



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

P.E. Cruvinel¹, J.M.G. Beraldo^{1,2}, M.M. Foschini¹, L.M. Rabello¹, W. Barioni-Junior³

(1) Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, 13560-970, São Carlos, SP, paulo.cruvinel@embrapa.br, milene.foschini@embrapa.br, ladislau.rabello@embrapa.br

(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo/Pós Doutorado na Embrapa Instrumentação, IFSP, Rua Stéfano D'Avassi 625, CEP 15991-502, Matão, SP, jmgeraldo@ifsp.edu.br

(3) Embrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, km 234, 13560-970, São Carlos, SP, waldomiro.junior@embrapa.br

Resumo: A análise espacial pode fornecer subsídios para identificar as relações da produtividade de uma cultura com atributos químicos e suas relações com a condutividade elétrica aparente do solo. Neste trabalho é apresentado um método para indicar as principais contribuições de atributos químicos e da condutividade elétrica aparente do solo com a matéria seca de uma cultura de milho. O experimento de validação foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, onde foram coletadas amostras deformadas de solo seguindo uma grade amostral geo-referenciada com intervalo regular de 13 m, na camada de 0-0,1 m. Foram realizadas medidas da condutividade elétrica nas áreas de estudo e as amostras de solo coletadas foram preparadas e submetidas às análises químicas para fins de fertilidade. Também, foi avaliada a matéria seca de milho. Foi observada uma variação na produtividade de milho, apresentando regiões de alta e de baixa produtividade. Usando análise de componentes principais (ACP) foi possível identificar tendências de relações dos atributos do solo com a produtividade. Em seguida, tomando por base a geoestatística (GE), foi possível realizar a análise espacial dos atributos mais relevantes para ganhos de produtividade, o que proporcionou a minimização de esforços para a viabilização da fertilização em taxa variável.

Palavras-chave: produtividade, agricultura de precisão, irrigação, análise multivariada, geo-estatística, plantio direto.

METHOD FOR IDENTIFYING TRENDS OF ASSOCIATIONS BETWEEN PRODUCTIVITY AND SOIL ATTRIBUTES (PHYSICAL AND CHEMICAL) BASED ON THE PRINCIPAL COMPONENTS AND GEO-STATISTICAL ANALYSIS

Abstract: A spatial analysis can provide input to identify the relationship of productivity of a crop with chemical attributes and their relationships with the apparent soil electrical conductivity. This paper presents a method to indicate the main contributions of chemical properties and apparent soil electrical conductivity with the dry matter of a culture of corn. The validation experiment was conducted at Embrapa Cattle Southeast, São Carlos, SP, where deformed samples of soil were collected following a geo-referenced with regular interval of 13 m in the 0-0.1 m layer sampling grid. Measurements of electrical conductivity in the study areas and soil samples collected were prepared and were taken for chemical analysis for the purposes of fertility. The dry matter of maize was also evaluated. A variation in corn yield was observed, with regions of high and low productivity. Using principal component analysis (PCA) was possible to identify trends of soil attributes and relationships with productivity. Then, based on geostatistics (GE), it was possible to conduct the spatial analysis of the most relevant attributes for productivity gains, which provided the minimization efforts for the feasibility of variable rate fertilization.

Keywords: crop-yield, precision agriculture, irrigation, multivariate analysis, no-tillage system.

1. Introdução

Um dos principais desafios da agricultura atual, em nível mundial, é a produção de alimentos que possam proporcionar uma adequada segurança alimentar. Porém, para se obter ganhos de produtividade se faz necessário, dentre as várias ações associadas a gestão do território, de adequar práticas de manejo, cuidar dos recursos hídricos e adequar a fertilização dos solos. Um dos problemas atuais refere-se, por exemplo, à falta de recursos hídricos. Na agricultura esse impacto poderá influenciar o uso de água de baixa qualidade para irrigação e associado com o manejo inadequado do solo, como a aplicação de quantidades excessivas de fertilizantes, assim como à drenagem deficiente poderá levar à salinidade do solo.

A salinização do solo pode causar a desestruturação, aumento da densidade aparente e da retenção de água do solo, diminuição da condutividade hidráulica, redução da infiltração de água pelo excesso de íons sódicos e diminuição da fertilidade. A medida do grau de dificuldade que um determinado material impõe à passagem de uma dada corrente elétrica é denominada de resistividade elétrica. O inverso da resistividade elétrica, ou seja, a facilidade com que a corrente elétrica passa através de determinado material é denominado de condutividade elétrica. A determinação da resistividade é conseguida fazendo-se circular um determinado valor de corrente entre dois eletrodos, um de emissão e outro de recepção, espaçados de uma certa distância fixa, onde então é medida a diferença de potencial, resultando em um valor médio de resistividade na região da medida (CRUVINEL et al., 1998).

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. Assim o mapeamento da CEa em conjunto com os atributos químicos do solo pode contribuir para orientar ganhos de produtividade.

Neste trabalho é apresentado um método para identificar tendências de associações entre a produtividade e atributos físicos e químicos do solo com base em análise de componentes principais e geo-estatística.

2. Materiais e Métodos

A área experimental está localizada na Fazenda Canchim, sede da Embrapa Pecuária Sudeste, situada no município de São Carlos, SP. Foram realizadas amostragens de solo em duas áreas na camada de 0,00-0,10 m, sendo em grade regular e com intervalo regular de 13 m de distância entre os pontos, totalizando 60 amostras por área. Os pontos de amostragem e o perímetro da área experimental foram geo-referenciados.

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 valores de pH em CaCl_2 , teores de matéria orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Hidrogênio + Alumínio (H+Al), Alumínio (Al^{3+}), Sulfato (S-SO_4), Sódio (Na), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Mangânes (Mn) e Boro (B). 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%).

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). A profundidade de medida é baseada no espaçamento dos discos, foi utilizado os dados do par central de discos que mede a diferença de potencial na camada de 0,0 e 0,30 m.

O método para identificar tendências de associações entre a produtividade e atributos físicos e químicos do solo toma por base a coleta de amostras nas áreas de interesse, as análises químicas e a análise da condutividade elétrica e da matéria seca do milho para em seguida utilizar a análise de componentes principais, seguida por uma análise geo-estatística com a construção dos semivariogramas e posterior krigagem. Assim, se buscar conhecer os mapas mais relevantes das variáveis com maior tendência de associação com a produtividade.

Para analisar a estrutura de correlação foram consideradas 17 variáveis e foi utilizada a Análise de Componentes Principais (ACP). Considerou-se na 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). As análises estatísticas foram realizadas no software STATISTICA versão 7.0 (STATSOFT, 2004). Para estimar a dependência espacial entre as amostras, utilizou-se modelos de semivariogramas estimados com o programa GS+ (ROBERTSON, 2004) e posteriormente foi realizada a interpolação dos dados utilizando a krigagem.

3. Resultados e Discussão

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 o limite mínimo de 1,0 unidades para a extração dos autovalores. A Tabela 1 apresenta, para o estudo de caso considerado, médias, erro padrão dos atributos e cargas fatoriais dos componentes 1 e 2.

A Figura 1 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 1, os 2 componentes (CP1 e CP2) explicaram 38% da variabilidade total. Observa-se que no quadrante II (Figura 1a) a alta produtividade está associada com os atributos Cobre (Cu), Manganês (Mn), CEa e M.O.. Neste quadrante está localizada a nuvem de pontos da área A (Figura 1b) com uma produtividade média de 17,8 toneladas, contra 12,8 toneladas da área B. No quadrante III encontram-se os teores de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), pH e Sódio (Na), se contrapondo aos teores de H+Al e Alumínio (Al), localizados no quadrante I. Esta relação evidencia uma contraposição da acidez do solo com as bases do solo. O fósforo (P) e o potássio (K) estão localizados na região central, não se mostraram associados à produtividade por estarem relacionados ao manejo exigido pela cultura, através da adubação de plantio com estes macronutrientes.

Logo, frente a este cenário de realidades para este estudo de caso, uma vez que a alta produtividade está associada com os atributos Cu, Mn, CEa e M.O., são consideradas as construções dos semivariogramas para estes atributos (Figura 2).

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 3).

Tabela 1. Médias, erro padrão (EP) dos atributos do solo e cargas fatoriais dos componentes 1 e 2.

Variável	Área A		Área B		CP1	CP2
	Média	EP	Média	EP		
pH	5,35	0,03	5,23	0,05	-0,88	-0,22
M.O.	27,02	0,47	24,57	0,42	-0,37	0,44
P	26,42	1,54	27,47	1,01	-0,12	0,01
K	2,28	0,11	2,72	0,12	-0,01	-0,20
Ca	28,67	1,42	26,95	1,17	-0,69	-0,09
Mg	8,95	0,36	9,60	0,45	-0,64	-0,25
H+Al	25,95	0,73	25,90	0,72	0,82	0,35
Al	0,28	0,10	0,65	0,10	0,77	0,08
SSO4	5,90	0,25	5,63	0,22	0,18	0,19
Na	0,47	0,01	0,41	0,03	-0,55	-0,04
Cu	2,40	0,10	1,17	0,03	-0,34	0,73
Fe	34,70	1,28	33,33	1,20	0,22	0,44
Zn	3,89	0,25	4,28	0,29	0,15	-0,02
Mn	5,86	0,28	2,45	0,09	-0,23	0,86
B	0,50	0,01	0,48	0,01	0,08	0,17
CE	1,20	0,13	0,41	0,04	-0,19	0,52
Produtividade	17.818,73	267,35	12.824,23	322,87	-0,37	0,59

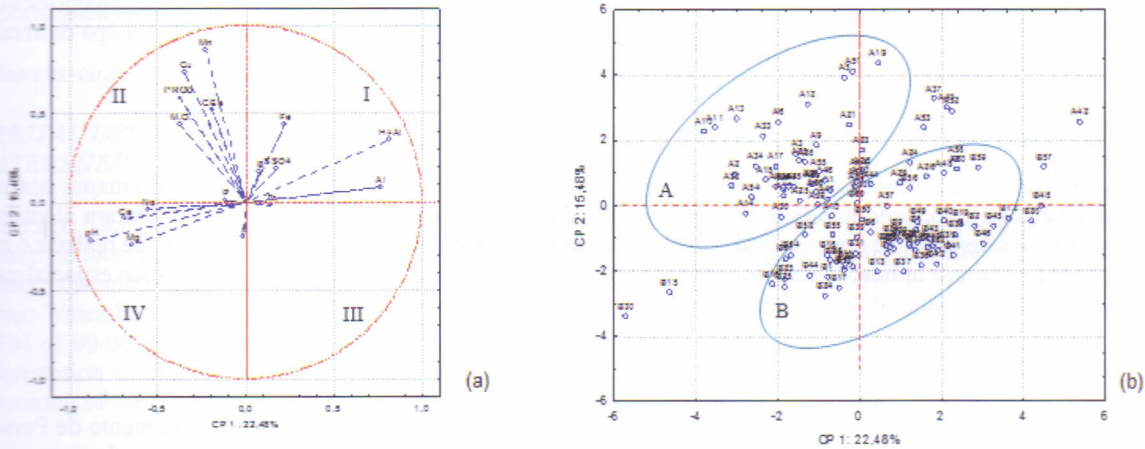


Figura 1. (a) Mapa representando as variáveis no plano formado pelos 2 primeiros componentes. (b) Mapa representando os pontos nas áreas A e B.

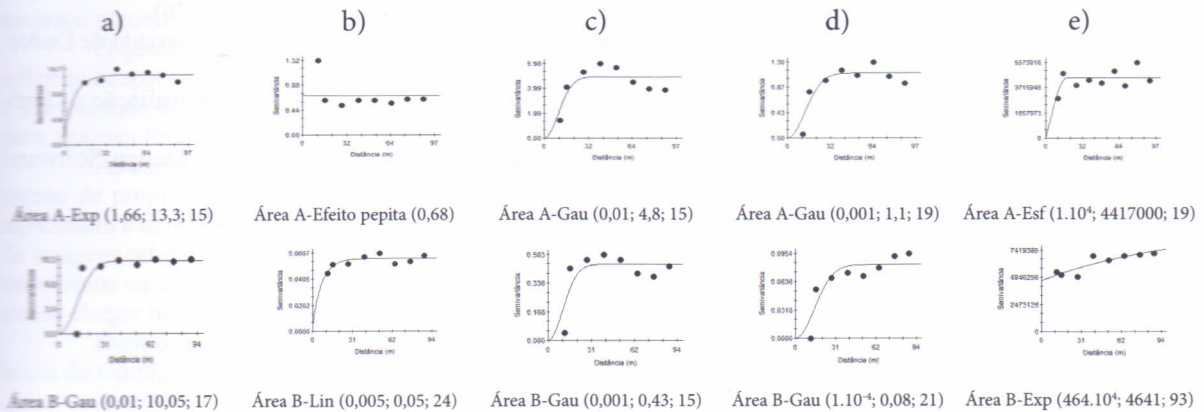


Figura 2. Semivariogramas: matéria orgânica (a), Cu (b), Mn (c), CEa (d), matéria seca de milho (e). Exp: Exponencial; Esf: Esférico; Gau: Gaussiano; Parâmetros do modelo (C_0 : efeito pepita, $C1$: variância estrutural, A: alcance (m)).

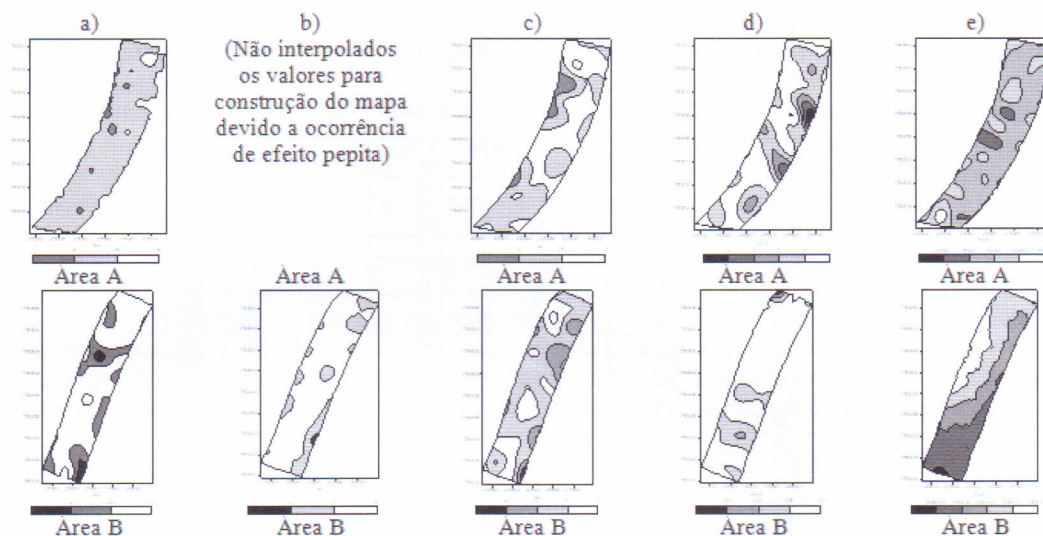


Figura 3. Mapas interpolados das áreas A e B dos valores de matéria orgânica (a), cobre (b), mangânes (c), CEA (d) e matéria seca de milho (e). Não foi realizada a Krigagem para os teores de cobre para o mapa da área A.

4. 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 de fertilizantes em taxa variada, e também realizar um diagnóstico espacializado da fertilidade do solo baseado na produtividade.

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

- 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, 1998. (Pesquisa em Andamento, 26).
- HAIR, J. R.; JOSEPH, F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise Multivariada de Dados. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- ROBERTSON, G. P. Release 7. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Gamma Design Software. Plainwell, MI, 2004.
- VERIS TECHNOLOGIES. Disponível em: <<http://www.veristech.com>>. Acesso em: 3 abr. 2011.