

# Grau de compactação do solo no plantio direto, e sua relação com a escarificação esporádica, o sistema de culturas e o tempo de adoção

**HENRIQUE DEBIASI<sup>(1)</sup>, JULIO CEZAR FRANCHINI<sup>(1)</sup>, ODILON FERREIRA SARAIVA<sup>(1)</sup>,  
ELENO TORRES<sup>(2)</sup> & LUIZ GUSTAVO GARBELINI<sup>(3)</sup>**

**RESUMO** – A escarificação esporádica e o sistema de culturas podem ter influência na evolução do grau de compactação do solo no plantio direto (PD). O objetivo deste trabalho foi quantificar a variabilidade temporal do grau de compactação do solo no PD em função da escarificação a cada três anos e do sistema de culturas (rotação tremoço/milho-aveia/soja-trigo/soja-trigo/soja ou sucessão trigo/soja), comparando-a ao preparo convencional. Analisou-se, por meio de modelos multivariados de regressão em árvore, um banco de dados contendo os resultados do monitoramento da resistência à penetração, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, efetuado em um experimento conduzido desde 1988, em Londrina/PR, sobre um Latossolo argiloso. No PD, o grau de compactação do solo foi maior nos primeiros anos de adoção do sistema. Em todos os anos, não houve diferenças entre o PD e o PD escarificado quanto ao grau de compactação nas profundidades de 0,08; 0,16 e 0,24 m, indicando que os efeitos da escarificação perduraram por menos de um ano. Para todos os preparos e profundidades, o sistema de culturas não interferiu na evolução temporal do grau de compactação do solo.

**Palavras-Chave:** preparo do solo, rotação de culturas, qualidade física do solo.

## Introdução

A compactação é uma das principais causas da degradação do solo, resultando no aumento da sua densidade e resistência mecânica e na redução da porosidade total, macroporosidade, infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica [1]. Essas alterações limitam o crescimento radicular das plantas e, ao mesmo tempo, diminuem a disponibilidade de água e oxigênio no solo, resultando na redução da produtividade das culturas, especialmente sob condições de seca ou excesso hídrico [2].

No plantio direto (PD), tem sido observada a formação de uma camada de solo com maior grau de compactação a 0,1-0,2 m de profundidade [2] que, em alguns casos, pode ser restritiva ao desenvolvimento das plantas. Uma das alternativas para solucionar esse problema corresponde à utilização de sistemas de rotação de culturas que envolvam plantas para cobertura do solo, com elevado potencial de produção de fitomassa e um sistema radicular abundante, agressivo e profundo.

No entanto, a redução do grau de compactação do solo em virtude do uso da rotação de culturas, evidenciada em alguns trabalhos [3, 4], não se confirma em outros [5, 6]. Outra medida que vem sendo recomendada para melhorar a qualidade física do solo no PD é a escarificação esporádica. Embora rompa camadas compactadas instantaneamente [4], as melhorias na qualidade física do solo proporcionadas pela escarificação persistem por pouco tempo, em geral, menos de um ano [7]. Por outro lado, os resultados obtidos em alguns trabalhos sugerem que seus efeitos podem perdurar por até três anos [8].

As diferenças na resposta do grau de compactação do solo sob PD à rotação de culturas e à escarificação esporádica estão relacionadas ao fato de que a magnitude dos efeitos do manejo sobre as propriedades físicas do solo é determinada por fatores como a classe de solo, o clima, os sistemas de cultura e o tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo [9]. Para que esses fatores se manifestem é necessário que se associe, à implantação e condução de experimentos de longa duração, o monitoramento dos mesmos no decorrer do tempo e a análise integrada dos resultados obtidos, de modo a proporcionar a determinação da evolução temporal do grau de compactação do solo. No entanto, pesquisas desta natureza são escassas. Assim, o objetivo deste trabalho foi quantificar a variabilidade temporal do grau de compactação do solo no PD, em função da escarificação esporádica e do sistema de culturas, comparando-a ao preparo convencional (PC).

## Material e métodos

Para a realização deste trabalho, utilizou-se um banco de dados contendo os resultados da avaliação do grau de compactação do solo ao longo do tempo, efetuada em um experimento conduzido na Embrapa Soja desde 1988, em Londrina/PR, sobre um Latossolo Vermelho distroférrico (710 g kg<sup>-1</sup> de argila). O experimento foi instalado sobre uma área de solo degradado, ocupada por uma plantação de café até 1973 e, posteriormente, por culturas anuais de grãos (trigo e soja) sob PC, até a safra 1987/88. Os tratamentos, organizados sob o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, foram constituídos por três sistemas de preparo (PD contínuo; PD escarificado a cada três anos - PDE; e PC, com o emprego de arado de discos + grade niveladora no verão e grade pesada + grade niveladora no inverno) e dois sistemas de culturas (rotação tremoço

<sup>(1)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja. Rodovia Carlos João Strass, Acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta, Caixa Postal 231, Londrina/PR, CEP 86001-970. E-mail: debiasi@cnpso.embrapa.br

<sup>(2)</sup> Pesquisador da Embrapa Soja até 26/03/2007.

<sup>(3)</sup> Assistente A, Embrapa Soja.

azul/milho-aveia/soja-trigo/ soja-trigo/soja e sucessão trigo/soja). No tratamento PDE, a escarificação foi realizada antes da implantação das culturas de inverno, nos anos de 1992, 1995, 1998, 2001, 2004 e 2007.

Em 1991, 1993, 1997, 2000 e 2001, amostras de solo indeformadas foram coletadas em anéis de aço (100 cm<sup>3</sup>), inseridos horizontalmente na parede de uma trincheira com o uso de um macaco mecânico. Em cada avaliação, abriu-se uma trincheira por tratamento e por repetição. Foram extraídos três anéis por profundidade (0,08; 0,16 e 0,24 m, em relação ao centro do anel) em cada trincheira. A partir dessas amostras, determinou-se a densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, conforme Embrapa [10]. Avaliou-se, também, a resistência do solo à penetração (RP) até 0,3 m de profundidade, em intervalos de 0,02 m, empregando-se um penetrômetro de impacto [11]. A RP a 0,08; 0,16; e 0,24 m de profundidade correspondeu à média dos valores obtidos nas camadas de 0,02-0,1; 0,1-0,2; e 0,2-0,3 m, respectivamente. As leituras de RP, espaçadas em 0,1 m entre si, foram realizadas sobre uma transecta de 2 m de comprimento por parcela, disposta transversalmente às linhas de semeadura. Para a determinação da umidade do solo, amostras foram coletadas junto às transectas, nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m.

Para a análise estatística, as variáveis densidade do solo, RP, porosidade total, macro e microporosidade foram integradas em uma variável composta (grau de compactação do solo). O grau de compactação foi analisado mediante o emprego dos modelos de regressão em árvore - MRA [12]. Essa técnica permite formar grupos que abrangem amostras semelhantes entre si no que se refere ao valor das variáveis que compõem a variável composta, possibilitando assim detectar os fatores que explicam a variabilidade dos dados. Para confirmar a existência de diferenças significativas entre os grupos formados pelo MRA, empregou-se o MRPP (*Multi-Response Permutation Procedure*) [13]. Os programas S-PLUS® 2000 (MathSoft, Inc.) e PC-ORD® 5.00 (MjM Software) foram utilizados para a construção do MRA e para a realização do MRPP, respectivamente.

## Resultados e discussão

O MRA que representa a variação do grau de compactação do solo em função do sistema de preparo, ano de avaliação e profundidade de amostragem, é mostrado na Figura 1. Verifica-se que o erro inerente ao modelo foi de 0,416 (41,6%). Isso significa que o MRA da Figura 1 explicou 58,4% da variabilidade total dos dados, indicando que o modelo apresenta uma capacidade preditiva satisfatória [12]. Na primeira bifurcação do MRA, a profundidade de 0,08 m foi separada das de 0,16 e 0,24 m. Em outras palavras, o modelo demonstrou que a profundidade de 0,08 m apresentou um grau de compactação significativamente diferente em relação às demais. A profundidade amostrada explicou uma proporção de 0,203 (20,3%) da variabilidade total, sendo o fator que mais colaborou

para a capacidade preditiva do modelo.

Na profundidade de 0,08 m, houve a formação de três grupos (grupos 1, 2 e 3, Tabela 1). O grupo 1, que englobou as amostras coletadas no PD e no PDE a 0,08 m de profundidade, em todos os anos e em ambos os sistemas de culturas, apresentou um maior grau de compactação do que os outros dois grupos, os quais envolvem as amostras coletadas no PC, em ambos os sistemas de culturas e nos anos de 1991 (grupo 2) e 1993, 1997, 2000 e 2001 (grupo 3). Observou-se ainda que o grupo 1 diferiu do grupo 3 em todas as variáveis que compõem o grau de compactação, enquanto a RP foi o principal fator que diferenciou o grupo 1 do grupo 2 (Figura 1 e Tabela 1). A separação do PC em relação ao PD e ao PDE explicou 14,2% da variabilidade total dos dados, enquanto que a separação do ano de 1991 em relação aos demais anos, dentro do PC, explicou 4,6% da variabilidade.

Para as profundidades de 0,16 e 0,24 m, o MRA indicou que 7,2% da variabilidade total do grau de compactação foi explicada quando as avaliações de 1991 foram desmembradas daquelas realizadas nos demais anos. Dentro do ano de 1991, foram obtidos três grupos (grupos 7, 8 e 9, Tabela 1), cujas bifurcações responderam por 3,4% da variabilidade dos resultados. O grupo 7, composto por amostras provenientes das profundidades de 0,16 e 0,24 m dos tratamentos manejados em PC sob rotação ou sucessão de culturas, apresentou um grau de compactação maior do que o grupo 9, sem diferir do grupo 8 (Figura 1 e Tabela 1). Esses dois últimos grupos englobam amostras coletadas nas profundidades de 0,16 m (grupo 9) e 0,24 m (grupo 8) dos tratamentos conduzidos sob PD e PDE. O modelo mostrou ainda que, dentro do PD e do PDE, o grau de compactação do solo foi maior a 0,16 m do que a 0,24 m de profundidade. Nota-se também que a diferenciação do grau de compactação do solo entre os grupos 7, 8 e 9 pode ser atribuída principalmente à variação da RP (Figura 1 e Tabela 1). As amostras correspondentes aos anos de 1993, 1997, 2000 e 2001 foram divididas em três grupos (grupos 4, 5 e 6, Tabela 1). A separação nesses três grupos explicou 8,9% da variabilidade dos dados. Nesses anos, não houve efeito do sistema de preparo e de culturas sobre o grau de compactação do solo na profundidade de 0,24 m. A 0,16 m de profundidade, o PD e o PDE apresentaram um maior grau de compactação comparativamente ao PC. A RP e a macroporosidade foram as variáveis mais influenciadas pelos sistemas de preparo utilizados (Figura 1 e Tabela 1).

A análise dos dados mediante o uso de um MRA, associado ao MRPP, permitiu detectar a ocorrência de diferenças entre tratamentos utilizando-se uma variável multivariada (grau de compactação do solo), que integra cinco variáveis univariadas (RP, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade). Neste trabalho, observou-se que, das variáveis componentes do grau de compactação do solo, a RP e a macroporosidade foram as principais responsáveis pela diferenciação entre os grupos de amostras. Assim, a RP e a macroporosidade foram as variáveis mais sensíveis ao manejo do solo sendo, desse modo, adequadas para uso

como indicadoras do grau de compactação do solo. Cabe destacar que a umidade do solo no momento da determinação da RP variou pouco em função do sistema de preparo e do ano de avaliação (Tabela 2). As principais discrepâncias ocorreram para o ano de 1993, onde a umidade foi mais elevada em relação aos demais anos, e para o PC nos anos de 1997, 2000 e 2001, cujos teores de água na camada de 0,0-0,1 m foram menores em relação ao PD e ao PDE.

Independentemente do sistema de culturas, da profundidade de amostragem e do ano avaliado, o PD e o PDE sempre estiverem dentro do mesmo grupo. Isso significa que a escarificação a cada três anos no PD não diminuiu o grau de compactação do solo. As avaliações físicas foram realizadas de modo a abranger diferentes períodos de tempo após a escarificação: um (1993), dois (1997 e 2000) e três (2001) anos. Mesmo na amostragem realizada um ano após a escarificação (1993), o grau de compactação no PDE não diferiu em relação ao PD. Assim, os efeitos da escarificação perduraram por um período inferior a um ano, concordando com os resultados obtidos por Veiga et al. [7].

O grau de compactação do solo no PD, a 0,08 m de profundidade, não variou ao longo do tempo. Já nas profundidades de 0,16 e 0,24 m, o grau de compactação no PD foi maior em 1991 (dois anos após o início do PD) comparativamente aos demais anos. Esses resultados comprovam que o grau de compactação do solo tende a ser maior durante a fase inicial do PD, sendo esse um dos principais fatores que justificam a ocorrência de produtividades iguais ou inferiores ao PC nessa fase [14]. Após a fase inicial crítica, o acúmulo de matéria orgânica e o efeito das raízes das plantas, aliados à redução na intensidade de revolvimento, resultam na melhoria da estrutura do solo [14].

Em todos os anos, o grau de compactação do solo a 0,08 e 0,16 m de profundidade foi menor no PC do que no PD e no PDE. Porém, a 0,24 m de profundidade, não houve diferenças entre o PC e o PD e PDE. Portanto, os dados demonstram que o maior grau de compactação no PD em relação ao PC restringe-se à camada superficial do solo (0,0-0,2 m), corroborando com os resultados obtidos por Costa et al. [9].

O sistema de culturas não colaborou para a separação das amostras, indicando que esse fator não interferiu na evolução temporal do grau de compactação. Esperava-se que a rotação de culturas diminuísse o grau de compactação do solo no PD, especialmente durante os primeiros anos do sistema, e prolongasse os efeitos da escarificação, o que acabou não sendo observado. Como justificativas para esses resultados, tem-se que os indicadores utilizados podem não ter sido adequados para detectar os efeitos produzidos pela rotação de culturas. A abertura de bioporos contínuos, tanto pelas raízes quanto pela macro e mesofauna do solo, é um dos principais benefícios proporcionados pelo em prego de sistemas de rotação de culturas que incluam plantas de cobertura do solo [6]. Os bioporos dificilmente são detectados pelas variáveis medidas neste estudo. Indicadores como a capacidade de infiltração de água e a condutividade hidráulica, altamente dependentes da existência de poros contínuos [6], são indicadores mais

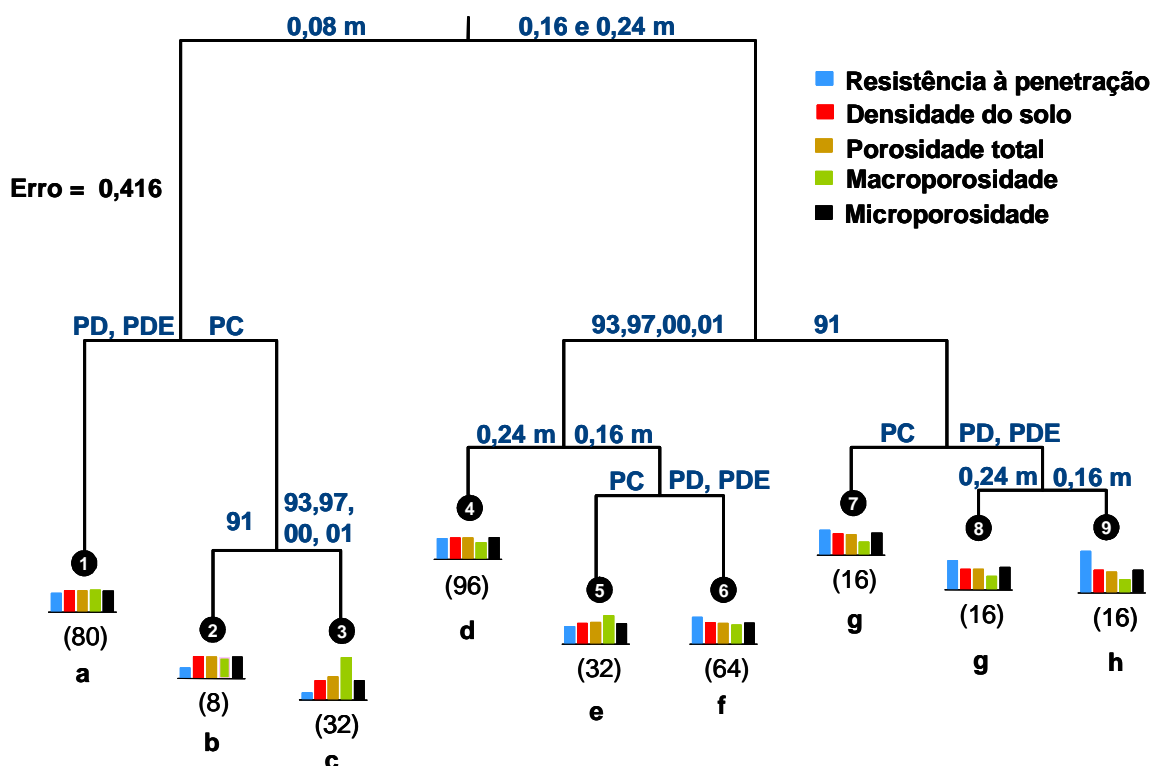
sensíveis às modificações na qualidade física do solo resultantes da rotação de culturas. Além disso, a aveia e o tremoço não têm apresentado um desenvolvimento satisfatório nessa região, devido à frequente ocorrência de secas no outono e no inverno. Novas alternativas de plantas de cobertura, mais resistentes à seca, vêm sendo sugeridas, como, por exemplo, as braquiárias [14].

## Conclusões

O grau de compactação do solo foi maior nos primeiros anos de adoção do PD. A escarificação a cada três anos e a rotação de culturas não influenciaram na evolução do grau de compactação do solo no PD.

## Referências

- [1] DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. 1996. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20: 175-182.
- [2] DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; GONÇALVES, S. L. 2008. *C Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta*. Londrina, Embrapa Soja. 20 p.
- [3] STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. 2001. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:395-401.
- [4] DEBIASI, H. 2008. Recuperação física de um Argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema solo-máquina-planta. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRGS, Porto Alegre.
- [5] TEIXEIRA, C. F. A.; PAULETTO, E. A.; SILVA, J. B. 2003. Resistência mecânica à penetração de um Argissolo Amarelo distrófico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. *Ciência Rural*, 33: 1165-1167.
- [6] ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT D. J. 2004. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:519-531.
- [7] VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. 2007. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 92:104-113.
- [8] ROSA, D. P.; REICHERT, J. M.; SATTLER, A.; REINERT, D. J.; MENTGES, M. I.; VIEIRA, D. A. 2008. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43:395-400.
- [9] COSTA, E. A.; GOEDERT, W.; SOUSA, D. M. G. 2006. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:1185-1191.
- [10] Embrapa. 1997. *Manual de métodos e análise de solo*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 212 p.
- [11] STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. 1983. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsur-Stolf. *STAB-Açúcar, Alcool e Subprodutos*.
- [12] DE'ATH, G. 2002. Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships. *Ecology*, 83:1105-1117.
- [13] MIELKE, P. W., Jr. 1991. The application of multivariate permutation methods based on distance functions in the earth sciences. *Earth-Science Reviews*, 31:55-71.
- [14] FRANCHINI, J. C.; SARAIVA, O. F.; DEBIASI, H.; GONÇALVES, S. L. 2008. *Contribuição de sistemas de manejo do solo para a produção sustentável da soja*. Londrina, Embrapa Soja. 12 p.



**Figura 1.** Modelo de regressão em árvore representando a variação do grau de compactação do solo em função do sistema de preparo (PD = plantio direto; PDE = plantio direto escarificado a cada três anos; PC = preparo convencional), do ano de avaliação (1991, 1993, 1997, 2000 e 2001) e da profundidade de amostragem (0,08; 0,16 e 0,24 m). Os números abaixo de cada bifurcação indicam a proporção da variabilidade total que é explicada pela respectiva separação de fatores. Os valores dentro dos círculos negros referem-se ao número do grupo (nó terminal) formado pelo modelo de regressão em árvore. Os valores entre parêntesis indicam o número de amostras dentro de cada grupo (nó terminal). As barras verticais indicam o valor relativizado das variáveis que compõem a variável composta grau de compactação do solo. Nós terminais identificados com a mesma letra não diferem significativamente pelo MRPP (*Multi-Response Permutation Procedures*).

**Tabela 1.** Valores médios e intervalo de confiança dos parâmetros componentes da variável composta grau de compactação do solo, estimados para cada um dos grupos (nós) de fatores obtidos a partir do modelo de regressão em árvore.

Grupo (nó)	Composição do grupo <sup>1</sup>	Variáveis <sup>2</sup>				
		RP	DS	PT	Macro	Micro
1	0,08 m de profundidade; PD e PDE; rotação e sucessão; todos os anos.	3,58 (±0,24)	1,24 (±0,01)	52,29 (±0,47)	9,90 (±0,77)	42,40 (±0,36)
2	0,08 m de profundidade; PC; rotação e sucessão; ano de 1991.	2,04 (±0,68)	1,25 (±0,05)	52,86 (±1,72)	9,16 (±2,85)	43,70 (±1,22)
3	0,08 m de profundidade; PC; rotação e sucessão; anos de 1993, 1997, 2000 e 2001.	1,42 (±0,16)	1,11 (±0,02)	57,16 (±0,83)	18,61 (±1,51)	38,55 (±0,87)
4	0,24 m de profundidade; PD, PC e PDE; rotação e sucessão; anos de 1993, 1997, 2000 e 2001.	3,91 (±0,12)	1,22 (±0,01)	51,51 (±0,36)	7,23 (±0,59)	44,28 (±0,32)
5	0,16 m de profundidade; PC; rotação e sucessão; anos de 1993, 1997, 2000 e 2001.	3,39 (±0,26)	1,19 (±0,02)	54,13 (±0,79)	12,55 (±1,32)	41,59 (±0,62)
6	0,16 m de profundidade; PD e PDE; rotação e sucessão; anos de 1993, 1997, 2000 e 2001.	5,16 (±0,24)	1,24 (±0,01)	51,40 (±0,59)	8,43 (±0,85)	42,97 (±0,44)
7	0,16 e 0,24 m de profundidade; PC; rotação e sucessão; ano de 1991.	4,75 (±0,65)	1,25 (±0,02)	51,36 (±0,47)	5,92 (±0,92)	45,45 (±0,64)
8	0,24 m de profundidade; PD e PDE; rotação e sucessão; ano de 1991.	5,58 (±0,48)	1,21 (±0,02)	52,06 (±0,49)	6,12 (±0,88)	45,94 (±0,47)
9	0,16 m de profundidade; PD e PDE; rotação e sucessão; ano de 1991.	7,83 (±0,58)	1,28 (±0,01)	50,75 (±0,47)	5,73 (±0,65)	45,02 (±0,31)

<sup>1</sup> PD = plantio direto; PDE = plantio direto escarificado a cada três anos; PC = preparo convencional. <sup>2</sup> RP = resistência à penetração (MPa); DS = densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>); PT = porosidade total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>); Macro = macroporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>); Micro = microporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>).

**Tabela 2.** Valores médios de umidade do solo ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) no momento da determinação da resistência à penetração, em função do sistema de preparo utilizado e do ano e profundidade de amostragem.

Sistema de preparo	Ano				
	1991	1993	1997	2000	2001
----- 0,0-0,1 m -----					
Plantio direto	0,27	0,30	0,26	0,27	0,28
Plantio direto escarificado	0,26	0,30	0,27	0,26	0,28
Preparo convencional	0,25	0,29	0,23	0,21	0,24
----- 0,1-0,2 m -----					
Plantio direto	0,28	0,31	0,29	0,29	0,30
Plantio direto escarificado	0,27	0,31	0,29	0,29	0,30
Preparo convencional	0,28	0,31	0,29	0,27	0,30