

## RECONHECIMENTO DE ZONAS DE MANEJO E NECESSIDADE DE CALAGEM EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

**JOSÉ MARCOS G. BERALDO<sup>1</sup>, PAULO E. CRUVINEL<sup>2</sup>, MILENE M. FOSCHINI<sup>3</sup>,  
LADISLAU M. RABELLO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Câmpus Matão, Rua Stéfano D'Avassi, N.625 CEP 15991-502 – Matão - SP, Fone: (16) 3506-0700, [jmgberaldo@ifsp.edu.br](mailto:jmgberaldo@ifsp.edu.br).

<sup>2</sup>Engenheiro de Automação, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP, [paulo.cruvinel@embrapa.br](mailto:paulo.cruvinel@embrapa.br); [ladislau.rabello@embrapa.br](mailto:ladislau.rabello@embrapa.br).

<sup>3</sup>Estatística, Analista, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP, [milene.foschini@embrapa.br](mailto:milene.foschini@embrapa.br).

Apresentado no  
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015  
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

**RESUMO:** A análise espacial pode subsidiar a identificação das relações entre a produtividade de uma cultura em função dos atributos químicos e físicos do solo. Neste trabalho é apresentado um método para indicar zonas de manejo tomando por base, a necessidade de calagem, condutividade elétrica e a produtividade. O experimento foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP. Foram coletadas amostras de solo seguindo uma grade amostral georeferenciados com intervalo regular de 13 m, na camada de 0,0-0,1 m. Foram realizadas medidas da condutividade elétrica por contato direto nas áreas de estudo e foi avaliada a biomassa da matéria seca de milho. Utilizando o processamento da análise de componentes principais e o conjunto de variáveis decorrentes dos atributos químicos e físicos do solo, bem como tomando como variável dependente a produtividade, foi possível determinar uma matriz de correlação para em seguida com base na geoestatística realizar a análise espacial dos atributos mais relevantes para a produtividade. Tal iniciativa proporcionou a minimização de esforços para a recomendação da fertilização em taxa variável, como a necessidade de calagem. Foi observado uma variação na produtividade de milho, apresentando regiões de alta e de baixa produtividade, identificando zonas de manejo.

**PALAVRAS-CHAVE:** necessidade de calagem, zona de manejo, condutividade elétrica do solo.

## THE RECOGNITION OF MANAGEMENT ZONES AND THE LIME REQUIREMENTS IN PRECISION AGRICULTURE

**ABSTRACT:** The spatial analysis can provide subsidies to identify the relationships between crop yield as a function of the soil chemical and physical attributes. This paper presents a method to recognize management zones based on lime requirement, apparent soil electrical conductivity and yield. For validation of the method it was organized an agricultural field experiment at Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brazil. Soil geo-referenced samples were obtained at from the layer 0,0–0,1 m in a regular grid, spaced at 13 m intervals. Was evaluated the apparent soil electrical conductivity and dry matter content of corn. Thus, using the processing of the principal component analysis and the set of variables resulting from soil chemical and physical attributes as well as taking as dependent variable yield, could be determined a correlation matrix to the variables. Besides, based on geostatistics the spatial analysis was carried out for the most expressive variables related to yield. This allowed to

decreased the efforts for the recommendation of the variable rate fertilization, as well as to the lime requirement. A variation in corn yield was observed, with regions of high and low corn yield, and the identifying of management zones.

**KEYWORDS:** lime requirements, management zone, apparent soil electrical conductivity.

## INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico um dos setores que constantemente vem apresentando maior eficiência na produtividade e na competitividade econômica é o agronegócio. O avanço de técnicas de geoprocessamento, sensores inteligentes, procedimentos estatísticos com grande volume de dados têm permitido que a agricultura seja cada vez mais eficiente onde as intervenções de manejo se tornem cada vez mais específicas.

Atualmente a base para aplicação de conceitos de agricultura de precisão está alicerçada na definição da escala de observação, com a finalidade detectar ou não a variação espacial da produtividade agrícola. Uma das soluções para isso vem sendo a geração de zonas de manejo.

O conceito de zonas de manejo tem como premissa definir como sub-regiões de um campo que tem uma relativamente combinação homogênea de fatores limitantes à produção (DOERGE, 1999). Vários estudos têm indicado que o conceito de zonas de manejo homogêneas pode ser utilizado como uma alternativa para aplicação de fertilizantes a taxa variável (KHOSLA & ALLEY, 1999). Enquanto os métodos para o delineamento das zonas de manejo variam muito nas informações utilizadas, normalmente estão baseados em informações do solo e produtividade ao longo de vários anos (FRAISSE et al, 2001).

STAFFORD et al. (1998) usaram mapas de produtividade para identificar zonas de manejo de baixo, médio e alta produtividade. BLACKMORE (2000) usou uma série de mapas de produtividade para classificar as zonas de manejo com diferentes rendimentos relativo e estabilidade de produção dentro de um campo.

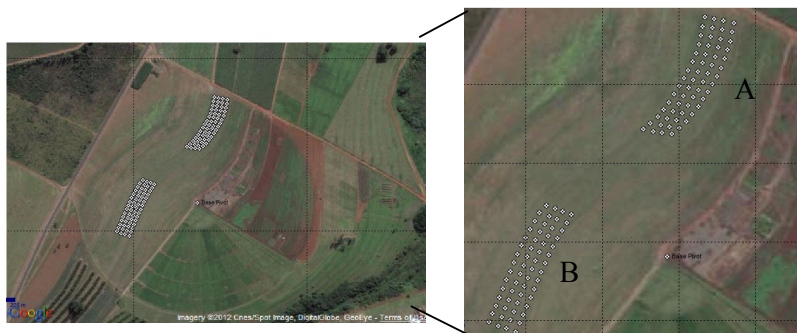
Uma forma para identificar as zonas de manejo seria a coleta de informações no campo o qual tem um elevado custo, longo período de tempo para obtenção, interpretação e aplicação da informação. Nesse sentido, a determinação da condutividade elétrica (CRUVINEL et al., 1998) pode minimizar tais impactos, e auxiliar na definição de zonas de manejo. Os sistemas mais usados na determinação da condutividade elétrica aparente de solo (CEa) em campo fazem uso de métodos baseados na indução eletromagnética e por contato direto (RHOADES & CORWIN, 1984). A CEa é influenciada por diversos fatores, tais como: a fase líquida ou solução do solo (ALLRED et al., 2006; FRIEDMAN, 2005; MOLIN et al., 2005), temperatura do meio (CORWIN & LESCH, 2005), o tipo e porcentagem de argila (FUKUE et al., 1999), capacidade de troca catiônica (ALLRED et al., 2008), a salinidade e densidade do solo (JOHNSON et al., 2005). Verifica-se que a CEa apresenta uma relação com os atributos do solo, como a textura, umidade e presença de sais, nesse sentido, a avaliação da variabilidade espacial da CEa pode fornecer subsídios para identificar zonas homogêneas de manejo e suas relações com a produtividade agrícola. Considerando a importância da calagem para os solos ácidos e a necessidade da aplicação como prática de manejo para o cultivo de plantas não tolerantes à acidez, é esperado uma relação entre a produtividade das culturas, a presença de cátions e a condutividade elétrica aparente do solo.

O objetivo deste trabalho foi propor um método para identificar zonas de manejo tomando por base, a necessidade de calagem, a CEa e a matéria seca de milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada na Fazenda Canchim, sede da Embrapa Pecuária Sudeste, situada no município de São Carlos, SP. A altitude local é de 850 m, com latitude de 21°57'15" S e longitude 47°50'75" W. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Amarelo, de textura média e argilosa.

A área de estudo vem sendo cultivada com milho no verão em sistema de plantio direto numa área sob irrigação (pivot central). Em agosto de 2012, foram realizadas amostragens de solo em duas áreas, sendo em grade regular e com intervalo regular de 13 m de distância entre os pontos, totalizando 60 amostras por área amostrada (Figura 1).



Legenda: ⊗ Ponto de amostragem

FIGURA 1. Distribuição dos pontos de amostragem na região (A) e (B).

Foi utilizado na amostragem um trado tipo holandês para coleta de amostras deformadas de solo na camada de 0,0-0,1 m.

Os pontos de amostragem e o perímetro da área experimental foram geo-referenciados utilizando-se um sistema de posicionamento global (GPS) de navegação, marca Garmin, Modelo Etrex Vista. Após o geo-referenciamento dos pontos de amostragem, os dados de latitude, longitude e altitude, do sistema de posicionamento global (GPS) de navegação foram transferidos para o computador pessoal. As coordenadas geográficas foram convertidas do elipsóide (WGS 84) para o sistema de coordenadas plano-retangulares (UTM).

As amostras de solo foram preparadas e submetidas às análises químicas para fins de fertilidade, segundo métodos descritos por RAIJ et al. (2001). Foram determinados os teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), valores de pH e calculado os valores da necessidade de calagem (NC).

Para o cálculo da NC utilizou-se a equação proposta por RAIJ et al. (1997), na qual leva-se em consideração a elevação da saturação por bases do solo, associado a capacidade de troca de cátions (CTC) e o nível de saturação por bases ideal da cultura, que no caso do milho é de 70%. Para efeito de cálculo o poder relativo de neutralização total (PRNT) do calcário foi considerado 70%.

A biomassa fresca de milho para silagem foi avaliada em abril de 2013, quando a cultura atingiu o ponto de colheita correspondente à fase de grão farináceo (matéria seca entre 28 e 35%). A estimativa da produção de biomassa fresca foi realizada manualmente em grade regular nos mesmos pontos de amostragem onde foram coletadas as amostras deformadas de solo. Nestes pontos foram coletadas três subamostras de 4 m de comprimento em duas linhas para compor uma amostra composta. Amostras do material coletado foram levadas à estufa com circulação forçada de ar a 65° C, até peso constante, para determinação da matéria seca (MS).

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi obtida após a colheita do milho nas áreas experimentais em 2011. O sensor utilizado na avaliação da CEa foi o sensor de condutividade elétrica por contato direto (VERIS Soil EC 3100, Veris Technologies, Inc, Salina, Kansas, USA).

O implemento foi acoplado a um trator e arrastado no solo. Foi constituído por seis discos de corte, que possuem eletrodos e são dispostos lado a lado em um eixo. Um par de discos (elétrodos) tem a função de transmitir a corrente elétrica no solo, enquanto os outros dois pares coletam as diferenças na corrente elétrica transmitida.

A profundidade de medida é baseada no espaçamento dos discos, foram utilizados os dados do par central de discos que mede a diferença de potencial na camada de 0,0 e 0,30 m. O sensor foi configurado para registrar os dados, em intervalos de 1,0 segundo.

O programa do coletor de dados do equipamento realiza a conversão da queda de voltagem ocorrida no solo para a condutividade elétrica, de acordo com a equação:

$$\sigma = \frac{IL}{AV} \quad (1)$$

em que,

$\sigma$  – é a CEa do solo, em mS m<sup>-1</sup>;

I – é a corrente elétrica aplicada pelo sensor, na área A;

L – é o espaçamento entre os pares de eletrodos de medição, em metros;

A – é a área da seção transversal dos eletrodos de medição (dos discos) em contato com o solo, em m<sup>2</sup>;

V – é a diferença de potencial do campo eletromagnético gerado no solo medida pelos pares de eletrodos, em V.

O equipamento utiliza um receptor de GPS que registra as coordenadas geográficas dos valores medidos da CEa e armazena os dados em um coletor que possui um microprocessador 386SX, com capacidade de leitura contínua de 26 horas de dados obtidos no campo.

A partir do banco de dados das medidas da CEa, foram selecionados os pontos cujas coordenadas geográficas foram mais próximos aos pontos correspondentes da amostragem realizada nas áreas em estudo.

Para analisar a estrutura de correlação das variáveis foi utilizada a análise de componentes principais (CRUVINEL et al., 2014). Considerou-se na análise de componentes principais (ACP) os dados observados em duas áreas (A e B) em conjunto, totalizando 120 pontos. As variáveis foram padronizadas previamente, em função de suas diferentes escalas. A seleção dos componentes foi realizada de acordo com o critério de Kaiser, assim apenas os componentes com autovalores superiores a 1 foram considerados. As cargas fatoriais acima de 0,5 foram avaliadas como significativas (HAIR et al., 2005). O processamento da análise de componentes principais foi realizado com base na matriz de correlação, assim foi estabelecido o limite mínimo de 1.0 para a extração dos autovalores. O software utilizado foi STATISTICA versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

Para estimar a dependência espacial entre as amostras, foram utilizados modelos de semivariogramas estimados com o programa GS+ (ROBERTSON, 2004) e posteriormente foi realizada a interpolação dos dados utilizando a krigagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos atributos químicos do solo, CEa e produção de matéria seca de milho foram maiores na área A (Tabela 1). De acordo com os limites estabelecidos para os níveis de fertilidade do solo para o estado de São Paulo (RAIJ et al., 1997), os valores médios dos atributos químicos do solo apresentaram média acidez para área A e B, não diferiram entre si para os teores de magnésio e cálcio sendo classificados como altos.

Através da análise dos valores máximos e mínimos, observa-se elevada amplitude nos valores da CEa e produção de matéria seca de milho, na área A quando comparado com a área B, isso sugere uma maior variabilidade na área A. A maior diferença entre os valores do coeficiente de variação entre as áreas estudadas foi 38%, respectivamente para CEa (Tabela 1). De acordo com a classificação do CV, proposta por WILDING & DREES (1983), observou-se que os valores de pH em ambas as áreas e para a matéria seca de milho na área A, apresentaram baixa variabilidade (Tabela 1).

Considerando os valores máximos e mínimos para recomendação da necessidade de calagem observa-se que os valores variaram de 0 a 3,3 t ha<sup>-1</sup>. Isso significa que há regiões nas áreas A e B em que não é necessário aplicar calcário, e em outras é necessário aplicar 3,3 t ha<sup>-1</sup>. Esses resultados sugerem a recomendação em taxa variável da necessidade de calagem nas áreas em estudo.

O valor médio da matéria seca de milho variou de 12.824,2 a 17.818,7 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente na área B e A (Tabela 1). Verifica-se uma diferença média na produtividade de 28% entre as duas áreas estudadas, esse resultado sugere a ocorrência de grande variabilidade nos valores da matéria seca de milho nas áreas estudadas.

TABELA 1. Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo nas áreas A e B.  
(**Descriptive statistics of soil chemical attributes in areas A and B**).

Estat. Desc.	pH		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		Na <sup>+</sup>		NC		CEa		MS	
	(CaCl <sub>2</sub> )		----- (mmolc dm <sup>-3</sup> )-----						(t ha <sup>-1</sup> )		(mS m <sup>-1</sup> )		(kg ha <sup>-1</sup> )	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Med	5,3	5,2	28,7	26,9	8,9	9,6	0,5	0,4	0,9	0,9	1,2	0,4	17.818,7	12.824,2
Mín	4,5	4,6	12,0	11,0	4,0	3,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,3	0,2	11.021,0	6.602,0
Máx	6,0	6,6	62,0	60,0	22,0	25,0	0,7	0,7	3,1	3,3	6,5	1,0	23.283,0	19.445,0
DP	0,3	0,4	10,9	8,9	2,7	3,4	0,1	0,1	0,8	0,7	0,9	0,1	2.053,5	2.480,0
EPM	0,03	0,05	1,4	1,1	0,36	0,4	0,01	0,02	0,1	0,1	0,1	0,02	265,1	320,1
CV	4,9	7,1	38	33	31	36	23	31	88	78	80	42	11	19
Ass.	-0,4	1,0	1,1	0,5	1,5	1,6	0,9	0,9	0,6	0,8	3,2	1,6	-0,2	0,3
Curt	0,9	2,2	1,0	1,6	7,2	5,5	-0,4	0,3	-0,3	0,3	14,4	2,9	1,3	0,2

Med – média; Mín – mínimo; Máx – máximo; DP – desvio padrão; EPM – erro padrão da média; CV – coeficiente de variação (%); Ass. – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose; A – área experimental A; B – área experimental B.

O processamento da análise de componentes principais pode ter partida na matriz de variâncias e covariâncias ou na matriz de correlação. Se for feita a opção pela matriz de correlação, é aconselhável estabelecer um limite mínimo para a extração dos autovalores. Os autovalores que forem pequenos (menores que 1) serão extraídos, e as informações relevantes podem de alguma maneira ser separadas, eliminando-se assim os ruídos experimentais.

A Tabela 2 apresenta, para o estudo de caso considerado, médias, erro padrão dos atributos e cargas fatoriais dos componentes 1 e 2.

A Figura 2 ilustra em (a) o mapa que representa as variáveis no plano formado pelos 2 primeiros componentes principais e em (b) o mapa representando os pontos nas áreas A e B que foram consideradas experimentalmente.

No mapa apresentado na Figura 2, os 2 componentes (CP1 e CP2) explicaram 66,93% da variabilidade total. Observa-se que a matéria seca (MS) está associada a CEa e ao Na<sup>+</sup>, como pode ser visto na figura 2, no quadrante IV. Neste quadrante está localizada a nuvem de pontos da área A (Figura 2b) com uma matéria seca média de 17,8 toneladas, contra 12,8 toneladas da área B. No quadrante III encontram-se os valores da necessidade de calagem, se contrapondo aos teores de Ca, Mg, pH e Na<sup>+</sup> localizados no quadrante I e IV. Esta relação evidencia uma contraposição da acidez do solo com as bases do solo.

A associação do  $\text{Na}^+$  no solo com a matéria seca do milho é preocupante, se os teores de  $\text{Na}^+$  forem elevados, pois podem causar a salinização. O efeito da salinização sobre as plantas pode ser causado pela dificuldade de absorção de água (LIMA, 1997), toxicidade de íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos (AYERS & WESTCOT, 1991) reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas e consequentemente a produção agrícola.

Uma das causas para salinização dos solos de áreas irrigadas ocorre principalmente por causa do manejo inadequado de irrigação.

Logo, frente a este cenário de realidades para este estudo de caso, uma vez que a alta matéria seca está associada com os atributos CEa e  $\text{Na}^+$ , são consideradas as construções dos semivariogramas para estes atributos (Figura 3).

Todos os atributos analisados apresentaram dependência espacial nas duas áreas estudadas (Figura 3). Na seleção dos modelos dos semivariogramas, foram considerados os valores de  $R^2$  e a soma dos quadrados dos resíduos (SQR), sendo escolhidos os modelos esférico, exponencial e Gaussiano.

TABELA 2: Médias, erro padrão (EP) dos atributos do solo, matéria seca e cargas fatoriais dos componentes 1 e 2.

**(Means, standard error of soil attributes, dry matter content of corn and factor loadings of the components 1 and 2).**

Variável	Área A		Área B		CP1	CP2
	Média	EP	Média	EP		
pH	5,35	0,03	5,23	0,05	0,83*	-0,17
$\text{Ca}^{2+}$	28,67	1,42	26,95	1,17	0,84*	0,23
$\text{Mg}^{2+}$	8,95	0,36	9,60	0,45	0,81*	0,29
$\text{Na}^+$	0,47	0,01	0,38	0,02	0,46*	-0,49*
NC	0,97	0,11	0,98	0,10	-0,90*	-0,16
CEa	1,20	0,13	0,38	0,02	0,03	-0,72*
MS	17.818,73	267,35	12.824,23	322,87	0,24	-0,77*

\* Cargas fatoriais avaliadas como significativas.

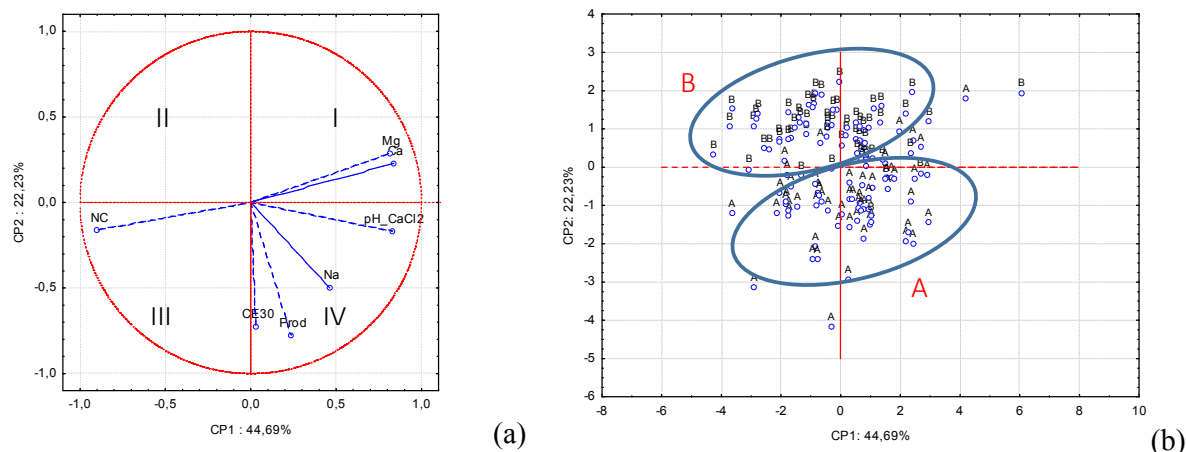


FIGURA 2. (a) Mapa representando as variáveis no plano formado pelos 2 primeiros componentes. (b) Mapa representando os pontos nas áreas A e B.

Observa-se que os valores do alcance de dependência espacial foram maiores para o  $\text{Na}^+$  e NC na área A, já para a área B foram maiores para CEa e para a matéria seca de milho. Segundo TRANGMAR et al. (1985), o alcance define o raio máximo para o qual amostras

vizinhas são usadas para interpolação por técnicas de krigagem. Assim, baixos valores de alcance podem influir na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação.

Com os valores estimados por krigagem, foram gerados mapas de distribuição espacial dos atributos analisados (Figura 4). A distribuição espacial dos atributos de solo e planta indicam maiores teores dos atributos químicos do solo, CEa e matéria seca de milho na área A, como era esperado em função dos valores medidos (Figura 4).

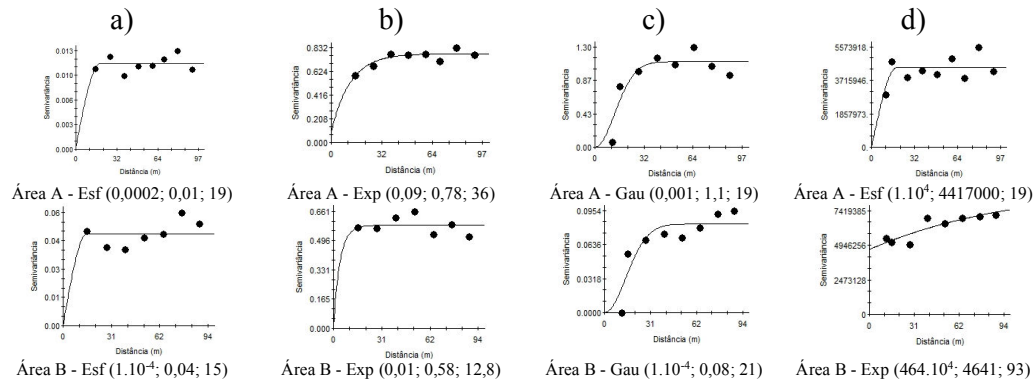


FIGURA 3. Semivariogramas das áreas A e B dos valores de Na<sup>+</sup> (a), NC (b), CEa (c) e matéria seca de milho (d). Exp = exponencial; Esf = esférico; Gau = gaussiano; Parâmetros do modelo (C<sub>0</sub>=efeito pepita; C<sub>1</sub>=variância estrutural; A=alcance (m))

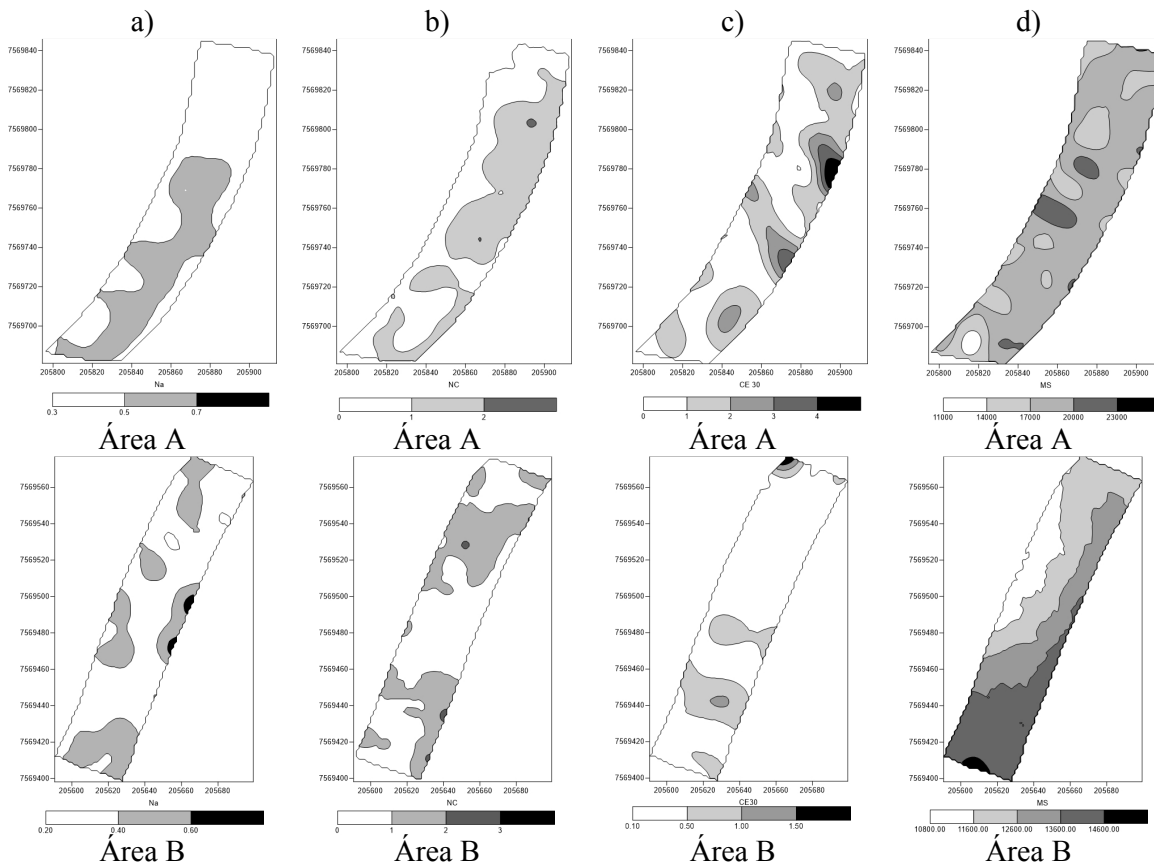


FIGURA 4. Mapas interpolados das áreas A e B dos valores de Na<sup>+</sup> (a), NC (b), CEa (c) e matéria seca de milho (d).

## CONCLUSÕES

A matéria seca produzida de milho teve uma variação de 28% entre as áreas estudadas. Os mapas dos atributos químicos do solo, condutividade elétrica aparente do solo e matéria seca de milho possibilitaram identificar duas sub-regiões distintas na área estudada. Com os resultados obtidos verificou-se a viabilidade de realizar o manejo específico, como a aplicação da calagem em taxa variada.

## AGRADECIMENTOS

Ao projeto em rede do MP1 em Agricultura de Precisão, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e aos Técnicos Pedro Fernandes Bomfim e Marcos Rogério de Sousa pela cooperação nos trabalhos de campo e laboratório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLRED, B.J.; EHSANI, M.R.; SARASWAT, D. Comparison of electromagnetic induction, capacitively coupled resistivity, and galvanic contact resistivity methods for soil electrical conductivity measurement. *Applied Engineering in Agriculture*, v.22, p.215-230, 2006.

ALLRED, B.J.; GROOM, D.; EHSANI, R.M.; DANIELS, J.J.; Resistivity methods. In: BALLRED, B.; JEFFREY, D.; EHSANI, R.M. (Ed.). *Handbook of agricultural geophysics*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, p.85-108, 2008.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. *Water Quality for agriculture*. 3rd. ed. Rome: FAO, 1994. 174 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).

BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computer and Electronics in Agriculture*, 26(1):37-51, 2000.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.46, p.11-45, 2005.

CRUVINEL, P.E.; BERALDO, J.M.G.; FOSCHINI, M.M.; RABELLO, L.M.; BARIONI-JUNIOR, W. Método para identificar tendências de associações entre a produtividade e atributos físicos e químicos do solo com base em análise de componentes principais e geoestatística. In: *Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária. Anais do SIAGRO: ciência, inovação e mercado 2014*, (Editores: Carlos Manoel Pedro Vaz, Débora Marcondes Bastos Pereira Milori, Silvio Crestana), São Carlos, SP, Embrapa Instrumentação, ISSN 2358-9132, 2014.

CRUVINEL, P. E.; RABELLO, L. M.; MASCARENHAS, S.; ALTAFIM, R. A. C.; GIGANTE, G. E. ; STADERINI, E. M.; CESARIO, R. Tomografia por impedância elétrica e seus possíveis usos na agropecuária. *Embrapa Instrumentação Agropecuária: São Carlos*, p.1-8, *Pesquisa em Andamento*, 26, 1998.

DOERGE, T. Defining management zones for precision farming. *Crop Insights*, 8(21):1-5, 1999.

FRAISSE, C.W.; SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R. Calibration of the ceres-maize model for simulating site-specific crop development and yield on claypan soils. *Appl. Eng. Agric.*, 17(4):547-556, 2001.

FRIEDMAN, S.P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.46, p.45-70, 2005.

- FUKUE, M.; MINATO, T.; HORIBE, H.; TAYA, N. The micro-structures of clay given by resistivity measurements. *Engineering Geology*, Amsterdam, v. 54, p. 43-53, 1999.
- HAIR, J. R.; JOSEPH, F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. *Análise Multivariada de Dados*. Porto Alegre: Bookman, 2005
- JOHNSON, C.K.; ESKRIDGE, K.M.; CORWIN, D.L. Apparent soil electrical conductivity: applications for designing and evaluating field-scale experiments. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.46, p.181-202, 2005.
- KHOSLA, R.; ALLEY, M.M. Soil-specific management on mid-atlantic coastal plain soils. *Better Crops with Plant Food*, 83(3):6-7, 1999.
- LIMA, L.A. Efeito de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.M. (Ed.). *Manejo e controle da salinidade na agricultura*. Campina Grande: UFPB; SBEA, p.113-136, 1997.
- MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com os fatores de produção. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.2, p.420-426, 2005.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- RHOADES, J.D.; CORWIN, D.L. Measurement of inverted electrical conductivity profiles using electromagnetic induction. *Soil Science Society of American Journal*, v.44, p.288-291, 1984.
- ROBERTSON, G. P. Release 7. *GS+: Geostatistics for the environmental sciences*. Gamma Design Software. Plainwell, MI, 2004.
- STAFFORD, J.V.; LARK, R.M.; BOLAM, H.C. Using Yield Maps to Regionalize Fields into Potential Management Units. In: Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E. (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA, p.225-237, 1998.
- STATSOFT, Inc. (2004). *STATISTICA (data analysis software system)*, version 7.
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v.38, p.45-93, 1985.
- VERIS TECHNOLOGIES. Disponível em: <<http://www.veristech.com>>. Acesso em: 1 abr. 2011.
- WILDING, L.P. & DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P. & DREES, L.R., eds. *Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions*. New York, Elsevier, p.83-116, 1983.