

Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo

Egas Jose Armando¹; Anamari Viegas De Araújo Motomiya²; Carlos Cesar Silva Jardim³; Rosilene Oliveira dos Santos³; Rogerio Alves de Oliveira⁴

¹ Licenciatura em Produção Agrícola, mestrando em Engenharia Agrícola, UFGD; ² Profa. Doutora na Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD; ³ Eng. Agrônomo (a), mestrando em Engenharia Agrícola, UFGD; ³; ⁴ Eng. Agrícola, mestrando em Engenharia Agrícola, UFGD.

Resumo

A variabilidade espacial dos atributos de solos, com maior ênfase para os químicos sempre existiu deste o processo de formação dos solos. Porém, com a ocupação e exploração da terra para finalidade diversas, tornou-se mais acentuada. Objetivou-se avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob sistema de manejo de semeadura direta. Foram coletados 85 pontos georeferenciados, usando uma grade quadrangular de 50m sendo que em cada ponto da grade foram coletadas 10 sub-amostras de solo num raio de 2m para a composição de uma amostra na profundidade (0.0 – 0.2 m). Após a coleta as amostras de solo foram secadas, passadas em peneiras de abertura de malha de 4 mm, homogeneizadas e submetidas à análise para caracterização química de Fósforo (P), Carbono Orgânico (C.O) potássio (K⁺) e acidez potencial (H + Al). Os dados obtidos foram submetidos à análise exploratória para o cálculo de medidas de localização e a análise de variabilidade espacial pelo GS+. Os resultados mostraram que o K⁺ apresentou dependência espacial moderada para a interpolação em comparação com os restantes, sendo que o Al⁺ seguido do P foram os que apresentaram menor raio de alcance, assim como, para a seleção do melhor modelo foi baseada no grau de dependência espacial, sendo que se se optar pelo R² todos os minerais apresentam bons modelos de estimação, não obstante que o R² apenas indica o poder do modelo, não a dependência

Palavras chaves: Geostatística, dependência espacial e manejo de solo

Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo.

Resumo

A variabilidade espacial dos atributos de solos, com maior ênfase para os químicos sempre existiu deste o processo de formação dos solos. Porém, com a ocupação e exploração da terra para finalidade diversas, tornou-se mais acentuada. Objetivou-se avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob sistema de manejo de semeadura direta. Foram coletados 85 pontos georeferenciados, usando uma grade quadrangular de 50m sendo que em cada ponto da grade foram coletadas 10 sub-amostras de solo num raio de 2m para a composição de uma amostra na profundidade (0.0 – 0.2 m). Após a coleta as amostras de solo foram secadas, passadas em peneiras de abertura de malha de 4 mm, homogeneizadas e submetidas à análise para caracterização química de Fósforo (P), Carbono Orgânico (C.O) potássio (K^+) e acidez potencial (H + Al). Os dados obtidos foram submetidos à análise exploratória para o cálculo de medidas de localização e a análise de variabilidade espacial pelo GS+. Os resultados mostraram que o K^+ apresentou dependência espacial moderada para a interpolação em comparação com os restantes, sendo que o Al+ seguido do P foram os que apresentaram menor raio de alcance, assim como, para a seleção do melhor modelo foi baseada no grau de dependência espacial, sendo que se se optar pelo R^2 todos os minerais apresentam bons modelos de estimação, não obstante que o R^2 apenas indica o poder do modelo, não a dependência

Palavras chaves: **Geostatística, dependência espacial e manejo de solo**

INTRODUÇÃO

Todos os solos sob vegetação natural apresentam variabilidade espacial dos seus atributos químicos resultante dos seus processos de formação e esta variabilidade varia tanto no sentido horizontal quanto no vertical. Além da variabilidade natural do solo, as práticas agrícolas de manejo e uso das terras são fatores concomitantes a esta variabilidade. (Adriana G. Artur et al. 2014)

Por outro lado, a variabilidade espacial dos solos surge desde a sua formação e continua após eles atingirem estado de equilíbrio dinâmico. Por ser o solo um sistema extremamente heterogêneo, o conhecimento de sua variabilidade espacial é imprescindível, devendo ser considerado no momento da amostragem. Devido às várias combinações em que estão sujeitos os elementos do solo e às constantes reações químicas que ocorrem na solução do solo, os atributos químicos apresentam maior variação do que os físicos e, conseqüentemente, necessitam de maior número de amostras para estimá-los dentro da mesma área (Beckett & Webster, 1971; Jacob & Klutte, 1976). Paralelamente, o uso do solo, com o passar do tempo, conduz a aumento na sua heterogeneidade, por meio dos processos de desmatamento, preparo do solo, rotações de cultura, localização de aplicação de fertilizantes; como estes são aplicados em faixas ou em linha.

A geoestatística vem apresentando aplicação crescente na ciência do solo, tornando-se ferramenta adicional no estudo de seus atributos espacialmente correlacionados, exatamente porque incorpora em si a possibilidade de se estudar o comportamento dos atributos químicos do solo. (Cambardella, *et al.*, 1994). A aplicação de insumos é baseada em teores médios da fertilidade do solo, os quais podem ser subestimados ou superestimados, o conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade, por meio da geoestatística, pode otimizar a aplicação localizada de corretivos e fertilizantes, melhorando dessa maneira o controle do sistema de produção das culturas e contaminações ambientais. Diante deste cenário, o objetivou-se avaliar a variabilidade espacial do fósforo (P), carbono orgânico (C.O), Potássio (K^+) e alumínio (Al^+).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no ano agrícola 2016/2017 no município de Ponta Porã, MS, situado a 22.37654808'' S, 55.17490118'' W a 434 m de altitude em uma área de 169 ha da Fazenda Faz Domínio em sistema de plantio direto a 12 anos. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, que se caracteriza como mesotérmico úmido com verão chuvoso com solos distróficos classificados como argilosos com saturação por bases de 40-60% com boa fertilidade natural.

O levantamento dos pontos para a geração de mapas de fertilidade foi feito utilizando-se o método DGPS (método do posicionamento diferencial - Differential Global Positioning System), em que a estação móvel (GPS) faz conexão com a estação de referência, eliminando erros. A grade estruturada para amostragem do solo na área de estudo foi a de malha regular e tipo quadrangular, com 2 pontos por ha distanciados 50 m x 50m, totalizando nove linhas e dez colunas (**Figura 1**).



Em cada ponto da grade foram coletadas 10 sub-amostras de solo num raio de 2m para a composição de uma amostra na profundidade (0.0 – 0.2 m), totalizando 85 amostras. Após a coleta as amostras de solo foram secadas, passadas em peneiras de abertura de malha de 4 mm, homogeneizadas e submetidas à análise para caracterização química, conforme a metodologia da Embrapa. Foram feitas as seguintes determinações: Fósforo (P), Carbono Orgânico (C.O) potássio (K^+) e acidez potencial (H + Al), conforme os métodos descritos em por Claessen (1997). Os dados obtidos em laboratório foram submetidos à análise exploratória para o cálculo de medidas de localização (média,

mediana), de variabilidade (coeficiente de variação) e de tendência central (assimetria); em seguida verificou-se a normalidade dos atributos (Cruz et al., 2010). Para cada atributo estudado, foi efetuado a análise descritiva clássica, com auxílio do software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER & LITTELL 1997), em que foram calculados a média, a mediana, valores mínimo e máximo, o desvio-padrão, o coeficiente de variação, o coeficiente de curtose, coeficiente de assimetria e construída a distribuição de frequências. Posteriormente, foi realizada a identificação dos *outliers*, para testar a hipótese da normalidade, ou da normalidade, foi realizado o teste de SHAPIRO & WILK (1965), a 5% de probabilidade.

A análise geoestatística foi baseada na suposição de que medições separadas por distâncias pequenas são mais semelhantes umas às outras do que aquelas separadas por distâncias maiores. A semivariância é, por definição, dada por a qual é uma função do vetor h e, portanto, depende da magnitude e da direção h .

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

A semivariância é estimada pela expressão a seguir:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Sendo $N(h)$: número de pares de valores medidos, $z(x_i)$ e $z(x_i + h)$, separados por um vetor distância h ; e $z(x_i)$ e $z(x_i + h)$: valores da i -ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos x_i e $x_i + h$ ($i = 1, \dots, n$), separados pelo vetor h . O gráfico de $\gamma^*(h)$ em função dos valores correspondentes de h é denominado semivariograma.

Para avaliação da variabilidade espacial dos atributos químicos foram feitas análises variográficas cujos dados foram ajustados aos modelos exponencial e gaussiano (Oliveira et al., 2009). Após obtenção dos semivariogramas e constatação da dependência espacial, mapas de isolinhas foram gerados utilizando-se, como interpolador (preditor) o método da Krigagem por meio do programa GS+ 7.0.

A classificação do grau de dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C$), sendo considerada fraca para GDE superior a 75%, moderada entre 25 e 75% e forte para GDE inferior a 25% (Cambardella et al., 1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a tabela abaixo, os dados dos valores dos atributos estudados seguiram a distribuição normal através do teste de Shapiro Wilk a 5% de probabilidade. Tomando inferências a partir das medidas de tendência central (CV e curtose), o C.O apresentou melhores parâmetros estatísticos, seguido pelo K+ quando baseado na curtose e H+ - Al+ através de CV. As inferências feitas pelas medidas de tendência central, não forneceram conclusões seguras, contudo, ainda foi feita a krigagem para aferir o grau de dependência espacial dos atributos.

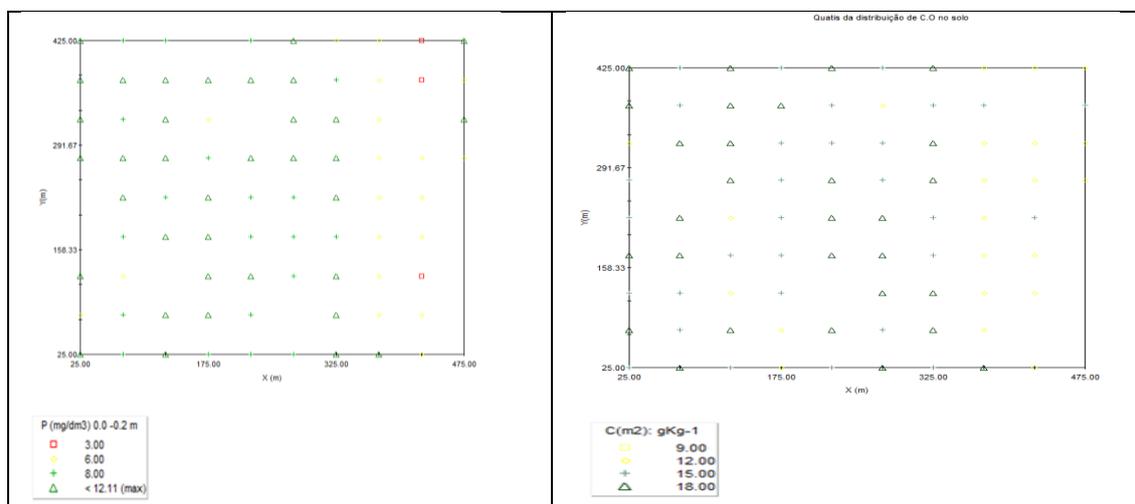
A tabela 1. Resultados da estatística descritiva dos atributos avaliados.

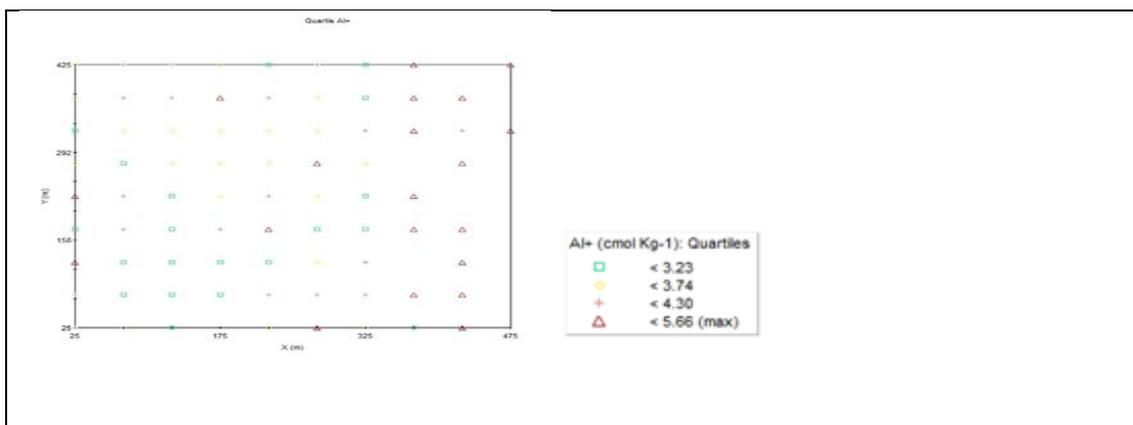
	Atributo			
	P (mg/dm ³)	C.O (gKg ⁻¹)	K+ (cmol/dm ³)	H ⁺ - Al ⁺
Desv. Padrão	2.51	2.35	0.042	0.83
Média	7.62	14.04	0.11	3.85
Var	6.3	5.53	0.002	0.69
CV (%)	32.9	16.7	38.18	21.56
Max	12.71	17.9	0.19	5.67
Mínimo	2.07	9.0	0.04	2.32
Curtose	-0.66	-1.01	-0.93	-0.53
Normalidade	SIM	SIM	SIM	SIM
<i>P. Value (p<0.05)</i>	<i>0.033</i>	<i>0.019</i>	<i>0.028</i>	<i>0.022</i>

Os valores de CV apresentados na tabela 1 tem uma variação alta a alta muito segundo a classificação de Pimentel Gomes, não sendo seguros para a segurança das inferências. Más por outro lado, o CV deve ser observado conforme a natureza de atributo em estudo, sendo que os valores considerados como altos a muito altos para Pimentel Gomes apresentam moderada variação para a variabilidade dos atributos químicos do solo quando analisado o CV em função de desvios em relação á media.

Através da figura 2 abaixo de quartis do P, C.O, K+ e Al+, pode se notar que a distribuição e fosforo na faixa menor que 3.0 mg/dm³ está apenas presente numa única direção, enquanto que a faixa de 8 -12 apresentou melhor distribuição.

Figura 2: Quartis da distribuição de P, C.O e Al+ na camada 0.0 – 0.2m





Adicionalmente, a **figura 2** mostra que os valores de fósforo só podem ser validados até uma distância máxima de 139.2m, pois a partir deste valor a sua dependência espacial deve se a outros fatores. Assim como, observa-se que o grau de dependência espacial foi de 99.8, valor considerado como fraca dependência espacial segundo a classificação de Cambardella et al., (1994).

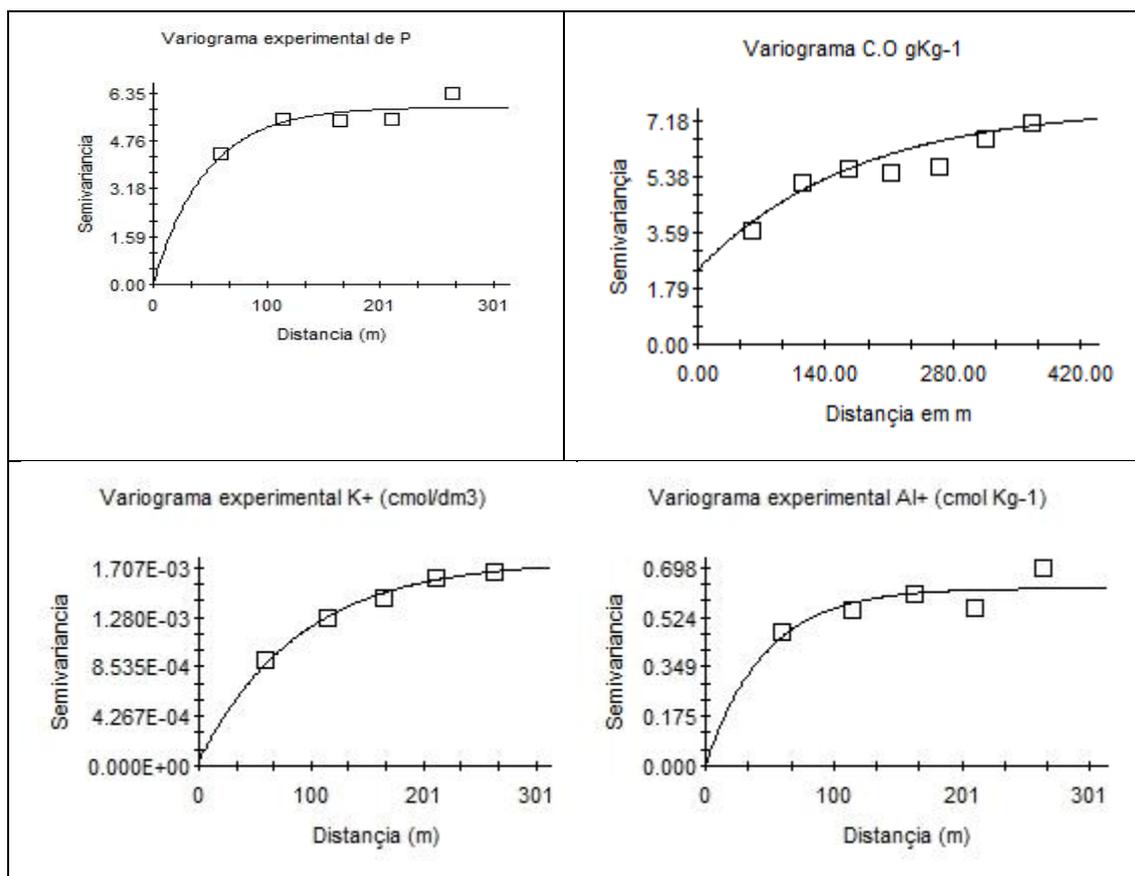
Ainda, a figura 2 mostra que para o CO os valores só podem ser validados até uma distância máxima de 151.4m, sendo que a partir deste valor a sua dependência espacial deve se a outros fatores. Adicionalmente, observa-se que o grau de dependência espacial foi de 77.5, valor considerado como fraca dependência espacial segundo a classificação de Cambardella et al., (1994).

Por outro lado, através da figura 2 pode se notar que a distribuição e K+ na faixa menor que 0.13 cmol/dm³ está apens presente numa única direção, enquanto que a faixa de 0.15 -0.19 apresentou média concentração de acordo com a classificação da Embrapa (1997).

Ainda a **figura 2** mostra que a distribuição e K+ na faixa menor que 0.13 cmol/dm³ está apenas presente numa única direção, enquanto que a faixa de 0.15 -0.19 apresentou média concentração de acordo com a classificação da Embrapa (1997).

De acordo com a classificação de Sousa & Lobato (1996) o teor de P, CO, K+ e Al+ na área apresentam maiores regiões de nível bom para os solos distróficos da área em estudo. Para melhor inferir a variação dos minerais, foram plotados os variogramas experimentais da dependência espacial conforme a figura 3 abaixo.

Figura 3. Variograma experimental de P, C.O, K+ e Al+ na camada 0.0 -0.2m



A distribuição de P fosforo no solo é muito baixa pois é de baixa mobilidade o que faz com que seja dependente de matéria Orgânica (MO; C.O), assim como a sua intercepção pelo sistema radicular das plantas.

O variograma apresenta apenas parâmetros que devem ser considerados ao analisar a dependência espacial dos pontos e a sua respetiva interpolação baseando - se na krigagem para a tomada de decisão ao fazer a aplicação a taxa variada. Não obstante, o variograma não mostra os locais e as respectivas doses a aplicar.

Por outro lado, a área em estudo apresentou boa distribuição do fósforo na camada 0.0 – 0.2m, sendo apenas as regiões de amarelo e vermelho são as que precisam de incorporação de P no solo ou de algumas práticas que visam a disponibilidade de P. Por outro lado a região de verde acentuado não precisa de nenhuma incorporação enquanto que a região de verde menos acentuado apenas preciso apenas de incorporação para a manutenção segundo a classificação de Sousa & Lobato (1996).

A disponibilidade de K+ no solo foi de classe média, pois, sendo que a região apresenta tonalidades de maior deficiência de K+, o que pode limitar o crescimento das plantas. O variograma apresenta apenas parâmetros que devem ser considerados ao analisar a dependência espacial dos pontos e a sua respetiva interpolação baseando - se na krigagem para a tomada de decisão ao fazer a aplicação a taxa variada. Não obstante, o variograma não mostra os locais e as respectivas doses a aplicar, desse modo o mapa

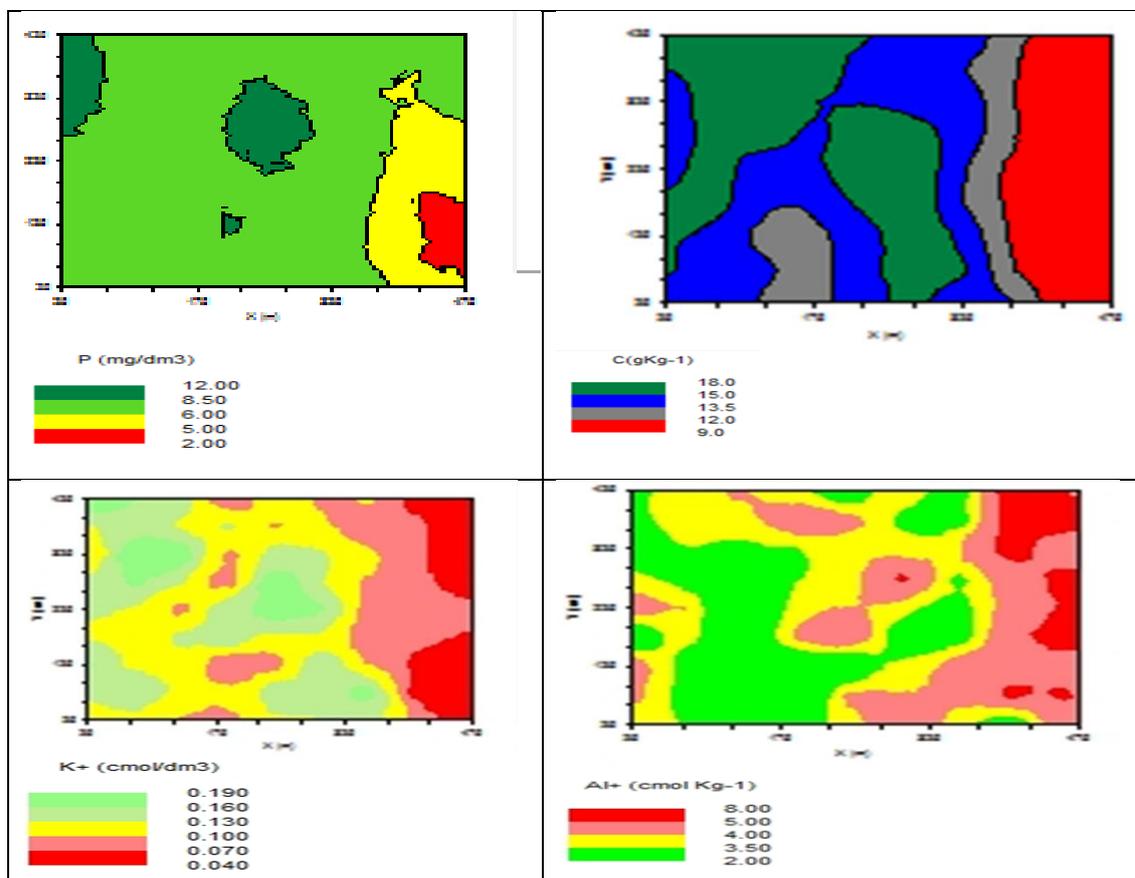
de distribuição espacial mostra os locais e as respectivas concentrações disponíveis de modo a fazer a aplicação a taxa variada.

Adicionalmente, a área em estudo apresentou boa distribuição do K^+ na camada 0.0 – 0.2m, sendo apenas em toda a região precisa de incorporação de K^+ , sendo algumas apenas para a manutenção e outras para estabilização, segundo a classificação de Embrapa (1997)

A disponibilidade de CO no solo é média pois é de baixa mobilidade o que faz com que os outros minerais dependentes de matéria Orgânica (MO; C.O), sejam menos disponíveis para o sistema radicular das plantas. A área em estudo apresentou boa distribuição do CO na camada 0.0 – 0.2m, sendo apenas em toda a região precisa de incorporação de CO, sendo algumas apenas para a manutenção e outras para estabilização, segundo a classificação de Embrapa (1997)

Por outro lado, o variograma apresenta apenas parâmetros que devem ser considerados ao analisar a dependência espacial dos pontos e a sua respetiva interpolação baseando - se na krigagem para a tomada de decisão ao fazer a aplicação a taxa variada. Não obstante, o variograma não mostra os locais e as respectivas doses a aplicar. Desse modo foram plotados mapas de distribuição espacial para mostrar os locais e as respectivas concentrações disponíveis de modo a fazer a aplicação a taxa variada.

Figura 4. Mapa de distribuição espacial de fosforo no solo na camada.



A **figura 4** mostra que para o K⁺ os valores só podem ser validados até uma distância máxima de 258, sendo que a partir deste valor a sua dependência espacial deve se a outros fatores. Adicionalmente, observa-se que o grau de dependência espacial foi de 61.6, valor considerado como moderada dependência espacial segundo a classificação de Cambardella et al., (1994).

O carbono orgânico apresenta maior influência na disponibilidade dos outros nutrientes no solo em destaque para o P, H⁺ - Al⁺ por ser um agente floculante.

Ainda a figura, mostra que segundo a classificação da Empraba, 1997 o teor de CO neste solo pode influenciar o crescimento das culturas, porque o CO está no nível de médio e bom, sem nenhum registro de muito bom.

O modelo matemático deve ser sempre testado o seu poder de teste através do valor estimado e do real, observando – se desse modo os valores sobre e subestimados. Deste modo os valores foram submetidos a validação cruzada por bloco.

O modelo matemático deve ser sempre testado o seu poder de teste através do valor estimado e do real, observando – se desse modo os valores sobre e sub-estimados. Deste modo os valores foram submetidos a validação cruzada por bloco.

De acordo com a classificação de Cambardella foi elaborada a tabela 2 de inferências dos minerais avaliados.

Tabela 2: Resumo dos parâmetros de tomada de decisão.

Atributo	Modelo	Efeito pepita (C0)	Parâmetro (C0 + C)	Alcance m (a)	GDE (%)	R ²	Dependência espacial
P (cmolc)	Expon	0.01	5.89	139.2	0,17	0.79	Forte
C.O	Esféri	1.21	5.36	151.4	22.6	0.98	Forte
K ⁺ (cmolc)	Esféri	0.0005	0.0017	258	29.4	0.99	Moderada
H ⁺ + Al (cmolc kg- ⁻¹)	Exponencial	0.001	0.63	138	0.16	0.62	Forte

A tabela 2 mostra um forte ajuste para todos os atributos avaliados, excetuando o K⁺, mostrando assim o maior poder de uso da geoestatística para inferir atributos químicos de solo em locais não amostrados.

CONCLUSÕES

1. O mineral K⁺ apresentou dependência espacial moderada para a interpolação em comparação com os restantes, sendo que o Al⁺ seguido do P foram os que apresentaram menor raio de alcance. Desse modo, o K⁺ apresentou dependência espacial moderada com maior R².
2. A adoção do melhor modelo foi baseada no grau de dependência espacial, sendo que se se optar pelo R² todos os minerais apresentam bons modelos de estimação, mas o R² apenas indica o poder do modelo, não a dependência.

REFERÊNCIAS

1. ADRIANA G. ARTUR, DANIEL P. OLIVEIRA, MIRIAN C. G. COSTA, RICARDO E. ROMERO, MARCUS V. C. SILVA & TIAGO O. FERREIRA. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2014
2. Brasil. Ministério da Agricultura. Levantamento exploratório e reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife: **EMBRAPA**, v.1. 1973. 297p.
3. 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 of American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.
4. CLAESSEN, M. E. C. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1) (Cruz et al., 2010).
5. MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, n.5, p.839-47, 2006. (Beckett & Webster, 1971; Jacob & Kluthe, 1976).
6. SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GONCALVES.A. C. A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1369-1377, 2008.
7. SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. **SAS: system for elementary statistical analysis**. 2. ed. Cary: SAS, 1997. 905p SHAPIRO & WILK (1965)
8. SOUZA, L.S. et al. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.1, p.77-86, 1998. Cambardella et al., (1994).
9. STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; MANIERO, M. A.; SOARES, M. R.; SILVA, L. C. F. Incorporação de régua para medida de profundidade no projeto do penetrômetro de impacto Stolf. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 50, 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SBEA, 2011. p. 1-10. CD-ROM.
10. TRINDADE, E.F.S; CARVALHO, E.J.; CORRÊA, P.C.S. (2010). Comportamento físico-hídrico de um Argissolo Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no nordeste paraense. **Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v.5, n.9, p.103-114.
11. VASCONCELOS, R.F.B.; SOUZA, E.R.; CANTALICE, J.R.B.; SILVA, L.S. (2014). Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.4, p.381-386.