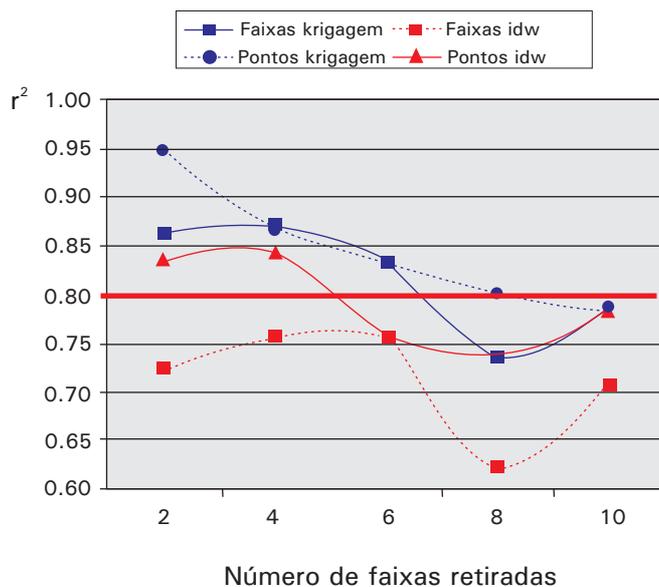


Figura 10. Coeficientes de correlação (r^2) para produtividade de milho em grade de 5,6 por 5,6 m, extraída dos mapas F02, F04, F06, F08, F10, P02, P04, P06, P08 e P10, interpolados por krigagem (k) e pelo inverso da distância (idw).

Conclusões

A interpolação por “krigagem” possibilitou a geração de mapas de produtividade de milho com a retirada de até seis faixas de 5,6 m. Isto possibilita avaliar até cinco tratamentos e uma testemunha nos ensaios em faixas, ou realizar a colheita com uma colhedora instrumentada associada a outras 5 sem a instrumentação para o mapeamento da produtividade.

Mapas por interpolação pelo inverso da distância podem ser gerados com intervalos de até quatro faixas de 5,6 m, depois da aplicação da MCF aos dados de produtividade georreferenciados. A interpolação pelo inverso da distância possibilita a realização de experimentos em faixas de até quatro tratamentos e uma testemunha.

A aplicação de métodos de interpolação pelo inverso da distância, em dados distanciados por qualquer distância entre faixas de colheita, não representam adequadamente a produtividade da área, exceto quando a metodologia MCF é empregada previamente aos dados.

BLACKMORE, S. **The role of yield maps in precision farming**. Silsoe, 2003. 162 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – National Soil Resources Institute, Cranfield University, 2003.

DOERGE, T. **Yield Monitors Create On- and Off-Farm Profit Opportunities** http://www.pioneer.com/growingpoint/default_en.jsp (10 Nov. 2003).

ISAAKS, E.H.; SRISVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining Geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.

KNIGHTON, R.E. **Setting up On – Farm experiments**. <http://www.ppi-far.org/ssmg> (15 Nov. 2003)

MAKEPEACE, R.J. Benefits and limitations of precision farming. In: CONFERENCE ON PESTS AND DISEASES, 1., 1996, Brighton, **Proceedings**, Brighton: Brighton University Press, 1996. P. 1235-1242, 1996.

MENEGATTI, L.A. **Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade**. Piracicaba, 2002. 84 p. Dissertação (mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, 2002.

MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M.P. Del; QUEIROZ, D.M. de; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 237-258.

NOACK, P.O.; MUHR, T.; DEMMEL, M. Relative accuracy of different yield mapping systems installed on a single combine harvester. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4. 2003, Wageningen, 2003, **Proceedings**, Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2003. p. 451-456, 2003.

Yield Map Generation for On-farm Experiments with Corn

Abstract – Many farmers do not use precision agriculture tools due to high equipment costs and lack of knowledge about this new approach. A number of farmers have, however, conducted on-farm experiments without the help of these new and still expensive tools. One of the most important equipments for precision agriculture practices is the crop yield monitor. It can also be used for on-farm experiments to collect yield data, reducing costs and paybacks. The aim of this paper is to evaluate the effects of combine header distance on corn harvest accuracy of yield maps. Conventional yield map was statistically compared with five yield maps generated by removing 2, 4, 6, 8 e 10 combine header width generated by a GIS-based software package. Two interpolations were made, i.e., ordinary block kriging and optimal inverse distance weighing, with and without MCF. This is a new procedure that uses 80% of combine header width as a circular mean diameter to generate a sampling grid. For the MCF, before kriging, good results were obtained until six times the combine header width (five treatments, one control) based on yield comparison map. For the MCF method with inverse distance, a reliable yield map was obtained until four times the combine header width.

Index terms: precision farming, harvest method, combine header width, interpolation.

Comunicado Técnico, 96

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Cerrados

Endereço: BR 020 Km 18 Rod. Brasília/Fortaleza
Caixa postal: 08223 CEP 73310-970

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

E-mail: sac@cpac.embrapa.br

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2003): 100 exemplares

Comitê de Publicações

Presidente: Dimas Vital Siqueira Resck.
Editor Técnico: Carlos Roberto Spehar.
Secretária Executiva: Nilda Maria da Cunha Sette.

Expediente

Supervisão editorial: Jaime Arbués Carneiro.
Revisão de texto: Jaime Arbués Carneiro.
Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro.
Editoração eletrônica: Leila Sandra Gomes Alencar.
Impressão e acabamento: Divino Batista de Souza
Jaime Arbués Carneiro.