

## **Correlação espacial de atributos químicos de um Latossolo argiloso sob sistema plantio direto e rendimento de grãos da cultura do milho**

Guilherme Gabriel Ruffato<sup>1</sup>; Aracéli Ciotti de Marins<sup>2</sup>; Deonir Secco<sup>1</sup>; Helton Aparecido Rosa<sup>3</sup>; Reginaldo Ferreira Santos<sup>1</sup>

**Resumo:** Otimizar o uso de insumos agrícolas, especialmente dos fertilizantes químicos, é de fundamental importância para o aumento da rentabilidade do produtor. Neste trabalho objetivou-se verificar a existência de correlação espacial dos macronutrientes do solo: Cálcio, potássio, magnésio, fósforo e enxofre com o rendimento de grãos da cultura do milho. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico e o experimento foi conduzido em área de lavoura comercial de milho sob sistema plantio direto, no município de Cascavel-PR. As amostras de solo para análises dos macronutrientes foram coletadas na camada de 0-0,1m sendo selecionados 81 pontos amostrais georreferenciados, espaçados em 11 metros de distância mínima entre si. Para análise estatística dos dados foi utilizado o software R, com distribuição livre e o Pacote GeoR para avaliação da correlação espacial entre os macronutrientes do solo e o rendimento do milho, além de gerar mapas de krigagem para as variáveis que apresentaram dependência espacial entre as amostras. Entre as variáveis estudadas todas apresentaram dependência espacial. Apenas o potássio não apresentou correlação espacial com o rendimento de grãos de milho.

**Palavras-chave:** Dependência espacial; fertilidade do solo; agricultura de precisão.

## **Spatial correlation of chemical attributes of a clayey Oxisol under no tillage and yield of maize grain**

**Abstract:** Optimize the use of agricultural inputs, especially chemical fertilizers, it is crucial for increasing the profitability of the producer. This work aimed to verify the existence of spatial correlation of soil macronutrients: calcium, potassium, magnesium, phosphorus and sulfur with the grain yield of corn. The soil of the area was classified as typical Hapludox and the experiment was conducted in the area of commercial crops of corn under no-tillage, in Cascavel - PR. Soil samples for analyzes of macronutrients were collected in 0-0,1m layer being selected 81 georeferenced sampling points spaced at 11 meters minimum distance from each other. For statistical analysis we used the R software, with free distribution and GeoR package for evaluation of spatial correlation between soil macronutrients and corn yield and generate maps kriging for the variables presented spatial dependence between samples. Among the variables studied all presented spatial dependence. Only potassium showed no spatial correlation with the yield of corn grain.

**Keywords:** spatial dependence; soil fertility; precision agriculture.

### **Introdução**

De acordo com Machado *et al.* (2007), grandes áreas agrícolas são consideradas homogêneas na agricultura brasileira, sendo aplicadas doses de fertilizantes e insumos

---

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Cascavel – Paraná.

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Toledo – Paraná.

<sup>3</sup>Centro Universitário Assis Gurgacz, FAG - Cascavel – Paraná.

agrícolas considerando uma necessidade média. Como consequência deste fato, há um desbalanço no uso de fertilizantes, o que pode comprometer o rendimento de grãos.

A interação lavoura/tecnologia abre um grande mercado para empresas especializadas no uso de técnicas como a agricultura de precisão, porém devido aos custos de implantação desta tecnologia dificilmente encontramos pequenos agricultores que adotam essa prática, mais comum encontrarmos em grandes áreas agrícolas com maior preocupação com a relação custo benefício (CORREA *et al.*, 2001). Existem inúmeras inovações que favorecem a utilização da agricultura de precisão, mas ainda estamos em processo de conhecimento. Segundo Manzatto *et al.* (1999), o principal conceito é aplicar os insumos no local correto, no momento adequado, em quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos.

A fertilidade está interligada diretamente com a produção, a disponibilidade de nutrientes contribui para maior produtividade e, quanto melhor a fertilidade, melhor será a produção, entretanto a falta de nutrientes poderá acarretar em sérios prejuízos à produção. Assim, a obtenção de altos rendimentos em grãos é de suma importância para tornar uma cultura economicamente viável. E a fertilidade é um condicionante da produtividade, e por isso o entendimento da necessidade da planta tem o intuito adequar a adubação para conseguir maiores rendimentos, maximizando os retornos econômicos da cultura (SIMONETE *et al.*, 2003).

Atualmente há aumento na realização de estudos na área de variabilidade espacial de atributos do solo que influenciam no rendimento de grãos das culturas agrícolas, sobretudo nas lavouras em que é utilizado o Sistema Plantio Direto. Já constata-se que a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo aumenta com a semeadura direta (ZANÃO *et al.*, 2007), justificando assim a análise destes atributos que refletem na fertilidade do mesmo.

A heterogeneidade do solo é uma propriedade intrínseca. Assim, uma área em condição natural ou cultivada apresentará de acordo com o uso e manejo do solo e suas propriedades físicas, químicas e biológicas, maior ou menor heterogeneidade, podendo sua variabilidade ser alta ou baixa (FORSYTHE, 1970) e assim, conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo para que se possa manejá-lo corretamente.

O milho representa um dos principais cereais em todo mundo, sendo cultivado em pequenas, médias e grandes propriedades (FANCELLI e DOURADO, 2000). É um alimento que se caracteriza por se destinar tanto para o consumo humano como para os animais. Na realidade, o uso do milho em grão para alimentação animal representa a maior parte do

consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo (DUARTE *et al.*, 2012).

O objetivo do trabalho foi verificar a dependência espacial entre os macronutrientes do solo e o rendimento de grãos na cultura do milho.

### Material e Métodos

O experimento foi instalado no ano de 2013, em uma área de um hectare pertencente ao Centro Universitário FAG, na cidade de Cascavel – PR. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura argilosa a muito argilosa, substrato basalto e relevo ondulado suave de acordo com EMBRAPA (2006). A declividade média do local do experimento é de 3%. Para a instalação do grid experimental, foram selecionados 81 pontos amostrais, georreferenciados com o uso de um GPS Garmim, modelo 60CSx.

Amostras de solo para a caracterização química foram coletadas na camada de 0 – 0,1m com intuito de determinar os seguintes nutrientes: cálcio (Ca: cmol<sub>l</sub>/l), potássio (K: mg/l), magnésio (Mg: cmol<sub>l</sub>/l), fósforo (P: mg/l) e enxofre (S: mg/l). As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Rotina da Universidade Federal de Santa Maria UFSM.

O plantio do milho foi realizado com a cultivar 30 F 53 PIONNER com adubação de base de 605 kg ha<sup>-1</sup> de MAP (mono amônio fosfato), a colheita foi realizada em duas fileiras centrais de 2 metros de comprimento em cada ponto georreferenciado. Em seguida as espigas foram trilhadas e pesadas para determinar a massa de grãos em que os resultados do rendimento de grãos de milho obtidos estão expressos em Mg ha<sup>-1</sup>, com umidade corrigida para 13%.

Para análise estatística foi utilizado o Pacote GeoR do software R. Foi feita uma análise estatística descritiva e avaliada a estrutura de dependência espacial dos dados utilizando o estimador de Matheron (Matheron, 1962). As semivariâncias foram calculadas utilizando um cutoff de 50% da distância máxima.

Foram utilizados os métodos dos mínimos quadrados ordinários (OLS) para o ajuste dos semivariogramas, que foram ajustados aos modelos teóricos exponencial, gaussiano e esférico. Para avaliação da correlação espacial entre as propriedades químicas do solo e o rendimento de grãos do milho, foi utilizado o semivariograma cruzado, apresentado na Equação:

$$\hat{\gamma}_{1,2}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z_1(x_i) - z_1(x_i + h)] [z_2(x_i) - z_2(x_i + h)]$$

Em que:

$\hat{\gamma}_{1,2}$ : valor da semivariância cruzada entre as variáveis  $Z_1$  e  $Z_2$ ,

$N(h)$ : número de pares separados por uma distância  $h$ ,  $s$ : ponto amostral georreferenciado.

### Resultados e Discussão

Segundo Pimentel-Gomez e Garcia (2002), para valores de coeficiente de variação em experimentos existem quatro classes distintas: de  $0\% < CV \leq 10\%$  (baixo),  $10\% < CV \leq 20\%$  (médio),  $20\% < CV \leq 30\%$  (alto) e  $CV > 30\%$  (muito alto).

No experimento as variáveis S e Rendimento de grãos, apresentaram coeficiente de variação médio (entre 10% e 20%), o Mg e Ca apresentaram valores altos, enquanto K e P apresentaram coeficientes de variação considerados muito altos (Tabela 1). A possível explicação deve estar associada ao histórico de cultivo ou a eventual carreamento de nutrientes com a água de escoamento superficial, que podem ter contribuído para uma maior variabilidade espacial destes elementos.

**Tabela 1** - Apresentação de variáveis com, mínimo, máximo média e coeficiente de variação (CV).

Variável	Mín	Máx	Média	CV	a	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	GD	Dependência
Ca	2,8	9,8	6,81	21	35	0,5	2,5	80,0	Forte
K	44,0	420,0	155,5	43,1	-	-	-	-	-
Mg	1,2	4,0	2,43	26,2	10	0,2	0,2	4,8	Fraca
P	2,2	76,0	17,05	92,5	10	0,05	0,13	61,5	Moderada
S	18,3	40	26,68	17,8	30	12	20	40,0	Moderada
Rendimento	6,8	15,2	9,57	15,4	30	10	20	50,0	Moderada

Valores mínimos, máximos e médios de P (mg/l), K (mg/l), Ca (cmol/l), Mg (cmol/l), S (mg/l), e valores do coeficiente de variação (CV) em (%), a: alcance C<sub>0</sub>: efeito pepita, C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>: patamar, GD: grau de dependência.

Todos os atributos em estudo apresentaram estrutura de dependência espacial seguindo modelo exponencial, de moderada a forte, exceto o magnésio que apresentou fraca dependência espacial e o potássio que não apresentou dependência (Tabela 1).

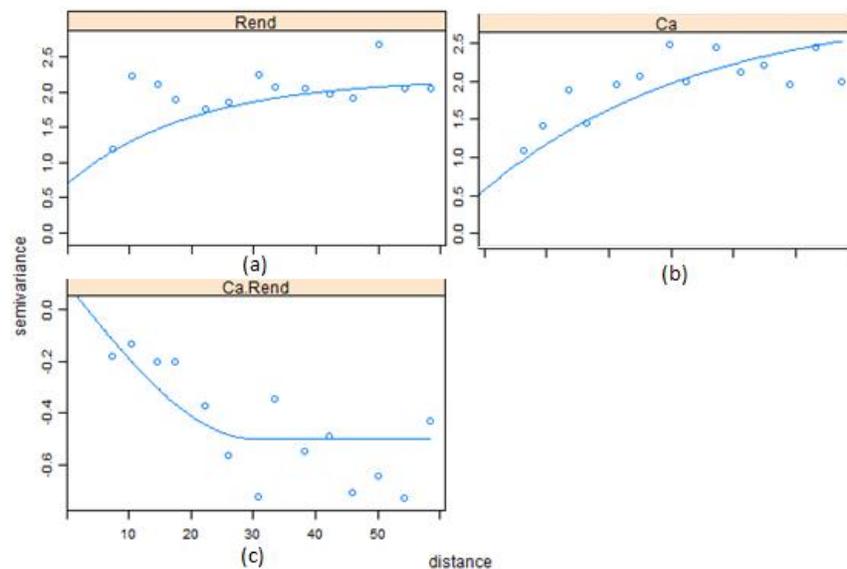
De acordo com Cambardella *et al.* (1994), atributos com forte dependência espacial sofrem maior influência de propriedades do solo como textura e mineralogia, enquanto os de fraca dependência sofrem influência de fatores externos de manejo de solo como aplicações de fertilizantes e sistemas de preparo e cultivo.

Silva *et al.* (2003), ao estudarem dependência espacial entre atributos químicos e produtividade do milho concluíram que todas as variáveis, inclusive o rendimento de grãos apresentou dependência espacial. Amado *et al.* (2009) também avaliaram a variabilidade

especial de atributos químicos e rendimento de grãos do milho e, verificaram que todos os atributos em estudo e o rendimento de grãos apresentaram dependência espacial.

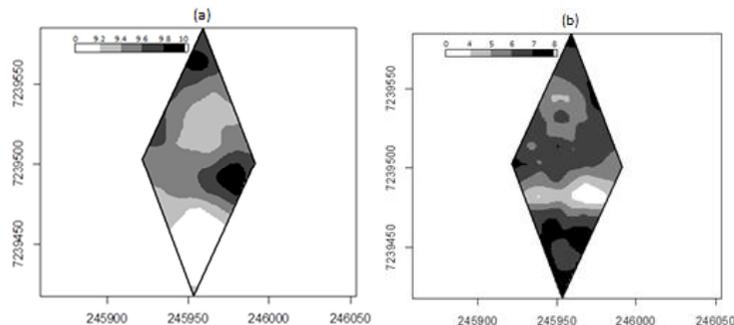
Conforme a Figura 1, o Ca teve uma correlação inversa ao rendimento de grãos, o nutriente pode contribuir para o aprofundamento do sistema radicular do milho, facilitando a absorção de água e de nitrato presente no subsolo, a causa do baixo rendimento de grãos pode ser explicado por outro nutriente que influenciou diretamente no rendimento de grãos (BASTOS, 1987).

**Figura 1** - Semivariograma do Rendimento de grãos do milho (a) do cálcio (b) e Semivariograma Cruzado entre o rendimento e Cálcio (c).



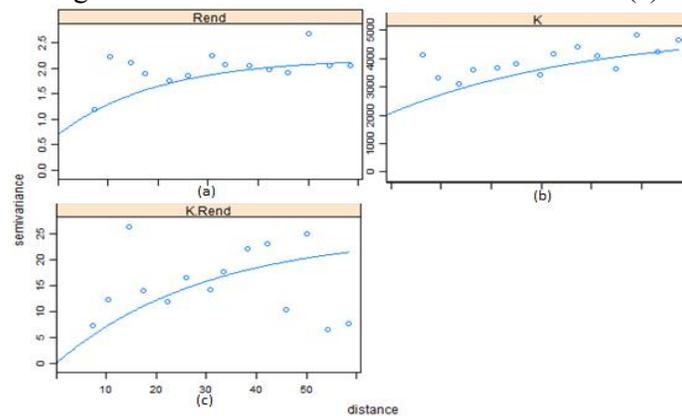
Na Figura 2 observa-se uma elevada concentração do Ca em quase toda a área, com exceção de uma pequena área central que teve concentração inferior onde também pode se observar o maior rendimento de grãos assim justificando a correlação indireta entre o rendimento e os teores de Ca.

**Figura 2** - Mapa de krigagem do rendimento de grãos do milho (a) e do Cálcio (b).



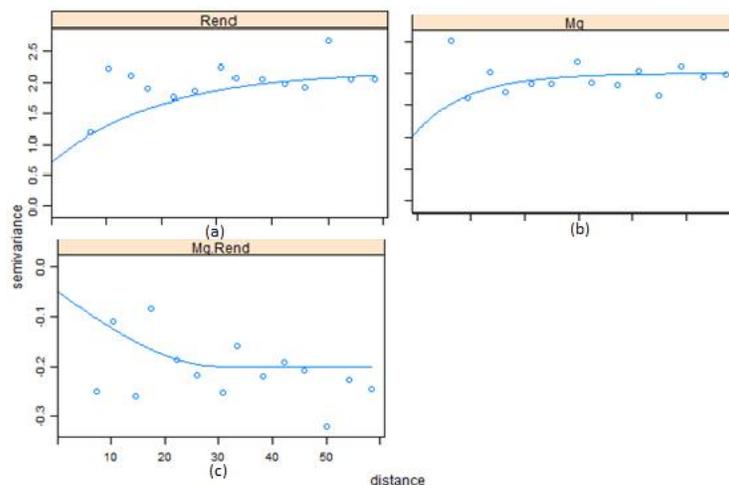
Na Figura 3 observa-se que o K teve correlação direta com o rendimento de grãos, o potássio é o segundo nutriente mais absorvido pela planta segundo Coelho e França (2006), assim ele é responsável pela saúde em geral da planta, também para o enchimento de grãos e fixação do mesmo nas espigas ocasionando em melhor produtividade. Como o K não apresentou dependência espacial na área experimental, por esse motivo não será apresentado o mapa de krigagem.

**Figura 3** - Semivariograma do Rendimento de grãos do milho (a) e do Potássio (b) e Semivariograma Cruzado entre o rendimento e Potássio (c).



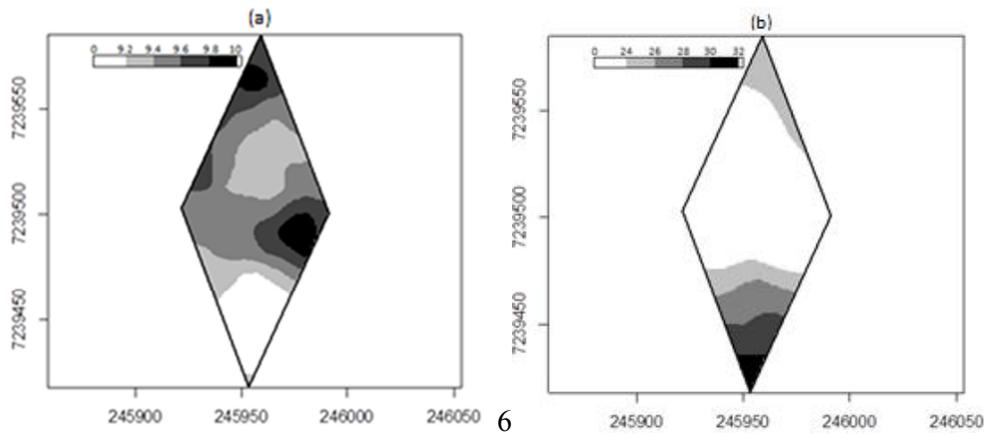
A Figura 4 mostra uma correlação inversa entre o Mg e o rendimento de grãos, possivelmente pela influência direta de outro nutriente pois o segundo Vieira e Junior *et al.* (2006) o atributo Mg não age diretamente na planta, mas sim na mobilidade de fósforo dentro da planta o que pode ocasionar o possível queda de rendimento de grãos.

**Figura 4** - Semivariograma do Rendimento de grãos do milho (a) e do Magnésio (b) e Semivariograma Cruzado entre o rendimento e Magnésio (c).



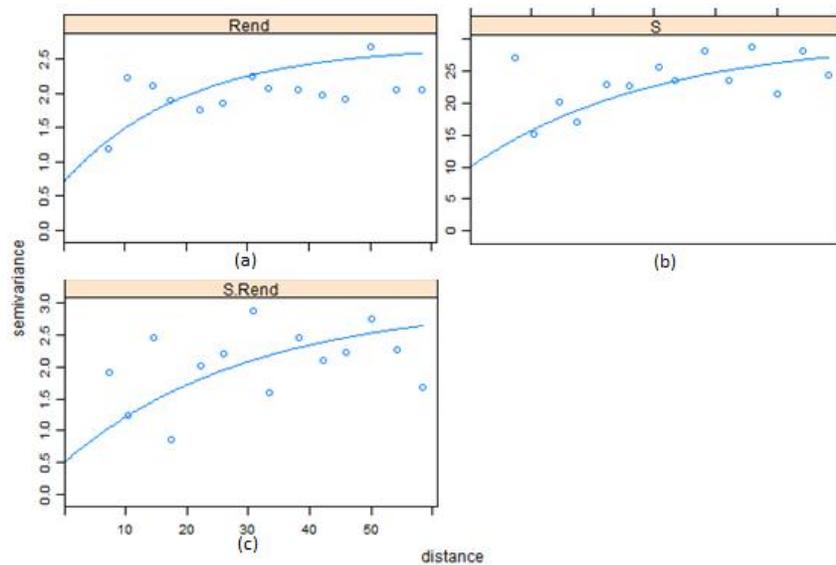
A concentração de Mg na área (Figura 5), mostra que existe uma maior concentração do nutriente na parte inferior do mapa onde pode-se constatar o menor rendimento de grãos.

**Figura 5** - Mapa de krigagem do rendimento de grãos do milho (a) e do Magnésio (b)

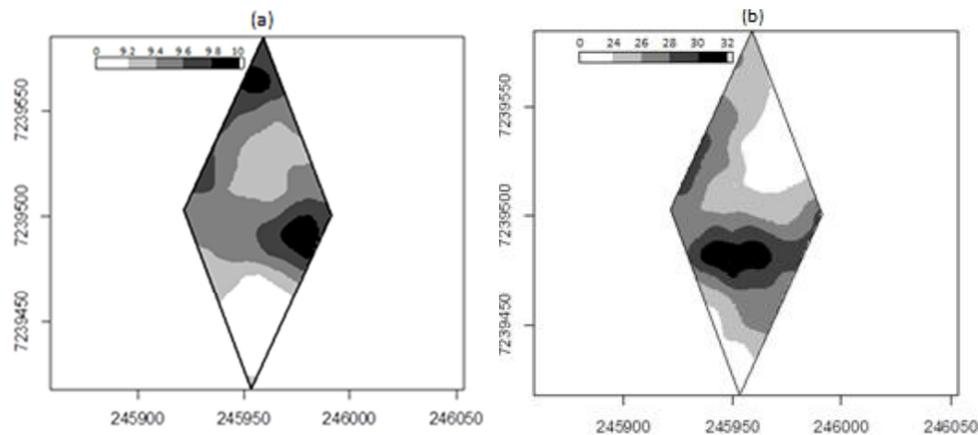


A Figura 6 mostra o semivariograma do rendimento de grãos em relação ao S, onde existe uma correlação direta entre eles. O atributo está associado aos níveis de açúcares na planta, sendo que em plantas deficientes diminuem a atividade fotossintética promovendo a queda na produção (MENGEL e KIRKBY, 1987). O mapa de krigagem apresentado na Figura 7 mostra que houve uma maior concentração do atributo na área central do mapa onde pode-se observar uma pequena elevação no rendimento de grãos mas em algumas partes onde se tem uma maior concentração do atributo identifica-se uma produtividade menor.

**Figura 6** - Semivariograma do Rendimento de grãos do milho (a) e do Enxofre (b) e Semivariograma Cruzado entre o rendimento e Enxofre (c).



**Figura 7** - Mapa de krigagem do rendimento de grãos do milho (a) e do Enxofre (b).



### Conclusões

Entre as variáveis estudadas todas apresentaram dependência espacial, exceto a variável K, que não apresentou a correlação espacial do rendimento de grãos de milho.

No rendimento de grãos podemos observar que o Potássio e o Enxofre tiveram uma relação direta com o rendimento de grãos.

### Referências

AMADO, T.J.C.; PES, L.Z.; LEMAINSKI, C.L.; SCHENATO, R.B. Atributos químicos e físicos de um Latossolo e sua relação com o rendimento de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 831-843, 2009.

BASTOS, Edna. Guia para o cultivo do milho. 1 ed. **Editora: CONE** (1987).

BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho Fatores que afetam a produtividade**. Editora: POTAFOS. Vitória – ES (1990) 1 ed.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society**, 58:1501-1511, 1994.

CORRÊA, H. L.; GIANESI I. G.; CAON M. Planejamento, programação e controle da produção. São Paulo: **Atlas 1** (2001).

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. **Cultivo do Milho: Economia da Produção**. EMBRAPA Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 8ª ed. (2012).

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. V. **Nutrição e adubação do milho**. EMBRAPA Milho e Sorgo. 2006

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA (2006).

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. **Guaíba: Agropecuária**, v.18, p. 360, (2000).

FORSYTHE, W. M. Importância de la variabilidad de las propiedades del suelo para evaluarles en su manejo. **Turrialba** (1970), ISSN 20:445-451.

MACHADO, L.O.; LANA, A.M.Q.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; FERREIRA, C.V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob Sistema Plantio Convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, p. 591-599, 2007.

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P. Melhoramento e produção do milho no Brasil: NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DO MILHO. Editor: PATERNIANI, E. Piracicaba/ESALQ. **Marprint**, (1978). 650 p. ilus CDD-575.1

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos**. EMBRAPA Solos, (1999).

MATHERON, G. **Traite de geoestatistique appliquée**, v. 1, 1962.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. Bern, **International Potash Institute**, (1987)

PIMENTEL-GOMEZ, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309 p.

SILVA, V.R. ; REICHERT, J.M. ; STORCK, L. ; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade do milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A. & TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38:1187-1195, 2003.

VIEIRA JUNIOR, P. A. et al. População de plantas e alguns atributos do solo relacionados ao rendimento de grãos de milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n. 4,p. 483-492, Oct/Dec., 2006.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.1000-1007, 2007.