

VARIABILIDADE ESPACIAL DO ÍNDICE DE CONE (IC) E SEU RELACIONAMENTO COM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLO

RUBEN FRANCO¹, JUAN JOSE BONNIN², JOSE EMILIO MEROÑO³, MARIA
GLORIA CABRERA⁴

¹ Mestre, Faculdade de Ciências Agrárias/UNA, Fone 595-971-151-445, e-mail rubenf27@yahoo.com.mx

² Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias/UNA, Fone 595-985-229-061, jose.bonnin@hotmail.com

³ Doutor, Escola Técnica Superior de Engenheiros Agrônomos e Montes/ETSIAM-UCO, jemerono@uco.es

⁴ Doutora, Faculdade de Ciências Agrárias/UNA, Fone 595-983-899-727, ayacabrera@hotmail.com

Apresentado no

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O objetivo desta pesquisa foi estudar a variabilidade espacial do índice de cone (IC) e seu relacionamento com algumas propriedades físicas do solo. Os parâmetros analisados foram; a resistência mecânica à penetração do solo através do IC, textura, densidade aparente e conteúdo de água. Os resultados foram apresentados na forma de mapas, o qual permitiu a visualização da variabilidade espacial dos parâmetros estudados. Em consideração aos resultados obtidos nas diversas profundidades amostradas, evidenciou-se que a mesma apresentava camadas compactadas, entre 100 a 400 mm de profundidade. Igualmente, a densidade apresentou-se elevada, podendo ocasionar problemas no crescimento radicular das plantas. Por tanto, recomenda-se uma operação de subsolado até uma profundidade de 400 mm em toda a área, tendo em consideração a compactação e a densidade distribuída aleatoriamente na área de estudo, não apresentando manchas individualizadas em forma significativa.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de cone (IC), variabilidade espacial, agricultura de precisão.

SPATIAL VARIABILITY INDEX CONE (IC) AND ITS RELATIONSHIP WITH SOME PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL

ABSTRACT: The objective of this research was to study the spatial variability of cone index (CI) and its relation with some physical properties of soil. The parameters analyzed were: the mechanical resistance to soil penetration through the IC, texture, bulk density and water content. The results were presented in the form of maps, which allowed visualization of the spatial variability of the parameters studied. Considering the results obtained in the various depths sampled, we found that it had compacted layers, between 100 to 400 mm deep. The density is high; it may cause problems in the plant root growth. Therefore, ripping operation is recommended to the depth of 400 mm in the entire area, considering compaction and density distributed randomly in the area under analysis, showing no significant staining individualized

KEYWORDS: Cone Index (CI), spatial variability, precision agriculture.

INTRODUÇÃO:

Embora a compactação do solo seja um problema antigo, ainda encontra-se presente nas mais diversas explorações agrícolas, inclusive em áreas que tem manejo de solo conservacionista,

que, conforme com SUZUKI et al. (2008), configura-se como uma das principais causas que limita a maximização do rendimento das plantas cultivadas. De acordo com COHRON (1971), a compactação é originada por duas fontes principais. A primeira, de origem natural (Forças envolvidas nos processos de umedecimento, secado e congelamento), relacionada com as propriedades intrínsecas do solo como textura e conteúdo de matéria orgânica. O conteúdo de água no solo é uns dos fatores que mais interferem na compactação (LIMA et al., 2007), como assim também a fração de argila no solo (TAVARES FILHO & RIBON, 2008). A segunda, de origem externo ou mecânicos, originadas pelo pisoteio de animais e trânsito de veículos e implementos agrícolas. Sendo estas últimas, as mais influentes no processo de compactação de solo de acordo com CAVALIERI et al. (2009), devido às cargas aplicadas ao solo através da utilização de máquinas agrícolas. Mas especificamente, pelo revolvimento do solo por implementos utilizados na preparação de solos, como o arado, a grade e inclusive operações mal realizadas com escarificadores, (COSTA et al., 2009). Para ROSA (2007), além do deterioro da estrutura do solo, a compactação traz consigo a desvantagens de incremento na força de tração por área mobilizada, gerando consequências como aumento do consumo de combustível, redução da vida útil dos mecanismos ativos do trator e semeadora. Atualmente, a ciência do solo tem-se apoiado na geoestadística que, conjuntamente com a estatística descritiva, tem dado inúmeras respostas às mais variadas questões existentes que, até então eram ignoradas, como a especialização e a dependência espacial dos atributos físico-químicos e biológicos (CARVALHO et al., 2004). Para REICHERT et al. (2007), ao se conhecer os locais críticos da ocorrência da compactação em um área, o manejo específico pode ser realizado de forma a atuar somente em locais onde o problema é ainda mais severo, possibilitando assim, a diminuição dos custos de operações agrícolas, gasto de tempo e de mão de obra. A variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo é fato e pode ocorrer em varias escalas. O objetivo desta pesquisa foi estudar a variabilidade espacial do índice de cone (IC) e seu relacionamento com algumas propriedades físicas do solo, utilizando a ferramenta de agricultura de precisão.

MATERIAL E MÉTODOS:

A pesquisa foi realizada em uma propriedade comercial denominada Santa Maria, localizada no Distrito de San Ignacio, Departamento de Misiones, cuja coordenadas geográficas são: Latitude 26°51'20" S e Longitude 57°71'25" W (Datum WGS 84). A metodologia utilizada baseou-se na ferramenta de agricultura de precisão. Primeiro, foi realizado um mapeamento de toda a área selecionada através de um receptor GPS Trimble Juno 3B, no qual os vértices da área selecionada é demarcada. O perímetro definido para determinar a força da penetração do solo por meio de índice de cone (IC) polígono, textura, densidade e teor de água no solo, foi 889 m, coberto por uma superfície 4,51 ha. A grade da amostragem para a determinação dos parâmetros analisados no trabalho foi feito de modo a proporcionar o maior número de pontos possíveis para a melhor caracterização da caixa, à qual foi definida uma amostragem grade regular no campo de 50x50 m, de modo a definir uma melhor distribuição espacial dos pontos na área do estudo, num total de 20 pontos de análise. A determinação da localização e distribuição geográfica de todos os pontos de amostragem foi realizada utilizando o programa de computador Farm Works Móvel. Uma vez que os pontos de amostragens definiram a área experimental foi realizado um levantamento da resistência mecânica à penetração do solo, com o auxílio de um penetrômetro eletrônico da marca Eijkelkamp nas profundezas 0-100, 100-200, 200-300 e 300-400 mm e em seguida, nos mesmos locais foram coletas indeformadas de solo deformado e para a caracterização física da área de ensaio com o auxílio de um amostrador manual do solo na profundidade acima mencionado, com exceção das

amostras de textura, foi amostrado solo apenas nas profundezas de 0-200 e 200-400 mm. Amostras de solo foram devidamente impermeabilizadas com sacolas de plástico, a fim de manter a amostra não perturbadas, e encaminhadas ao laboratório piso térreo. Significativamente, cada um dos pontos obtidos na área, foram devidamente georreferenciados e analisados de forma independente. Para determinar o teor de água no solo foi utilizado sensor de umidade eletrônico cujo princípio de medição é eletromagnético. Para analisar os dados, em primeiro lugar, foi realizada uma análise exploratória a fim de se descrever os parâmetros estatísticos, que auxiliaram na identificação de tendência, a dispersão e distribuição e forma dos dados coletados (Homogeneidade e normalidade). A análise espacial dos dados foi realizada através de uma análise geoestatística para verificar a autocorrelação espacial, investigamos a magnitude da correlação entre as amostras e a semelhança ou a distância. Para esta análise, foi utilizado o programa GS⁺ Geoestatística. Finalmente, os parâmetros foram ajustados semivariogramas utilizados para mapear a distribuição espacial dos parâmetros analisados na pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Na Tabela 1, são apresentados os resultados da análise estatístico para os valores de índice de cone (IC), nas diferentes profundidades estudadas, como assim também os parâmetros físicos do solo. Todos os valores obtidos para todos os parâmetros analisados apresentaram uma curva de distribuição normal, de acordo ao teste de SHOPIRO-WILKS.

TABLA 1. Estatística descritiva relativa a valores de índice de cone, textura, densidade e conteúdo água no solo, nas diferentes profundidades estudadas.

Profundidade	Media	Mínimo	Máximo	DS	CV(%)	Curtose	Assimetria
Índice de Cone (kPa)							
0-100 mm	1972,62	939,79	3628,04	701,33	40,43	0,67	0,81
100-200 mm	3407,76	1524,16	6841,60	1310,74	38,46	1,11	0,99
200-300 mm	2715,32	1298,61	5529,06	1097,80	35,55	1,98	1,57
300-400 mm	1878,04	1296,51	2368,51	283,58	15,10	-0,47	-0,24
Conteúdo de Agua no solo (g/g)							
0-100 mm	0,14	0,08	0,28	0,06	39,59	0,81	1,22
100-200 mm	0,17	0,10	0,23	0,03	18,08	0,99	0,19
200-300 mm	0,18	0,12	0,23	0,03	17,84	-0,58	-0,18
300-400 mm	0,19	0,11	0,24	0,03	17,07	0,63	-0,72
Densidade Aparente do Solo (g/cm ³)							
0-100 mm	1,43	1,11	1,68	0,13	9,02	1,45	-0,59
100-200 mm	1,54	1,27	1,79	0,13	8,76	-0,39	-0,06
200-300 mm	1,56	1,34	1,78	0,13	8,39	-0,76	0,20
300-400 mm	1,59	1,43	1,86	0,12	7,73	0,81	1,15
Textura do Solo (%) – Profundidade de 0-200 mm							
Areia	69,37	65,00	72,00	2,43	3,51	-1,41	-0,51
Silte	10,74	9,00	12,00	0,87	8,12	0,06	-0,55
Argila	19,89	16,00	25,00	3,05	15,35	-1,27	0,61
Textura do Solo (%) – Profundidade de 200-400 mm							
Areia	67,95	65,00	72,00	2,61	3,85	-1,69	0,25
Silte	10,26	9,00	12,00	1,15	11,18	-1,47	0,16
Argila	22,32	17,00	32,00	3,92	17,55	0,36	0,48

Como pode-se observar na análise estatística da Tabela 1, as médias calculadas de IC vão aumentando até a profundidade de 100-200 mm, onde registraram-se valores máximos de IC de até 6841,60 kPa. Posteriormente, estes valores de resistência mecânica à penetração foram diminuindo na medida que aumentava a profundidade de amostragem. Para os valores de coeficientes de variação (CV) obtidos para o IC, para cada perfil horizontal analisado, se apresentou um comportamento diferente em quanto a esse parâmetro estatístico, diminuindo na medida que aumentava a profundidade. Em base aos limites propostos por WARRICK e NIELSEN (1980), todos os valores de IC registrados nas diferentes profundidades, apresentaram uma variabilidade média ($12\% < CV < 60\%$).

Com respeito ao conteúdo de água no solo durante o momento da avaliação a campo, os perfis horizontais estudados apresentavam uma distribuição normal. Na medida em que aumentava a profundidade da amostra, o conteúdo volumétrico de água aumentava, de 0,14 a 0,19 g/g.

Para valores médios da densidade aparente do solo, observou-se aumento com relação à profundidade do solo analisado, de 1,43 a 1,59 g/cm³ nas profundidades de 0 a 400 mm. Tendo em conta a relação entre a densidade e o crescimento radicular, em base à textura do solo estabelecido pela USDA (1999), se pode afirmar que este solo já tem superado os níveis ideais de densidade aparente para um solo de textura franco arenoso (<1,40 g/cm³), em todos as profundidades analisadas, podendo afetar desta maneira o crescimento radicular das plantas. Isto, coincidindo com o expressado por ARSHAD et al. (1996) que a medida que aumenta a profundidade do solo aumenta a densidade aparente da mesma.

Com base nos resultados obtidos para o parâmetro de textura de solo e de acordo com a classificação da USDA (1999), a área estudada foi classificada como de textura franco arenosa, onde as porcentagens médias de areia estiveram entre 69,37 e 67,95%, superando amplamente o 45% de conteúdo necessário para ser considerado textura arenosa, para ambas profundidades analisadas. Os parâmetros estudados foram submetidos a uma matriz de correlação entre os valores de IC e as propriedades físicas de solo estudadas, embora, não foi possível detectar uma correlação entre as mesmas em nenhuma das profundidades de amostragem.

Posteriormente, a análise exploratória, foram confeccionados os semivariogramas para cada uma das variáveis analisadas nas diferentes profundidades amostradas. Sendo assim, possível observar estes parâmetros tabulados na Tabela 2. O grau de dependência espacial que apresentaram os dados de IC foram de média a alta dependência para todas as profundidades analisadas, segundo a classificação proposta por CAMBARDELLA et al. (1994).

Os modelos de semivariograma teórico que permitiram o melhor ajuste para os diferentes parâmetros estudados foi o esférico, apresentando índices de dependência espacial alta, no assim para algumas das variáveis analisadas que apresentaram um efeito pepita puro, já que este não apresentavam continuidade espacial.

Os valores de alcance (A₀) para todas variáveis estudadas, em geral, foram maiores a distância de amostragem (50 m) utilizada, exceto para a profundidade do IC de 0-100 mm, que apresentou uma distância menor de 30,10 m. De acordo a GUERRA (1988), o alcance corresponde ao conceito da região de influência ou dependência espacial de uma mostra, marcando a distância a partir da qual, as amostras tornam-se independentes.

TABELA 2. Parâmetros do semivariograma para os valores de índice de cone, textura, densidade e conteúdo água no solo, nas diferentes profundidades estudadas

Profundidade	Modelo	Efeito pepita Co	Meseta C ₁ +Co	Alcance Ao (m)	Co/C ₁ +Co (%)	Depend. Espacial
Índice de Cone (kPa)						
0-100 mm	Esférica	1000	487800	30,10	21	Alta
100-200 mm	Ef. pepita puro	----	----	----	----	----
200-300 mm	Esférica	1000	1120000	93,70	9	Alta
300-400 mm	Esférica	100	79600	77,50	13	Alta
Densidade Aparente do Solo (g/cm ³)						
0-100 mm	Ef. pepita puro	----	----	----	----	----
100-200 mm	Esférica	0,00001	0,01532	84,20	7	Alta
200-300 mm	Esférica	0,00001	0,01492	115,60	7	Alta
300-400 mm	Esférica	0,00001	0,01282	147,50	8	Alta
Conteúdo de Água do Solo (g/g)						
0-100 mm	Esférica	0,00001	0,00406	115,70	2,5	Alta
100-200 mm	Esférica	0,00001	0,00105	76,20	9,5	Alta
200-300 mm	Esférica	0,00001	0,00105	73,60	9,5	Alta
300-400 mm	Esférica	0,00001	0,00113	88,60	8,8	Alta
Textura do Solo (%) – Profundidade de 0-200 mm						
Areia	Ef. pepita puro	----	----	----	----	----
Silte	Ef. pepita puro	----	----	----	----	----
Argila	Ef. pepita puro	----	----	----	----	----
Textura do Solo (%) – Profundidade de 200-400 mm						
Areia	Esférica	0,01000	7,6560	151,70	1,3	Alta
Limo	Ef. pepita puro	----	----	----	----	----
Argila	Esférica	0,01000	12,98	142,60	8	Alta

Para os parâmetros que apresentavam continuidade espacial y meseta definidas foram efetuados: a interpolação e a gemação dos mapas através do krigeado. Não assim, para os parâmetros que apresentaram um efeito pepita puro, motivo pelo qual, foi efetuada uma interpolação pelo método de inversa à distância. Os dados de penetrometria coletados, apresentaram uma serie de informações importantes com relação ao manejo da área. Ao analisar, visualmente, cada mapa de iso-compactação do solo, representadas na Figura 1 onde pode se observar que, em todas profundidades estudadas, existem regiões com maior ou menor resistência bem definidas, variando somente a conformação das áreas e a intensidade da resistência mecânica do solo. Pode-se ressaltar que na profundidade IC 100-200 mm, se observou os maiores níveis de compactação de solo, com valores que estiveram na ordem de 2000 a 6000 kPa, a pesar que estes níveis de compactação diminuem com o aumento da profundidade. De acordo com SILVA et al. (2000), solos com IC por cima de 2000 kPa indicam uma possibilidade de compactação, limitando o crescimento radicular para a maioria dos cultivos.

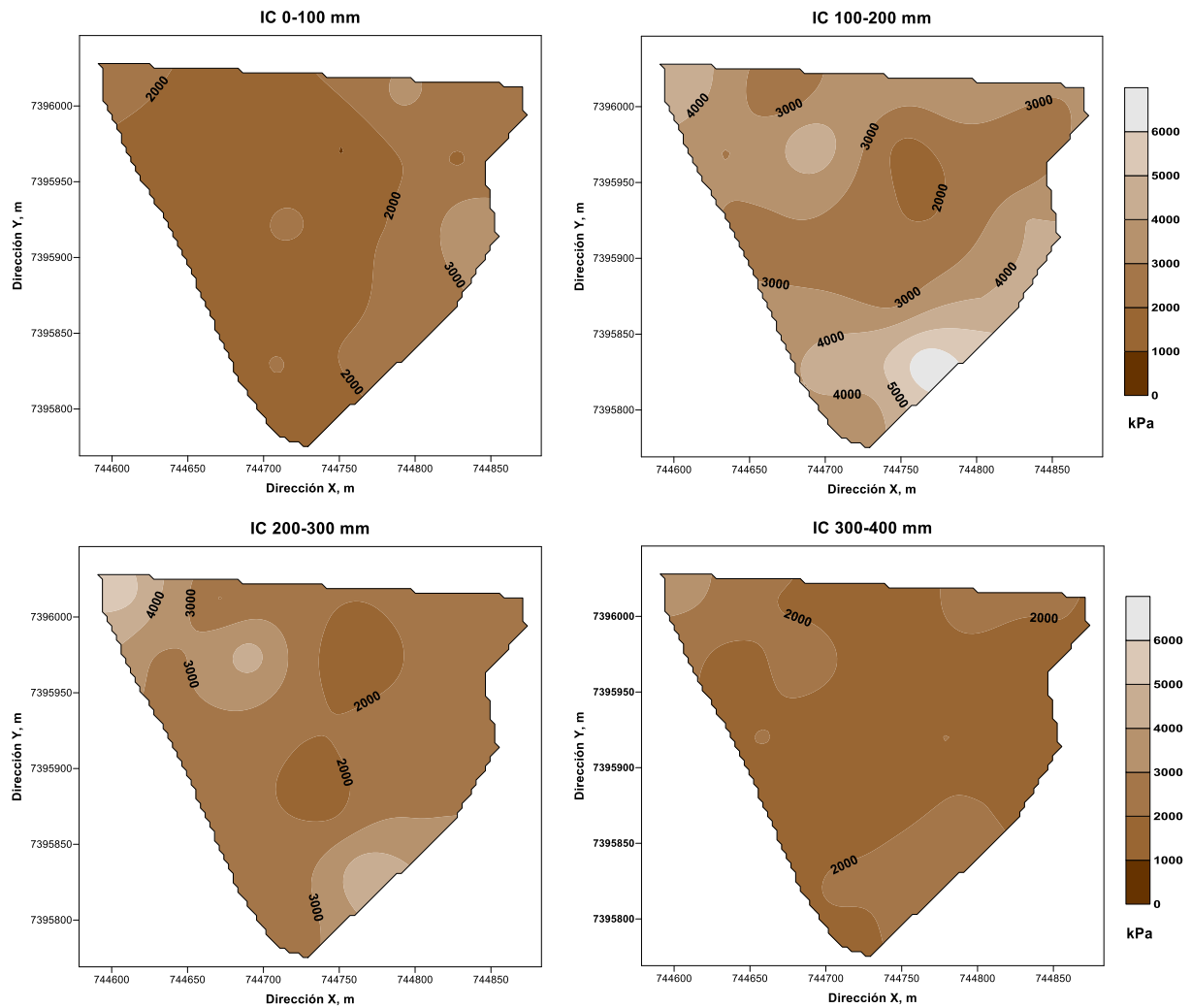


FIGURA 1. Mapas da distribuição espacial do índice de cone (IC), por faixas de profundidade

Na Figura 2, observam-se os valores da variabilidade espacial do conteúdo de água nas diferentes profundidades avaliadas. Observou-se, claramente, que na primeira profundidade tem maior variabilidade espacial (0,11 a 0,23 g/g). Dita situação foi cambiando com a profundidade, ou seja, a maior profundidade foi incrementando-se o conteúdo de água no solo, pero com menor variabilidade espacial, coincidindo com o expressado por DÍAS JÚNIOR y MIRANDA (2000), que independentemente à classe de solo, na medida que aumenta a profundidade, também aumenta o conteúdo de água da mesma, valores que em alguns casos chegaram a estar na faixa de 0,23 a 0,26 g/g.

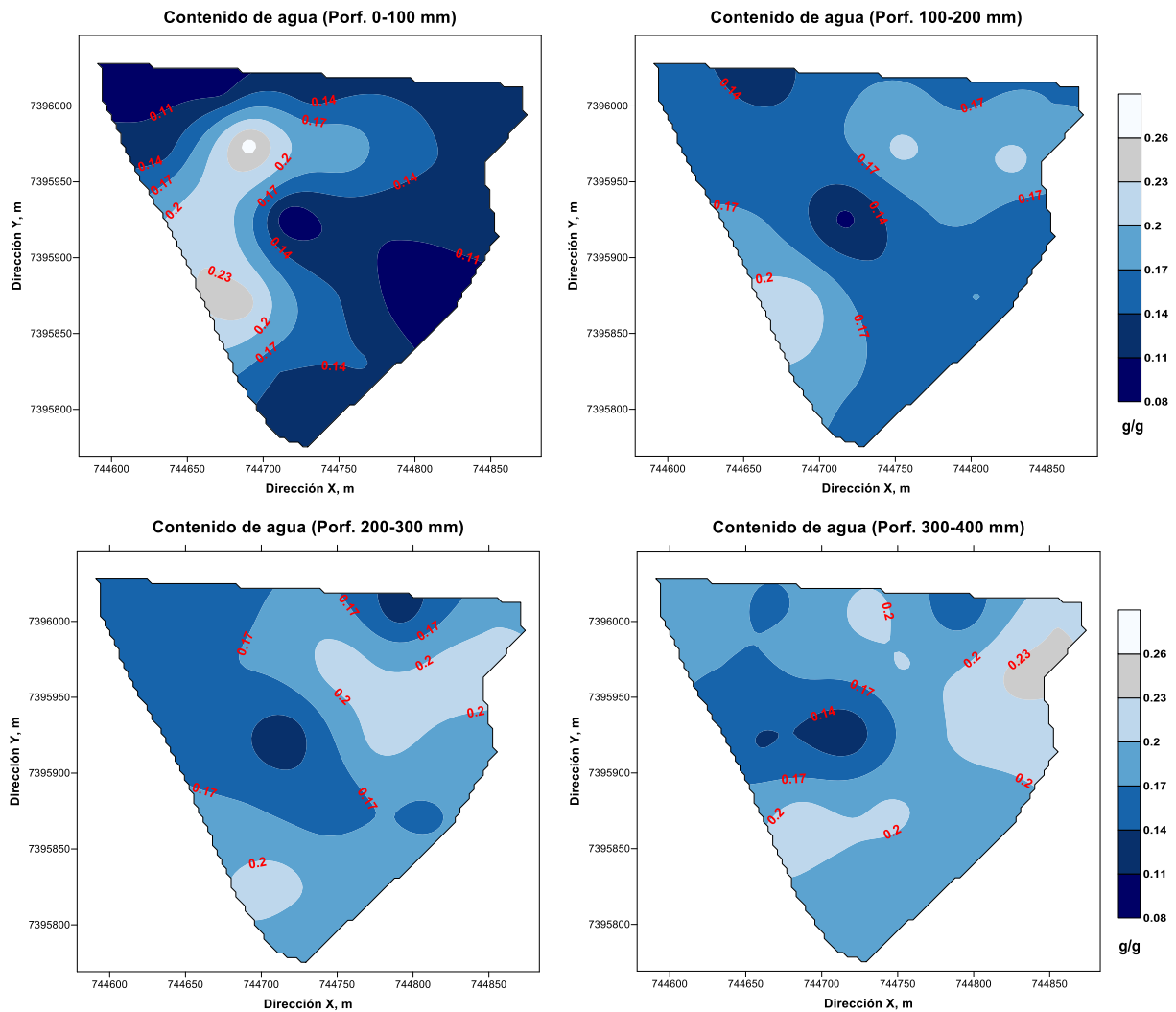


FIGURA 2. Mapas da distribuição espacial do conteúdo de água no solo, por faixas de profundidade.

Tendo em conta a variabilidade espacial da densidade aparente do solo nas diferentes profundidades (Figura 3), onde observou-se um comportamento semelhante em quanto à distribuição espacial os valores de IC, a pesar que não foi detectada uma correlação entre ambos parâmetros. Registrou-se um aumento de densidade de 1,11 a 1,77 g/cm³, que de acordo com o estabelecido pela USDA (1999), este incremento na densidade do solo pode afetar o crescimento radicular das plantas

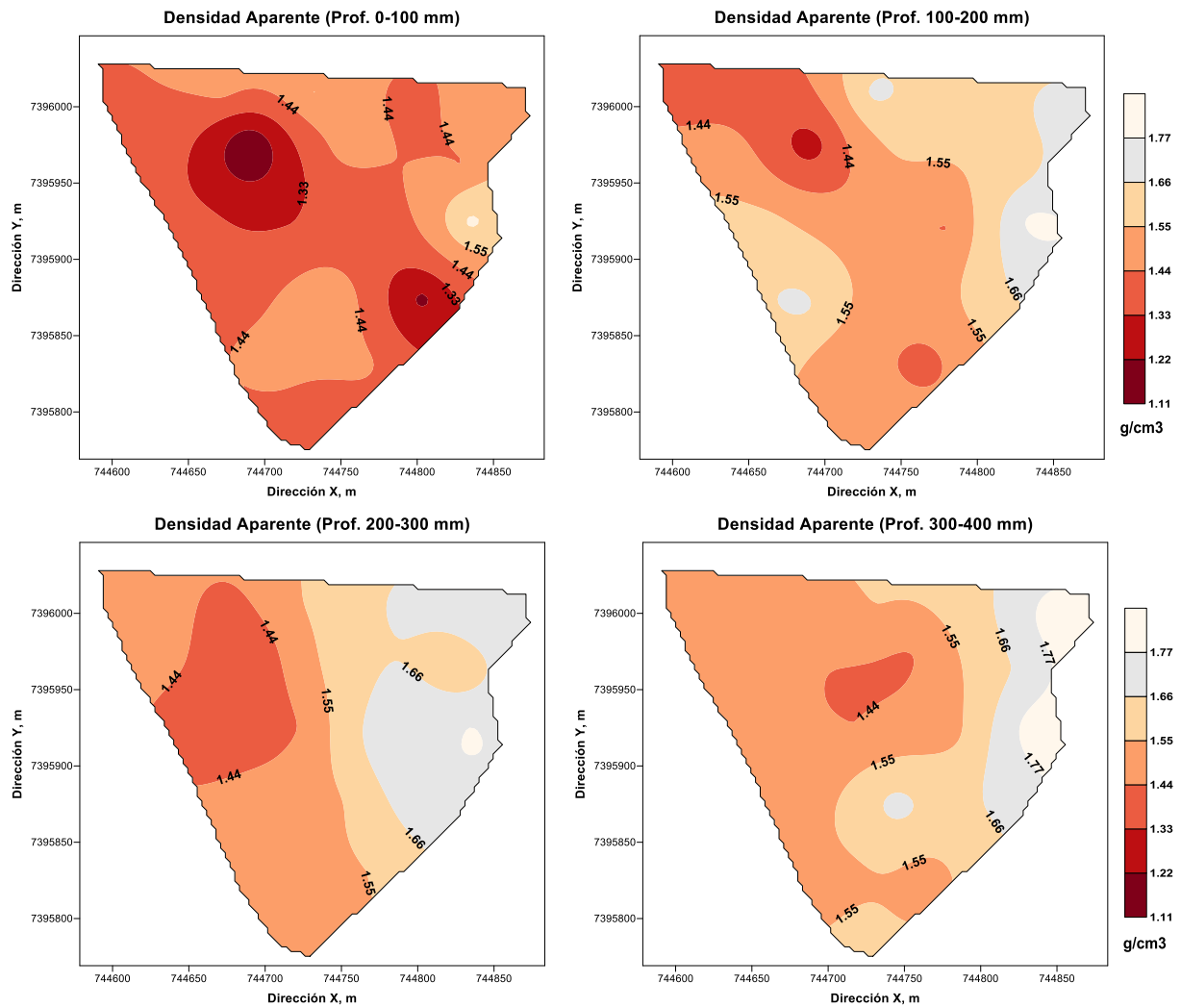


FIGURA 3. Mapas a distribuição espacial da Densidade aparente do solo (g/cm^3), por faixas de profundidade.

Em quanto à distribuição espacial do conteúdo de areia, silte e argila nas profundidades de 0 a 200 mm y 200 a 400 mm, representada na Figura 4, observou-se uma certa relação da distribuição da areia com a argila, encontrando-se uma maior percentagem de areia (65 a 72%), em comparação a percentagem de argila que esteve dentre 17 a 30%. Em quanto à percentagem de silte, este apresentou uma variação media de 9 a 12%. De acordo com USDA (1999), o solo da área seleccionada apresentava uma textura franco arenosa.

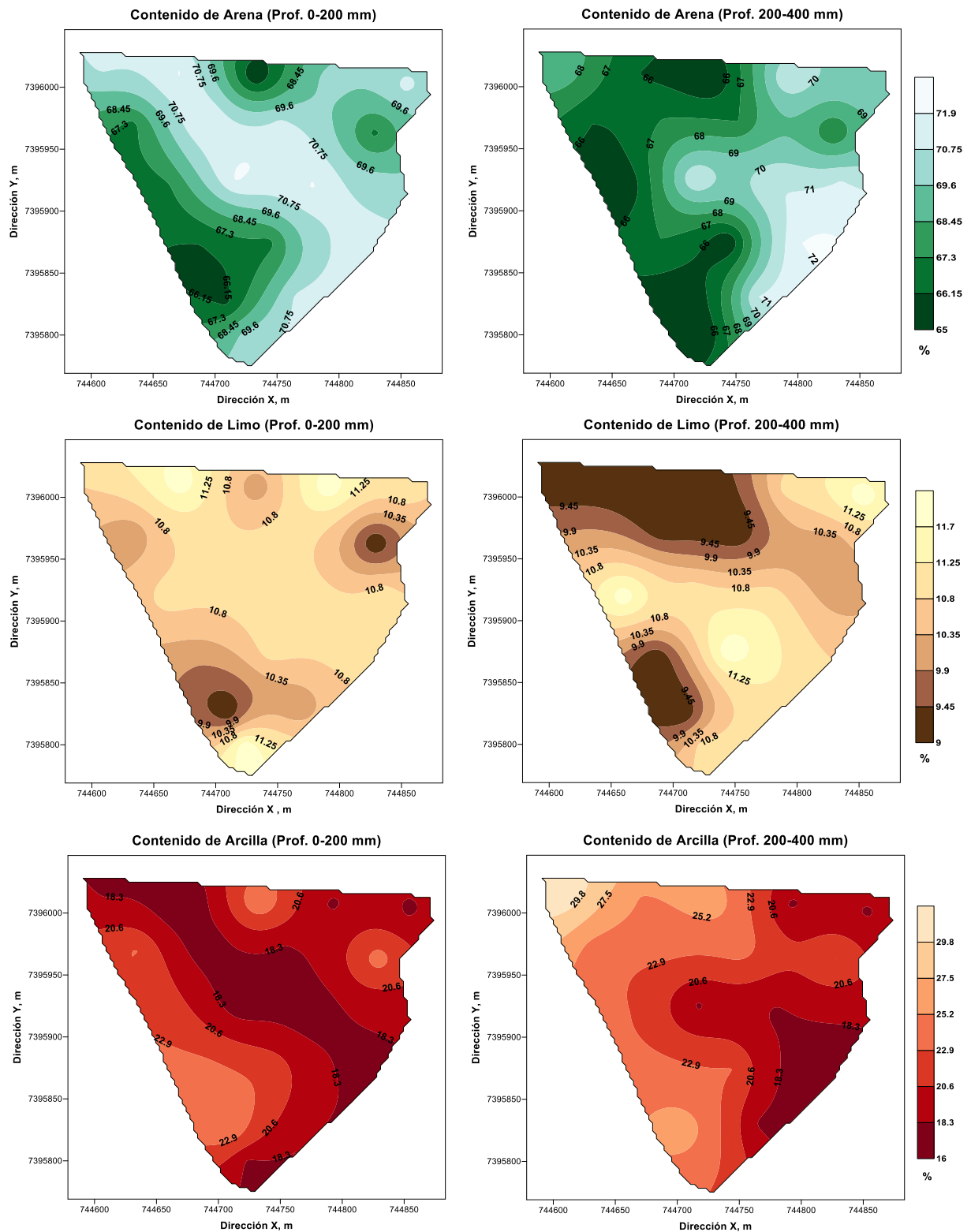


FIGURA 4. Mapas da distribuição espacial do conteúdo de Areia, Silte e Argila no solo, por faixas de profundidade.

CONCLUSÕES:

A área objeto de análise, apresentou camadas compactadas, entre os 100 a 400 mm de profundidade. A densidade encontra-se elevada, podendo ocasionar problemas no crescimento

radicular das plantas. Não foi possível detectar uma correlação dentre os valores de IC e as propriedades físicas do solo estudadas neste trabalho, em nenhuma das profundidades de amostragem. Se recomenda uma operação de subsolado até a profundidade de 400 mm para toda a área, considerando que a compactação e a densidade se distribuí aleatoriamente em toda a área, no presentando manchas individualizadas em forma significativa.

REFERÊNCIAS

- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. S.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. S.; KARLEN, O. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. 1994. Field scale variability of soil properties in centralloa soils. **Soil Science Society of America Journal**. v. 58, n. 5. p. 1501-1511.
- CARVALHO, J. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pes. Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.
- CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P. DA; ARVIDSSON, J.;TORMENA, C. A. Influência da carga mecânica de máquina sobre propriedades físicas de um cambissoloháplico. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.477-485, 2009.
- COHRON, G. T. Force's causing soil compaction. In: BARNES, K. K. et al. **Compaction of agricultural soils**. ASAE, Michigan, 1971, cap. 4, p. 106-124.
- COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA; A. L.; SILVA, F. R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.235-244, 2009
- DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. 2000. **Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de lavras (MG)**. Ciência Agrotécnica, Lavras, v. 24, n. 2, p. 337- 346.
- GUERRA, P.A.G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral, 1988. 145p.
- LIMA, C. L. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; DALBIANCO, L. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho distrófico. **Ciência Rural**, v.37, p.1166-1169, 2007.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p. 239-249, 2000.
- SUZUKI, L.E.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. & LIMA, C. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, 32:963-973, 2008.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.242-254, 2009.
- ROSA, D. P. Comportamento Dinâmico e Mecânico do Solo sob Níveis Diferenciados de Escarificação e Compactação. Santa Maria, 2007. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFSM.
- TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Rev. Brasileir. de Ciência do Solo**, v.32, p.487-494, 2008.
- USDA. **Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo**. Argentina, 1999.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. 385 p.