



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

PRODUTIVIDADE DO MILHO E RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO DO SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO

**Igor Queiroz Moraes Valente¹; Anamari Viegas de Araujo Motomyia²; Luiz
Fernando Suda³; Jeferson Araujo Leal⁴; Beatriz Barbosa da Silva⁵**

UFGD-FCA, Rodovia Dourados à Itahum, km 12, Caixa Postal 533, CEP :79804-970 – Dourados – MS, E-mail: igor_valente88@hotmail.com; ¹PIBIC/UFGD; ²Prof(a) Adjunta da FCA, E-mail: anamarimotomyia@ufgd.edu.br; ³aluno de graduação em Engenharia Agrícola, E-mail: Fernando_suda@hotmail.com; aluno de graduação em agronomia, E-mail: lealjeferson@hotmail.com, aluna de graduação em agronomia, E-mail: biaagronomia@hotmail.com,

RESUMO

O trabalho teve como objetivo o mapeamento da produtividade da cultura do milho e resistência à penetração. Foram realizadas amostragens com um penetrômetro em 100 pontos em uma área de 4 ha, para a avaliação da resistência do solo à penetração e coletadas 9 plantas que circundam cada um desses pontos amostrais para analisar componentes de produtividade. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, para determinação das medidas estatísticas média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequência dos dados. A análise geoestatística foi realizada para verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial dos atributos estudados, ajustando-se um modelo de semivariograma para os atributos resistência a penetração e produtividade. Para estimar o valor das variáveis em locais não amostrados e confeccionar os mapas temáticos, foi utilizado o estimador por krigagem. Os dados de produtividade e resistência à penetração do solo apresentaram variabilidade espacial, o que sugere que um manejo diferenciado na área pode melhorar as condições físicas do solo, com benefícios à produtividade das culturas.

PALAVRAS-CHAVE: 1) geoestatística; 2) krigagem; 3) mapeamento

INTRODUÇÃO



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

A habilidade das plantas em explorar o solo, em busca de água e nutrientes, depende grandemente da distribuição de raízes no perfil do solo que, por sua vez, depende das condições físicas e químicas, as quais são passíveis de alterações em função do manejo aplicado (ALVARENGA & CRUZ, 2003).

A utilização intensiva do solo, nos atuais sistemas de produção agrícola, tem resultado em compactação, com efeitos deletérios sobre a qualidade física do solo e sobre a produtividade das culturas (HAMZA & ANDERSON, 2005; COLLARES ET AL., 2006, 2008; BEUTLER ET AL., 2008). Isso vem sendo causado devido ao uso intensificado de máquinas agrícolas, o qual ocasiona compactação do solo e, segundo Streck *et al.* (2004) eleva os valores de densidade (Ds) e resistência à penetração do solo (RP), e reduz a sua porosidade total, com efeito mais acentuado sobre a macroporosidade.

Entre os atributos físicos do solo, a RP tem sido bastante utilizada como indicativo da compactação por apresentar relações diretas com o crescimento das raízes e com o tráfego de máquinas (CARDOSO ET AL., 2006; FREDDI ET AL., 2007; COLLARES ET AL., 2008).

A análise da variabilidade do solo, por meio da geoestatística, pode indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas (TRANGMAR *et al.*, 1985), mas também para aumentar a possibilidade de estimar respostas das culturas sob determinadas práticas de manejo (OVALLES & REY, 1994).

Uma análise geoestatística deve começar com um esquema amostral espacial (BRUS & DE GRUIJTER, 1997; MALLARINO & WILTRY, 2004). O esquema amostral deve incorporar as seguintes informações: os atributos que serão analisados, a extensão e os limites da área de estudo, a data da amostragem, o número de amostras, a grade de amostragem e o tipo de amostragem espacial. Deve-se considerar que um desenho amostral deficiente ou mal planejado pode comprometer todo um projeto. As duas etapas subsequentes da análise geoestatística são a estimação e a modelagem da



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

variabilidade espacial e interpolação espacial de um atributo sobre a área de estudo (MACHADO et al., 2004).

Por meio do semivariograma, é possível verificar e modelar a dependência espacial de uma variável e interpolar as informações geradas para posterior mapeamento. Apesar de existirem diversos interpoladores, a krigagem é a única que utiliza o semivariograma em sua modelagem (VIEIRA, 2000).

A krigagem é uma técnica usada na geoestatística para estimar valores para locais não amostrados que resulta em valores sem tendência e com variância mínima. Neste método de interpolação, os pesos são variáveis de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma, ou seja, uma média móvel ponderada. A condição de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula. A condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor estimado e o medido, essas diferenças devem ser mínimas (VIEIRA, 2000).

Este trabalho teve por objetivo o mapeamento da produtividade da cultura do milho relacionado com a resistência do solo à penetração, segundo a técnica de krigagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma lavoura comercial no município de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul em um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006). Foram realizadas amostragem em grade regular de 100 pontos em uma área de aproximadamente 4 ha, para a avaliação da resistência à penetração (RP). Para analisar a RP, foram realizadas três leituras aleatórias em um raio de 5 m do ponto do ponto central para compor uma média de cada ponto amostral com um penetrômetro eletrônico de compactação do solo (penetroLOG PLG1020 Falker). Foram extraídos os valores da RP nas camadas de 0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m, 0,40-0,50 m, 0,50-0,60 m.



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

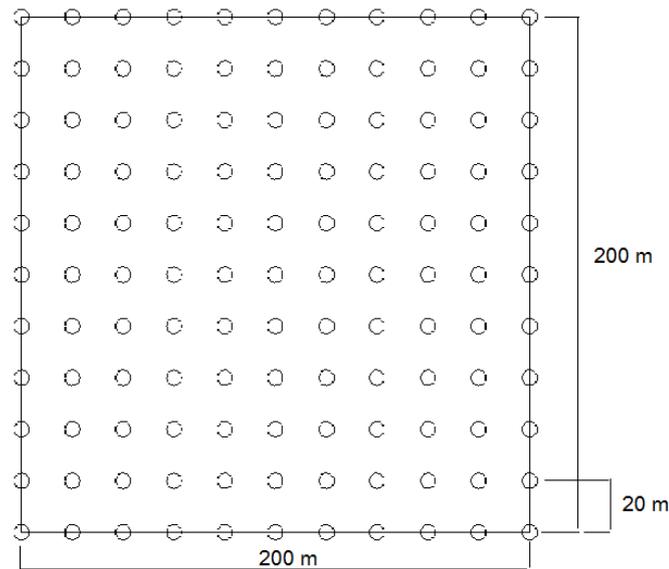


Figura 1. Grade Amostral

Para a coleta dos dados de produtividade da cultura do milho, foi realizada a colheita manual de espigas, em cada ponto amostral, considerando-se o ponto como uma célula amostral de $1,8 \text{ m}^2$, formados por duas linhas de $2,0 \text{ m}$, espaçados de $0,9 \text{ m}$ entre si.

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, para determinação das medidas estatísticas média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequência dos dados. A análise geoestatística foi realizada para verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial dos atributos estudados, utilizando-se o programa GS^+ , ajustando-se um modelo de semivariograma.

A análise geoestatística é 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:

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



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

a qual é uma função do vetor h e, portanto, depende da magnitude e da direção h . A semivariância é estimada pela seguinte expressão:

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

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.

Na seleção dos modelos dos semivariogramas foram considerados os valores de R^2 (coeficiente de determinação) e SQR (soma dos quadrados dos resíduos). Os mapas de distribuição espacial da produtividade serão elaborados conforme o semivariograma adotados, empregando-se o programa ArcGis 10 Environmental Systems Research Institute (ESRI, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise estatística descritiva referente aos dados de RP do solo estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que a média da produtividade do milho foi relativamente alta, 4411,8 kg ha⁻¹. Entretanto, houve grande amplitude entre valores máximos e mínimos, indicativo de que há pontos críticos na área, os quais devem receber manejo diferenciado. Apesar desta grande amplitude, o coeficiente de variação foi baixo, com os dados seguindo uma distribuição normal.



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

Tabela 1. Resultados da análise estatística descritiva para a produtividade do milho (kg ha^{-1}) e resistência à penetração RP (kPa), nas profundidades de 0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m, 0,40-0,50 m, 0,50-0,60.

Profundidade	X	CV(%)	Máx	Mín	Ass	Cur	P < W	N
Produtividade	2442	0,24	1474,2	4411,8	-0,17	-0,75	>0,01	98
0,0-0,10	446	34,53	809,3	113,2	0,17	-0,48	>0,1	100
0,10-0,20	2462,8	16,89	3617,7	1458,5	0,25	-0,45	>0,1	100
0,20-0,30	2684,9	15,13	3745,7	880,5	-0,44	3,46	<0,01	100
0,30-0,40	2511,1	18,12	4725,3	1776	1,41	5,01	<0,01	100
0,40-0,50	2426,8	25,58	4791,9	1187,9	1,15	2,53	<0,01	100
0,50-0,60	2509,6	29,96	5674	1212,3	1,1	2,7	<0,01	100

N= número de observações; CV= coeficiente de variação; X = média dos dados, S= Desvio Padrão, Min = valores Mínimos, Max = Valores Máximos, Ass = coeficiente de assimetria, Curt = coeficiente de Curtose.

Medida por penetrômetros, a resistência à penetração é a pressão sobre a área de um cone com ângulo sólido de 30° e este índice é regulamentado pela norma ASAE S.313.3, podendo ser considerado um bom indicador da compactação quando corretamente utilizado. Este valor, denominado índice de cone, representa a resistência mecânica do solo à penetração de um elemento normalizado (ponta cônica).

Tomando como base a tabela da Falker, para interpretação da RP (kPa) medida pelo penetroLOG, PLG 1020, em solos pesados, foi possível observar valores com nível crítico à produção. São valores maiores que 4000 KPa em alguns pontos, indicando que ocorrerão perdas de produtividade por compactação nestes locais, pois são restritivos ao crescimento radicular. Segundo a classificação adotada, a faixa tolerável ao desenvolvimento normal seria até 2500 KPa, onde não existe perda de produtividade por este fator. Já no nível intermediário, existe potencial para perdas de produtividade, mas esta dependerá da associação com outros fatores. Atuante como lubrificante, o conteúdo de água no solo é o principal amenizador da resistência mecânica do solo ao desenvolvimento radicular em profundidade.



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

Analisando então a média estatística, podemos afirmar que nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, ambas estão dentro da faixa tolerável para o crescimento de seu sistema radicular. No entanto, a camada de 0,20-0,30 m apresenta um nível intermediário de compactação, visando que a cultura do milho, apresenta um crescimento de 30 cm em suas raízes, podendo assim causar algum dano à mesma.

Quanto ao CV, observaram-se valores moderado ($15% < CV < 25%$), para as profundidades de 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m e valores altos ($> 25%$) para as demais profundidades (WILDING e DRESS, 1983).

Segundo Nogueira (2007), um coeficiente de variação maior que 35% revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado; se for superior a 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum. Porém, se for menor que 35% a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. Desta forma pode-se dizer que em todas as profundidades estudadas, apresentaram dados homogêneos, e a média tem significado.

No entanto, deve-se considerar que a resistência à penetração possui relação potencial com a umidade do solo (Busscher et al., 1997), o que pode explicar os valores encontrados para a amplitude e o coeficiente de variação, tendo em vista que pequenas alterações no conteúdo de água determinam grandes variações na grandeza dependente, ou seja, na resistência à penetração.

Os valores da assimetria e curtose sugerem que a distribuição da resistência à penetração não é normal. A normalidade da distribuição é a premissa básica para a aplicação da maioria dos testes de significância e das técnicas de correlação e regressão (Ivo & Fonteles Filho, 1997), o que determina a necessidade de atenção quanto a esse aspecto quando se comparam ou modelam dados dessa natureza. Indica também a validade da média como medida de tendência central de um conjunto de dados.



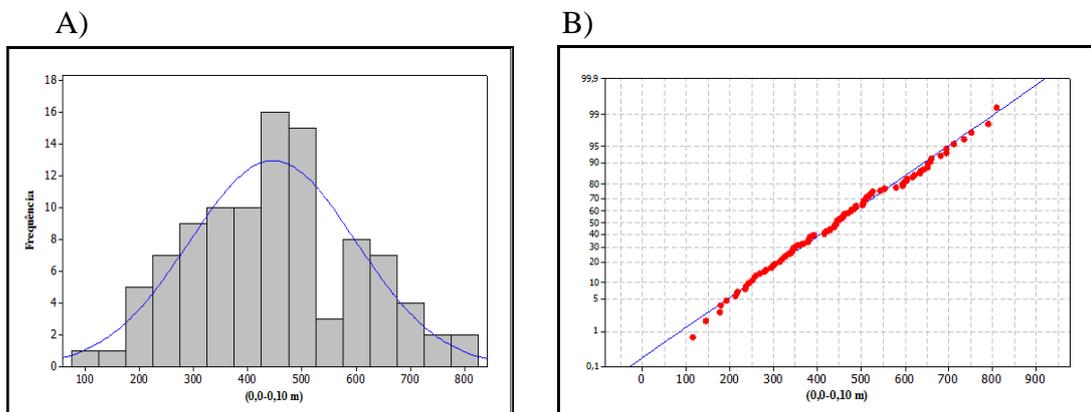
ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

Os valores de assimetria e curtose apresentados na Tabela 1 fornecem uma indicação da normalidade dos dados, sendo que valores próximos de zero indicam uma tendência dos dados à distribuição normal. Os valores de assimetria e curtose indicaram distribuição próxima à normal para as profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m. Às profundidades apresentaram assimetria positiva, exceto para profundidade de 0,20-0,30 m que apresentou assimetria negativa. O coeficiente de assimetria é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequência se afasta da simetria. Se o valor encontrado para este coeficiente for zero, a distribuição é simétrica; se for positivo, a distribuição é assimétrica à direita e, se for negativo, é assimétrica à esquerda.

A análise preliminar e exploratória dos dados amostrados, através dos histogramas (Figura 2), indicou que a maior parte das profundidades medidas pela RP do solo apresentou distribuição não normal, exceto para as duas primeiras profundidades iniciais. Os dados de RP nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m se ajustaram à distribuição normal, fato confirmado pelo teste W de Shapiro e Wilks (Figura 2).



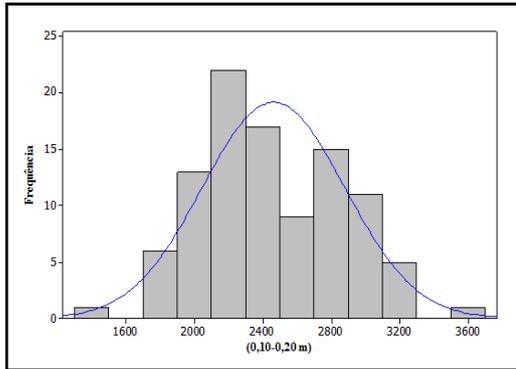


ENEPEX

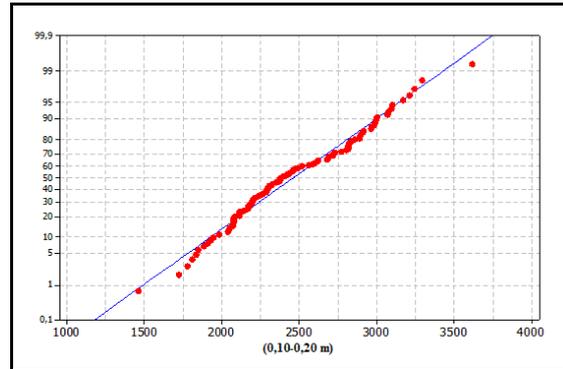
ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

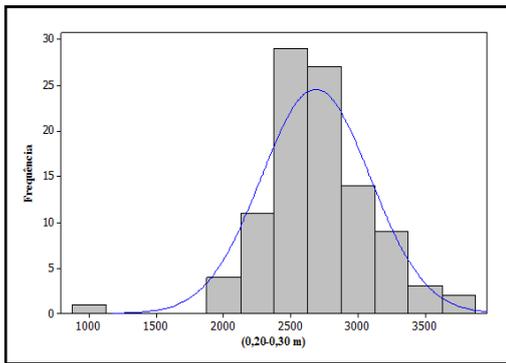
C)



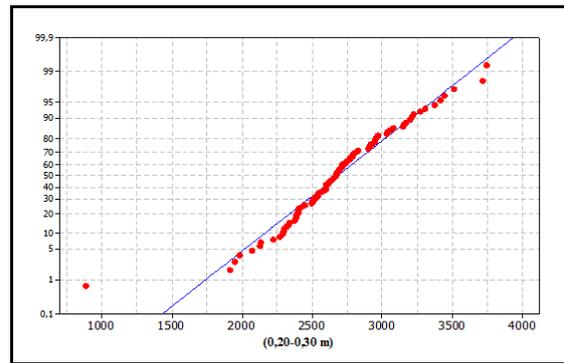
D)



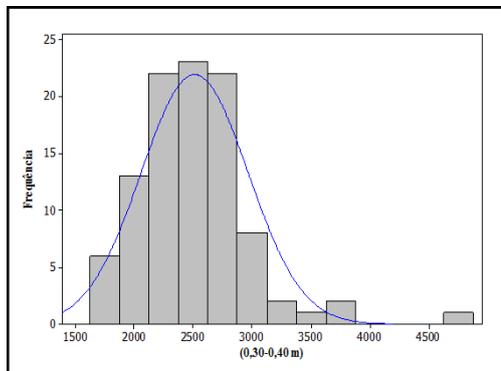
E)



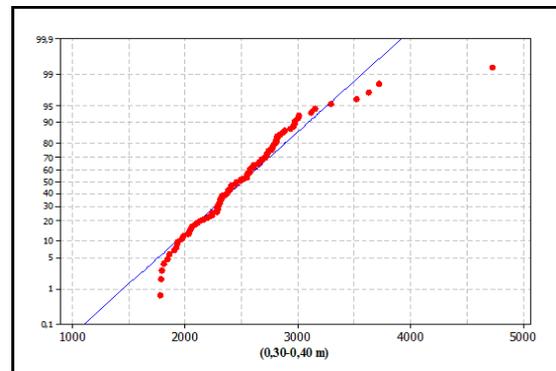
F)



G)



H)



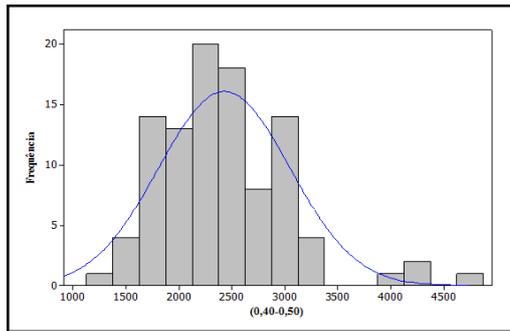


ENEPEX

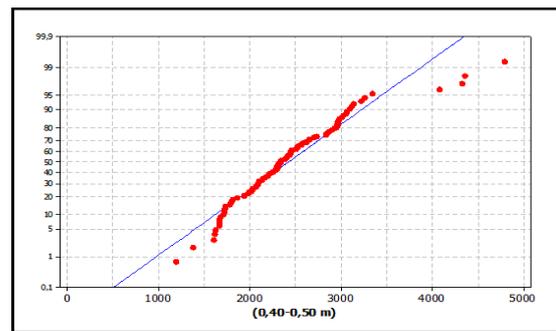
ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

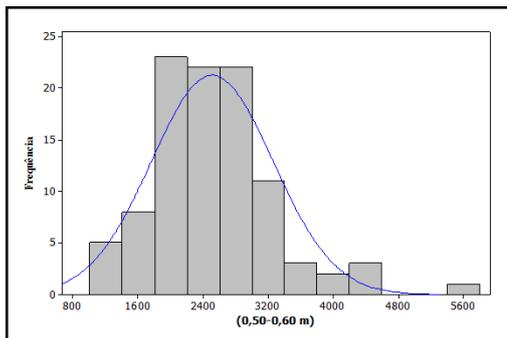
I)



J)



K)



L)

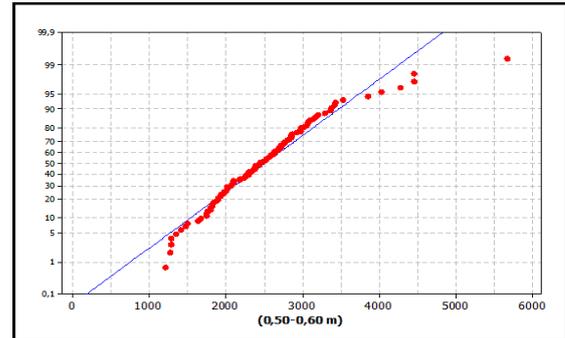


Figura 2. Histograma de Frequência e Reta de Probabilidade para resistência a penetração em um Latossolo Vermelho Distroférico nas profundidades: AB) 0,0-0,10 m; CD) 0,10-0,20 m; EF) 0,20-0,30 m; GH) 0,30-0,40 m; IJ) 0,40-0,50 m; KL) 0,50-0,60 m.

A análise geoestatística revelou que os atributos estudados apresentaram ajuste a um modelo matemático teórico dentro da grade amostral adotada (Tabela 2). Os semivariogramas experimentais foram ajustados aos modelos teóricos esféricos, linear e exponencial conforme a menor raiz quadrada do erro médio (Figura 3). Os dados de produtividade apresentaram forte grau de dependência espacial, com alcance de 43, 20 m.

O alcance de dependência espacial é um parâmetro muito importante e indica a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente. O



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

alcance é uma medida importante para planejamento e avaliação experimental, podendo auxiliar na definição de procedimentos amostrais (WEBSTER, 1985). Observou-se que o maior valor de alcance para a RP foi apresentado na profundidade de 0-10-0,20 m, indicando maior continuidade espacial desta variável (Tabela 2).

Tabela 2. Análise geoestatística da produtividade do milho e da resistência à penetração (RP) em diferentes profundidades do solo.

Atributo	Prof. (m)	Modelo	C ₀	C ₀ +C	A	r ²	GDE (%)
Produtividade	-	Esf.	29,0	143,3	43,20	0,79	20,27
	0,0-0,10	Lin.	20519,2	27600,3	105,9	0,94	74
RP	0,10-0,20	Exp.	54500,0	188800,0	15,2	0,99	28,8
	0,20-0,30	Epp.	-	-	-	-	-
	0,30-0,40	Lin.	129041,42	160666,9	126,2	0,72	80,3
	0,40-0,50	Esf.	224000,0	597300,0	274,1	0,98	37,5
	0,50-0,60	Esf.	299000,0	967400,0	305,1	0,97	30,9

EPP= efeito pepita puro; R²= coeficiente de determinação; GDE= Grau de dependência espacial.

O efeito pepita (C₀) é um parâmetro importante na análise geoestatística e representa a variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não podem ser detectadas na escala de amostragem (TRANGMAR et al., 1985; VIEIRA, 2000). Observa-se que para as profundidades 0,20-0,30 m teve o efeito pepita puro e para a profundidade 0,30-0,40 m obteve-se uma fraca dependência, já as demais variáveis teve uma dependência moderada respectivamente. Segundo Cambardella et al. (1994), a dependência espacial é considerada forte quando o efeito pepita é menor ou igual a 25% do patamar; moderada quando o efeito pepita está entre 26 e 75% do patamar; e fraca quando for acima de 75%. Estes autores afirmaram que as variáveis que apresentam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia, enquanto as que apresentam fraca dependência são influenciadas por propriedades extrínsecas tais como aplicações de fertilizante e cultivo.

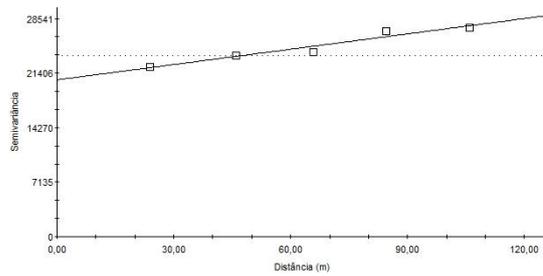


ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

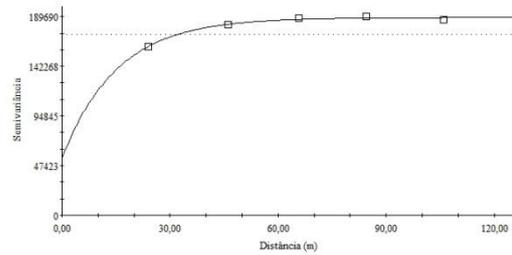
8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

A)



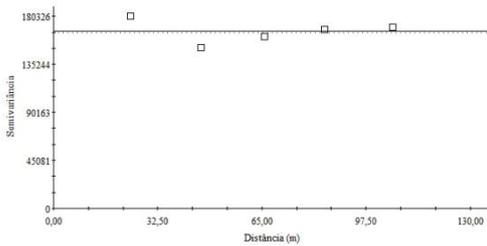
Linear model (Co = 20519,1656; Co + C = 27600,2572; Ao = 105,93; r2 = 0,935;
RSS = 1,384E+13)

B)



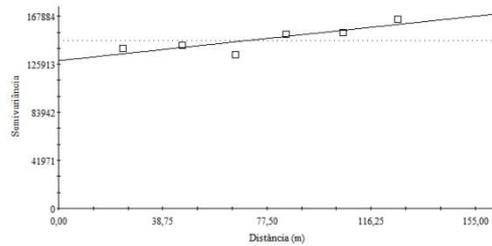
Exponential model (Co = 54500,0000; Co + C = 188800,0000; Ao = 15,20; r2 = 0,988;
RSS = 6,727E+06)

C)



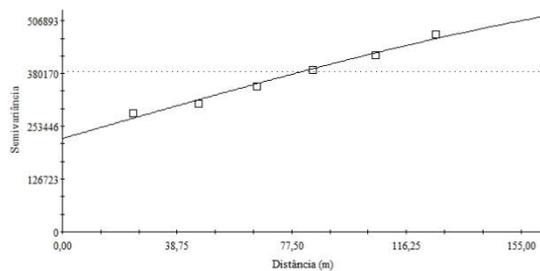
Linear model (Co = 166225,5434; Co + C = 166225,5434; Ao = 105,93; r2 = 0,005;
RSS = 4,693E+08)

D)



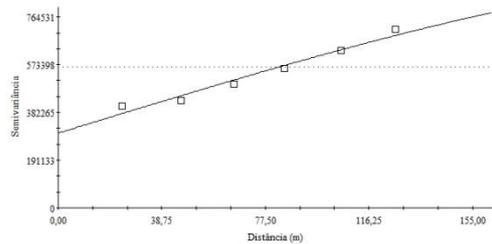
Linear model (Co = 129041,4224; Co + C = 160666,9562; Ao = 126,20; r2 = 0,715;
RSS = 8,277E+15)

E)



Spherical model (Co = 224000,0000; Co + C = 597300,0000; Ao = 274,10; r2 = 0,983;
RSS = 4,292E+08)

F)



Spherical model (Co = 299000,0000; Co + C = 967400,0000; Ao = 305,10; r2 = 0,966;
RSS = 2,378E+09)

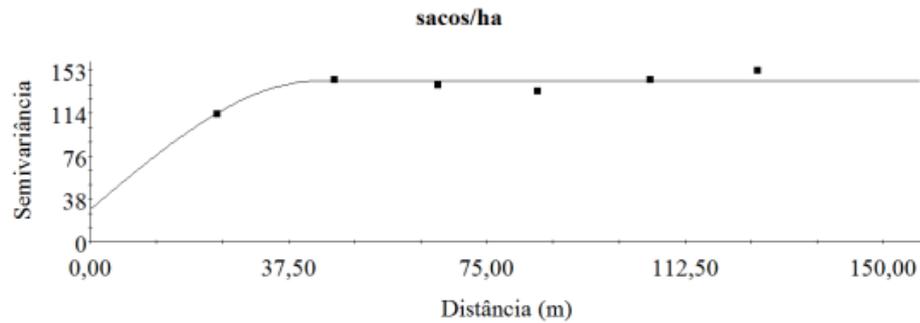
Figura 3. Semivariogramas de RP (kPa) nas profundidades: A) 0,0-0,10 m; B) 0,10-0,20 m; C) 0,20-0,30 m; D) 0,30-0,40 m; E) 0,40-0,50 m; F) 0,50-0,60 m.



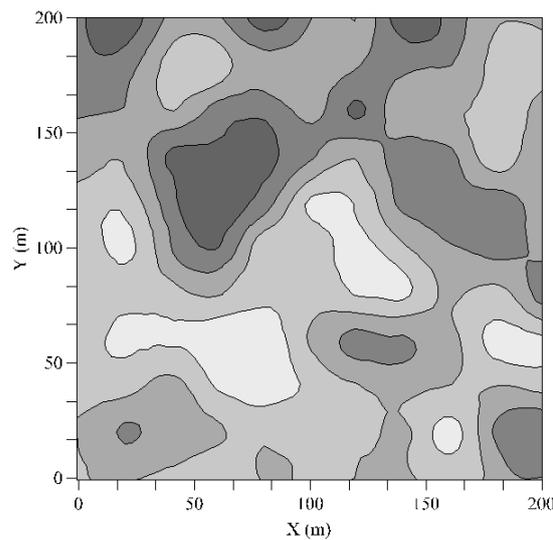
ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS



Spherical model ($C_0 = 29,0000$; $C_0 + C = 143,3000$; $A_0 = 43,20$; $r_2 = 0,799$;
RSS = 176,)



CONCLUSÃO

Os dados de produtividade e resistência à penetração do solo apresentaram variabilidade espacial, o que sugere que um manejo diferenciado na área pode melhorar as condições físicas do solo, com benefícios à produtividade das culturas.

Através dos dados de RP, podemos estimar níveis de compactação dentro da área de estudo, sendo assim, tomando providências de manejos adequados para que não ocorra problemas futuros em relação a compactação do solo.



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R.C.; CRUZ, J.C. Manejo de solos e agricultura irrigada. In: RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; COUTO, L. *A cultura do milho irrigado*. Brasília: p.70-106. Embrapa Informação Tecnológica, 2003.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. da; CENTURION, M.A.P.C. Soil compaction by machine traffic and least limiting water range related to soybean yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.1591-1600, 2008.

BRUS, D.; DE GRUIJTER, J. Random sampling or geostatistical modelling: choosing between design – based and model - based sampling strategies for soil (with discussion). *Geoderma*, Amsterdam, v. 80, p. 1 - 59, 1997.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. & SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.*, 43:205-217, 1997.

CAMBARDELLA, C.E.; 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 Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511, 1994.

CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GUIMARÃES, M. de F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.493-501, 2006.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.1663-1674, 2006.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.933-942, 2008.



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 412 p.

ESRI. ArcGIS Desktop Help.Redlands: ESRI, 2010

FREDDI, O. da S.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; ARATANI, R.G.; LEONEL, C.L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.627-636, 2007.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, v.82, p.121-145, 2005.

IVO, C.T.C. & FONTELLES FILHO, A.A. Estatística pesqueira: Aplicações em Engenharia de pesca. Fortaleza, Tom Gráfica, 1997. 193p.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión Del Lago de Valencia. *Agronomia Tropical*, Maracay, v.44, n.1, p.41-65, 1994.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A., BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S.; VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S.; MOLIN, J. P.; PAULETTI, V.; GIMENEZ, L. M. Técnicas de agricultura de precisão no diagnóstico de uma cultura de soja sob plantio direto em Carambeí, PR. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003b. 29 p.(Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 18). Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>. Acesso em: 13 jun 2014.

MALLARINO, A. P.; WITTRY, D. Efficiency of grid and zone soil sapling approaches for site - specific assessment of phosphorus, potassium, pH and organic matter. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 5, p. 131-144. 2004.



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

Nogueira, M. C. S. Experimentação agrônômica I. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 463p.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.38, n.1 p.45-94, 1985.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, v.34, p.755-760, 2004.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in field. In: STEWART, B.A. (Ed.). **Advance in soil science**. New York, v. 3, p. 1-70, 1985.

WILDING, L.P.; DRESS L.R. Spatial variability and pedology. In L.P. WILDING, N. SMECK.; HALL G.F. (ds.). *Pedogenesis and Soil Taxonomy*. Wageningen. Netherlands. p. 83-116, 1983.