

Condutividade elétrica do solo e produtividade: Uso no Sistema de Integração Lavoura-Pecuária para Determinar Zonas de Manejo Durante o Cultivo de Soja

Naylor Bastiani Perez*¹, Marcos Corrêa Neves*², Rodison Natividade Sisti³, Cleist Luiz Ribeiro Nunes⁴, Fabrício Machado da Luz Leitão⁴

¹Engenheiro Agrônomo, Doutor em Zootecnia, Pesquisador A da Embrapa CPPSUL

²Engenheiro Eletricista, Doutor em Sensoriamento Remoto, Pesquisador A da Embrapa Meio Ambiente

³Engenheiro Agrícola, Assistente da Embrapa CPPSUL

⁴Graduando em Agronomia pela URCAMP

*E-mails: naylor.perez@cppsul.embrapa.br, marcos.neves@embrapa.br

Resumo: Dentro da Agricultura de Precisão, uma das estratégias propostas para tratar a heterogeneidade de uma parcela agrícola é o estabelecimento de zonas de manejo homogêneas. Pela facilidade de aquisição de dados e obtenção de mapeamentos, a condutividade elétrica do solo tem sido sugerida como uma variável capaz de se correlacionar com fatores de produção, o que poderia ser uma alternativa para orientar o estabelecimento das zonas de manejo. O presente trabalho avaliou quatro conjuntos de dados obtidos em uma unidade de referência da Rede de Agricultura de Precisão, submetida a um sistema de integração lavoura-pecuária envolvendo a sucessão de cultivo de soja durante o verão e de pastagem de azevém durante o inverno. Dois deles relativos à produtividade da soja, obtida em anos contrastantes em disponibilidade hídrica, e outros dois relativos à condutividade elétrica do solo (CE), resultantes de aquisições com diferentes espaçamentos, em diferentes anos. A análise de correlação entre as variáveis mostrou uma forte correlação positiva entre as duas avaliações de CE e correlação positiva moderada, entre os dois levantamentos de produtividade. Entre a CE e a produtividade não houve nenhuma correlação, havendo oscilação nos níveis de produtividades de soja independentemente da variação da CE. Tendo em vista os resultados obtidos, conclui-se que as medidas de CE apresentam boa repetibilidade, mesmo com o espaçamento de 25 metros, considerado suficiente para captar a variabilidade existente. Por outro lado, as zonas de CE não foram efetivas para determinar as zonas de manejo na fase de cultivo de soja, cabendo ainda estudos para verificar a efetividade da CE em relação à variabilidade na produtividade do pasto.

Palavras-chave: condutividade elétrica do solo; krigagem; variabilidade espacial, ILPF.

Soil Electrical Conductivity and Productivity: Use in Crop-Livestock System to determining Management Zones During Soybean Crop

Abstract: The homogeneous management zones is a key strategy to address the heterogeneity of an agricultural parcel in precision agriculture. The soil electrical conductivity (EC) has been suggested as an alternative way to plot the management zones because it is easy and cheap to measure and has good correlations with yield factors. This study evaluated four sets of data obtained in a Brazilian Precision Agriculture Research Network (BPARN) unit, in a crop-livestock system with soybean cultivation during the summer and ryegrass during winter. Two of the four data sets are related to soybean productivity, obtained in two contrasting water availability years, and others related to EC, also obtained in two

different years. Correlation analysis between variables showed a strong positive correlation between the two surveys of EC and moderate positive correlation between the two surveys of productivity. There was no correlation between productivity and electrical conductivity. The results show that the EC has good repeatability, even with different spacings (7 and 25 m). On the other hand, the information of EC was not effective for determining management zones in the soybean cultivation. New studies are need to verify the effectiveness of the EC to characterize in pasture productivity.

Keywords: Soil Electrical conductivity, kriging, spatial variability, crop-livestock system.

1. Introdução

A Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa estabeleceu unidades demonstrativas sob diferentes sistemas de produção agrícola e situações ambientais. A unidade de referência de Bagé, RS, localizada nos campos experimentais da Embrapa Pecuária Sul, vem sendo utilizada em um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), combinando o cultivo de soja durante o verão e a sucessão com pastagem de azevém durante o inverno. Considerando a intervenção sítio específica, a otimização deste tipo de sistema apresenta um desafio adicional pela complexidade, já que existe um número maior de variáveis a serem observadas e controladas, incluindo a mobilidade dos animais, a desfolha seletiva, o pisoteio e as dejeções. Para aumento da produtividade do sistema, por exemplo, é preciso considerar tanto a produção de soja como o ganho de peso dos animais ao longo do tempo. Uma série de experimentos e observações tem sido realizados nesta unidade a fim de aumentar o conhecimento e definir formas de atuação no sistema dentro das premissas da Agricultura de Precisão (PEREZ et al., 2011).

O estabelecimento de zonas de manejo homogêneas é uma forma de tratar a variabilidade espacial existente dentro de uma parcela agrícola, onde áreas anteriormente tratadas pela média são subdivididas em áreas menores com mínima heterogeneidade (LUCHIARI JUNIOR et. al, 2000). Essas zonas são frequentemente definidas em função da produtividade agrícola, mas diferentes métodos têm sido propostos utilizando outras variáveis como topografia, fotografias aéreas e imagens de sensoriamento remoto (CASTRO; MOLIN, 2004).

Pela facilidade de aquisição de dados e custo relativamente baixo, a Condutividade Elétrica

(CE) tem sido proposta como um norteador para a definição das zonas de manejo. Estudos mostram que a CE se correlaciona com vários parâmetros físicos e químicos de solo ligados à produção, entre eles: umidade, teor de argila, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica (NEVES et al., 2010; MOLIN et al., 2005).

Este trabalho utilizou dados de duas colheitas de soja e dois levantamentos de CE com o objetivo de analisar a consistência das aquisições de dados dessas duas variáveis, bem como verificar a existência de correlação entre os dados de da CE e da produtividade. De acordo com as análises, buscou-se verificar a viabilidade da CE para o estabelecimento de zonas de manejo em cultivo de soja.

2. Material e métodos

A experimentação foi conduzida em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) com o cultivo de soja durante o verão em sucessão à pastagem cultivada de azevém durante o inverno. A localização física da unidade de referência e seu aspecto geral são mostrados na Figura 1. Os dados utilizados no trabalho são: i) levantamento de CE a 30 cm, efetuado em junho de 2010 e em junho de 2013, utilizando o sistema Veris 3100 com espaçamento de 25 e 7,5 metros, respectivamente; ii) levantamento da produtividade da soja, efetuado em abril de 2012 e maio de 2013, utilizando uma colheitadeira SL 6.300 acoplada ao Controlador Topper 4500 da Stara Agricultura de Precisão, com sensores de produtividade infravermelhos corrigidos por sensores de umidade capacitivo e de temperatura. Para os quatro grupos de dados, foram construídas superfícies com o método de interpolação por *Krigagem*, gerando superfícies contínuas que descrevem a

variação espacial dos dados sobre a área de estudo. Buscando uma avaliação da correlação entre os quatro levantamentos, foram amostrados valores nas mesmas localizações, nas quatro superfícies, através de uma grade amostral com 1000 pontos distribuídos regularmente sobre a área, gerando assim um conjunto com 1000 registros e 4 variáveis. Por fim, foi analisada a correlação dos valores com gráficos de espalhamento e coeficiente de correlação de *Pearson* (ρ).

O aplicativo Sufer 9 foi utilizado para a análise estatística, ajuste dos semivariogramas, e geração das quatro superfícies de CE e produtividade; o QGIS 1.12 foi utilizado para manipulações dos dados espaciais, operações de mascaramento, geração da grade amostral e montagem da tabela para verificação da correlação. Os demais tratamentos e gráficos foram gerados em planilha eletrônica (Excel).

3. Resultados e discussões

Os modelos teóricos usados na *Krigagem* e os referentes ajustes dos parâmetros obtidos são mostrados na Tabela 1. A observação visual da variabilidade das superfícies obtidas pela interpolação (Figura 2) mostra que os resultados de produtividade da soja não guardam relação direta com os mapeamentos da CE. Isso pode ser constatado analisando-se áreas com altos valores de CE, representadas em azul (Figura 2c e 2d), onde esperava-se encontrar maiores produtividades, mas que apresentam algumas áreas com baixa produtividades (Figura 2a e 2b). De forma inversa, parte das zonas com baixa condutividade, representados em vermelho (Figura 2c e 2d), apresentam áreas correspondentes com elevada produtividade de soja (Figura 2a e 2b). Por outro lado, a comparação visual dos levantamentos de



Figura 1. Localização da parcela experimental (limite em amarelo), Embrapa Pecuária Sul, Bagé (RS). Área de 12,6 h, ponto central com latitude: -31,3200° e longitude: -53,9915°. Imagem extraída do *Google Earth*.

Tabela 1. Modelos e ajustes utilizados na interpolação da Condutividade Elétrica (30 cm de profundidade) e na produtividade da Soja.

Variável	Modelo	Pepita	Escala	Alcance
CE - 2011	exponencial*	1,2	5,4	43
CE - 2013	quadrático*	2,2	3,5	180
Produtividade 2012	quadrático	0,01	0,098	145
Produtividade 2013	esférico	0,02	0,145	170

* Para o ajuste do modelo foi retirada a tendência dos dados.

cada uma das variáveis permite identificar áreas com comportamento similar.

Entre os dois levantamentos de produtividade é possível identificar algumas áreas com comportamento similares. É importante ressaltar que os dois anos foram muito distintos em relação às condições climáticas, sobretudo se considerada a ocorrência dos fenômenos climáticos contrastantes, “la niña” em 2012 e “el niño” em 2013. Com isso, em 2013, houve uma

precipitação 51% maior (Figura 3), assim como uma maior produtividade média, 61% superior.

Os dois mapeamentos da CE são muito similares, embora os valores absolutos de CE tenham se alterado, como esperado, as suas feições espaciais se repetem de forma nítida. Para analisar quantitativamente a correlação entre os levantamentos de CE e de produtividade, foram amostrados 1.000 pontos nas quatro superfícies mostradas na Figura 2. A Figura 4 mostra a grade

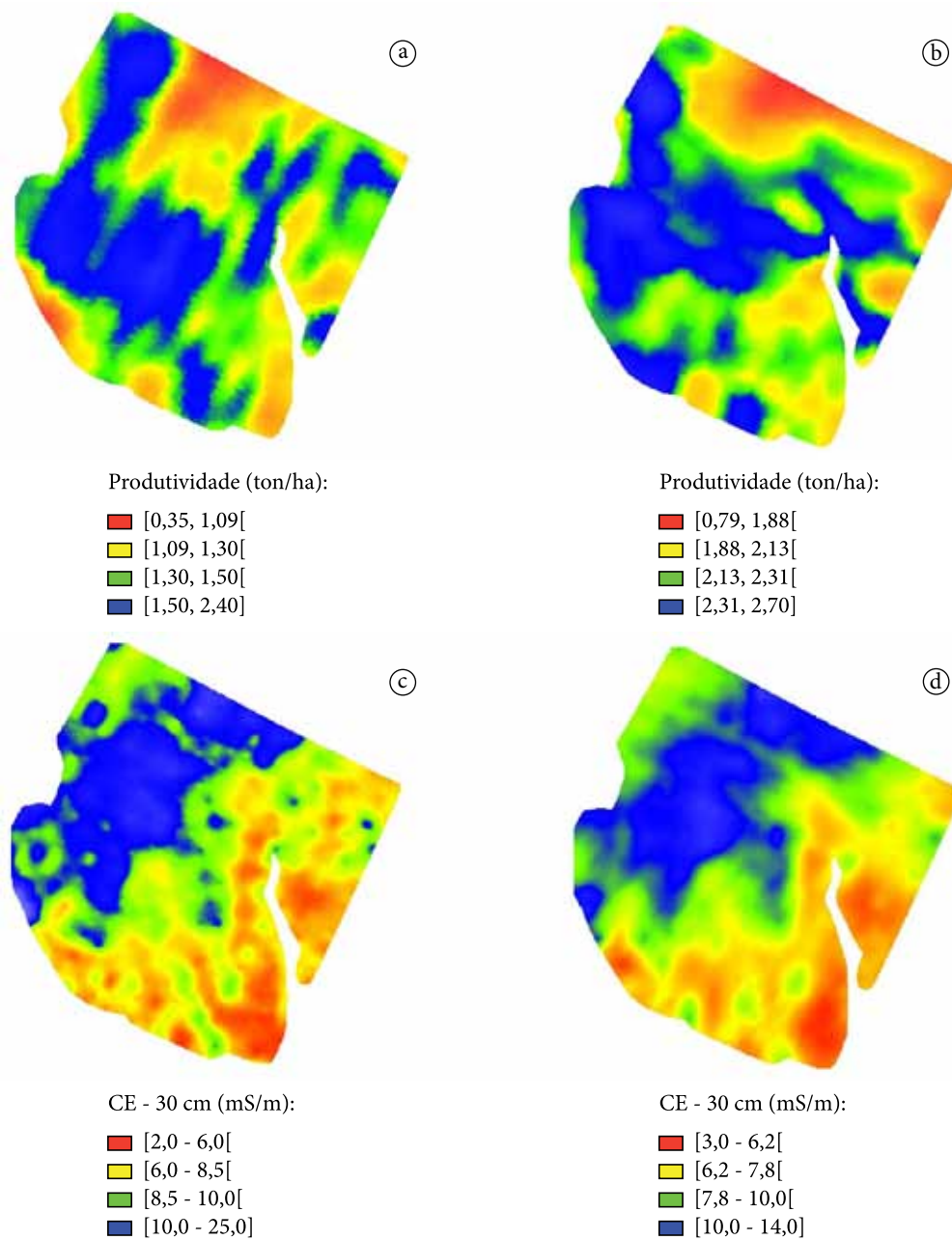


Figura 2. Produtividade de soja em 2012 (a) e em 2013 (b); Condutividade Elétrica a 30 cm com espaçamento de 25 metros, em 2010 (c), e espaçamento de 7,5 metros, em 2013 (d).

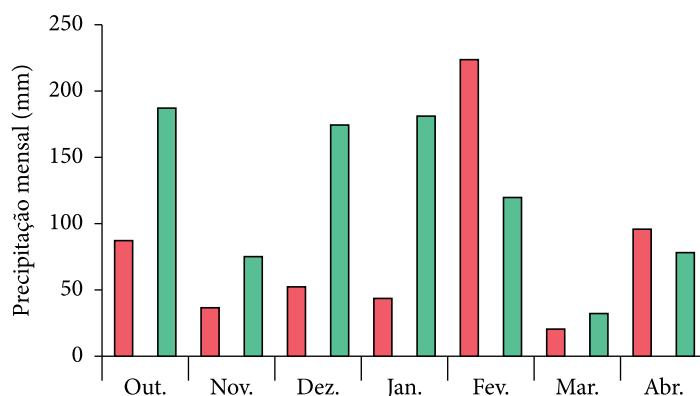


Figura 3. Precipitação média mensal durante o ciclo da cultura da soja na safra 2011/2012 (la niña - vermelho) e 2012/2013 (el niño - verde).

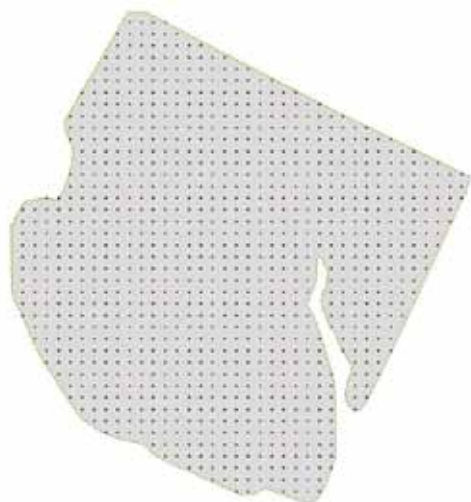


Figura 4. Malha de pontos usada para análise da correlação entre os levantamentos de CE e produtividade.

regular com pontos usados para extrair os valores das superfícies.

Com os conjuntos de dados amostrados foram gerados gráficos de espalhamentos para avaliar a correlação entre os levantamentos de CE e produtividade, apresentados na Figura 5, em forma de matriz 2x2. As quatro combinações apresentaram correlações desprezíveis, com grande espalhamento e com coeficientes de Pearson próximos de zero, menores que 0,12 nos quatro casos. Assim, corroborando as análises dos padrões visuais da Figura 2, entre a CE e os dados de produtividade constatou-se a

inexistência de correlação, ocorrendo altas e baixas produtividades de forma independente da variação da CE. Este padrão indica que, pelo menos para o caso da unidade de referência de Bagé, a CE sozinha não poderia ser usada para a definição de zonas de manejo, visando o aumento da produtividade de soja no sistema ILP.

Analisando-se separadamente os levantamentos das variáveis CE e produtividade (Figura 6) encontram-se resultados similares. Os dois conjuntos de dados de produtividade apresentam uma correlação positiva clara, ainda que com um espalhamento considerável, com um coeficiente de correlação de 0,54. Ao analisar a correlação existente entre os dois levantamentos de CE encontrou-se uma forte correlação positiva, com espalhamento relativamente pequeno ($\rho = 0,91$). Estes resultados mostram que os levantamentos realizados em anos e espaçamentos diferentes, repetem a variabilidade existente em um bom grau, confirmando o estudo de Reis (2005) que investigou a repetibilidade do mapeamento da CE. Além disso, o espaçamento de 25 metros se mostrou suficiente para detectar a variabilidade espacial existente na CE.

Investigando a distribuição espacial de pontos da malha amostral com menores valores de produtividade nos dois levantamentos verificou-se que eles aparecem agrupados em uma zona ao norte da unidade de referência (pontos em vermelho na Figura 7). Esta zona possui valores elevados de CE. Isto é uma aparente incongruência nos dados, que não encontra referência lógica. Entretanto, a observação temporal de imagens satelitais (Figura 8), antes e após a instalação da Unidade Experimental, permite identificar uma grande

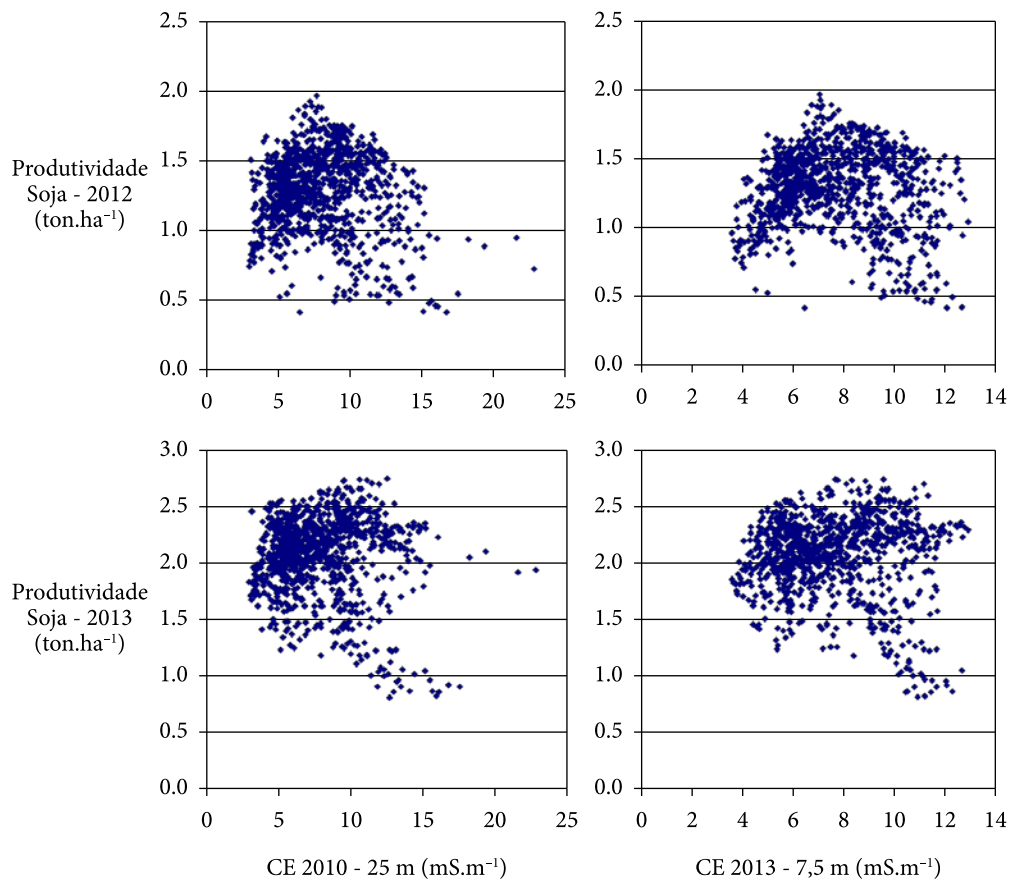


Figura 5. Matriz de espalhamento entre as produtividades de soja obtidas nas safras 2012 e 2013 e a CE obtida com espaçamento de 25 metros (2010) e 7,5 metros (2013).

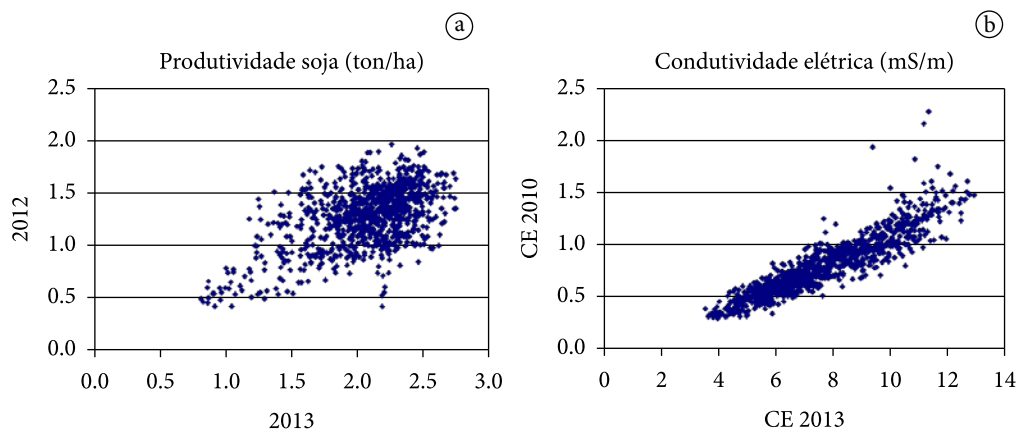


Figura 6. Espalhamento entre os levantamentos de produtividade de soja das safras 2012 e 2013(a) e entre a CE obtida com espaçamento de 25 metros (2010) e 7,5 metros (2013), quadro (b).

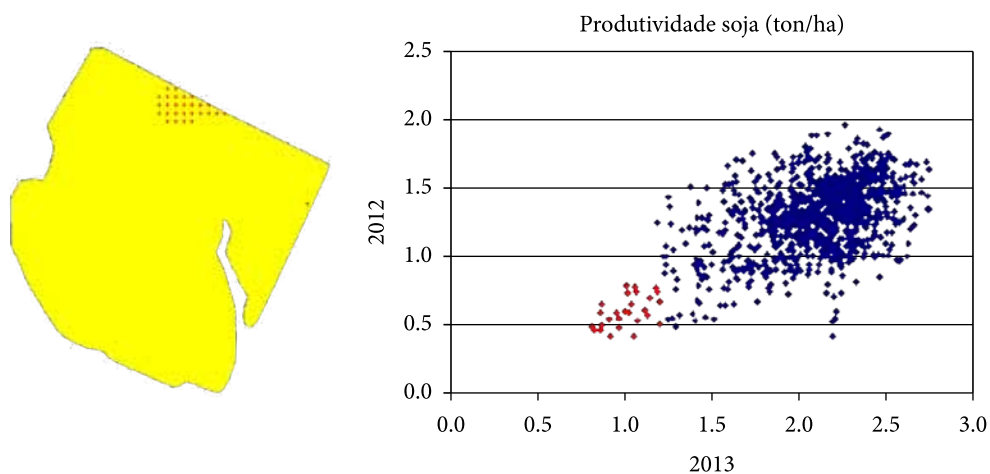


Figura 7. Pontos amostrais com baixa produtividade nos dois anos, em vermelho no mapa e no gráfico, indicando uma área com comportamento diferenciado.



Figura 8. Imagens satelitais da Unidade de Referência, evidenciando o efeito de práticas de manejo anteriores à implantação do o experimento (2007 a) na baixa produtividade de soja (área circunscrita), o que não é notado em imagens mais recentes 2011 (b).

similaridade entre a referida zona, circunscrita em azul, e as antigas divisões (Figura 8a). Estes fatos demonstram a importância da observação sistemática da unidade produtiva.

Todos os resultados apresentados nesta seção consideraram os valores de peso úmido nos levantamentos de produtividade. Os procedimentos foram repetidos para o peso seco e todos os resultados foram muito similares e por isto optou-se em omiti-los. A correlação entre as produtividades de 2012 e 2013, por exemplo,

considerando o peso seco passou para 0,56, praticamente equivalente ao valor obtido para o peso úmido ($\rho = 0,54$).

4. Conclusões

Os valores da CE apresentaram boa repetibilidade e o espaçamento de 25 metros foi adequado para captar a variabilidade existente. As zonas de CE não foram efetivas

para determinar as zonas de manejo na fase de cultivo de soja, não havendo correlações com os valores de produtividade nos dois anos analisados. Isoladamente, esta informação pode produzir zonas de manejo com pouca relação com a fase de produção de grãos no sistema ILP, cabendo ainda estudos para verificar a efetividade da CE em relação à variabilidade na produtividade do pasto.

Os mapeamentos da produtividade de soja apresentaram repetição de alguns padrões espaciais dentro da área analisada, mesmo em dois anos com condições climáticas bem distintas. As regiões definidas consistentemente como sendo de alta e de baixa produtividade, serão analisadas para a identificação das causas destes padrões, visando a intervenção sítio-específica.

Os estudos até aqui realizados mostram que, para situações onde a produtividade possa ser diretamente monitorada, com elevado número de pontos e baixo custo de aquisição, como no caso da cultura da soja, o estabelecimento das zonas de manejo deva ocorrer considerando esta variável. Não obstante, outros métodos de quantificação da variabilidade espacial devem ser empregados a fim de determinar as diferentes formas de intervenção, considerando as especificidades de cada zona, buscando a melhor compreensão da heterogeneidade espacial existente na parcela agrícola.

Agradecimentos

Stara S.A. Indústria de Implementos Agrícolas.

Referências

CASTRO, C. N.; MOLIN, J. P. Definição de unidades de gerenciamento do solo através da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas utilizando classificação Fuzzy. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, Piracicaba. *Anais...*, Piracicaba 2004. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/download/TEC%202004.04.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Bloomington. *Proceedings...* 2000.

MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. *Engenharia Agrícola*, v. 25, p. 420-426, 2005. Acesso em: 10 jul. 2013.

NEVES, M. C.; LUCHIARI, A.; INAMASU, R.; RABELLO, L. Extração da informação de baixa frequência em mapeamentos da condutividade elétrica do solo para a definição de zonas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2010, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: SBEA, 2010. 1 CD-ROM.

PEREZ, N. B.; NEVES, M. C.; VOLK, L. B. S.; MARTINS, L. A.; SISTI, R. N. Variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária na Região Sul do Brasil: perspectivas de intervenção com agricultura de precisão. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). *Agricultura de precisão: um novo olhar*. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2011. p. 249-253.

REIS, L. R. *Utilização da condutividade elétrica para o estabelecimento de zonas de manejo em um latossolo amarelo-escuro*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005.