



## VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM UM CAMPO DE FUTEBOL

Leonardo Toscani Acosta<sup>1</sup>; Vanderlei Rodrigues da Silva<sup>2</sup>; Antônio Luis Santi<sup>2</sup>; Douglas Rodrigo Kaiser<sup>3</sup>, Mateus Bortoluzi Bisognin<sup>4</sup>

1 Eng. Agr. Instituto Rio-Grandense do Arroz, 9º Núcleo de Assistência Técnica e Extensão Rural – Rua Barão do Amazonas, nº 94, CEP 97542-100, Alegrete, RS. E-mail: leonardo-acosta@irga.rs.gov.br.

2 Eng. Agr. Dr. Professor do Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, Brasil.

3 Eng. Agr. Dr. Professor da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus de Cerro Largo, Brasil.

4 Acadêmico do curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, RS, Brasil.

**Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014**

### RESUMO

A resistência do solo a penetração pode ser utilizada como indicador da compactação do solo e até mesmo indicar a suscetibilidade de um solo à erosão. Considerando a influência da compactação do solo sobre o desenvolvimento do gramado, este trabalho tem como objetivo identificar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração, no campo de futebol do Clube União Frederiquense, em Frederico Westphalen, RS. O estudo foi realizado em um solo construído a partir de um Cambissolo Háplico, através de cem pontos amostrais, com três repetições, numa malha amostral de 7m x 10m. A determinação da resistência do solo à penetração foi realizada com um penetrômetro de esforço manual, até a profundidade de 30 cm. Os dados foram analisados utilizando técnicas de estatística descritiva e geoestatística. Verificou-se que a resistência à penetração apresenta variabilidade espacial moderada, e os níveis de compactação foram diferentes entre as profundidades analisadas, evidenciando um aumento da resistência à penetração ao longo do perfil do solo. Mapas de isolinhas foram criados, usando-se métodos matemáticos baseados no inverso do quadrado da distância, empregando o programa FalkerMap®, para melhor visualização da espacialização dos dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Atributos físicos; compactação do solo; geoestatística e penetrometria.

## SPATIAL VARIABILITY OF SOIL PENETRATION RESISTANCE ON A FOOTBALL FIELD

### ABSTRACT

The resistance to the soil's penetration can be used as an indicator of its compaction as well as indicate for its susceptibility to erosion. Considering the influence of the soil compaction on the development of grass, the aim of this study was to identify the spatial variability of the soil resistance to penetration on the football field of the União Frederiquense Club, in Frederico Westphalen, RS, Brazil. The study was performed in a soil constructed from a Haplic Cambisol. Soil penetration resistance was measured by using a penetrometer of manual effort to a depth of 30 cm, using one hundred sampling points, with three replicates, in spacing of 7m x 10m. The obtained data were analyzed by using a descriptive statistics and geostatistics. It was verified that the resistance to penetration presented moderate spatial variability and the compaction levels were different between the examined depths, demonstrating an increase in the resistance of penetration throughout the soil profile. Isoline maps were created by using mathematical methods based on the inverse square of the distance, employing FalkerMap ® program, for better visualization of spatialization of data.

**KEYWORDS:** Physical attributes; soil compaction; geostatistics and penetrometry.

### INTRODUÇÃO

O futebol é um dos esportes mais populares do mundo, sendo praticado por mais de 60 milhões de pessoas em mais de 150 países segundo o boletim da Federação Internacional das Associações de Futebol (FIFA) (MASSARANI & ABRUCIO, 2004; CASTRO, 2006). Os brasileiros, em especial, têm cultuado o futebol como uma das principais práticas de lazer das famílias.

A construção e gerenciamento de campos de futebol devem prover estabilidade e durabilidade adequada às superfícies gramadas, além de minimizar a ocorrência de danos físicos aos jogadores. A qualidade da superfície gramada de áreas desportivas, como campos de futebol, é fundamental para que os jogos ocorram normalmente. O problema é que, mesmo com um excelente gramado, a superfície de um campo de futebol sofre o pisoteio dos jogadores, e as partículas do solo sob a grama sofrem um processo de compressão, preenchendo os vazios existentes em sua estrutura desencadeando a compactação e aumentando a resistência do solo à penetração (SANTOS, 2008).

Os solos sob os gramados de futebol devem apresentar um coeficiente de permeabilidade superior à intensidade da precipitação pluviométrica da região do campo, pois a sua estrutura tem uma participação muito importante no processo de drenagem, porque além de permitir o desenvolvimento adequado da vegetação, deve possibilitar a infiltração da água que poderia se acumular na superfície. Se o coeficiente de permeabilidade for inferior à intensidade da precipitação pluviométrica, poderá haver a formação de poças de água (CARRIBEIRO, 2010).

A compactação consiste na aproximação das partículas do solo, com redução no volume por elas ocupado. Este processo resulta de tensões aplicadas sobre o solo, trazendo aumento na densidade e redução do espaço poroso, redução da infiltração e do movimento interno de água, e maior resistência mecânica do solo

ao crescimento das raízes (REICHERT et al., 2010). Desse modo, a compactação altera a fluxo hídrico do solo e, repercute diretamente no crescimento da vegetação.

Um dos indicadores de compactação no solo é a resistência do solo à penetração, que descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo. A compactação afeta a qualidade do solo e a sua avaliação é baseada na condição atual em que se encontra o solo em comparação a uma condição natural ou sem restrições ao crescimento e produtividade das plantas (SILVA et al., 2004).

A preferência em utilizar penetrômetros pelos pesquisadores para medir o estado de compactação está na praticidade e rapidez na obtenção dos resultados. Ainda, os penetrômetros medem a resistência do solo em pequenos incrementos de profundidade, sendo úteis para avaliar camadas de maior resistência em profundidade e os valores de resistência à penetração são positivamente correlacionados com a densidade e textura do solo (SILVA et al., 2004).

As propriedades físicas do solo estudadas por diversos autores variaram de um local para outro, apresentando continuidade ou dependência espacial, dependendo do manejo adotado e das próprias características de origem dos solos. Para BEUTLER et al. (2002) a resistência do solo a penetração, depende entre outros fatores, do tipo de solo, histórico de uso e preparo do solo. Solos submetidos a diferentes sistemas de manejo são alterados em profundidade e, o conhecimento deste fator é fundamental no estudo da dependência espacial.

O desenvolvimento das plantas em determinada área é caracterizado por regiões altamente desenvolvidas e outras com baixo crescimento, condição que pode ser correlacionada com a variabilidade espacial das características físicas do solo (MOLIN, 2002). O estudo da correlação da variabilidade do solo versus crescimento das plantas serve como ferramenta extremamente útil na tomada de decisões das práticas de manejo, resultando em medidas que potencializam uma exploração mais sustentável e eficiente (FREDDI et al., 2006).

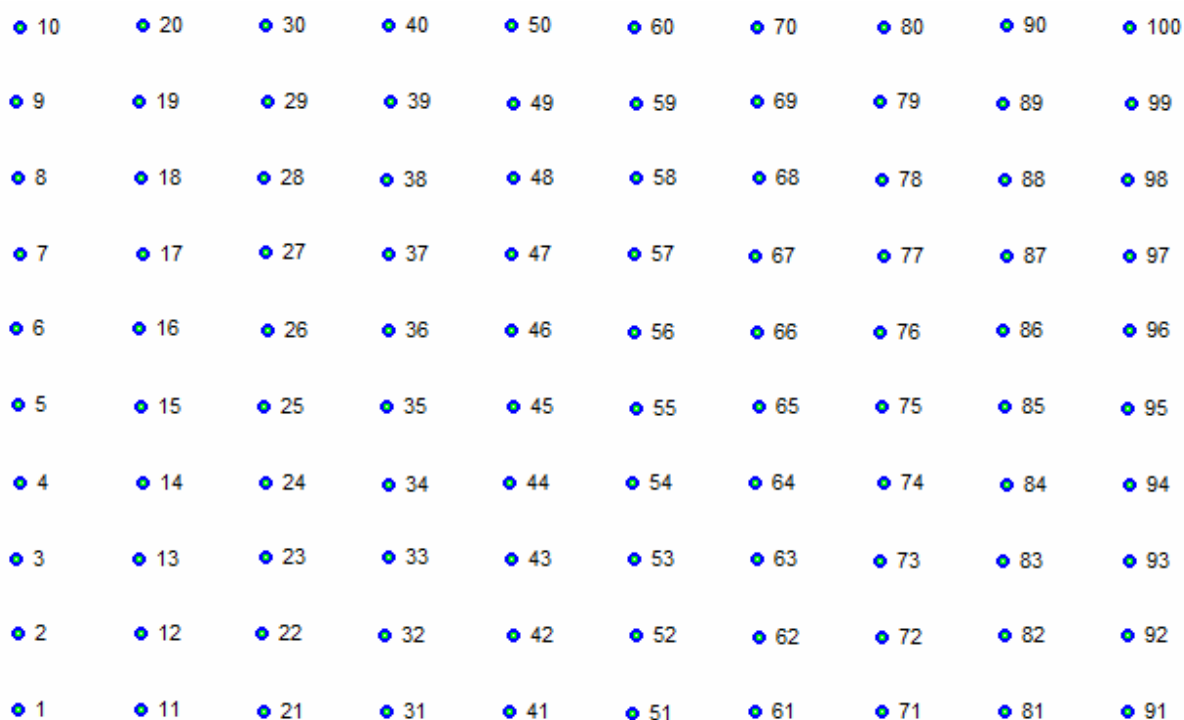
Em um campo de futebol, a pressão exercida pelos atletas está concentrada na parte central do campo e nas proximidades das goleiras. Conhecer o problema, podendo caracterizá-lo em intensidade, localização e profundidade são fundamentais para saber as causas, resolvê-las e evitar que volte a ocorrer.

A hipótese que fundamenta este trabalho é de que o pisoteio dos jogadores durante os jogos de futebol ocasione uma compressão do solo abaixo do gramado, interferindo na variabilidade espacial da resistência do solo a penetração. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração, até uma profundidade de 30 cm, como índice de compactação, no campo de futebol do Clube União Frederiquense, de Frederico Westphalen, RS.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado no ano de 2013, no campo de futebol do Clube União Frederiquense, em Frederico Westphalen, RS, localizado geograficamente a 27°21'42" S e 53°24'24" O. A área em estudo apresenta 7000 m<sup>2</sup>, o solo sob o gramado foi construído a partir de um Cambissolo Háplico (EMBRAPA, 2006), com relevo basicamente plano, o clima da região segundo a classificação de MALUF (2000) é do tipo subtropical com primavera úmida (ST PU) com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual média de 1.919 mm.

Inicialmente a área foi dividida em malha amostral de 7 x 10 m, de forma manual, com o auxílio de trenas métricas. Com esta malha, foram gerados 100 pontos amostrais (Figura 1). Os pontos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 estão localizadas de frente às arquibancadas, os pontos de 1 a 10 e 91 a 100 estão nas extremidades do campo onde encontram-se os marcos de escanteio e as goleiras. Já o centro do campo é composto pelos pontos 45-55 e 46-56.



**FIGURA 1** Localização dos pontos amostrados (malha amostral) no campo de futebol do Clube União Frederiquense, Frederico Westphalen (RS), 2013.

As medições de resistência à penetração foram realizadas com o equipamento PenetroLOG® (Medidor Eletrônico de Compactação do Solo) e o solo encontrava-se com a umidade em capacidade de campo. Foram realizadas três repetições por ponto amostral de forma aleatória para compor a média de cada ponto em uma profundidade de até 30 cm.

Após coletados, os dados foram transferidos para o computador e tabelados em planilhas eletrônicas. A espacialização da variabilidade da resistência do solo à penetração foi procedida por meio da elaboração dos mapas de isolinhas, utilizando o software FalkerMap® e medidos em Megapascal (MPa). Optou-se, baseado na literatura agrícola, pelo levantamento pontual da resistência do solo a penetração nas profundidades: 5 cm, 7 cm, 10 cm, 12 cm, 15 cm, 20 cm e 30 cm. Para isso, foram considerados os valores médios encontrados ao longo dessas profundidades. Valores discrepantes foram considerados como erros e descartados. Os mapas foram gerados utilizando-se modelos matemáticos baseados no interpolador inverso do quadrado da distância, auxiliado pelo programa FalkerMap®.

Os valores de resistência do solo a penetração foram analisados por estatísticas descritivas, tais como: média aritmética, mediana, coeficiente de

variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de determinação e de curtose, bem como o teste W (Shapiro-Wilk) (SNEDECOR & COCHRAN, 1974).

O ajuste de semivariogramas foi realizado pelo software GS+ (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2000), testando semivariogramas do tipo esférico, exponencial e linear. A escolha do modelo foi realizada observando-se o maior coeficiente de determinação e o melhor coeficiente de correlação obtido pela técnica chamada de validação cruzada. Essa técnica consiste em retirar, individualmente, cada ponto medido da área estudada e o seu valor é estimado pelo modelo como se ele nunca existisse. Após escolher o semivariograma esférico como o de melhor ajuste à variável, realizou-se a krigagem dos dados. A krigagem estima valores entre os pontos observados considerando os parâmetros do semivariograma, sendo muito útil para confeccionar mapas de superfície com maior precisão.

A razão entre o efeito pepita e o patamar  $C0/(C0+C1)$  permite a classificação do grau de dependência, e por consequência, permite inferir comparativamente sobre a dependência entre as resistências à penetração do solo. Nesse caso, são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita  $> 75\%$  do patamar, de dependência espacial moderada quando o efeito pepita está entre  $75\%$  e  $25\%$  do patamar e de fraca dependência espacial quando o efeito pepita é  $< 25\%$  do patamar (CAMBARDELLA et al., 1994).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

No campo de futebol estudado, a resistência do solo à penetração, na profundidade de 15 cm, não apresentou distribuição normal dos dados (Tabela 1). Nas demais profundidades, a resistência à penetração apresentou distribuição normal, conforme o teste W (Shapiro-Wilk). Estes resultados discordam com dos encontrados por SILVA et al. (2004), em Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho distroférico e, concordam com os obtidos em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico que não apresentaram distribuição normal na profundidade de 15 cm.

SILVEIRA et al. (2010), estudando um Argissolo Amarelo distrocoeso, concluíram que a resistência do solo à penetração apresentou distribuição diferente da normal em todas as profundidades trabalhadas. Este resultado é semelhante ao encontrado por ABREU (2000), que ao trabalhar com um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico, verificou distribuição normal para a resistência a penetração nas profundidades de 5 cm, 7,5 cm, 10 cm e 15 cm e distribuição não normal para as profundidades de 2,5 cm, 12,5 cm, 17 cm e 30 cm.

**TABELA 1** Valores de média (em MPa), mediana (Med.), mínimo (Mín. em MPa), máximo (Max em MPa), coeficiente de variação (CV em %), assimetria (Ass), curtose (Curt) e teste de Shapiro Wilk (W) para resistência à penetração, em diferentes profundidades (Profund em cm). Frederico Westphalen (RS), 2013.

Profund.	Média	Med.	Mín	Máx	CV	Ass	Curt	(W)
05	2,56	2,52	0,18	5,82	35,84	0,49	1,78	0,971*
07	3,13	3,00	0,06	6,79	33,98	0,70	2,08	0,954*
10	4,07	3,96	2,10	7,09	27,34	0,68	0,06	0,960*
12	4,65	4,36	1,96	9,49	30,16	1,01	1,25	0,937*
15	5,05	4,97	2,38	8,16	24,55	0,32	-0,29	0,982 <sup>ns</sup>
20	5,16	5,09	2,71	11,57	26,65	1,27	3,93	0,926*
30	5,53	5,00	2,73	12,24	36,38	1,33	1,75	0,889*

ns = não significativos em 5 % de probabilidade. \* significativo, apresentando distribuição normal.

Nas profundidades estudadas, a resistência do solo à penetração apresentou coeficiente de variação (CV) de 24,55% a 36,38%, classificando-se como médio, de acordo com a classificação proposta por WARRICK & NIELSEN (1980), que classificam o coeficiente de variação como baixo (< 12 %), médio (12 a 60 %) e alto (> 60 %).

Os valores médios da resistência do solo à penetração nas profundidades de 05, 07, 10, 12, 15, 20 e 30 cm foram 2,56, 3,13, 4,07, 4,65, 5,05, 5,16 e 5,53 MPa, respectivamente (Tabela 1). Constata-se um aumento da resistência do solo à penetração com o aumento da profundidade do solo. Conforme SOUZA et al. (2006), esta variação nos valores da RP, de 2,56 a 5,53 MPa, é considerada crítica para o crescimento radicular das plantas. No estudo realizado por TAVARES FILHO et al. (2001), os valores de resistência do solo à penetração de 1 a 3,5 MPa não restringiram o desenvolvimento radicular do milho, mas apenas influenciaram na morfologia das raízes. MERCANTE et al. (2003), consideraram as resistências em torno de 3,5 MPa como indicativo de baixa compactação, e de 6,5 MPa, como de alta compactação.

Com o ajuste ao modelo esférico, a avaliação da resistência do solo à penetração apresentou dependência espacial moderada (75% a 25% do patamar) em todas as profundidades estudadas (Tabela 2), conforme classificação adaptada de CAMBARDELLA et al. (1994). Ao estudar a variabilidade espacial dos atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico, sob semeadura direta, SOUZA et al. (2001) também encontraram valores de dependência espacial moderada para as características físicas analisadas. Dessa forma, acredita-se que a resistência do solo à penetração, na maioria das vezes, sofre moderada influência dos processos da pedogênese do solo (CAMBARDELLA et al., 1994).

**TABELA 2** Estimativa dos dados de efeito pepita (Co), patamar (Co+C1), alcance (A), relação efeito pepita/patamar (1-(Co/Co+C1)) e modelo ajustado aos semivariogramas, para resistência à penetração (MPa), em diferentes profundidades (Profund em cm). Frederico Westphalen (RS), 2013.

Profundidade	(Co)	(Co+C1)	(A) <sup>1</sup>	(1-(Co/Co+C1))	r <sup>2</sup>	VC <sup>2</sup>	Modelo
05	0,49	0,99	7,91	0,505	0,77	0,720	Esférico
07	0,73	1,89	17,61	0,614	0,80	0,605	Esférico
10	0,95	1,90	21,09	0,500	0,22	-1,399	Esférico
12	1,50	3,00	21,09	0,500	0,77	0,236	Esférico
15	1,17	2,35	21,09	0,502	0,57	-0,550	Esférico
20	1,44	2,89	21,09	0,502	0,30	0,212	Esférico
30	2,93	6,95	21,09	0,578	0,70	0,815	Esférico

1- Alcance em metros. 2- Validação Cruzada.

O alcance é um parâmetro importante na análise geoestatística, pois expressa a dependência espacial ou distância em que uma variável pode apresentar o mesmo efeito (OLIVEIRA et al., 2013), sendo que os pontos coletados com distâncias maiores que o alcance são independentes e sua análise é realizada pela estatística clássica (VIEIRA, 2000).

A resistência do solo à penetração, nas profundidades estudadas (Tabela 2), apresentou em todos os casos alcance superior ao estabelecido na malha amostral, variando de 7,91 a 21,09 m, indicando, de forma geral, maior continuidade na distribuição espacial da compactação.

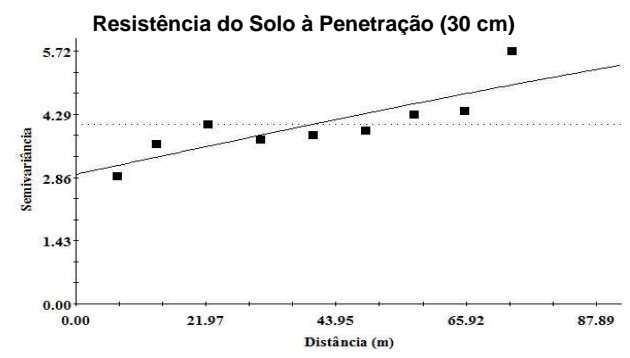
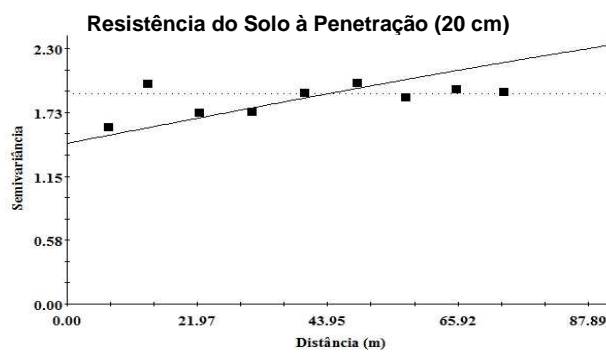
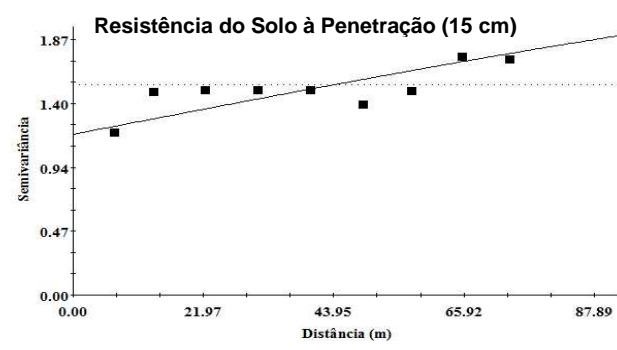
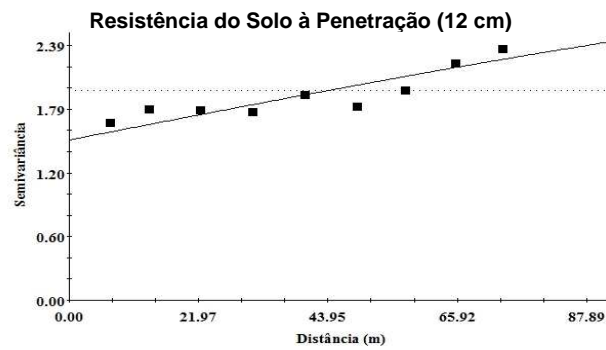
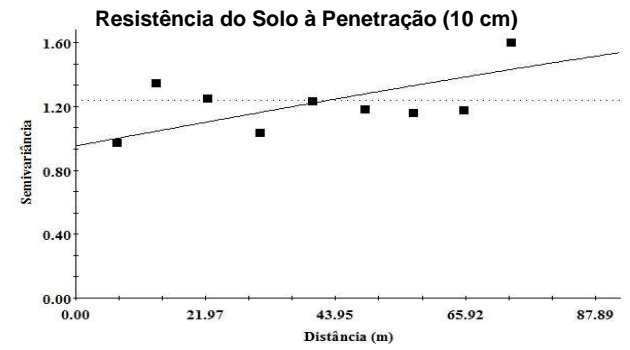
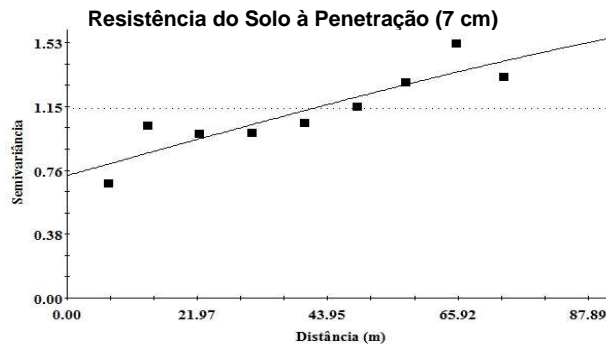
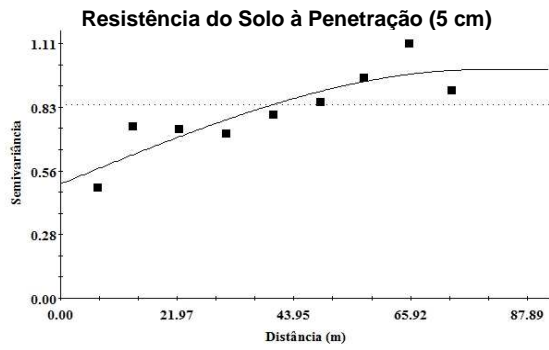
Na profundidade de 5 cm o alcance foi bem menor (7,91 m) quando comparado com as demais profundidades, ocorrendo aumento do alcance em profundidade para a variável em estudo, indicando a maior descontinuidade na distribuição espacial da resistência do solo à penetração na camada mais superficial, concordando com estudo de SOUZA et al. (2001).

SILVA et al. (2004) observaram um comportamento semelhante ao estudar a variabilidade espacial da resistência do solo a penetração em plantio direto, concluindo que na profundidade de 5 cm, o alcance da dependência espacial foi de, aproximadamente, 13 metros e nas profundidades de 7,5 e 10 cm, os valores de alcance ficaram em torno de 17 metros.

O efeito pepita é um parâmetro importante do semivariograma e indica uma variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada. Esse parâmetro pode ser expresso como porcentagem do patamar, e tem por objetivo facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo (CAMBARDELLA et al., 1994).

A resistência do solo à penetração no campo de futebol apresentou dependência espacial moderada em todas as profundidades estudadas, expressando-se por meio dos modelos de semivariogramas (efeito pepita) e ajustando-se ao modelo esférico (Figura 2).

MERCANTE et al. (2003), ao analisarem a variável resistência mecânica do solo à penetração em diferentes manejos, constataram uma dependência espacial moderada em todas as camadas avaliadas, uma vez que, todos os valores do coeficiente de efeito pepita ficaram dentro dos limites de 25 a 75 % do patamar.



**FIGURA 2** Semivariogramas da variável resistência do solo à penetração nas profundidades de 5, 7, 10, 12, 15, 20 e 30 cm. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.198; p.1892 2014



ANDRADE et al. (2005), trabalhando com a densidade do solo, observaram que os efeitos pepita ficaram de 81 a 97 % do patamar nas profundidades determinadas, concluindo-se que nessa área ocorre forte variabilidade espacial a distâncias menores que cinquenta metros.

Na Figura 3, estão representadas as isolinhas da resistência do solo à penetração nas profundidades de 5, 7, 10, 12, 15, 20 e 30 cm. Verifica-se a disposição da resistência a penetração, onde as pequenas áreas com ocorrência de concentrações de linhas de contorno fechadas indicam a ocorrência de variações nos valores da resistência do solo à penetração, isto é, flutuações nos valores em intervalo de espaço amostral pequenos. Na superfície (5 cm), não há áreas com maior estado de compactação que poderiam estar influenciando o crescimento do gramado. O impacto dos atletas no solo não foi suficiente para alterar a distribuição dos valores de resistência a penetração, provocando zonas com maiores níveis de compactação nas extremidades e na parte central do campo.

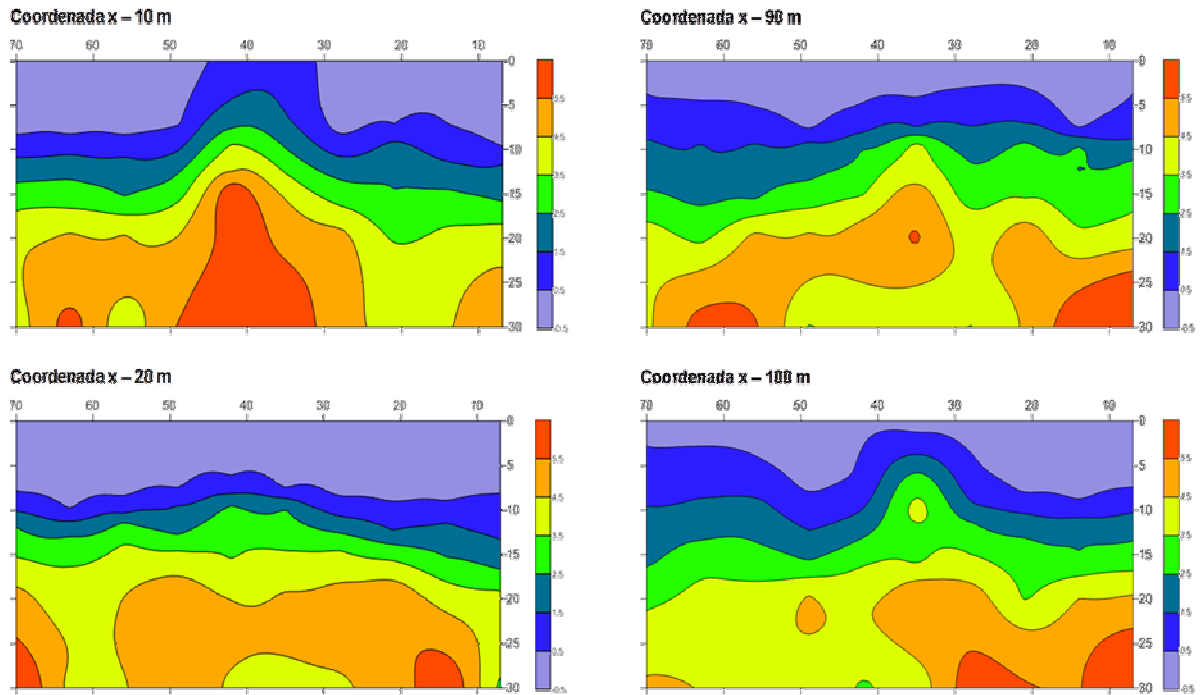
Na compactação ocorre uma reorganização das partículas que compõem a estrutura do solo, reduzindo a quantidade de ar nas proximidades da zona radicular, reduzindo a infiltração de água no solo e dificultando o crescimento radicular. Posteriormente a compactação verifica-se um decréscimo no desenvolvimento e crescimento radicular da grama, a expressão dessa condição é verificada com a formação de raízes finas e superficiais (CARRIBEIRO, 2010).

O potencial produtivo dos gramados de futebol é determinado principalmente por fatores como o clima, o solo e a espécie cultivada. Limitações ao desenvolvimento das gramas podem estar diretamente relacionadas ao fator solo. CARROW (1980), avaliando as respostas morfológicas, fisiológicas e a tolerância de três espécies de gramas de clima frio a solos submetidos a tratamento de compactação com rolo compactador, pode observar essa redução na qualidade da grama para todos os parâmetros avaliados independentemente da espécie. Os resultados obtidos pelo referido autor, comprovaram que o aumento da densidade do solo, interfere diretamente sobre o crescimento das plantas e que o crescimento torna-se limitado principalmente pela alteração nos espaços porosos do solo.

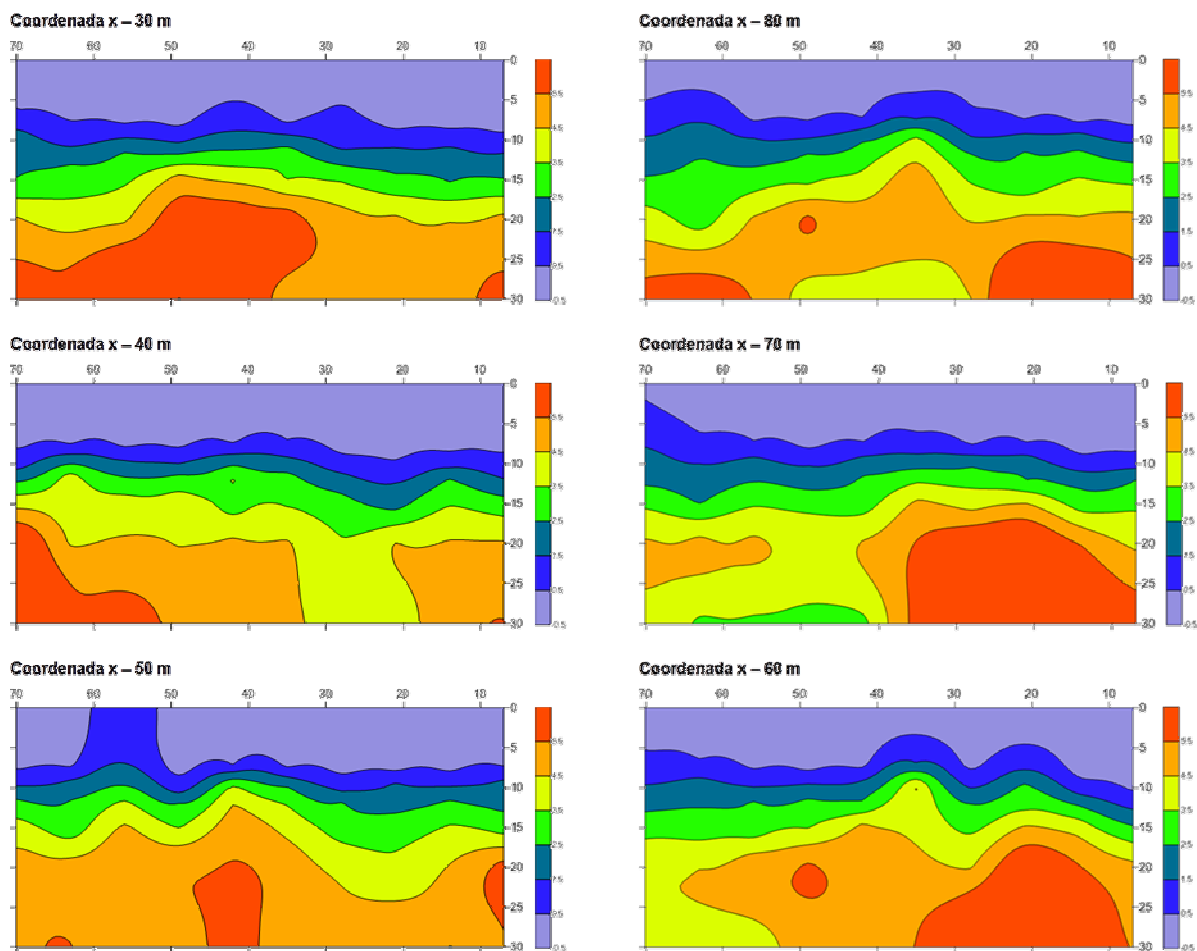
A resistência do solo à penetração cria, portanto, um ambiente bastante desfavorável para o crescimento das plantas. O pisoteio frequente causa danos significativos para as gramas no que diz respeito ao desgaste ou rompimento do sistema radicular dentro do solo indicando aumento de danos na parte aérea dos gramados (ALI HARIVANDI, 2002). As principais consequências dos danos causados em gramas devido à compactação do solo são: a redução na absorção de água e nutrientes pelas raízes, menor formação de perfilhos, rizomas, estolões e redução no desenvolvimento da parte aérea.

O declínio no desenvolvimento da parte aérea das plantas favorece o aumento na absorção de radiação solar pelo solo e elevação de sua temperatura, além de permitir a invasão de plantas daninhas, contribuindo para a deterioração do gramado (CARROW, 1981). ALI HAVIRANDI (2002) ainda afirma que há desenvolvimento de raízes rasas (superficiais) e grossas, e que ocorre perda da cor verde da grama (amarelamento geral) devido à menor disponibilidade de nitrogênio.

Nota-se uma maior compactação nas profundidades de 20 e 30 cm, nos mapas de isolinhas, em direção à coordenada X (10, 20, 90 e 100 m) nas extremidades do campo (Figura 3). Na parte central do gramado em direção a coordenada X (30, 40, 50, 60, 70 e 80 m) observa-se uma menor compactação, principalmente, nas profundidades de 5 e 7 cm (Figura 4).



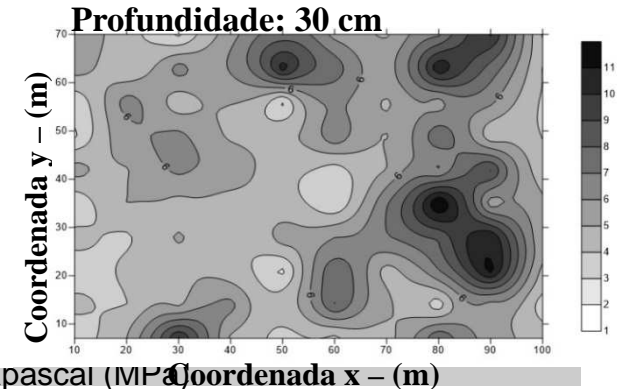
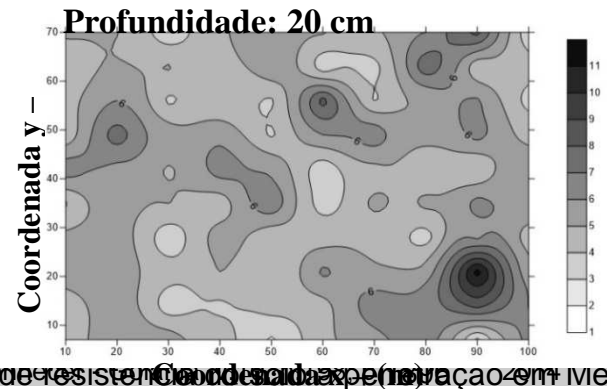
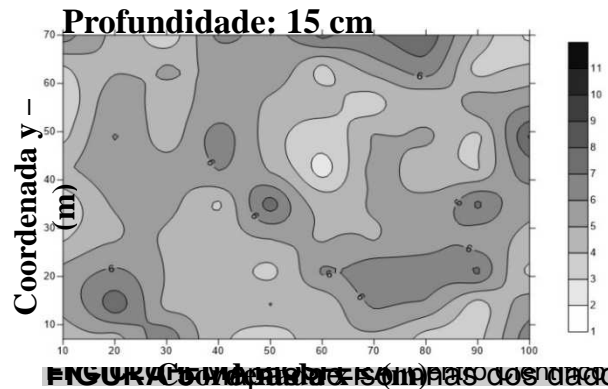
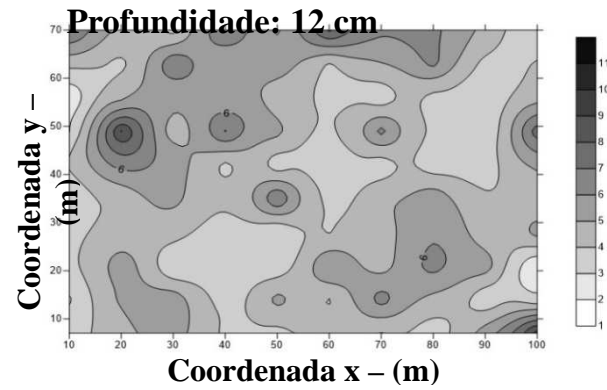
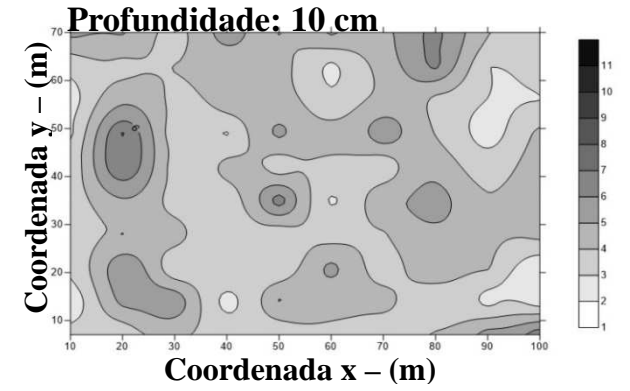
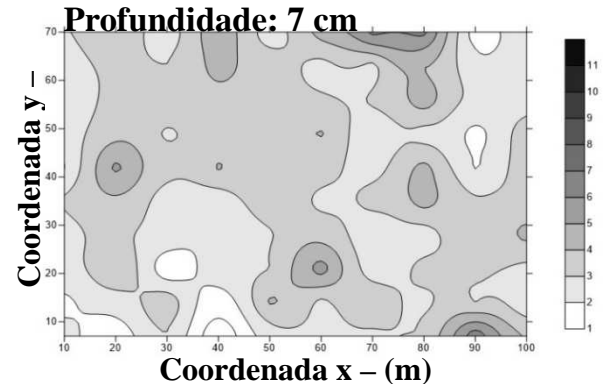
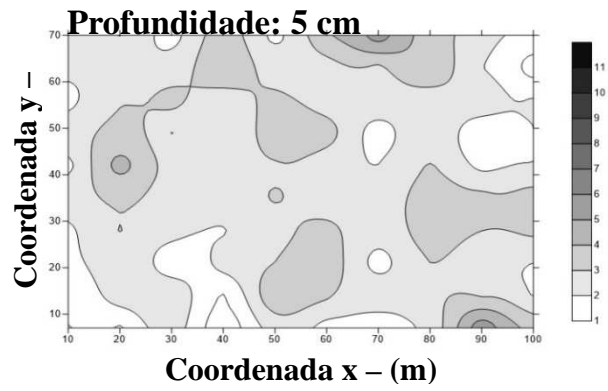
**FIGURA 3** Resistência do solo à penetração nas extremidades do campo em MPa.



**FIGURA 4** Resistência do solo à penetração no centro do gramado em MPa.

Uma das maneiras mais comuns e ilustrativas de apresentar mapas de variáveis espaciais é através de isolinhas. Existem, basicamente, três maneiras de preparar os dados para a construção de mapas de isolinhas: (1) medir a variável em estudo no menor espaçamento possível; (2) medir em um espaçamento qualquer e interpolar usando programas computacionais; (3) medir num espaçamento que permita obtenção de dependência espacial e interpolar usando o método da krigagem (VIEIRA et al., 1981). A primeira é praticamente inviável, devido ao custo de amostragem e a análise. A segunda pode gerar isolinhas completamente diferentes da realidade, uma vez que os métodos utilizados por pacotes comerciais não consideram a variabilidade espacial durante a interpolação (VIEIRA et al., 1981). A terceira é a ideal porque pode reduzir o número de amostragem e interpolar sem tendenciosidade e com mínima variância do erro de interpolação (BURGESS & WEBSTER, 1980).

Na maior parte da área, a resistência do solo à penetração encontra-se entre 3,0 e 6,0 MPa nas profundidades de 10, 12, 15, 20 e 30 cm e uma pequena parte na faixa de 1,0 a 3,0 MPa nas profundidades de 5 e 7 cm (Figura 5).



**FIGURA 10** – Contorno de isótopos dos dados de resistência ao cisalhamento em megapascal (MPa) em função da profundidade (cm) e da localização (m).

Segundo CORÁ & BERHALDO (2006) os mapas de isolinhas elaborados por meio da krigagem, levando-se em consideração a existência de dependência espacial de atributos do solo, expressada no semivariograma, apresentaram maior precisão e diferentes padrões de ocorrência da distribuição espacial dos atributos, comparados aos mapas de isolinhas construídos utilizando-se do interpolador linear para estimativa dos valores em locais não medidos.

ANDRADE et al. (2005), analisando a variabilidade espacial da densidade do solo, concluíram que a construção dos mapas de isolinhas são de grande importância, pois permitiram o estabelecimento de subáreas com características de densidade do solo semelhantes, nas quais se pode realizar, de maneira eficiente, o planejamento e manejo da irrigação. Porém, MERCANTE et al. (2003) não verificaram diferenças entre os mapas de isolinhas sobre resistência mecânica do solo à penetração, gerados a partir dos parâmetros de ajustes dos semivariogramas individuais e escalonados.

### CONCLUSÕES

Na profundidade de 5 cm, não há locais com níveis de resistência do solo à penetração que poderiam estar influenciando o crescimento do gramado.

A resistência do solo à penetração aumenta ao longo do perfil do solo estudado.

A resistência à penetração do solo no campo de futebol apresenta dependência espacial moderada em todas as profundidades estudadas.

### REFERÊNCIAS

ABREU, L.S. **Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo**. 2000. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

ALI HARIVANDI, M. Turfgrass traffic and compaction: problems and solutions. Berkeley: University of California, **Agriculture and Natural Resources**, 2002. 6 p.

ANDRADE, A.R.S.; GUERRINI, I.A.; GARCIA, C.J.B.; KATEZ, I.; GUERRA, H.O.C. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 322-329, mar./abr. 2005.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; SILVA, L.M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em latossolos. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n.2, p. 191-199, maio 2002.

BURGESS, T.M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. **The Journal Soil Science**, Oxford, v.31, n.2, p. 315-331, June1980.

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 America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, Sept.1994.

CARRIBEIRO, L. S. **Potencial de água no solo e níveis de compactação para o cultivo de grama esmeralda**, 2010. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

CARROW, R. N. Influence of soil compaction on three turfgrass species. **Agronomy Journal**, Manhattan, v. 72, n.6 p.1038 -1042, Nov./Dec. 1980.

CARROW, R.N. **Soil compaction**. Manhattan.1981. p. 59-66. Golf course management.

CORÁ, J.; BERARDO, J. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 374-387, mai./ago.2006.

CASTRO, J. A. **Histórias do Futebol: Estórias da Bola: Todos os Campeonatos do Mundo**. 1ª ed. Editora Edipromo. 318 p. 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; VERONESE JUNIOR, V.; CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, jan./abr.2006.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. Geostatistics for the environmental sciences (version 5.1 for windows). Michigan, 2000.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, 141-150, 2000.

MASSARANI, L.; ABRUCIO, M. **Bola no pé - a incrível História do Futebol**. Cortez Editora, 32 p. 2004.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M.A.; SOUZA, E.G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.1149-1159, 2003.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M.C.C.; RODRIGUES, M. D. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1103-1112, jul./ago. 2013.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L.E.A.S.; HORN, R. Mecânica do Solo. In: VAN LIER, Q, J. **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.29-102.

SANTOS, J. P. **Uso de Geocomposto Drenante em Campos de Futebol**, 2008. Disponível em: <http://gramadosmarilia.com.br/wp-content/uploads/2012/07/Drenagem-MacDrain.pdf>.

SILVA, V. R.; REICHERT J. M.; REINERT D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 399-406, mar./abr. 2004.

SILVEIRA, D.C. et al. Relação umidade *versus* resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 7.ed. Ames : Iowa State University, 1974. 507p.

SOUZA, Z.M.; SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, G.L.; CAMPOS, D.T.S.; CARVALHO, M.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.699-707, 2001.

SOUZA, Z. M.; JUNIOR, J. M.; COOPER, M.; PEREIRA, G. T. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 487-492, 2006.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.3, p. 725-730, 2001.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-53.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, p.1040-1048, 1981.

WARRICK, A.W.; Nielsen, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: **Hillel, D.(ed.). Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980.