

# Estudio de la compactación de un Ferralsol manejado con un sistema de no laboreo en Selvíria (MS, Brasil)

## Compaction state in a Ferralsol with no tillage management in Selvíria (MS, Brazil)

MONTANARI, R.<sup>1</sup>, CARVALHO, M. P.<sup>2</sup>, ALVES, M. C.<sup>2</sup>, GONZÁLEZ, A. P.<sup>1</sup>, DAFONTE, J.<sup>1</sup> and SIQUEIRA, G. M.<sup>4</sup>

(1) (UNESP/FEIS) Brasil

(2) Universidade Estadual Paulista. Departamento de Fitosanidade, Engenharia Rural e Solos Av. Brasil, 56, Centro, C.P. 31, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil km 12.5 (3100)

(3) Universidade da Coruña, Facultad de Ciencias. A Zapateira, s/n, 15071. A Coruña.

(4) Universidad de Santiago de Compostela, Escola Politécnica Superior, 27002, Lugo, España.

Recibido: 17/9/2008

Revisado: 20/11/2008

Aceptado: 20/12/2008

### Abstract

No tillage management is widely used by the Brazilian farmers and technicians like a soil conservation system, which reduces the soil losses by water erosion, increasing the infiltrated and stored water in soil, warranting environmental sustainability. No-tillage system does not invert the soil; it causes the creation of a compacted layer. The samples were taken in the agricultural year 2005/2006 in an Oxisoil at Selvíria (MS/Brazil). The tillage management in the last 15 years was no-tillage system with crop rotation (maize -*Zea mays* L./bean - *Phaseolus vulgaris* L.). The analyzed soil physical properties were bulk density (BS), gravimetric water content (U) and mechanical resistance to penetration (RP) at three depths: 0–0.10 m, 0.10–0.20 m and 0.20–0.30 m. The samples were taken in a mesh with 117 sampled points covering an area of 0.16 ha. It was investigated the existence of compacted soil layer, using the mechanical resistance to penetration to 0.60 m depth with soil water content at field capacity. The data shows low coefficient of variation, except the resistance penetration data. Bulk

density and gravimetric water content has a normal distribution. Only resistance to penetration at 0.10-0.20 m depth layer has a normal distribution. The correlation between different properties was low. The bulk density increases with depth; the increase of the values of soil bulk density are consistent with data in other papers, indicating there are not compaction problems for the crop development at the study area. Most of the values of resistance to penetration are lower than 2 MPa, being this value restrictive for root development. The analysis of resistance to penetration profile 0 to 0.60 m shows a compacted layer between 0.20-0.30 m. This compacted layer was caused by the conventional tillage system used at this area before the use of no-tillage system. The soil bulk density has higher values at the upper area, that it shows higher values of soil compaction. Although the values of bulk density and resistance to penetration are high, the area does not show great problems of soil compaction.

**Key words:** soil physical properties, soil management, *Phaseolus vulgaris* L., no-tillage.

## INTRODUCCIÓN

Las prácticas de manejo causan un gran impacto sobre las propiedades del suelo que se traduce en su influencia sobre el desarrollo de los cultivos.

Los suelos del Estado de Mato Grosso Sul (Brasil) originarios de rocas basálticas, han sufrido grandes problemas de degradación física y química, debido a su uso intensivo: erosión del suelo, pérdida de la fertilidad, reducción de los contenidos de materia orgánica y principalmente la formación de zonas compactadas (DERPSCH et al., 1985).

En este sentido, el sistema de no laboreo es un sistema conservacionista del suelo, que evita el volteo del suelo y busca la conservación de los residuos vegetales de los cultivos anteriores en la superficie del suelo. La ausencia de movilización del suelo en el sistema de no laboreo favorece la compactación de la capa superficial del suelo (SMIDERLE et al., 2007). La compactación del suelo constituye un tema de creciente importancia, principalmente debido al aumento de la mecanización en las actividades agrícolas.

La compactación del suelo provoca modificaciones en su estructura, que reducen la porosidad, disponibilidad de agua y nutrientes (CAMARGO & ALLEONI, 1997; GOEDERT et al., 2002). Estas modificaciones estructurales son ocasionadas principalmente por el manejo inadecuado del suelo en condiciones de humedad elevada y por la ausencia del volteo de la capa arable (CAMARGO & ALLEONI, 1997), tanto en el cultivo convencional como en el sistema de no laboreo.

Cuando la compactación empieza a limitar el desarrollo vegetal es necesario adoptar medidas correctoras, con el objetivo de romper estas capas y mejorar las condiciones de

aireación e infiltración de agua en el perfil del suelo, para la obtención de un mejor desarrollo radicular. Uno de los parámetros empleados para describir la compactación del suelo es la resistencia mecánica a la penetración de las raíces (RP), que es la capacidad del suelo para resistir a una fuerza vertical o horizontal.

ARSHAD et al. (1996) y TORMENA et al. (1998), describen que valores de resistencia mecánica a la penetración mayores de 2 MPa son restrictivos para el desarrollo radicular. En este sentido también es preciso considerar la densidad aparente del suelo y la humedad en el momento de las evaluaciones, pues la resistencia mecánica a la penetración está relacionada con estos parámetros.

Considerando la densidad del suelo y su estado de compactación, CAMARGO & ALLEONI (1997) describen el valor de 1,55 kg dm<sup>-3</sup> como limitante para el desarrollo vegetativo. Estos valores y su influencia sobre el desarrollo de los cultivos dependen de características intrínsecas del suelo (textura, estructura) y de la interacción entre los cultivos y el manejo del suelo.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el estado de compactación y la variabilidad espacial de la resistencia a la penetración, contenido de humedad y la densidad aparente del suelo en un Ferralsol con no laboreo en Selvíria (MS/Brasil) con un cultivo de judías

## MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo fue desarrollado en el año agrícola 2005/2006, en la Finca de Enseñanza e Investigación de la Facultad de Ingeniería de Ilha Solteira – UNESP, ubicada en el municipio de Selvíria (MS), latitud 22° 23' S y longitud 51° 27' W, con precipitación media anual

de 1300 mm y temperatura media de 23,7 °C. El tipo climático es Aw, según la clasificación de Köppen, caracterizado como tropical húmedo con estación lluviosa en verano y seca en invierno (DEMATTÊ, 1980).

De acuerdo con la clasificación FAO (1994) el suelo estudiado es clasificado como un Ferralsol, textura arcillosa (Tabla 1).

Profundidad (cm)	Arcilla	Limo	Arena
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
0,0 – 0,10	520	130	350
0,10 – 0,20	550	50	400
0,20 – 0,30	600	60	340

Tabla 1. Granulometría del suelo en el área de estudio.

El área fue manejada en los últimos 15 años con no laboreo, y rotación de cultivos con maíz (*Zea mays* L.) y judías (*Phaseolus vulgaris* L.). En el momento del muestreo del suelo, el área estaba ocupada con este último cultivo.

Las muestras de suelo fueron recogidas en una red de muestreo con 117 puntos, con dos espaciamentos distintos: uno de 5 x 5m, y otro de mayor densidad con una separación de 1,67 x 1,67 m (Figura 1). Este modelo de muestreo fue realizado con el objetivo de analizar la variabilidad espacial de los datos utilizando herramientas geoestadísticas.

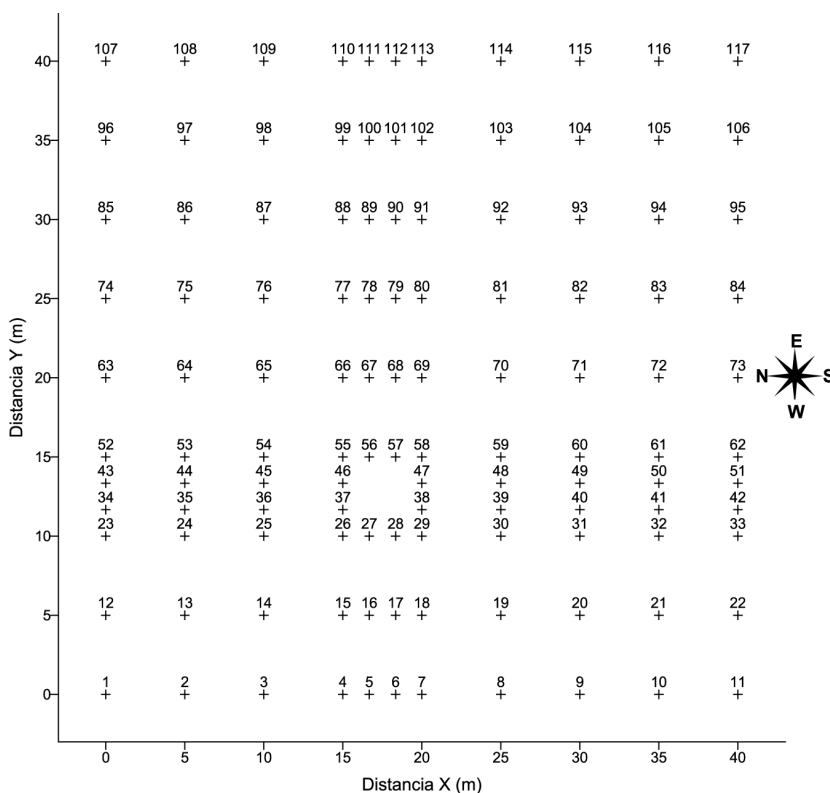


Figura 1. Red de muestreo para el área de estudio con 117 puntos de muestreo.

Las propiedades del suelo evaluadas fueron: la densidad aparente del suelo (DS, kg dm<sup>-3</sup>), la humedad gravimétrica (U, kg kg<sup>-1</sup>) y la resistencia mecánica a la penetración (RP, MPa), medidas en las siguientes profundidades: 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m. En las tablas y figuras cada una de las distintas propiedades estudiadas se numera como 1, 2 o 3 indicando la capa en estudio.

La DS fue analizada de acuerdo con EMBRAPA (1999), por medio de muestras inalteradas de suelo, recogidas utilizando anillos de 100 cm<sup>3</sup>.

La RP fue calculada de acuerdo al método propuesto por STOLF (1991), utilizando un penetrómetro de impacto (modelo IAA/Planalsucar - Stolf), con un émbolo de masa 4 kg. La transformación de la penetración del aparato (cm impacto<sup>-1</sup>), en resistencia mecánica a la penetración se realizó de acuerdo con la Ecuación 1:

$$RP = \frac{Mg + mg \left( \frac{M}{M+m} \frac{Mgh}{x} \right)}{A} \quad (1)$$

donde: *RP* es la resistencia mecánica a la penetración (Pa); *M* es la masa del émbolo (*M* = 4 kg); *g* es la aceleración de la gravedad (9,81 m·s<sup>-2</sup>); *m* es la masa del aparato sin émbolo (*m* = 3,2 kg); *h* es la altura de caída del émbolo (0,40 m); *x* es la penetración del aparato (m impacto<sup>-1</sup>); *A* es el área del cono del aparato (1,29·10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>).

Al mismo tiempo, se recogieron muestras de suelo para la determinación de la humedad gravimétrica del suelo (U, kg kg<sup>-1</sup>), utilizando una barrena del tipo holandés conforme a las recomendaciones de EMBRAPA (1999).

La estadística descriptiva para las propiedades estudiadas fue realizada utilizando el programa SAS (SCHLOTZHAVER & LITTEL, 1997).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis estadístico (Tabla 2) describen que la mayoría de las variables presentan distribución de frecuencia normal, excepto RP1 y RP3, que presentan un distribución log-normal. En general los datos presentan coeficientes de variación bajos, de acuerdo con la clasificación propuesta por GOMES (1976), con excepción de la RP1. Este hecho puede justificarse debido a que los datos de resistencia son muy puntuales en la capa superficial, de acuerdo a lo señalado por GREGO & VIEIRA (2005), debido al paso de maquinaria, restos vegetales, ... Es necesario destacar la necesidad de que para este tipo de variables las muestras sean medidas con menores distancias de separación, buscando disminuir el efecto de la puntualidad de los datos, y para que se pueda detectar la variabilidad espacial entre muestras a pequeñas distancias.

Los valores de la media aritmética para las propiedades estudiadas (DS, U y RP) aumentaron con la profundidad, indicando un problema de compactación, coincidiendo con los resultados encontrados por SOUZA *et al.* (2004). Esta compactación del suelo posiblemente se debe al manejo del suelo con laboreo convencional antes de la incorporación del sistema de no laboreo en el área, este hecho también fue descrito por ARAÚJO *et al.* (1999) y GREGO & VIEIRA (2005), en suelos con características semejantes al estudiado en este trabajo.

Propiedades	Media Aritmética	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	C.V. (%)	Curtosis	Coef. Asim.	DF
DS <sub>1</sub> (kg dm <sup>-3</sup> )	1,362	1,365	1,310	1,120	1,563	0,107	7,9	-0,772	-0,170	0,054 n
DS <sub>2</sub> (kg dm <sup>-3</sup> )	1,413	1,413	1,390	1,233	1,390	0,067	4,8	0,176	-0,318	0,236 n
DS <sub>3</sub> (kg dm <sup>-3</sup> )	1,391	1,394	1,383	1,499	1,203	0,059	4,3	0,378	-0,573	0,030 n
U <sub>1</sub> (kg kg <sup>-1</sup> )	0,208	0,210	0,182	0,139	0,282	0,029	13,9	-0,116	0,003	0,850 n
U <sub>2</sub> (kg kg <sup>-1</sup> )	0,211	0,213	0,222	0,137	0,281	0,027	13,1	0,318	-0,362	0,094 n
U <sub>3</sub> (kg kg <sup>-1</sup> )	0,215	0,219	0,223	0,128	0,282	0,029	13,6	0,320	-0,415	0,141 n
RP <sub>1</sub> (MPa)	1,563	1,562	0,547	0,547	3,702	0,727	46,6	0,006	0,510	6,0x10 <sup>-4</sup> Ln
RP <sub>2</sub> (MPa)	2,619	2,584	2,628	0,701	4,904	0,714	27,2	0,710	0,291	0,129 n
RP <sub>3</sub> (MPa)	3,222	3,190	3,252	0,798	5,373	0,712	22,1	1,600	0,207	0,003 Ln

Tabla 2. Estadística descriptiva de las propiedades físicas estudiadas de un Ferralsol en Selvíria (MS, Brasil) bajo el sistema de no laboreo.

Las mayores diferencias entre los valores máximos y mínimos se encontraron para RP. Los valores de mediana para RP están cerca de los valores de la media, indicando la ausencia de valores extremos para el conjunto de datos.

El análisis de correlación lineal simple entre todas las propiedades estudiadas mostró la existencia de una baja correlación entre las propiedades físicas del suelo y entre las medidas entre las diferentes capas (Tabla 3).

Propiedades	Coeficiente de correlación								
	DS <sub>1</sub>	DS <sub>2</sub>	DS <sub>3</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	RP <sub>1</sub>	RP <sub>2</sub>	RP <sub>3</sub>
DS <sub>1</sub>	1	-	-	-	-	-	-	-	-
DS <sub>2</sub>	0,173	1	-	-	-	-	-	-	-
DS <sub>3</sub>	-0,061	0,254	1	-	-	-	-	-	-
U <sub>1</sub>	0,160	0,051	-0,019	1	-	-	-	-	-
U <sub>2</sub>	0,069	0,269	0,063	0,477	1	-	-	-	-
U <sub>3</sub>	-0,162	0,252	0,107	0,185	0,382	1	-	-	-
RP <sub>1</sub>	0,290	-0,154	-0,036	-0,111	-0,271	-0,247	1	-	-
RP <sub>2</sub>	-0,010	-0,043	-0,029	0,050	-0,124	-0,164	-0,011	1	-
RP <sub>3</sub>	0,016	-0,068	-0,095	-0,010	-0,221	-0,079	0,313	0,051	1

Tabla 3. Matriz de correlación lineal simple para las propiedades físicas estudiadas.

La presencia de menores valores de DS y de RP en la capa superficial del suelo (0,0-0,10 m), demuestra la eficacia de la rotación de cultivos en la mejora de las propiedades estructurales del suelo, conforme a lo destacado por WILLIAMS & WEIL (2004). La presencia de menores valores de DS y RP en la capa superficial del suelo también puede estar relacionada con el aumento de materia orgánica en esta capa del suelo. El aumento de las cantidades de materia orgánica en el suelo en no laboreo, está relacionada con la conservación de la paja en superficie, que se decompone gradualmente. En este sentido, diversos autores han resaltado la influencia de la materia orgánica en la reducción de la compactación en el suelo (BUCKMAN, 1976; EKWUE & STONE, 1995; CAMARGO & ALLEONI, 1997).

Se aprecia en la Figura 2 que la capa de 0,0-0,10 m presenta los menores valores de DS y RP. Los datos de densidad aparente del suelo presentan un valor creciente en el siguiente orden:  $DS_1$ ,  $DS_3$  y  $DS_2$ . Este hecho ya fue discutido anteriormente, y es debido a persistencia de la influencia de lo cultivo convencional en años anteriores a la implantación del sistema de no laboreo. Los mayores valores de DS en la capa de 10 a 20 cm eran esperados debido a que la ausencia de inversión del suelo durante las operaciones de laboreo, indican una mayor compactación de esta capa debido al tráfico de maquinaria en el sistema de no laboreo, que fa-

vorece alteraciones la estructura natural del suelo, volviéndose más denso (GOEDERT et al., 2002).

Para los datos de RP (Figura 2) es posible notar que la resistencia mecánica a la penetración aumenta con la profundidad, reforzando la idea de la persistencia de los efectos de los antecedentes de manejo del suelo sobre la parcela. Por medio de la Figura 2 y la tabla 2, es posible apreciar también que los datos de DS que tienen un menor coeficiente de variación son los de  $DS_3$ . Para la RP es difícil señalar cual de las capas presenta mayor coeficiente de variación, ya que las tres capas estudiadas presentan un comportamiento semejante, y que las mayores diferencias entre las capas pueden ser explicadas por el efecto puntual de la medida de los datos de RP.

Diversos autores han citado valores críticos de DS para el desarrollo de los cultivos. GUIMARÃES & MOREIRA (2001) encontraron valores de  $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$  como críticos para el desarrollo vegetal. CAMARGO & ALLEONI (1997) describen el valor de  $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$  como limitante. En este trabajo han sido medidos valores medios de:  $1,362 (DS_1)$ ,  $1,413 (DS_2)$  y  $1,391 \text{ kg dm}^{-3} (DS_3)$  (Tabla 2 y Figura 2). Estos valores se encuentran en una franja intermedia entre los valores propuestos por CAMARGO & ALLEONI (1997) y GUIMARÃES & MOREIRA (2001).

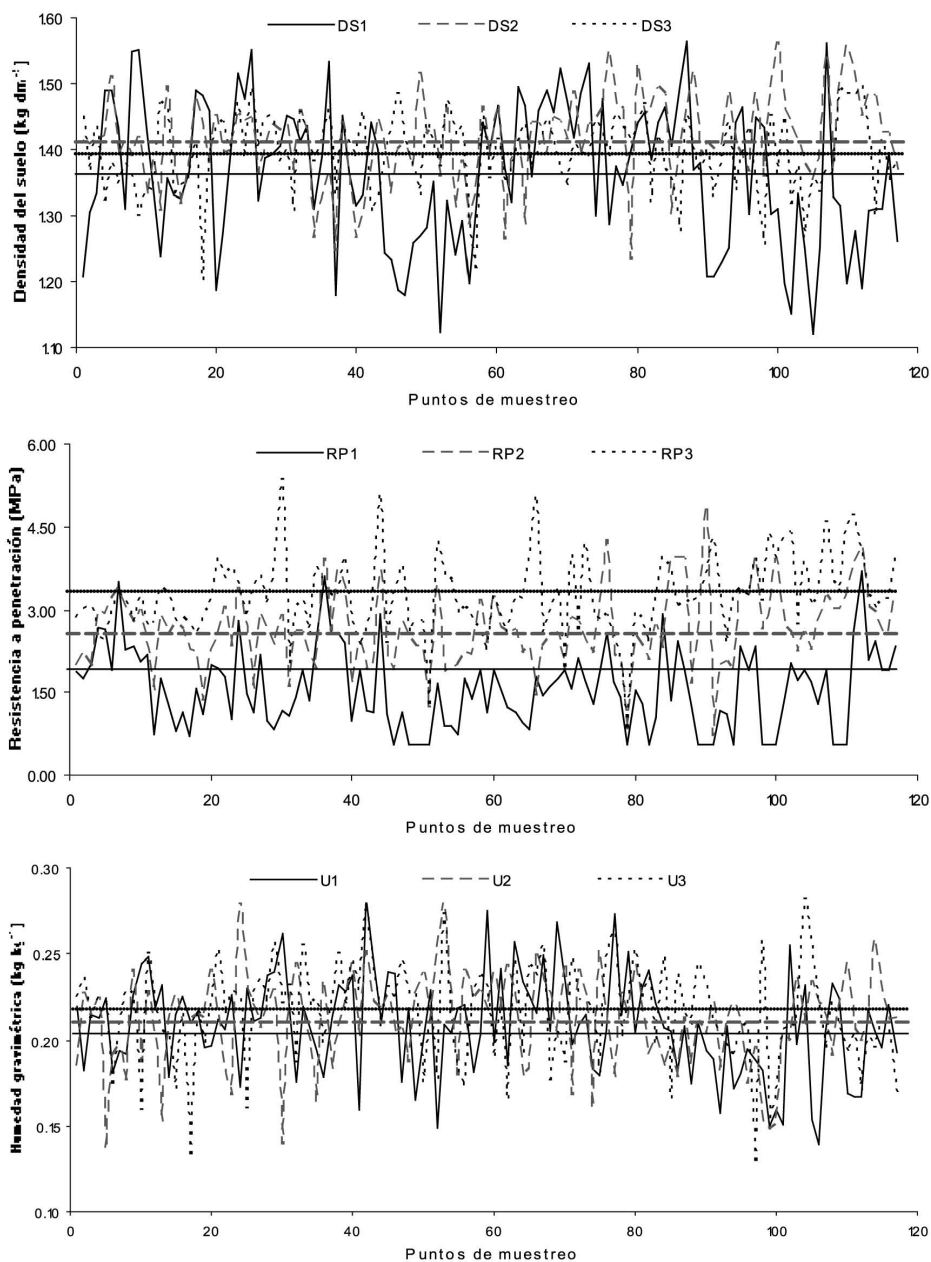


Figura 2. Valores de densidad del suelo y de la resistencia mecánica a penetración para las tres capas del suelo estudiado en los puntos de muestreo con sus respectivos valores de media aritmética.



Con relación a los datos medidos de RP, ARSHAD et al. (1996) y TORMENA et al. (1998) describen el valor de 2 MPa como el límite crítico de resistencia para el pleno desarrollo vegetativo de la mayoría de los cultivos, aunque no existe consenso sobre los valores críticos de RP para el desarrollo de los cultivos. CAMARGO & ALLEONI (1997) describen que valores de RP entre 1,0 y 2,5 MPa, deben ser considerados bajos y que ofrecen poca limitación al crecimiento radicular. Así, para el área de estudio se han observado distintos valores medios de RP para cada una de las capas estudiadas: 1,563; 2,619 y 3,222 MPa (RP<sub>1</sub>, RP<sub>2</sub> y RP<sub>3</sub> respectivamente) indicando que el área se encuentra compactada principalmente en las capas subsuperficiales (Figura 2). Estos valores de RP en las capas más profundas indican problemas para el desarrollo vegetativo.

Se puede observar también en la Figura 2 que los valores máximos de DS y de RP corresponden a los datos con numeración superior a 65 para las dos capas más profundas, los cuales se encuentran situados en la parte superior del área, indicando que esta zona está más compactada que la parte inferior.

Con relación a la humedad del suelo (U), se verifica que sus valores medios (U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub> y U<sub>3</sub>), presentan poca variación, y que están ligeramente por encima del valor de 0,200 kg kg<sup>-1</sup> descrito por MARTINS (2002) como próximo de la capacidad de campo y como la humedad ideal para realización de las mediciones de RP en este tipo de suelo.

La realización de las mediciones de RP en condiciones de humedad del suelo próximas a la capacidad de campo, es importante porque el contenido de agua en el suelo influye sobre esta propiedad del suelo, pues el

valor de RP es inversamente proporcional a la humedad del suelo, permitiendo este hecho la comparación del valor de RP entre las capas del suelo.

La red de muestreo no fue lo suficientemente densa para detectar el patrón de variabilidad espacial de los datos a través del semivariograma, debido a que el tamaño de las manchas de variabilidad es menor que el espaciamiento utilizado entre las muestras. Todas las propiedades estudiadas presentaron efecto pepita puro, que de acuerdo con VIEIRA (2000), representa una variabilidad espacial totalmente aleatoria, y cuya variabilidad solamente puede estudiarse con las herramientas de la Estadística Clásica (SILVA et al., 1989). De esta manera, en estudios futuros de variabilidad espacial en esta área y para estas propiedades estudiadas, el número de puntos muestreados y el esquema de muestreo deberá ser reevaluado para que se pueda detectar el patrón de variabilidad espacial.

## CONCLUSIONES

La rotación de cultivos en el área de estudio y la conservación de la paja en la superficie del suelo favoreció la mejora de la calidad estructural del mismo en la capa de 0-0,10 m. Los mayores valores de DS y de RP en las capas subsuperficiales (0,10-0,20 y 0,20-0,30 m) de la zona superior del área hacen posible la delimitación de una zona de manejo específico.

Los semivariogramas calculados de todas las variables mostraron efecto pepita puro, debido a que el espaciamiento entre muestras es mayor que distancia de dependencia espacial en este área y en esta fecha de muestreo.

## AGRADECIMENTOS

A la CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil) por la beca para estudios de doctorado en la UDC, proceso n° BEX 5125/06-5 al primer autor. Este trabajo está integrado

## REFERENCIAS

- ARAÚJO, A. G., CASÃO JUNIOR, R., RALISCH, R. and SIQUEIRA, R. (1999). Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta de soja (*Glycine max L.*) e milho (*Zea mays L.*) em solos argilosos. *Engenharia Agrícola*, 19: 226-237.
- ARSHAD, M. A., LOWER, B. and GROSSMAN, B. (1996). Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America Journal*, Madison, 123-141, (Special Publication, 49).
- BUCKMAN, H. O. (1976). *Natureza e propriedades dos solos. Compêndio Universitário sobre edafologia*. 4 ed. São Paulo: Freitas Bastos.
- CAMARGO, O. A. and ALLEONI, L. R. F. (1997). *Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: Esalq, 132p.
- DEMATTÊ, J. L. I. (1980). *Levantamento detalhado de solos do "Campus Experimental de Ilha Solteira"*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 44p.
- DERPSCH, R et al. (1985). Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 20: 761-773.
- EKWUE, E. I. and STONE, R. J. (1995). Organic matter effects on strength properties

en el proyecto de investigación CGL2005-08219-C02-022 del Ministerio de Educación y Ciencia y el proyecto de investigación PGIDIT06PXIC291062PN de la Xunta de Galicia y del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

- of compacted agricultural soils. *Transactions of the ASAE*, 38 (2): 357-367.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. (1999). *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212p.
- FAO. (1994). *Soil map of the World*. Revised Legend. Rome: FAO.
- GOEDERT, W. J., SCHERMACK, M. J. and FREITAS, F. C. (2002). Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 32(2): 223-227.
- GOMES, F. P. (1976). *Curso de estatística experimental*. 6 ed. Piracicaba: Binetti, 430p.
- GREGO, C. R. and VIEIRA, S. R. (2005). Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 169-177.
- GUIMARÃES, C. M. and MOREIRA, J. A. A. (2001) Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 36: 703-707.
- MARTINS, C. B. (2002). *Análise da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho Distrófico em função do grau de umidade*. Ilha Solteira: UNESP, 46p. Trabalho de Graduação.
- SCHLOTZHAVER, S. D. and LITTELL, R. C. (1997). *SAS system for elementary statistical analysis*. 2.ed. Cary: SAS, 441p.

- SILVA, A. P., LIBARDI, P. L. and VIEIRA, S. R. (1989). Variabilidade espacial da resistência à penetração de um latossolo vermelho-escuro ao longo de uma transeção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa (MG), 13: 1-5.
- SMIDERLE, J. O., GIANLUPI, D. and GIANLUPI, V. (2007). *O Plantio Direto como Sistema de Produção*. EMPRAPA. Disponível em: <[http://www.cpafrf.embrapa.br/index.php/cpafrf/artigos/o\\_plantio\\_direto\\_como\\_sistema\\_de\\_produ\\_o](http://www.cpafrf.embrapa.br/index.php/cpafrf/artigos/o_plantio_direto_como_sistema_de_produ_o)> acesso em: 11/06/2007.
- SOUZA, Z. M., MARQUES, J. J., PEREIRA, G. T. and BENTO, M. J. C. (2004). Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande (PB), 8: 51-58.
- STOLF, R. (1991). Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa (MG), 15: 229-235.
- TORMENA, C. A., SILVA, A. P. and LIBARDI, P. L. (1998). Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa (MG), 22: 573-581.
- VIEIRA, S. R. (2000). Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H. & SCHAEFER, G.R. eds. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, v.1, p.1-54.
- WILLIAMS, S. M. and WEIL, R.R. (2004) Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 1403-1409.