

## Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão

Antônio L. Santi<sup>1</sup>, Telmo J. C. Amado<sup>2</sup>, Mateus T. Eitelwein<sup>3</sup>,  
Maurício R. Cherubin<sup>4</sup>, Rodrigo F. da Silva<sup>1</sup> & Clovis O. Da Ros<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Linha 7 de Setembro, BR 386 km 40, Interior, CEP 98400-000, Frederico Westphalen-RS, Brasil. E-mail: santi\_pratica@yahoo.com.br; mateus\_tonini@hotmail.com; rodrigossilva@smail.ufsm.br; clovisdaros@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Solos, Avenida Roraima, Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: florestatel@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, Brasil. E-mail: mateus\_eitelwein@usp.br

<sup>4</sup> Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, Brasil. E-mail: cherubin@usp.br

### RESUMO

O objetivo do estudo foi remover erros dos dados de produtividade e, por meio da sua análise temporal, definir zonas com distintos potenciais produtivos de grãos em áreas manejadas com agricultura de precisão. O estudo foi conduzido em Palmeira das Missões - RS e Não-Me-Toque - RS, contendo seis e quatro eventos de colheita, respectivamente. A coleta das informações foi realizada por colhedora dotada de sistema específico de monitoramento de produtividade. Os dados brutos foram filtrados e reduzidos em quadrículas de 17 m, determinando a produtividade média de cada quadrícula. Para a análise temporal dos dados, as médias de produtividade das quadrículas foram relativizadas em relação à média geral da cultura, em cada evento de colheita. A sobreposição de pelo menos três mapas de produtividade proporciona a diferenciação de áreas com produtividades semelhantes ao longo dos anos. A filtragem de dados é essencial para a remoção de erros e análise temporal dos mapas.

**Palavras-chave:** mapas de produtividade, remoção de erros, variabilidade produtiva, zonas de manejo

### *Definition of yield zones in areas managed with precision agriculture*

### ABSTRACT

The objective of this study was to remove errors in the productivity data and through temporal analysis to define zones with different grain yield potential in areas managed with precision agriculture. The study was conducted in Palmeira das Missões - RS and Não-Me-Toque - RS, containing six and four collection events, respectively. Data collection was performed by harvester equipped with specific system of monitoring productivity. The raw data were filtered and reduced in squares of 17m, determining the mean productivity of every raster. For the temporal analysis of the data, the mean productivity of the squares were relativized in relation to overall mean crop yield in each event. The overlapping of at least three maps of productivity proportionated differentiation of areas with similar yields over the years. Filtering of data is essential to remove errors and temporal analysis of the maps.

**Key words:** yield maps, removal of errors, production variability, management zones

## Introdução

A agricultura comercial tem sofrido profundas modificações nos últimos anos, desencadeadas principalmente pelo emprego da tecnologia no campo, direcionada à mecanização dos processos, utilização de insumos químicos, sistema de semeadura direta, biotecnologia e à agricultura de precisão (AP). Os reflexos do uso dessas tecnologias são observados na produção agrícola nacional em que, na última década, a soja apresentou aumento médio de produtividade de aproximadamente 14% em comparação com a década anterior (1993 a 2002); já o milho aumentou 38% no mesmo período (Conab, 2012). Entre as ferramentas da AP que contribuíram para a evolução dos patamares produtivos se destacam: o uso de instrumentos de navegação por satélite nas máquinas agrícolas, o mapeamento da variabilidade de fertilidade dos solos, a aplicação de fertilizantes e corretivos com taxas variáveis, monitoramento instantâneo de condições de planta, controle georreferenciado de pulverizações e a utilização de mapas de produtividade.

O uso de mapas de produtividade para caracterizar a variabilidade das lavouras tem-se mostrado um importante parâmetro pois se trata da representação gráfica da resposta das plantas às condições de manejo e ambiente submetidas, sendo considerado o resultado que se obteve com as técnicas empregadas (Moore, 1998), podendo ser utilizado também como ponto de partida do ciclo da AP (Queiroz et al., 2000). Por outro lado, as ferramentas de análise disponíveis atualmente podem, em algumas situações, não explicar totalmente as causas da variabilidade na produtividade dos cultivos, sendo oportuna a associação com outras informações para investigar tal variabilidade (Coelho, 2003).

A possibilidade de se coletar dados ininterruptamente, faz dos mapas de produtividade a informação mais completa da lavoura; por outro lado, a grande quantidade de dados coletados possibilita a ocorrência de erros (Moore, 1998; Menegatti & Molin, 2003). Os erros mais comuns encontrados nos arquivos advindos de colhedoras se referem a falhas grosseiras de posicionamento, produtividade nula, interpretação incorreta da largura de plataforma, umidade nula, distância nula entre pontos, intervalo de enchimento da colhedora e dados discrepantes (Menegatti & Molin, 2004). Deste modo, a utilização de um grande número de informações referentes ao solo ou à cultura, tem sido a forma usual para tentar explicar a variabilidade produtiva das lavouras (Santi, 2007). Assim, vários trabalhos estão sendo desenvolvidos visando encontrar correlações entre a produtividade e os fatores de produção (Souza et al., 2008; 2010; Queiroz, 2009; Amado et al., 2009; Guedes Filho et al., 2010; Motomiyia et al., 2011; Nogara Neto, 2011; Ferraz et al., 2012).

Segundo Tisdale et al. (1993) existem 52 fatores determinantes da produtividade, divididos em 45 controláveis e 7 incontroláveis, que podem ser alterados apenas indiretamente. Neste sentido, Argenta et al. (2003) ressaltam que a determinação da produtividade de grãos das culturas pode fornecer subsídios para a identificação dos fatores limitantes e dimensionar os impactos dos fatores restritivos ao desenvolvimento vegetal, possibilitando a definição de

estratégias para superá-los ou minimizá-los, por meio da alteração no sistema de manejo.

Tendo em vista a importância dos mapas de produtividade para a caracterização da variabilidade produtiva e seu uso em estratégias de manejo diferenciadas, a acurácia do mapa é de fundamental importância. Para Molin (2002) é necessário haver consistência temporal para a definição correta de unidades de manejo diferenciadas; portanto, a análise individual de mapas é restritiva e pode não representar, com autoridade, tais zonas. Desta forma, o uso de vários mapas de produtividade para a definição e consolidação de zonas com distintos potenciais produtivos parece ser a maneira mais eficiente para caracterizar a variabilidade das lavouras (Molin, 2002; Milani et al., 2006; Suszek et al., 2011).

Deste modo, o objetivo do estudo foi identificar e remover erros nos dados de produtividade e, por meio da sua análise temporal, definir zonas com distintos potenciais produtivos de grãos.

## Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em duas áreas comerciais produtoras de grãos sob sistema plantio direto, no norte do estado do Rio Grande do Sul, localizadas no município de Palmeira das Missões a uma altitude de 600 m, com 57 ha e no município de Não-Me-Toque numa altitude de 550 m com 132 ha. Os dados de produtividade foram coletados nos anos de 2001 a 2005.

O solo das áreas é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, apresentando textura muito argilosa (> 60% de argila) (Embrapa, 2006). O clima da região, segundo a classificação de Maluf (2000) é subtropical com primavera úmida (ST PU) com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual de 1.919 mm. Durante o estudo a distribuição da precipitação foi normal, exceto nos anos de 2004 e 2005, quando ocorreu déficit hídrico no mês de fevereiro. Em Palmeira das Missões a precipitação registrada para o mês de fevereiro de 2004 representou apenas 16% (46 mm) da precipitação ocorrida no mesmo período, em 2003 (284 mm). Em 2005 esse índice foi ainda menor representando 2,5% (7 mm) do total precipitado em fevereiro de 2003.

Os dados de produtividade foram obtidos por uma colhedora de grãos marca Massey Ferguson®, modelo MF34, dotada de sistema Fieldstar® para a agricultura de precisão. O sistema é composto de um conjunto de instrumentos e sensores que permitem o registro instantâneo e armazenamento de dados de produtividade georreferenciados. O valor de produtividade instantânea foi estimado por uma célula de carga conectada a duas hastes que deformam, de acordo com o fluxo de grãos que passa pelo elevador de grãos limpos, sendo registrado um ponto a cada 7 metros de deslocamento da colhedora. Esses dados foram analisados por meio do programa CR-Campeiro7 eliminando-se, por meio de filtragens, os valores de produtividade improváveis segundo proposições sugeridas por Moore (1998) e Menegatti & Molin (2004).

Para a análise temporal dos dados utilizaram-se seis mapas de produtividade na área de Palmeira das Missões (soja 2001, milho 2002, trigo 2003, soja 2003, soja 2004 e milho 2005), e

quatro em Não-Me-Toque (milho 2002, soja 2003, trigo 2003 e milho em 2005). Desta forma e após a filtragem e remoção de dados inconsistentes, realizou-se a sobreposição de uma grade com quadrículas de 17 m sobre as áreas, resultando em 4.325 quadrículas (células) em Não-Me-Toque e 1.871 em Palmeira das Missões. A divisão regular da área em células quadradas possibilitou o cálculo da média de produtividade dos pontos alocados no interior de cada quadrícula. Em um segundo momento as médias de produtividade de cada célula foram transformadas em dados percentuais em relação à média geral da lavoura, o que permite a comparação da consistência produtiva temporal, independente das culturas analisadas. Para facilitar a interpretação de mapas sobrepostos utilizou-se a metodologia proposta por Molin (2002), que divide os percentuais de produtividade em três classes: abaixo de 95%, de 95 a 105% e acima de 105% da média geral de produtividade da lavoura.

Após serem submetidos aos processos descritos para melhor visualização gráfica dos mapas, foi realizada a interpolação do inverso do quadrado da distância, por meio do programa CR-Campeiro 7.

Para comparação temporal dos mapas, realizaram-se correlações paramétricas lineares de Pearson, com auxílio do programa estatístico *Statistical Analysis System*.

## Resultados e Discussão

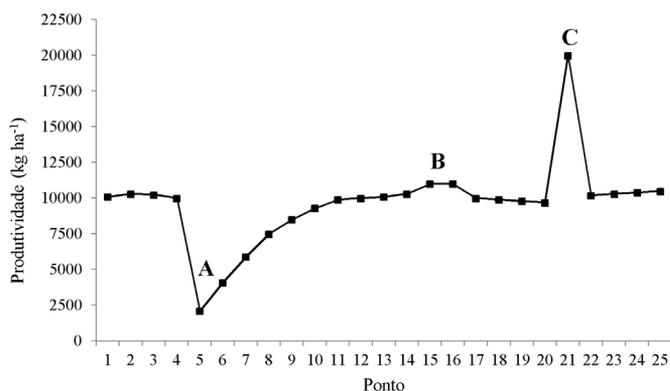
Durante a filtragem dos dados os erros encontrados com maior frequência foram: dados subestimados durante o período de enchimento da colhedora, presença de pontos com coordenadas repetidas e produtividade improvável (Figura 1).

Em relação ao tempo de enchimento da colhedora, Moore (1998) afirma que um período de 36 segundos seria suficiente para eliminar tais erros. Neste estudo, a eliminação dos primeiros sete pontos de cada passada proporcionou regularização nos dados de produtividade (Figura 1A).

Os pontos com coordenadas repetidas, ou seja, com distância nula (Figura 1B) advêm principalmente da baixa velocidade de colheita, limitada neste estudo pelo relevo acidentado do local. Como a distância percorrida pela colhedora no intervalo de coleta de dados se torna pequena, o ponto permanece dentro da magnitude de erro provável de localização do GPS utilizado nas colhedoras (Menegatti, 2002). Este autor ainda reforça que referida ocorrência é comum, devido à alta taxa de coleta de pontos associada aos pequenos erros de posicionamento da máquina, ou seja, muitos pontos são coletados em curto intervalo de tempo, insuficiente para que o GPS detecte a mudança de posição da colhedora e informe ao sistema a nova posição.

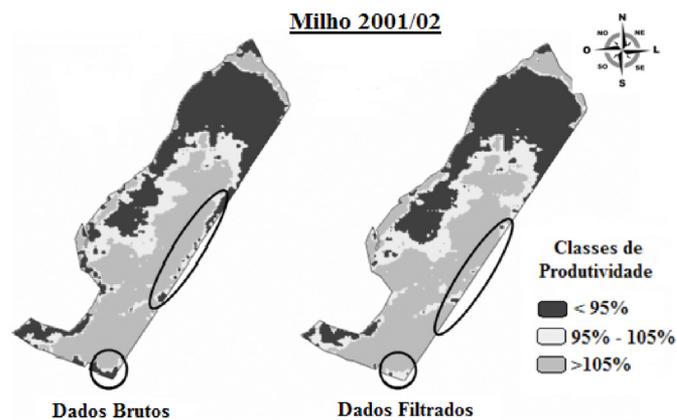
O terceiro tipo de erro, que ocorreu com maior frequência nos dados de produtividade, foi a presença de valores improváveis, em virtude seu alto valor, quando comparado com a produtividade de pontos vizinhos (Figura 1C). Todos os arquivos de produtividade investigados apresentaram algum tipo de erro demonstrando, ainda, haver limitação de acurácia dos equipamentos utilizados durante a coleta das informações.

Durante o processo de filtragem dos dados foram excluídos, em média, 8% dos pontos registrados durante a colheita



**Figura 1.** Erros mais comuns encontrados em dados de produtividade: tempo de enchimento da colhedora (A), pontos com coordenadas e/ou produtividades repetidas (B) e valores de produtividade improváveis (C)

(Figura 2). A maior parte desses pontos estava localizada nas margens das lavouras, que são as zonas mais propícias a erros, tanto pelas manobras como pelo de tempo de enchimento de colhedora (Menegatti & Molin, 2004).



**Figura 2.** Mapa de produtividade interpolado da cultura do milho, antes e após a filtragem dos dados

Na estatística descritiva dos dados (Tabela 1) observa-se que os mapas de produtividade de milho apresentaram os maiores valores de coeficiente de variação (CV) em relação aos demais, o que pode ser justificado pelo alto potencial produtivo da cultura e, conseqüentemente, pela maior amplitude nos valores.

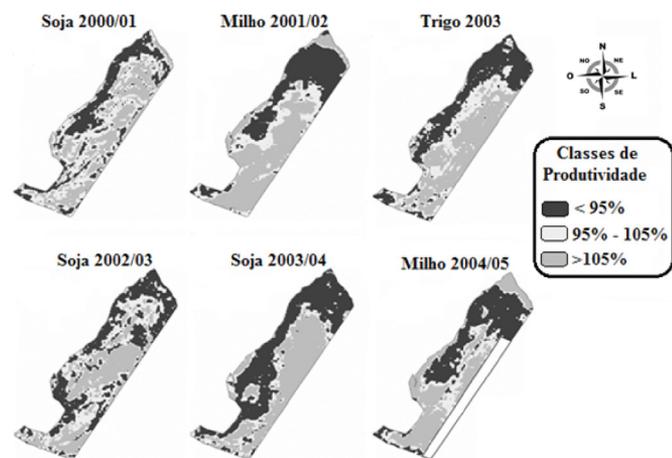
Observando os mapas de produtividade em ordem cronológica na área de Palmeira das Missões, verifica-se similaridade entre as zonas produtivas (alta, média e baixa produtividade) ao longo dos anos demonstrando que, apesar das diferentes culturas utilizadas e práticas de manejo empregadas, foi possível detectar uma consolidação temporal das zonas por meio da metodologia utilizada (Figura 3). É possível identificar, visualmente, áreas de baixa produtividade na porção noroeste do talhão. Na parte sudeste dos mapas se destacam zonas com alta produtividade. Individualmente, os mapas da cultura do milho apresentaram maior estabilidade na variabilidade espacial das produtividades. Isto demonstra a potencialidade da cultura do milho na definição de unidades de manejo por meio de mapas de produtividade, como nos resultados observados por Coelho (2003).

Na área de Palmeira das Missões a menor produtividade para a cultura da soja, foi de 1.980 kg ha<sup>-1</sup> na safra de 2000/01

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos dados de produtividade em duas áreas manejadas com agricultura de precisão

Safr	Pontos	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )				
		Máxima	Média	Mínima	DP*	CV%**
Não-Me-Toque						
Milho 2001/02	84.191	13.020	5.640	1.140	1.500	26,53
Soja 2002/03	52.180	5.220	3.720	1.080	840	21,74
Trigo 2003	51.307	5.580	2.700	540	720	14,74
Milho 2004/05	36.875	13.980	7.680	1.500	2.100	27,22
Palmeira das Missões						
Soja 2000/01	22.871	4.860	3.180	1.980	480	16,20
Milho 2001/02	43.085	12.960	7.800	3.060	1.620	20,80
Soja 2002/03	9.250	4.980	3.240	1.800	660	20,62
Trigo 2003	10.355	5.520	3.540	960	660	18,18
Soja 2003/04	8.943	3.780	2.220	720	600	18,73
Milho 2004/05	28.999	12.960	6.000	1.600	1.620	27,21

\* DP: Desvio Padrão; \*\*CV: Coeficiente de variação



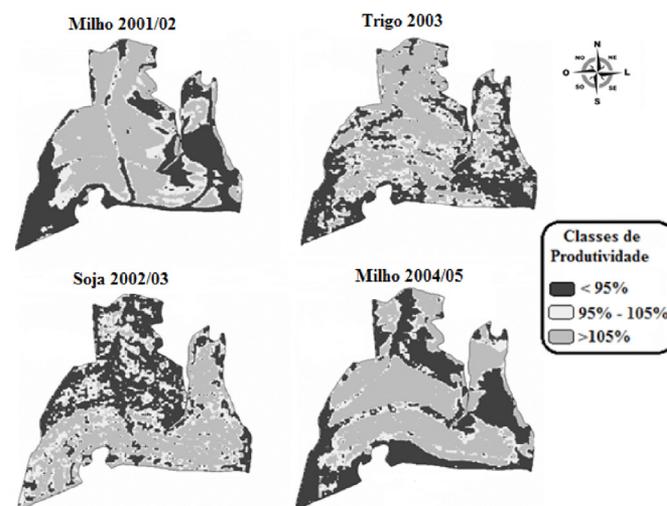
**Figura 3.** Mapas de produtividade em ordem cronológica na área de Palmeira das Missões - RS

e de 1.800 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2002/03; na safra 2003/04 em condições de déficit hídrico, a produtividade caiu 62%, ficando em 720 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 1); já na zona de alta produtividade o decréscimo foi de 30% caindo de 4.980 e 4.860 kg ha<sup>-1</sup> para 3.780 kg ha<sup>-1</sup>. Na zona de média produtividade a queda foi de 30%, demonstrando que a zona de baixa produtividade foi mais sensível ao estresse hídrico quando comparada com as zonas de média e alta produtividade. A maior sensibilidade dessas zonas pode estar atribuída a limitações nas taxas de infiltração de água no solo (Santi et al., 2012).

Para a cultura da soja, na área de Palmeira das Missões, as baixas produtividades representaram 30, 37 e 46% da área, nas safras 2000/01, 2002/03 e 2003/04, respectivamente. Na cultura do milho essa zona representou 37% da área na safra 2002/03 e 45% na safra 2004/05. Na cultura do trigo este valor foi de 35%. Em anos de déficit hídrico (2004 e 2005), independente da cultura, mais de 45% dessa área tiveram sua produtividade comprometida. Em todos os mapas as zonas de baixa e alta produtividade representaram, individualmente, mais de 30% da área, constatação que endossa o fato de que, analisar a produtividade da lavoura como uma média, pode constituir-se em uma análise pouco eficiente, do ponto de vista gerencial.

Em Não-Me-Toque, observou-se comportamento produtivo similar ao verificado na área de Palmeira das Missões (Figura 4). A cultura do milho foi a mais estável para definição das zonas de produtividade. O mapa da cultura da soja na safra 2002/03

indica alteração na localização das unidades de produtividade devido a sementeira do talhão ser realizada em duas épocas. A parte sul da área se beneficiou de boa disponibilidade hídrica no período de florescimento da cultura o que elevou a produtividade em relação à metade norte do talhão.



**Figura 4.** Variabilidade da produtividade das culturas do milho, soja e trigo relativizadas pela média da lavoura, em Não-Me-Toque - RS

As unidades de baixa produtividade se mantiveram estáveis em área, com os percentuais de 37, 36, 33 e 38% para os mapas das culturas do milho 2002, trigo 2003, soja 2003 e milho 2005, respectivamente.

Comumente, na correlação entre os mapas de produtividade na área de Palmeira das Missões, nos anos de deficiência hídrica (2004 e 2005), os mapas não se correlacionaram com os demais (Tabela 2). As correlações entre a cultura da soja safra 2002/03 foram baixas e não significativas com todos os mapas comparados. Os maiores valores nas correlações foram obtidas quando realizado o cruzamento entre as mesmas culturas ou de mesma família ou, ainda, quando em condições climáticas semelhantes.

A variabilidade temporal apresentou forte estruturação ao longo dos anos (Figura 5). Para Molin (2000), os mapas de produtividade fazem parte de uma etapa de aprendizagem para o agricultor e para os que o cercam nessa tarefa. A interpretação criteriosa também depende das demais informações relacionadas à variabilidade.

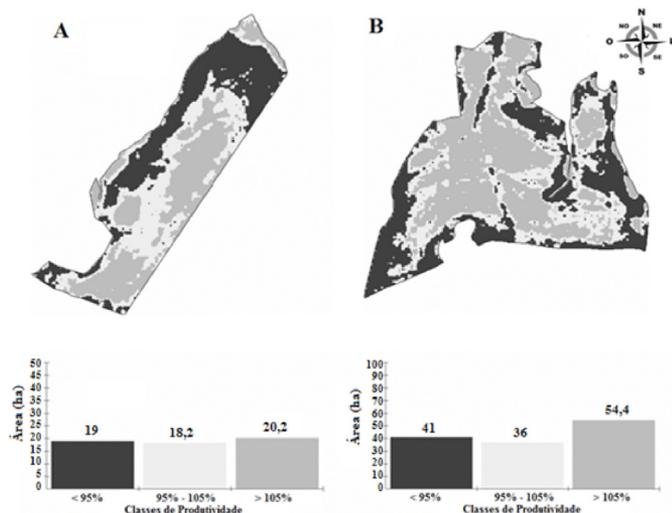
**Tabela 2.** Coeficiente de correlação entre os mapas de produtividade em Palmeira das Missões e Não-Me-Toque

Palmeira das Missões						
	Soja 2000/01	Milho 2001/02	Soja 2002/03	Trigo 2003	Soja 2003/04	Milho 2004/05
Soja 2000/01	1,000	-	-	-	-	-
Milho 2001/02	0,481**	1,000	-	-	-	-
Soja 2002/03	0,489**	0,386*	1,000	-	-	-
Trigo 2003	0,623**	0,668**	0,661**	1,000	-	-
Soja 2003/04	0,174 <sup>ns</sup>	0,340 <sup>ns</sup>	0,354 <sup>ns</sup>	0,316 <sup>ns</sup>	1,000	-
Milho 2004/05	0,254 <sup>ns</sup>	0,516**	-0,074 <sup>ns</sup>	0,099 <sup>ns</sup>	-0,046 <sup>ns</sup>	1,000

Não-Me-Toque				
	Milho 2001/02	Soja 2002/03	Trigo 2003	Milho 2004/05
Milho 2001/02	1,000	-	-	-
Soja 2002/03	-0,191 <sup>ns</sup>	1,000	-	-
Trigo 2003	0,554**	-0,096 <sup>ns</sup>	1,000	-
Milho 2004/05	0,699**	-0,240 <sup>ns</sup>	0,346**	1,000

\* Significativo ( $P \leq 0,05$ ); \*\* significativo ( $P \leq 0,01$ ). <sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade de erro



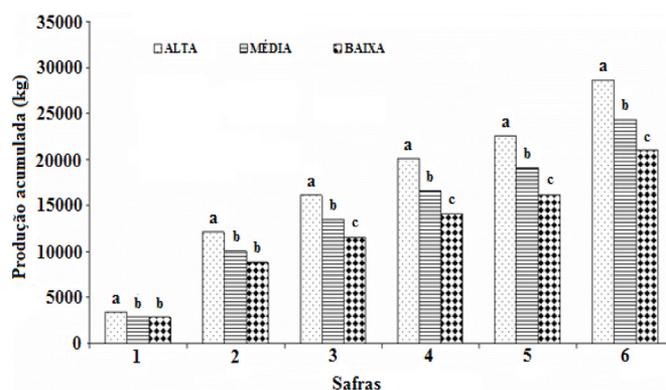
**Figura 5.** Mapas de produtividade obtidos através da sobreposição temporal de seis eventos de colheita na área de Palmeira das Missões (A) e quatro na área de Não-Me-Toque (B)

Quando isto for de consciência, então o mapa de produtividade ganhará seu espaço na interpretação da variabilidade da lavoura.

A mensuração automática da produtividade por meio de sensores instalados em colhedoras, é uma ferramenta que permite o levantamento uma grande quantidade informações, as quais representam a resposta das plantas às condições de cultivo submetidas. Estas informações, por outro lado, devem servir de base para intervenções localizadas, ou seja, em sítios específicos. Deste modo e caso fosse utilizado o valor médio de produtividade como critério para definição da adubação nas áreas estudadas, poder-se-ia subestimar ou superestimar a real necessidade de fertilizantes haja vista que foram comprovadas áreas estáveis com altas e baixas produtividades.

Com o objetivo de demonstrar a consistência temporal das unidades de manejo determinadas na Figura 5, cinco pontos foram selecionados em cada zona de produtividade na área de Palmeira das Missões e calculada a produção acumulada de grãos; verificou-se, desta forma, que somente a partir do terceiro evento de colheita foi possível diferenciar estatisticamente as três zonas de produtividade.

Após seis safras a zona de alta produtividade mostrou uma diferença acumulada na produtividade de grãos, em 14,97%,



**Figura 6.** Produção acumulada de grãos em três zonas produtivas na safra de soja 2000/01 (1); safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 (2); safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 (3); safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 + trigo 2003 (4); safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 + trigo 2003 + soja 2003/04 (5) e safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 + trigo 2003 + soja 2003/04 + milho 2004/05 (6) – Teste T 5% de probabilidade

quando comparada à zona de média produtividade e de 26,31% quando comparada com a zona de baixa produtividade. A diferença entre a zona de média e de baixa produtividade, foi de 13,34%.

A utilização da sequência temporal de no mínimo três mapas de produtividade, proporcionou delimitação de zonas com distintos potenciais produtivos. Outro aspecto relevante que deve ser observado ao delimitar essas zonas, é o agrupamento das culturas de mesma família ou, quando diferentes, utilizar mapas com condições hídricas de desenvolvimento semelhantes, de preferência evitando déficit hídrico. A análise dos dados, conforme o agrupamento sugerido, pode reduzir a quantidade necessária de mapas, até se observar regularização nas zonas de produtividade.

## Conclusões

A filtragem dos dados brutos pouco altera a distribuição da produtividade em um mapa interpolado; no entanto, deve ser aplicada sempre que se visa analisar temporalmente a variabilidade produtiva da área.

O uso de três mapas de produtividade, em conjunto com a integração de mais de uma cultura, proporcionou a diferenciação de zonas estáveis de distinta produtividade.

## Literatura Citada

- Amado, T. J. C.; Pes, L. Z.; Lemainski, C. L.; Schenato, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.4, p.831-843, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400008>>.
- Argenta, G.; Sangoi, L.; Silva, P. R. F.; Rampazzo, C.; Gracietti, L. C.; Strieder, M. L.; Forsthofer, E. L.; Suhre, E. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. *Scientia Agraria*, v.4, n.1-2, p.27-34, 2003. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99518008004>>. 23 Mai. 2012.
- Coelho, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: Curi, R. F.; Marques, J. J.; Guilherme, L. R. G.; Lima, J. M.; Lopes, A. S.; Alvarez, V. H. (Orgs.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.259-290.
- Companhia Nacional de Abastecimento - Conab. Safras: séries históricas. <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. 21 Mai. 2012.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.
- Ferraz, G. A. E. S.; Silva, F. M.; Carvalho, L. C. C.; Alves, M. C.; Franco, B. C. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. *Engenharia Agrícola*, v.32, n.1, p.140-150, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000100015>>.
- Guedes Filho, O. ; Vieira, S. R. ; Chiba, M. K. ; Nagumo, C. H.; Dechen, S. C. F. Spatial and temporal variability of crop yield and some Rhodic Hapludox properties under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.1, p. 1-14, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100001>>.
- Maluf, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.8, n.1, p.141-150, 2000. <<http://pt.scribd.com/luisiunes/d/57706483-Nova-classificacao-climatica-do-Estado-do-Rio-Grande-do-Sul>>. 28 Mai. 2012.
- Menegatti, L. A. A. Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, 2002. 84p. Dissertação Mestrado.
- Menegatti, L. A. A.; Molin, J. P. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.2, p.367-374, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000200031>>.
- 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. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100019>>.
- 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, n.1, p.591-598, 2006. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagr.v28i4.937>>.
- Molin, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. *Engenharia Agrícola*, v.22, n.1, p.83-92, 2002. <<http://www.leb.esalq.usp.br/download/APP%202002.02.PDF>>. 25 Mai. 2012.
- Molin, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: Borém, A.; Giúdice, M. P.; Queiroz, D. M.; Mantovani, E. C.; Ferreira, L. R.; Valle, F. X. R.; Gomide, R. L. (Orgs.). *Agricultura de Precisão*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.237-258.
- Moore, M. An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management. Cranfield: Cranfield University, 1998. 379p. PhD Thesis.
- Motomiya, A. V. A.; Molin, J. P.; Motomiya, W. R.; Vieira, S. R. Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.10, p.996-1003, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001000002>>.
- Nogara Neto, F.; Roloff, G.; Dieckow, J.; Motta, A. C. V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.3, p.1025-1036, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300036>>.
- Queiroz, D. M.; Dias, G. P.; Mantovani, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: Borém, A.; Giúdice, M. P.; Queiroz, D. M.; Mantovani, E. C.; Ferreira, L. R.; Valle, F. X. R.; Gomide, R. L. (Eds.). *Agricultura de precisão*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.2-42.
- Queiroz, R. P. Inter-relação da produtividade da soja com atributos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto no cerrado. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2009. 92p. Tese de doutorado.
- Santi, A. L. Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 175p. Tese Doutorado.
- Santi, A. L.; Amado, T. J. C.; Silva, V. R.; Basso, C. J.; Della Flora, L. P.; Cherubin, M. R.; Eitelwein, M. T. Infiltração de água no solo, determinada por diferentes métodos, como indicador do potencial produtivo em dois Latossolos manejados com agricultura de precisão. *Interciencia*, v.37, n.3, p.204-208, 2012. <[http://www.interciencia.org/v37\\_03/index.html](http://www.interciencia.org/v37_03/index.html)>. 21 Mai. 2012.
- Souza, Z. M.; Cerri, D. G. P.; Magalhães, P. S. G.; Campos, M. C. C. Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.8, n.2, p.183-190, 2008. <<http://eduep.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/20correlacao.pdf>>. 24 Mai. 2012.
- Souza, Z. M.; Cerri, D. G. P.; Colet, M. J.; Rodrigues, L. H. A.; Magalhães, P. S. G.; Mandoni, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural*, v.40, n.4, p.840-847, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000048>>.
- Suszek, G.; Souza, E. G.; Opazo, M. A. U.; Nóbrega, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.5, p.895-905, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000500007>>.
- Tisdale, S. L.; Nelson, W. L.; Beaton, J. D.; Havlin, J. L. Soil fertility and fertilizer. New York: MacMillan, 1993. 1634p.