

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DA SOJA NUM SISTEMA DE AGRICULTURA DE PRECISÃO¹

Aziz Rachid Junior², Miguel Angel Uribe-Opazo³, Eduardo Godoy de Souza³,
Jerry Adriani Johann⁴

RESUMO

A adequação da utilização de insumos dentro das reais necessidades de cada tipo de solo e para cada tipo de cultura é fundamental para a sustentabilidade do setor, tanto no nível econômico como no ambiental. Para que isto aconteça, é importante conhecer a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo, em suas características químicas, mapeá-las e correlacioná-las com a produtividade da soja, evitando a aplicação desnecessária de nutrientes. A agricultura nacional utiliza grande quantidade de insumos e o seu uso racional, além de evitar saturação das áreas de plantio e despesas desnecessárias, contribui para a redução dos impactos ambientais. Demonstrou-se que o levantamento dos atributos químicos do solo, em pontos georreferenciados, possibilitou a geração de mapas das condições químicas da área, que em seguida foram comparados com níveis preestabelecidos regionalmente pelo IAPAR (1998) e EMBRAPA (2000). Estas informações foram correlacionadas, espacialmente, com a produtividade da soja, obtendo-se, como resultado, a verificação de quanto a deficiência ou não de determinados atributos químicos do solo afetavam a produtividade da cultura. Como resultado, observou-se que a área tem um bom padrão de fertilidade e que o gerenciamento localizado de nutrientes pode diminuir os gastos com fertilizantes, aumentando, assim, a lucratividade da área, visto que provavelmente algumas regiões da área não necessitam de nutrientes.

Palavras-chave: geoestatística, semivariograma cruzado, variabilidade espacial.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND OF THE SOYBEAN PRODUCTIVITY IN A PRECISION AGRICULTURE SYSTEM

ABSTRACT

The adequacy of the use of inputs with the real necessities of each soil type and for each culture type is fundamental for the sustainability of the sector either at the economical level as environmental. Therefore, it is important to know the spatial and temporal variability of the soil attributes in their chemical characteristics in order to map and correlate them with the soybean yield, as preventing the unnecessary application of nutrients. The agriculture uses great amount of inputs, and its rational use, besides preventing saturation of the plantation areas and unnecessary expenditures, contributes for the reduction of environmental impacts. It was demonstrated that the survey of the soil chemical attributes made possible the generation of maps of the area chemical conditions of the area, were compared to the levels regionally established by IAPAR (1998) and EMBRAPA (2000). These informations had been spatially correlated with the soybean yield, getting as a result the verification of the deficiency or not of determined levels of soil chemical attributes affected culture yield. As result, was observed that the area has a good fertility pattern and that the site-specific nutrient application can reduce the expenditures as fertilizers, increasing this this, the profitability of the area, because probably some regions of the area don't need nutrients.

Keywords: geostatistics, cross semivariogram, spatial variability.

¹ Parte dos resultados da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada na Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE.

² Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel, PR. Faculdade Sul Brasil Ltda (FASUL), Toledo - PR. e-mail: aziz@fag.edu.br.

³ Professor Associado do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas -CCET, UNIOESTE, Cascavel - PR, e-mail: mopazo@unioeste.br. Rua Universitária 2069, Sala 65, Jardim Universitário, CEP 85819-110, Cascavel, PR.

⁴ Professor Assistente, CCET, UNIOESTE, Cascavel - PR, e-mail: jerryaj@unioeste.br.

INTRODUÇÃO

Com o emprego de novas tecnologias, a agricultura nacional tem se desenvolvido de forma bastante intensa, obtendo-se grandes avanços, no aumento de produtividade. Tais avanços acontecem em função da evolução de outros setores, tais como: eletrônica, informática, sensoriamento remoto, geoprocessamento com sistema de informações geográficas e geoestatística, bem como a aplicação de novos conceitos de manejo do solo, objetivando a identificação da variabilidade espaço-temporal nos campos de produção, permitindo melhor gerenciamento dos processos produtivos à luz da variabilidade detectada (Mantovani, 1999).

Krugman (1987) enfatiza que os padrões de comércio são determinados por contínuo processo de inovação e transferência de tecnologia. A adequação da utilização de insumos dentro das reais necessidades de cada tipo de solo e para cada tipo de cultura são fundamentais para a sustentabilidade do setor, tanto em nível econômico como no ambiental. Com a utilização racional de insumos, tem-se a redução dos impactos causados por seu uso excessivo nas áreas de plantio.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver análise espacial e temporal da produtividade da soja, teor de água no solo e atributos químicos do solo nos anos de 1998 e 1999, por meio da utilização dos recursos de geoprocessamento e de métodos geoestatísticos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento dos dados dos anos foi realizado em uma área de 1,74 ha da COODETEC - Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda, em seu centro de pesquisa. A área do solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, está localizada na Br 467 km 98, em Cascavel - PR.

Para a coleta do solo a ser analisada foram demarcados 256 pontos, conforme malha de pontos (grade) de 7,2 x 7,2 m. A área experimental ainda foi subdividida para fins de tratamento localizado, caracterizando-se a

prática de agricultura de precisão em: 128 parcelas com manejo químico localizado (CML) e 128 parcelas sem manejo químico localizado (SML) (SOUZA et al., 1999). Foram feitos levantamentos dos atributos químicos do solo, determinados em laboratórios, em pontos georreferenciados (variáveis regionalizadas). Estudada a estrutura de dependência espacial de cada atributo químico, realizou-se a interpolação por krigagem ordinária para os locais não amostrados, obtendo-se, então, um mapa para cada atributo do solo e da produtividade da soja, cujos dados foram obtidos nos anos 1998 e 1999. A distância máxima da área em estudo é de 190,08 m (diagonal). Os atributos químicos do solo foram: teor de fósforo disponível (P) [mg dm^{-3}], teor de potássio trocável (K^+) [$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$], teor de matéria orgânica (MO) [g dm^{-3}], potencial hidrogeniônico (pH) [CaCl_2], acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) [$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$], teor de cálcio trocável (Ca^{2+}) [$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$], teor de magnésio trocável (Mg^{2+}) [$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$], soma das bases (S) [$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$], capacidade de troca de cátions potencial (T) [$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$] e saturação das bases (V%) [%], assim como o teor de água no solo (Umid) [%] e a produtividade da soja (Prod) [t ha^{-1}].

Utilizando métodos geoestatísticos, construíram-se mapas da área total, mostrando as condições químicas da área, que foram comparadas com os níveis regionais segundo IAPAR (1998), que coincidem com EMBRAPA (1999). Correlacionaram-se, especialmente os atributos químicos do solo com a produtividade para análise comparativa. Deste modo, foi possível verificar se em áreas com deficiência de produtos químicos havia maior, ou menor, produtividade de soja.

Tanto para o ano de 1998 como 1999, foram coletados dados em 256 pontos de coleta. Entretanto, para o segundo ano, esses mesmos 256 pontos de coleta foram divididos em duas diferentes situações: 128 pontos CML e 128 pontos SML, em função de manejos diferenciados, como pode se observar na Figura 1. Para o ano de 1998, o mapa de produtividade considerou as 256 amostras coletadas. Para o ano de 1999, entretanto, foram gerados dois mapas de produtividade, cada um com 128 pontos amostrais (CML e SML).

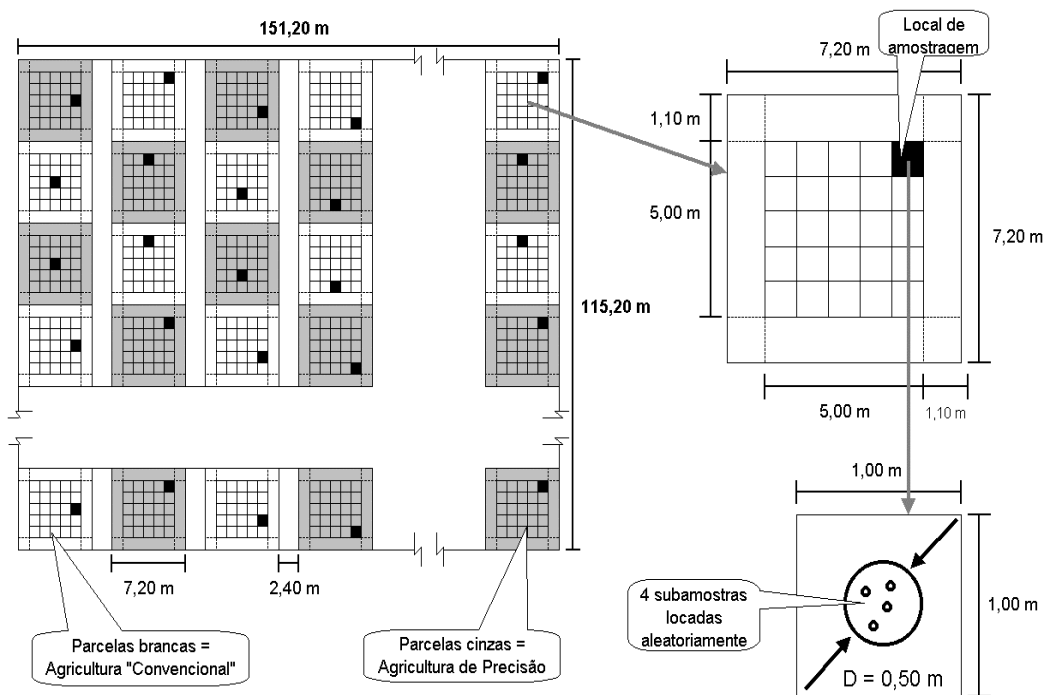


Figura 1. Malha de pontos da área experimental -1999 (CML e SML), referência: Souza, et al. (1999). Sendo $(7,2 \text{ m} * 16) + (2,4 * 15) = 151,20 \text{ m}$, $(16 * 7,20) = 115,20 \text{ m}$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise descritiva

No Quadro 1, estão apresentadas as análises estatísticas dos dados dos atributos químicos do solo, do teor de água no solo e da produtividade da soja, em 256 pontos georreferenciados para o ano de 1998 considerados SML, sendo que nos Quadros 2 e 3, as análises foram realizadas com os dados relativos ao ano de 1999, considerado como 128 pontos SML e 128 CML, respectivamente.

Para os dados do ano de 1998 (SML), apresentados no Quadro 1, constatou-se homogeneidade nos dados analisados para os atributos químicos: potencial hidrogeniônico e teor água no solo, uma vez que os coeficientes de variação (CV) permaneceram com valores abaixo de 10%. No ano de 1999, tanto no sistema SML como no CML, observa-se nos Quadros 2 e 3, respectivamente,

que os atributos químicos apresentando homogeneidade foram: matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, capacidade de troca de cátions potencial e teor de água no solo, uma vez que os seus CV foram menores que 10%. Pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk, ao nível de 5% de significância, verificou-se que as variáveis regionalizadas, ou seja, matéria orgânica (MO), saturação das bases (V%) e soma das bases (S) nos anos de 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML apresentaram distribuições normais de probabilidade. Os atributos $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ e Ca^{2+} , entretanto, apresentaram normalidade no ano de 1999 SML e CML. Para o ano de 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML, os valores médios referentes aos dados dos atributos químicos e produtividade da soja foram comparados, respectivamente, com os níveis de interpretação de resultados regionais do IAPAR (1998) e EMBRAPA (2000), apresentados no Quadro 4.

Quadro 1. Análise exploratória dos dados na área – Ano 1998 (SML)

| Atributos químicos e produtividade | Nomenclatura e unidade | N | Média | D.P. | Distribuição | CV(%) | Mín | Máx |
|--|---|-----|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| Teor de fósforo disponível | (P) [mg dm ⁻³] | 256 | 4,03 | 1,28 | não normal | 31,81 | 2,00 | 13,10 |
| Teor de potássio trocável | (K ⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 256 | 0,33 | 0,09 | não normal | 26,21 | 0,17 | 0,74 |
| Teor de matéria orgânica | (MO) [g dm ⁻³] | 256 | 52,55 | 6,27 | normal | 11,94 | 36,55 | 68,35 |
| Potencial hidrogeniônico | (pH) [CaCl ₂] | 256 | 5,11 | 0,46 | não normal | 8,98 | 4,20 | 6,60 |
| Acidez potencial | (H ⁺ +Al ³⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 256 | 6,84 | 2,16 | não normal | 31,61 | 2,36 | 12,13 |
| Teor de cálcio trocável | (Ca ²⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 256 | 5,19 | 1,29 | não normal | 24,92 | 0,44 | 10,63 |
| Teor de magnésio trocável | (Mg ²⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 256 | 2,71 | 0,85 | não normal | 31,37 | 0,34 | 4,87 |
| Soma das bases | (S) [cmol _c dm ⁻³] | 256 | 8,23 | 1,93 | não normal | 23,40 | 1,26 | 13,10 |
| Capacidade de troca de cátions potencial | (T) [cmol _c dm ⁻³] | 256 | 15,07 | 1,82 | não normal | 12,09 | 8,46 | 22,06 |
| Saturação das bases | (V%) [%] | 256 | 54,85 | 12,30 | normal | 22,43 | 14,89 | 84,03 |
| Teor de água no solo | (Umid) [%] | 256 | 24,82 | 0,72 | não normal | 2,90 | 20,74 | 27,51 |
| Produtividade da soja | (Prod.) [t ha ⁻¹] | 256 | 2,75 | 0,49 | normal | 17,86 | 1,19 | 4,14 |

D.P.:desvio- padrão; CV:coeficiente de variação; N: número de amostras; Mín: valor mínimo; Max: valor máximo; SML: Sem Manejo Localizado.

Quadro 2. Análise exploratória dos dados na área – Ano 1999 (SML)

| Atributos químicos e produtividade | Nomenclatura e unidade | N | Média | D.P. | Distribuição | CV(%) | Mín | Máx |
|--|---|-----|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| Teor de fósforo disponível | (P) [mg dm ⁻³] | 128 | 3,40 | 1,40 | não normal | 41,12 | 1,50 | 13,40 |
| Teor de potássio trocável | (K ⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 0,26 | 0,08 | não normal | 32,10 | 0,12 | 0,57 |
| Teor de matéria orgânica | (MO) [g dm ⁻³] | 128 | 44,38 | 3,43 | normal | 7,74 | 35,50 | 54,88 |
| Potencial hidrogeniônico | (pH) [CaCl ₂] | 128 | 5,46 | 0,46 | não normal | 8,43 | 4,70 | 7,20 |
| Acidez potencial | (H ⁺ +Al ³⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 5,04 | 1,39 | normal | 27,60 | 2,03 | 8,68 |
| Teor de cálcio trocável | (Ca ²⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 4,66 | 0,86 | normal | 18,57 | 2,79 | 6,78 |
| Teor de magnésio trocável | (Mg ²⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 2,83 | 0,67 | não normal | 23,78 | 1,58 | 4,67 |
| Soma das bases | (S) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 7,75 | 1,50 | não normal | 19,32 | 4,96 | 11,66 |
| Capacidade de troca de cátions potencial | (T) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 12,79 | 0,90 | não normal | 7,06 | 10,22 | 17,50 |
| Saturação das bases | (V%) [%] | 128 | 60,57 | 10,52 | normal | 17,37 | 38,53 | 85,17 |
| Teor de água no solo | (Umid) [%] | 128 | 31,74 | 1,90 | normal | 5,98 | 26,42 | 36,97 |
| Produtividade da soja | (Prod) [t ha ⁻¹] | 128 | 2,17 | 0,42 | não normal | 19,57 | 0,69 | 3,19 |

D.P.:desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; N: número de amostras; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; SML: Sem Manejo Localizado.

Quadro 3. Análise exploratória dos dados na área – Ano 1999 (CML)

| Atributos químicos e produtividade | Nomenclatura e unidade | N | Média | D.P. | Distribuição | CV(%) | Mín | Máx |
|--|---|-----|-------|------|--------------|-------|-------|-------|
| Teor de fósforo disponível | (P) [mg dm ⁻³] | 128 | 3,32 | 1,11 | não normal | 33,49 | 1,70 | 8,00 |
| Teor de potássio trocável | (K ⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 0,32 | 0,08 | não normal | 26,64 | 0,12 | 0,55 |
| Teor de matéria orgânica | (MO) [g dm ⁻³] | 128 | 44,46 | 3,01 | normal | 6,76 | 36,24 | 56,25 |
| Potencial hidrogeniônico | (pH) [CaCl ₂] | 128 | 5,52 | 0,41 | não normal | 7,42 | 4,80 | 7,50 |
| Acidez potencial | (H ⁺ +Al ³⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 4,91 | 1,22 | normal | 24,90 | 1,30 | 7,76 |
| Teor de cálcio trocável | (Ca ²⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 4,68 | 0,83 | normal | 17,74 | 2,94 | 7,87 |
| Teor de magnésio trocável | (Mg ²⁺) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 2,95 | 0,62 | não normal | 21,17 | 1,03 | 5,48 |
| Soma das bases | (S) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 7,94 | 1,43 | não normal | 18,04 | 4,91 | 13,67 |
| Capacidade de troca de cátions potencial | (T) [cmol _c dm ⁻³] | 128 | 12,84 | 0,93 | normal | 7,23 | 8,94 | 15,28 |
| Saturação das bases | (V%) [%] | 128 | 61,70 | 9,25 | normal | 14,99 | 38,75 | 91,32 |
| Teor de água no solo | (Umid) [%] | 128 | 31,52 | 2,69 | não normal | 8,54 | 17,07 | 42,25 |
| Produtividade da soja | (Prod) [t ha ⁻¹] | 128 | 2,14 | 0,37 | não normal | 17,17 | 1,21 | 3,61 |

D.P.:desvio-padrão; CV:coeficiente de variação; N: número de amostras; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; SML: Sem Manejo Localizado.

Quadro 4. Níveis para interpretação de resultados de atributos químicos do solo do IAPAR (1998) e da produtividade da EMBRAPA (2000)

| Variáveis | Classificação | | | Unidade |
|---|---------------|-------------|----------|------------------------------------|
| | Baixo (0) | Médio (1) | Alto (2) | |
| Teor de Fósforo disponível (P)* | < 3,10 | 3,10 a 6,00 | > 6,00 | mg dm ⁻³ |
| Teor de Potássio trocável (K ⁺)* | < 0,11 | 0,11 a 0,20 | >0,20 | cmol _c dm ⁻³ |
| Teor de Matéria Orgânica (MO)* | < 14,0 | 14,0 a 24,0 | > 24,0 | g dm ⁻³ |
| Potencial hidrogeniônico (pH)* | > 6,10 | 5,70 a 6,10 | < 5,70 | CaCl ₂ |
| Acidez potencial (H ⁺ +Al ³⁺)* | < 2,61 | 2,61 a 5,40 | > 5,40 | cmol _c dm ⁻³ |
| Teor de Cálcio trocável (Ca ²⁺)* | < 2,11 | 2,11 a 4,00 | > 4,00 | cmol _c dm ⁻³ |
| Teor de magnésio trocável (Mg ²⁺)* | < 0,41 | 0,41 a 0,80 | > 0,80 | cmol _c dm ⁻³ |
| Soma das bases (S)* | < 2,61 | 2,61 a 5,40 | > 5,40 | cmol _c dm ⁻³ |
| Capacidade de Troca de Cátions potencial (T)* | < 5,2 | 5,2 a 10,40 | >10,4 | cmol _c dm ⁻³ |
| Saturação das Bases (V%)* | < 51,0 | 51,0 a 70,0 | > 70,0 | % |
| Produtividade da Soja (Prod)** | < 2,5 | 2,50 a 2,90 | >2,90 | t ha ⁻¹ |

* IAPAR (1998); ** EMBRAPA (2000).

Segundo a classificação, apresentada no Quadro 4 por IAPAR (1998), foram considerados como níveis médios, as médias das variáveis: fósforo disponível (P) e saturação das bases (V%) para 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML. As médias das variáveis: pH, K⁺, MO, Ca²⁺, Mg²⁺, S e T apresentaram altos teores para as três situações, indicando boa fertilidade do solo. A média da acidez potencial (H⁺+Al³⁺) apresentou-se alta para o ano de 1998-SML e médias baixas para o ano de 1999 (SML e CML). A produtividade média (Prod.) para o ano de 1998-SML foi de 2,75 t ha⁻¹, que segundo a EMBRAPA (2000) é considerada alta, enquanto no ano de 1999, no sistema SML e CML, as produtividades médias foram, respectivamente, de 2,17 t ha⁻¹ e 2,14 t ha⁻¹,

que são consideradas baixas. Este resultado pode ter sido provocado pela estiagem, que ocorreu no período de enchimento de grãos da soja, acarretando conseqüente diminuição na produtividade naquele ano.

Nos Quadros 5 a 7, estão apresentadas as matrizes dos coeficientes de correlação linear de Pearson amostral e seus respectivos níveis descritivos (p-valor) do teste de significância, para o ano de 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML, respectivamente. No Quadro 5, estudando a correlação da produtividade da soja com os atributos do solo, para o ano de 1998-SML, constatou-se que existe correlação linear significativa entre a produtividade da soja e o teor de potássio trocável e teor de água no solo, em nível de 5% de probabilidade (os p-valores desses teores são menores que 0,05).

Quadro 5. Matriz do coeficiente de correlação de Pearson - Ano 1998-SML

| Atributos químicos | Prod | P | K ⁺ | MO | pH | H ⁺ +Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------|
| P | -0,049 (0,439) | 1 | | | | | | |
| K ⁺ | 0,123* (0,049) | 0,283* (0,000) | 1 | | | | | |
| MO | -0,041 (0,510) | 0,235* (0,000) | 0,312* (0,000) | 1 | | | | |
| pH | 0,044 (0,480) | -0,228* (0,000) | -0,072 (0,251) | - 0,503* (0,000) | 1 | | | |
| H ⁺ +Al ³⁺ | -0,122 (0,052) | 0,292* (0,000) | 0,09 (0,153) | 0,555* (0,000) | -0,935* (0,000) | 1 | | |
| Ca ²⁺ | -0,034 (0,593) | 0,026 (0,684) | 0,172* (0,000) | -0,202* (0,001) | 0,562* (0,000) | -0,49* (0,000) | 1 | |
| Mg ²⁺ | 0,059 (0,350) | -0,113 (0,070) | 0,1 (0,111) | -0,264* (0,000) | 0,609* (0,000) | -0,63* (0,000) | 0,57* (0,000) | 1 |
| Umid | 0,15* (0,017) | 0,043 (0,496) | 0,142* (0,023) | 0,143* (0,022) | -0,23* (0,000) | 0,23* (0,000) | -0,17* (0,006) | -0,196* (0,002) |

p-valor: nível descritivo entre parênteses; *Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade; Não houve correlação da produtividade com as variáveis S, T e V.

Ao estudar a correlação da produtividade da soja com atributos do solo, para o ano de 1999-SML, constatou-se que existe correlação linear significativa entre a produtividade e teor de água no solo, embora este parâmetro seja uma medida pontual, obtida no dia da coleta das amostras para análise física do solo (Quadro 6).

No estudo da correlação da produtividade, apresentado no Quadro 7, constatou-se a ocorrência de correlação linear significativa entre a produtividade e o potencial hidrogeniônico, teor de magnésio trocável e teor água no solo, embora a umidade seja,

conforme já explicado, um parâmetro de medida pontual.

Ao estudar a correlação não paramétrica de Spearman, constatou-se que, para os dados obtidos no ano de 1998-SML, houve correlação significativa entre produtividade e teor de potássio trocável; acidez potencial e teor de água no solo.

Para o ano de 1999-SML, somente houve correlação significativa somente entre a produtividade e o teor de água do solo, enquanto no ano de 1999-CML, houve correlação significativa entre a produtividade e o potencial hidrogeniônico, teor de cálcio trocável, teor de magnésio trocável e teor água no solo.

Quadro 6. Matriz do coeficiente de correlação de Pearson - Ano 1999-SML

| Atributos químicos | Prod | P ⁺ | K ⁺ | MO | pH | H ⁺ +Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| P | -0,075 (0,399) | 1 | | | | | | |
| K ⁺ | 0,068 (0,445) | 0,219* (0,013) | 1 | | | | | |
| MO | 0,089 (0,318) | 0,218* (0,014) | 0,242* (0,006) | 1 | | | | |
| pH | -0,118 (0,185) | -0,019 (0,835) | -0,014 (0,879) | -0,268* (0,002) | 1 | | | |
| H ⁺ +Al ³⁺ | 0,080 (0,367) | 0,046 (0,605) | 0,066 (0,462) | 0,361* (0,000) | -0,841* (0,000) | 1 | | |
| Ca ²⁺ | -0,019 (0,831) | 0,094 (0,292) | 0,131 (0,141) | -0,077 (0,385) | 0,829* (0,000) | -0,706* (0,000) | 1 | |
| Mg ²⁺ | -0,085 (0,339) | -0,015 (0,864) | -0,027 (0,764) | -0,174* (0,050) | 0,894* (0,000) | -0,762* (0,000) | 0,918* (0,000) | 1 |
| Umid | 0,191* (0,031) | 0,136 (0,125) | 0,171 (0,054) | 0,252* (0,004) | -0,368* (0,000) | 0,420* (0,000) | -0,214* (0,015) | -0,301* (0,001) |

p-valor: nível descritivo entre parênteses; *Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade; Não houve correlação da produtividade com as variáveis S, T e V.

Quadro 7. Matriz do coeficiente de correlação de Pearson - Ano 1999-CML

| Atributos químicos | Prod | P | K ⁺ | MO | pH | H ⁺ +Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| P | 0,000 (0,996) | 1 | | | | | | |
| K ⁺ | -0,017 (0,852) | 0,255* (0,004) | 1 | | | | | |
| MO | 0,121 (0,172) | 0,161 (0,069) | 0,137 (0,124) | 1 | | | | |
| pH | -0,203* (0,022) | -0,096 (0,283) | -0,095 (0,285) | -0,302* (0,001) | 1 | | | |
| H ⁺ +Al ³⁺ | 0,135 (0,129) | 0,117 (0,187) | 0,055 (0,534) | 0,336* (0,000) | -0,878* (0,000) | 1 | | |
| Ca ²⁺ | -0,158 (0,075) | -0,023 (0,801) | -0,015 (0,863) | -0,034 (0,704) | 0,854* (0,000) | -0,781* (0,000) | 1 | |
| Mg ²⁺ | -0,184* (0,037) | -0,134 (0,132) | -0,106 (0,235) | -0,167 (0,059) | 0,927* (0,000) | -0,851* (0,000) | 0,906* (0,000) | 1 |
| Umid | 0,242* (0,006) | 0,108 (0,225) | 0,152 (0,088) | 0,191* (0,031) | -0,301* (0,001) | 0,326* (0,000) | -0,234* (0,008) | -0,271* (0,002) |

p-valor: nível descritivo entre parênteses; *Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade; Não houve correlação da produtividade com as variáveis S, T e V.

Análise espacial

Para a análise da estrutura de dependência espacial dos dados, foram utilizados semivariância estimada pelo método de Matheron (1965), para as variáveis que apresentaram distribuição normal de probabilidade, bem como o estimador de Cressie e Hawkins (1980), para as variáveis que não apresentaram distribuição normal de probabilidade.

Nos Quadros de 8 a 10, estão apresentados os modelos teóricos ajustados aos semivariogramas experimentais e a estimação de seus respectivos parâmetros, para o ano de 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML, respectivamente.

Segundo os dados apresentados no Quadro 8, para o ano de 1998-SML, a produtividade apresentou fraca dependência espacial ($\epsilon > 0,75$) (Souza, et al. (1999)), com um raio de dependência de 76,80 m (alcance). Os atributos químicos de teor de potássio trocável (K^+), fósforo disponível (P), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}), matéria orgânica (MO), soma das bases (S), saturação das bases (V) e teor de água no solo (Umid.), apresentaram moderada dependência espacial ($0,25 < \epsilon \leq 0,75$), com raio de dependência espacial variando entre 30,43

m a 100,0 m. Os atributos químicos capacidade de troca de cátions potencial (T), potencial hidrogeniônico (pH) e acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), apresentaram forte dependência espacial ($\epsilon \leq 0,25$), com raio de dependência espacial de 52,17 m, 82,6 m e 107,24 m, respectivamente.

Nos Quadros de 9 e 10, observa-se que, nos anos de 1999-SML e 1999-CML, a produtividade da soja e do teor de água no solo apresentaram fraca dependência espacial ($\epsilon > 0,75$), com raio de dependência espacial de 76,8 e 69,56 m, respectivamente, para as duas variáveis no sistema SML e raios de 149,2 e 54,4 m, respectivamente, para as duas variáveis regionalizadas no sistema CML.

A variável regionalizada teor de potássio trocável (K^+) indicou forte dependência espacial ($\epsilon \leq 0,25$) para 1999-SML e 1999-CML, apresentando raios de dependência espacial entre amostras de 49,27 m e 45,05 m, respectivamente.

As demais variáveis regionalizadas apresentaram moderada variabilidade espacial ($0,25 < \epsilon \leq 0,75$), com raios de dependência espacial variando de um mínimo de 20,0 até 109,31m, mostrando comportamento semelhante nos dois sistemas de manejo, no que diz respeito à variabilidade espacial dos dados no campo.

Quadro 8. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados e efeito pepita relativo para as variáveis regionalizadas do ano de 1998-SML

| Variáveis | Modelo | Efeito pepita (C_0) | Contribuição (C_1) | Patamar ($C_0 + C_1$) | Alcance (a) | Efeito pepita relativo (ϵ) |
|-----------------|-------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------------|
| P | Gaussiano* | 0,6 | 0,767 | 1,367 | 60,00 | 0,44 |
| K^+ | Esférico* | 0,0025 | 0,0056 | 0,0081 | 37,68 | 0,31 |
| MO | Esférico** | 16,038 | 30,619 | 46,657 | 100,0 | 0,34 |
| pH | Gaussiano* | 0,05 | 0,175 | 0,225 | 82,60 | 0,22 |
| $H^+ + Al^{3+}$ | Esférico* | 1,477 | 4,43 | 5,907 | 107,24 | 0,25 |
| Ca^{2+} | Esférico* | 1,071 | 0,689 | 1,76 | 33,33 | 0,61 |
| Mg^{2+} | Esférico* | 0,478 | 0,227 | 0,705 | 33,33 | 0,68 |
| S | Esférico* | 1,562 | 2,073 | 3,635 | 30,43 | 0,43 |
| T | Esférico* | 0,758 | 3,034 | 3,792 | 52,17 | 0,20 |
| V% | Esférico** | 70,491 | 86,155 | 156,646 | 76,81 | 0,45 |
| Umid | Esférico* | 0,403 | 0,148 | 0,551 | 69,56 | 0,73 |
| Prod | Gaussiano** | 0,188 | 0,045 | 0,233 | 76,80 | 0,81 |

$\epsilon = [C_0 / (C_0 + C_1)]$; estimador de Cressie e Hawkins (*); estimador de Matheron (**).

Quadro 9. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados e efeito pepita relativo para as variáveis regionalizadas do ano de 1999-SML

| Variáveis | Modelo | Efeito pepita (C ₀) | Contribuição (C ₁) | Patamar (C ₀ +C ₁) | Alcance (a) | Efeito pepita relativo (ε) |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|-------------|----------------------------|
| P | <i>Esférico*</i> | 0,673 | 0,52 | 1,193 | 34,78 | 0,56 |
| K ⁺ | <i>Esférico*</i> | 0,002 | 0,006 | 0,008 | 49,27 | 0,25 |
| MO | <i>Exponencial**</i> | 6,833 | 4,97 | 11,803 | 39,13 | 0,58 |
| pH | <i>Gaussiano*</i> | 0,077 | 0,137 | 0,214 | 82,6 | 0,36 |
| H ⁺ +Al ³⁺ | <i>Gaussiano**</i> | 0,621 | 1,425 | 2,046 | 84,05 | 0,30 |
| Ca ²⁺ | <i>Gaussiano**</i> | 0,378 | 0,267 | 0,645 | 46,37 | 0,59 |
| Mg ²⁺ | <i>Gaussiano*</i> | 0,207 | 0,186 | 0,393 | 52,17 | 0,53 |
| S | <i>Exponencial*</i> | 1,350 | 0,950 | 2,300 | 48,03 | 0,58 |
| T | <i>Gaussiano*</i> | 0,400 | 0,310 | 0,710 | 65,72 | 0,56 |
| V% | <i>Esférico**</i> | 57,44 | 27,35 | 94,79 | 83,42 | 0,60 |
| Umid | <i>Esférico**</i> | 1,98 | 0,148 | 2,128 | 69,56 | 0,93 |
| Prod | <i>Esférico*</i> | 0,161 | 0,045 | 0,206 | 76,80 | 0,78 |

ε = [C₀ / (C₀+C₁)]; estimador de Cressie e Hawkins (*); estimador de Matheron (**).

Quadro 10. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados e efeito pepita relativo para as variáveis do ano de 1999-CML.

| Variáveis | Modelo | Efeito pepita (C ₀) | Contribuição (C ₁) | Patamar (C ₀ +C ₁) | Alcance (a) | Efeito pepita relativo (ε) |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|-------------|----------------------------|
| P ⁺ | <i>Gaussiano*</i> | 0,711 | 0,396 | 1,107 | 71,80 | 0,64 |
| K ⁺ | <i>Esférico*</i> | 0,002 | 0,006 | 0,008 | 45,05 | 0,25 |
| MO | <i>Gaussiano*</i> | 6,113 | 3,861 | 9,974 | 100,0 | 0,61 |
| pH | <i>Exponencial*</i> | 0,081 | 0,046 | 0,127 | 74,60 | 0,64 |
| H ⁺ +Al ³⁺ | <i>Esférico**</i> | 0,922 | 0,39 | 1,312 | 74,62 | 0,70 |
| Ca ²⁺ | <i>Gaussiano**</i> | 0,443 | 0,194 | 0,637 | 45,05 | 0,70 |
| Mg ²⁺ | <i>Gaussiano**</i> | 0,183 | 0,164 | 0,347 | 20,00 | 0,53 |
| S | <i>Exponencial*</i> | 1,260 | 0,630 | 1,890 | 55,61 | 0,66 |
| T | <i>Esférico**</i> | 0,533 | 0,91 | 1,443 | 100,36 | 0,37 |
| V% | <i>Esférico**</i> | 46,455 | 68,12 | 114,575 | 109,31 | 0,41 |
| Umid | <i>Esférico*</i> | 5,19 | 0,148 | 5,338 | 54,40 | 0,97 |
| Prod | <i>Gaussiano*</i> | 0,149 | 0,045 | 0,194 | 149,2 | 0,77 |

ε = [C₀ / (C₀+C₁)]; estimador de Cressie & Hawkins (*); estimador de Matheron (**).

Nos quadros de 11 a 13, estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas cruzados, para verificar a correlação espacial entre a produtividade e cada atributo do solo em estudo, nos anos 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML, respectivamente.

No Quadro 11, estudando a correlação espacial entre a produtividade da soja e as variáveis regionalizadas K⁺, Ca²⁺, pH, H⁺+Al³⁺, MO, Umid, individualmente, verificou-se que, segundo o efeito pepita relativo, essas variáveis apresentaram fraca correlação espacial ($\epsilon > 0,75$) e raio de correlação espacial variando de 21,5 a 112,80 m. Entre a produtividade da soja e o teor de magnésio trocável (Mg²⁺) verificou-se moderada correlação espacial ($0,25 < \epsilon \leq 0,75$), com raio de correlação espacial, diretamente, proporcional (patamar positivo) de 106,30 m.

Finalmente, verificou-se independência espacial, para os dados obtidos no ano de 1998-SML, entre a produtividade da soja e as variáveis regionalizadas P, S, T e V%.

No Quadro 12 foram apresentados, para o ano de 1999-SML, o estudo da correlação espacial entre a produtividade da soja e as variáveis regionalizadas K⁺, P, pH e MO, observando-se independência espacial dessas variáveis com a produtividade. Para a correlação espacial entre a produtividade da soja e o teor de água do solo (Umid), verificou-se que o efeito pepita relativo ε apresentou moderada correlação espacial ($0,25 < \epsilon \leq 0,75$), com raio de correlação espacial de 102,20 m. Finalmente, entre a produtividade da soja e as variáveis Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺+Al³⁺, S, T e V%, verificou-se fraca correlação espacial ($\epsilon > 0,75$). Os raios de correlação espacial variaram de 9,10 m a 96,9 m.

Quadro 11. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas cruzados para as variáveis regionalizadas do ano de 1998-SML

| Variáveis | Modelo | Efeito pepita (C ₀) | Contribuição (C ₁) | Patamar (C ₀ +C ₁) | Alcance (a) | Efeito pepita relativo (ε) |
|---|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|-------------|----------------------------|
| Prod x P | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x K ⁺ | <i>Esférico</i> | 0,00001 | 0,0052 | 0,0052(+) | 40,70 | 0,998 |
| Prod x MO | <i>Esférico</i> | 0,00120 | 0,0820 | 0,0832 (+) | 108,30 | 0,986 |
| Prod x pH | <i>Esférico</i> | -0,00015 | -0,0039 | -0,0041(-) | 21,50 | 0,964 |
| Prod x (H ⁺ + Al ³⁺) | <i>Esférico</i> | -0,00140 | -0,1625 | -0,1639 (-) | 179,30 | 0,991 |
| Prod x Ca ²⁺ | <i>Esférico</i> | -0,00010 | -0,0505 | -0,0506 (-) | 35,70 | 0,998 |
| Prod x Mg ²⁺ | <i>Exponencial</i> | 0,02154 | 0,0216 | 0,0432 (+) | 106,30 | 0,501 |
| Prod x S | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x T | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x V% | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x Umid | <i>Exponencial</i> | 0,00450 | 0,1268 | 0,1313 (+) | 112,80 | 0,966 |

EPP: efeito pepita puro; diretamente proporcional com a produtividade (+); inversamente proporcional com a produtividade (-); distância máxima da área 190,08 m.

Quadro 12. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas cruzados para as variáveis regionalizadas do ano de 1999-SML

| Variáveis | Modelo | Efeito pepita (C ₀) | Contribuição (C ₁) | Patamar (C ₀ +C ₁) | Alcance (a) | Efeito pepita relativo (ε) |
|---|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|-------------|----------------------------|
| Prod x P | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x K ⁺ | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x MO | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x pH | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x (H ⁺ + Al ³⁺) | <i>Esférico</i> | - 0,00001 | -0,0050 | -0,0050 (-) | 15,00 | 0,998 |
| Prod x Ca ²⁺ | <i>Esférico</i> | 0,00001 | 0,0042 | 0,0042 (+) | 16,60 | 0,998 |
| Prod x Mg ²⁺ | <i>Esférico</i> | - 0,00001 | -0,0194 | -0,0194 (-) | 51,70 | 0,999 |
| Prod x S | <i>Exponencial</i> | - 0,00121 | -0,0232 | -0,0244 (-) | 96,90 | 0,950 |
| Prod x T | <i>Esférico</i> | - 0,00001 | -0,0114 | -0,0114 (-) | 9,10 | 0,999 |
| Prod x V% | <i>Esférico</i> | 0,0000 | 0,0010 | 0,0010 (+) | 15,20 | 0,999 |
| Prod x Umid | <i>Esférico</i> | 0,0501 | 0,0771 | 0,1272 (+) | 102,20 | 0,606 |

EPP: efeito pepita puro; diretamente proporcional com a produtividade (+); inversamente proporcional com a produtividade (-); distância máxima da área 190,08 m.

Quadro 13. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas cruzados para as variáveis regionalizadas do ano de 1999-CML

| Variáveis | Modelo | Efeito pepita (C ₀) | Contribuição (C ₁) | Patamar (C ₀ +C ₁) | Alcance (a) | Efeito pepita relativo (ε) |
|---|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|-------------|----------------------------|
| Prod x P | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x K ⁺ | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x MO | EPP | - | - | - | - | - |
| Prod x pH | <i>Exponencial</i> | -0,01250 | -0,0745 | -0,08700 (-) | 105,70 | 0,856 |
| Prod x (H ⁺ + Al ³⁺) | <i>Esférico</i> | 0,02780 | 0,1218 | 0,14960 (+) | 157,60 | 0,814 |
| Prod x Ca ²⁺ | <i>Esférico</i> | -0,00660 | -0,0961 | -0,10270 (-) | 110,40 | 0,936 |
| Prod x Mg ²⁺ | <i>Exponencial</i> | -0,00710 | -0,1472 | -0,15430 (-) | 114,10 | 0,954 |
| Prod x S | <i>Exponencial</i> | -0,013000 | -0,313 | -0,32600 (-) | 113,00 | 0,960 |
| Prod x T | <i>Esférico</i> | -0,00010 | -0,0509 | -0,05100 (-) | 97,90 | 0,998 |
| Prod x V | <i>Esférico</i> | -0,18700 | -1,138 | -1,32500 (-) | 142,80 | 0,859 |
| Prod x Umid | <i>Esférico</i> | 0,01820 | 0,1672 | 0,18540 (+) | 24,30 | 0,902 |

EPP: efeito pepita puro; diretamente proporcional com a produtividade (+); inversamente proporcional com a produtividade (-); distância máxima da área 190,08 m.

No Quadro 13, verifica-se independência espacial para o ano de 1999-CML da produtividade da soja com o K^+ , o P e com a MO. Para as demais variáveis regionalizadas, observou-se fraca correlação espacial ($\epsilon > 0,75$), com raios de dependência espacial acima de 97 m, com exceção do teor de água do solo, que apresentou raio de dependência espacial de 24,3 m com a produtividade.

Após a análise da estrutura espacial das variáveis, foram construídos mapas de contorno utilizando como interpolador a krigagem. Posteriormente, estes mapas, foram reclassificados segundo a classificação dada pelo IAPAR (1998) e EMBRAPA (2000), apresentados no Quadro 4 e graficamente representados nas Figuras 2 a 13. Desta forma, cada mapa gerado foi reclassificado em três níveis: baixo (0), médio (1) e alto (2).

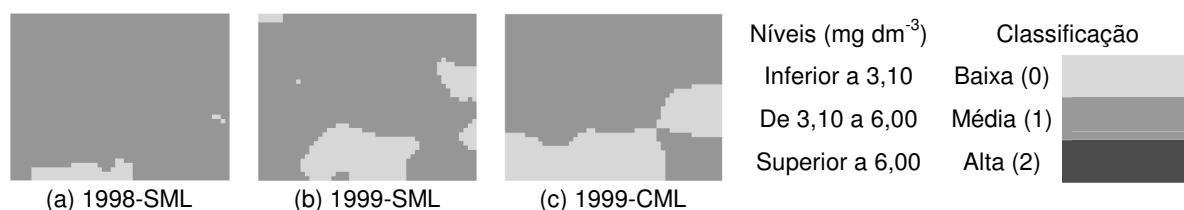


Figura 2. Distribuição espacial reclassificada do fósforo disponível (P)



Figura 3. Distribuição espacial reclassificada do potássio trocável (K^+)

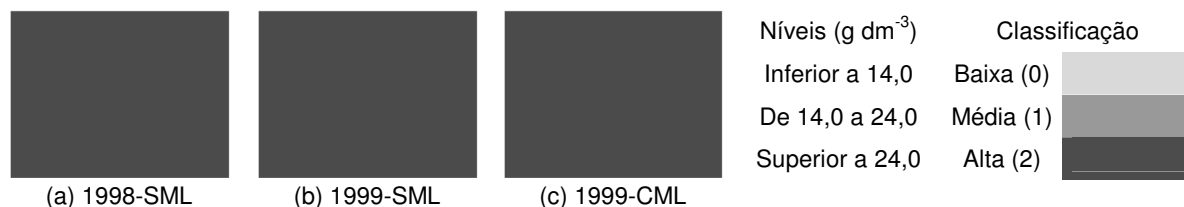


Figura 4. Distribuição espacial reclassificada da matéria orgânica (MO)

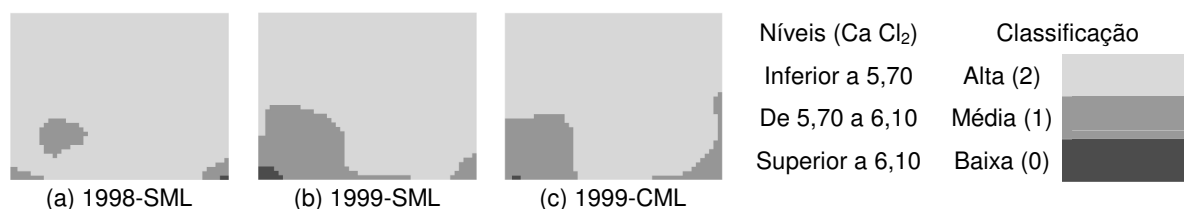


Figura 5. Distribuição espacial reclassificada do potencial hidrogeniônico (pH).

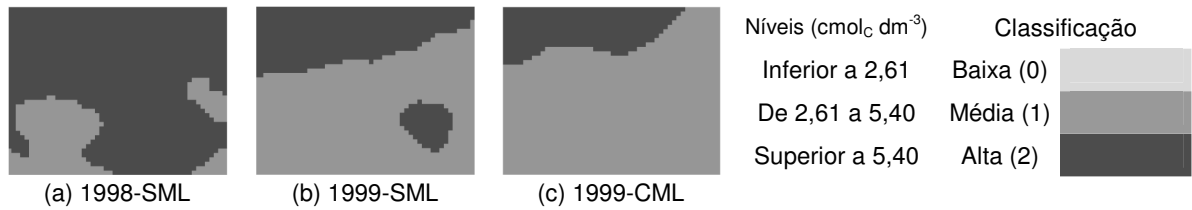


Figura 6. Distribuição espacial reclassificada da acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$)



Figura 7. Distribuição espacial reclassificada do cálcio trocável (Ca^{2+})



Figura 8. Distribuição espacial reclassificada do magnésio trocável (Mg^{2+})



Figura 9. Distribuição espacial reclassificada da soma de bases (S)



Figura 10. Distribuição espacial reclassificada da capacidade de troca de cátions potencial (T)

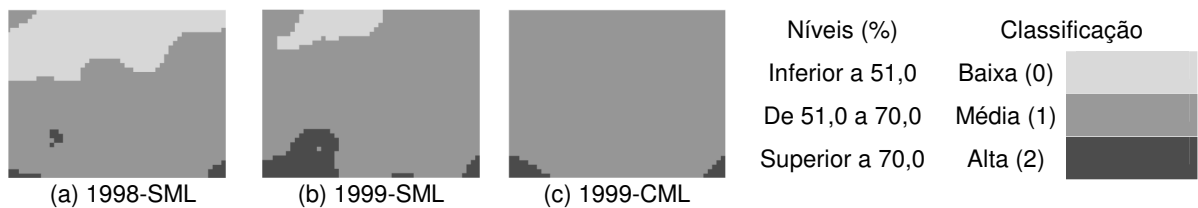


Figura 11. Distribuição espacial reclassificada da saturação de bases (V%)

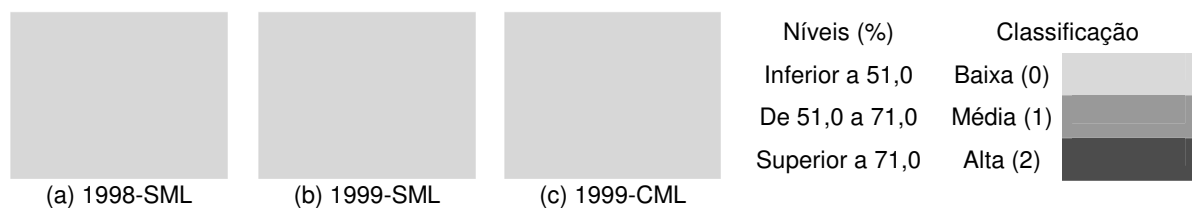


Figura 12. Distribuição espacial reclassificada do teor de água do solo (Umid)

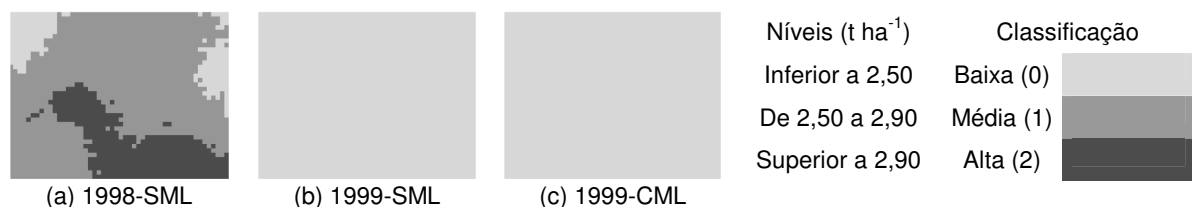


Figura 13. Distribuição espacial reclassificada da produtividade (Prod)

Após a confecção dos mapas reclassificados, quantificou-se o percentual (%) referente a cada um dos três níveis (baixo, médio, alto) para cada um dos mapas gerados, para os anos de 1998-SML (a), 1999-SML (b) e 1999-CML (c), obtendo-se os dados apresentados na Quadro 14. Cada mapa foi analisado, segundo os 1900 pontos interpolados pelo processo de krigagem.

Para as variáveis regionalizadas matéria orgânica (MO), magnésio (Mg²⁺), soma de bases (S) e capacidade de troca de cátions potencial (T), já haviam sido observadas (Figuras 4, 8, 9 e 10) e confirmadas no Quadro 14 que 100% da área, para os anos de 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML, apresentavam altos teores de cada nutriente no solo.

A variável regionalizada fósforo disponível (P⁺) apresentou baixo e médio teor, nas três situações em estudo. Em 1998-SML, observou-se que 95,7 % da área apresentavam médio e o restante (4,3 %) baixo teor de fósforo. Para 1999-SML, em que se aplicou a quantidade média das 128 parcelas em todas as parcelas, verificou-se que o teor de fósforo disponível médio baixou para 81,8 % da área, aumentando, conseqüentemente, para 18,2 % da área a proporção da área com baixo teor de fósforo disponível. Para 1999-CML, em que se aplicou a quantidade específica requerida para cada uma das 128 parcelas, observou-

se que diminuiu ainda mais a proporção da área com médio teor de fósforo (72,2 %), aumentando para 27,8 % a proporção da área com baixo teor de fósforo disponível.

A variável regionalizada potássio trocável apresentou médio e alto teor para as três situações em estudo. Para 1998-SML e 1999-CML, 100 % da área apresentava alto teor de potássio, proporção esta que diminuiu para 85,4 % da área para 1999-SML, restando, conseqüentemente, 14,6 % da área com médio teor de potássio para este ano e para este sistema de cultivo.

Para a variável regionalizada potencial hidrogeniônico (pH), conforme observado no Quadro 4 e visualizado na Figura 5, uma proporção de área de 94,7 %; 82,0 % e 84,3 % foi classificada como pH alto, respectivamente para os anos de 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML. Observou-se, também, que somente 0,1 %; 0,8 % e 0,1 % da área apresentaram pH baixo, respectivamente. O restante (5,2%; 17,1% e 15,6%) da área apresentou, pH médio, respectivamente.

A acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) apresentou teor médio em 20,1% da área e alto teor em 79,9% da área em estudo para 1998-SML. Para 1999-SML e 1999-CML, observou-se que 65,3% e 79,7% da área apresentaram, respectivamente, médios teores, enquanto, nos outros 34,7% e 20,3% da área, esta variável foi classificada como alta.

Quadro 14. Percentual da área nos níveis de classificação do IAPAR (1998) e EMBRAPA (2000) relativos aos anos de 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML

| Variáveis e períodos | Nível baixo (0) | Nível médio (1) | Nível alto (2) |
|--|-----------------|-----------------|----------------|
| P (mg dm ⁻³) | < 3,10 | De 3,10 a 6,00 | > 6,00 |
| 1998-SML | 4,3% | 95,7% | - |
| 1999-SML | 18,2% | 81,8% | - |
| 1999-CML | 27,8% | 72,2% | - |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | < 0,11 | De 0,11 a 0,20 | > 0,20 |
| 1998-SML | - | - | 100% |
| 1999-SML | - | 14,6% | 85,4% |
| 1999-CML | - | - | 100% |
| MO (g dm ⁻³) | < 14,0 | De 14,0 a 24,0 | > 24,0 |
| 1998-SML | - | - | 100% |
| 1999-SML | - | - | 100% |
| 1999-CML | - | - | 100% |
| pH (Ca Cl ₂) | > 6,10 | De 5,70 a 6,10 | < 5,70 |
| 1998-SML | 0,1% | 5,2% | 94,7% |
| 1999-SML | 0,8% | 17,1% | 82,0% |
| 1999-CML | 0,1% | 15,6% | 84,3% |
| H ⁺ +AL ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | < 2,61 | De 2,61 a 5,40 | > 5,40 |
| 1998-SML | - | 20,1% | 79,9% |
| 1999-SML | - | 65,3% | 34,7% |
| 1999-CML | - | 79,7% | 20,3% |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | < 2,11 | De 2,11 a 4,00 | > 4,00 |
| 1998-SML | - | 2,2% | 97,8% |
| 1999-SML | - | 1,2% | 98,8% |
| 1999-CML | - | - | 100% |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | < 0,41 | De 0,41 a 0,80 | > 0,80 |
| 1998-SML | - | - | 100% |
| 1999-SML | - | - | 100% |
| 1999-CML | - | - | 100% |
| S (cmol _c dm ⁻³) | < 2,61 | De 2,61 a 5,40 | > 5,40 |
| 1998-SML | - | - | 100% |
| 1999-SML | - | - | 100% |
| 1999-CML | - | - | 100% |
| T (cmol _c dm ⁻³) | < 5,20 | De 5,20 a 10,40 | > 10,40 |
| 1998-SML | - | - | 100% |
| 1999-SML | - | - | 100% |
| 1999-CML | - | - | 100% |
| V (%) | < 51,0 | De 51,0 a 70,0 | > 70,0 |
| 1998-SML | 14,7% | 82,7% | 2,6% |
| 1999-SML | 6,5% | 88,2% | 5,3% |
| 1999-CML | - | 96,2% | 3,8% |
| Produtividade (t ha ⁻¹) | < 2,50 | De 2,50 a 2,90 | > 2,90 |
| 1998-SML | 10,8% | 67,6% | 21,6% |
| 1999-SML | 100% | - | - |
| 1999-CML | 100% | - | - |

Para o cálcio trocável em 1999-CML, toda a área foi classificada como apresentando alto teor de cálcio, proporção está semelhante ao que ocorreu para 1999-SML com 98,8% e 1998-SML com 97,8% da área, sendo que o restante dessas áreas apresentaram médio teor de cálcio.

Para a produtividade da soja no ano de 1999, nos sistemas de manejo SML e CML, observou-

se que toda a área foi classificada como sendo de baixa produtividade. Para o ano de 1998-SML, entretanto, observou-se que 10,8 % da área haviam apresentado baixa produtividade, 67,6% da área média produtividade e 21,6% da área alta produtividade de soja. A visualização espacial disto está claramente, apresentada na Figura 13.

CONCLUSÕES

Pela análise de correlação espacial do semivariograma cruzado das variáveis regionalizadas com a produtividade para as três situações analisadas (1998 Sem Manejo Localizado 1998-SML, 1999 Sem Manejo localizado 1999-SML e 1999 Com Manejo Localizado 1999-CML), o magnésio trocável em 1998-SML e o teor de água do solo para 1999-SML apresentaram moderada variabilidade espacial. Verificou-se, também, que para 1998-SML, o fósforo disponível, soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação de bases apresentaram independência espacial com a produtividade. Para 1999-SML e 1999-CML, houve independência espacial da produtividade com o potássio trocável, fósforo disponível, matéria orgânica e pH somente para 1999-SML.

Os mapas gerados e reclassificados permitiram melhor visualização espacial de cada variável regionalizada, facilitando, assim, o gerenciamento da propriedade.

Como a grande maioria dos atributos químicos apresentaram-se com altos teores, observa-se que a área tem bom padrão de fertilidade e o gerenciamento localizado da aplicação dos nutrientes (CML) pode diminuir os gastos com fertilizante, aumentando, assim, a lucratividade da área, visto que algumas regiões da área não necessitam de nutrientes.

AGRADECIMENTOS

A CNPq, Fundação Araucária do Paraná pelo apoio financeiro e a COODETEC pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRESSIE, N.; HAWKINS, D. M. **Robust estimation of the variogram: I. Mathematical Geology**, v 12, p. 115-125, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Agricultura de precisão para a recomendação de adubação da soja sob plantio direto. Publicado no site em 07/08/2000, disponível em <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/pr oj 04/proj 04.html>. Acesso em 29/07/2004.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - Níveis de Interpretação de Resultados, In: Análises do Solo; tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados. EMATER-Paraná, Curitiba, 1998. 5ª edição. 64p.

KRUGMAN, P. **A Model of Innovation Transfer, and Word Distribution of Income.** Journal of Political Economy. p. 253-266, 1987.

MANTOVANI, E. C. (Coord.). **Desenvolvimento, ajustes e aplicação de técnicas de agricultura de precisão para o aumento de eficiência e redução de impactos ambientais de sistemas de produção agrícola sob plantio direto.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 1999-2002. v. 1 (Projeto PRODETAB 030-01/99).

MATHERON, G. **Les Variables Regionalisées et leur Esmetimation.** Paris, Masson. 1965, 212p.

SOUZA, E. G.; JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; RIBEIRO, S.R.A.; SILVA, M. S.; OPAZO, M.A.U.; MOLIN, J. P.; OLIVEIRA, E. F.; NÓBREGA, L. H. P. **Análise da variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área experimental Parte I: Análise do P, K, MO, e pH.** In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, p.80-92, 1999.