

**Avaliação da Influência de
Implementos de Plantio Direto
do Milho com Tomografia de
Raios Gama**



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto
Presidente

Silvio Crestana
Diretor-Presidente

Alexandre Kalil Pires
Ernesto Paterniani
Hélio Tollini
Cláudia Assunção dos Santos Viegas
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Silvio Crestana
Diretor-Presidente

José Geraldo Eugênio de França
Kepler Euclides Filho
Tatiana Deane de Abreu Sá
Diretores

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Ladislau Martin Neto
Chefe Geral

Carlos Manoel Pedro Vaz
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Maria do Socorro Gonçalves de Souza Monzane
Chefe Adjunto de Administração

Ricardo Yassushi Inamasu
Gerente da Área de Comunicação e Negócios

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 10

Avaliação da Influência de Implementos de Plantio Direto do Milho com Tomografia de Raios Gama

Haroldo Carlos Fernandes
Elton Fialho dos Reis
João de Mendonça Naime
Alcir José Modolo

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: (16) 3374 2477
Fax: (16) 3372 5958
www.cnpdia.embrapa.br
E-mail: sac@cnpdia.embrap.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz
Secretária-Executiva: Valéria de Fátima Cardoso
Membros: Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Membro Suplente: Dr. Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Revisor de texto: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento de ilustrações: Valentim Monzane
Capa(foto arquivo): Valentim Monzane
Editoração eletrônica: Valentim Monzane

1ª edição

1ª impressão (2005): tiragem 300

Todos os direitos reservados.

**A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).**

**CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Instrumentação Agropecuária**

F363a Fernandes, Haroldo Carlos

**Avaliação da Influência de Implementos de Plantio Direto do Milho com
Tomografia de Raios Gama** / Haroldo Carlos Fernandes, Elton Fialho dos
Reis, João de Mendonça Naime, Alcir José Modolo. -- São Carlos: Embrapa
Instrumentação Agropecuária, 2005.

21 p. -- (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de Pesquisa e
Desenvolvimento, ISSN 1678-0434; 10)

1. Máquinas agrícolas. 2. Implementos. 3. Engenharia agrícola. 4.
Plantio direto. 5. Tomografia. I. Fernandes, H. C. II. Reis, E. F. dos. III.
Naime, J. de M. IV. Modolo, A. J. V. Título. VI. Série.

CDD 21 ED 631.3

© Embrapa 2005

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	9
Conclusões	10
Referências Bibliográficas	10

Avaliação da Influência de Implementos de Plantio Direto do Milho com Tomografia de Raios Gama

Haroldo Carlos Fernandes¹

Elton Fialho dos Reis²

João de Mendonça Naime³

Alcir José Modolo⁴

Resumo

Foi estudada a relação solo-semente em semeadura direta, com diferentes teores de água no solo, tipos de mecanismos de abertura do sulco e elementos compactadores, em um Latossolo Vermelho Argiloso com a cultura milho. Foram retiradas amostras indeformadas em caixas metálicas de 180 x 80 x 80 mm, para a realização de tomografias com resolução milimétrica, a fim de determinar a distribuição da densidade. Pode-se concluir que: os tratamentos estudados não interferem significativamente nos valores de índice de velocidade de emergência e densidade mínima medida; o mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo provoca maior compactação do solo que o tipo facão.

Termos para indexação: semeadora, mecanização agrícola, milho, densidade do solo, semente.

¹Eng. Agrícola, Dr., UFV/DEA, Av. Ph. Rolfes s/n, Campus UFV, Viçosa-MG. 36570-000, haroldo@ufv.br

²Eng. Agrícola, Dr., UEG BR 153, Km 3 - Anápolis- GO, C.P.: 459 , 75110-390 fialhoreis@ibest.com.br

³Eng. Eletrônico, Dr., Embrapa Instrumentação Agropecuária, R. 15 de Novembro, 1452, São Carlos-SP, 13560-970, naime@cnpdia.embrapa.br

⁴Eng. Agrícola, MSc., Av. Ph. Rolfes s/n, Campus UFV, Viçosa-MG. 36570-000, alcir@vicosa.ufv.br

The Use of Tomography to Evaluate the Influence of No-Till Planter Equipments in Maize Cropping with Gamma Ray Tomography

Haroldo Carlos Fernandes
Elton Fialho dos Reis
João de Mendonça Naime
Alcir José Modolo

Abstract

The relationship between soil to seed contact in conservation tillage, with different conditions like soil water content, types of seed furrow opener and seed coverer elements in Red-Yellow Latosol cultivated with maize was studied. Structured soil samples were collected in metallic boxes measuring 180 x 80 x 80 mm, in order to evaluate density distribution with computed tomography in millimeter scale. It can be concluded that: the studied treatments did not interfere significantly with the values of seedling emergence rate and the measured minimum density; the double disc type seed furrow opener compacted the soil more than the slot type.

Index terms: conservation tillage, agriculture mechanization, soil density, seed, gamma ray.

Introdução

Uma das vantagens do plantio direto é a melhor germinação e emergência, das quais têm papel preponderante a umidade, a temperatura do solo e o estreito contato da semente com o solo (VIEIRA, 1981). O plantio direto é uma prática que pode minimizar os efeitos indesejáveis de um estande deficiente.

Somente o contato solosemente e o umedecimento não são suficientes para garantir uma boa germinação, pois a temperatura também tem grande influência nesse processo. Segundo Silva et al. (1993), a temperatura, a aeração e o teor de água do solo são os principais fatores físicos do microambiente do solo em torno da semente e são diretamente influenciados pelo tipo e profundidade de sementeira.

O sistema de plantio direto requer semeadoras e adubadoras que cortem a palhada e distribuam uniformemente as sementes, tendo como meta principal perturbar o mínimo possível a estrutura e a biota do solo. Esse requisito demanda da semeadora algumas características próprias quanto à eficiência dos mecanismos rompedores do solo, visando o corte e fluxo da palhada, a abertura do sulco e a adequada colocação da semente, fatores que garantiriam o sucesso da exploração. Por isso, semeadoras e adubadoras de plantio direto são mais pesadas que as convencionais (LANDERS, 1995; GASSEN e GASSEN, 1996; REIS, 2000; VIEIRA e REIS, 2001).

Segundo Casão Júnior (1998), as semeadoras/adubadoras para plantio direto têm apresentado problemas de desempenho em solos com altos teores de argila. A resistência à penetração dos componentes rompedores, associada à retenção de água, tem exigido constante adaptação das máquinas às realidades regionais. Como consequência, têm sido freqüentes os problemas com o corte irregular da vegetação, embuchamentos, abertura imprópria do sulco, aderência do solo aos componentes, profundidade de sementeira desuniforme, cobertura irregular e contato inadequado do solo sobre as sementes, afetando a uniformidade de emergência das plantas.

Segundo Balastreire (1990), o controle da pressão sobre a semente nas semeadoras e adubadoras é feito pela roda compactadora ou roda limitadora de profundidade. A maioria dessas rodas possui um alívio central ou apresenta rodas duplas em "V", para evitar pressão excessiva sobre as sementes.

O estudo da relação solosemente requer metodologias apropriadas que possam melhor caracterizar a camada de solo próximo à semente. Os métodos tradicionais para determinação da relação solosemente e densidade próximo à semente são empíricos e não possuem sensibilidade suficiente como o método da tomografia computadorizada. Esse método fornece imagens internas de seções transversais de objetos, por meio do princípio da atenuação da radiação nos meios materiais (MACEDO, 1997). Vários autores, desenvolvendo trabalhos

com a tomografia computadorizada aplicada à física do solo, demonstraram sua utilização na determinação da densidade do solo em camadas muito finas e de forma contínua (VAZ et al., 1989; CRESTANA et al., 1992; JOSCHKO et al., 1993; SANTOS, 2000). Vaz et al. (1989), utilizou esta técnica para estudo da compactação de solos causada pela ação de máquinas agrícolas, detectaram pequenas variações na densidade em camadas da ordem de milímetros. Pedrotti (1996) demonstrou que a tomografia menos invasiva que o método do anel volumétrico e permite o detalhamento da variação da densidade ao longo do perfil.

Neste trabalho, objetivou-se estudar a utilização da tomografia computadorizada para determinação das densidades mínima, média e máxima do solo na região da semente, logo após o plantio da cultura do milho, com diferentes mecanismos rompedores do solo e tipos de rodas compactadoras, em três teores de água do solo.

Material e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido durante a estação de inverno do ano de 2002, numa área experimental da Universidade Federal de Viçosa, no município de Coimbra, MG, em altitude de 716 m, longitude de 42° 48' S e latitude de 20° 51' W(Gr). A área experimental tem aproximadamente 0,7 ha, com topografia apresentando declividade média de 30%. Essa área encontrava-se coberta com vegetação densa, predominando o capim-sapê (*Imperata brasiliensis*) e o capim-braquiária (*Brachiária decumbens* Stapf). Os ensaios foram realizados em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), classe de solo muito utilizada no Brasil para a cultura do milho.

No experimento foi aplicado o esquema de parcelas subsubdivididas, em que as parcelas constituíram os teores de água do solo (0,22; 0,28; e 0,34 kg kg⁻¹) as subparcelas os tipos de hastes sulcadoras (facão e discos duplos) e as subsubparcelas o tipo de elementos compactadores (borracha e lisa) (Fig. 1), no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, tendo-se no total 36 parcelas. As amostras foram retiradas no dia do plantio e quatro dias após a emergência da primeira plântula. Cada unidade experimental ocupou uma área de 60 m², sendo 30 m de comprimento e 2 m de largura.

Utilizou-se uma semeadora e adubadora marca Seed-Max, modelo PC 2123 (Fig. 2), com configuração para semear duas linhas na cultura do milho, com espaçamento de 1 m entre linhas. Para tracionar a semeadora, utilizou-se um trator Massey Ferguson, modelo 2654 x 2 TDA, com potência máxima de 48 kw (61 cv) no motor a 2000 rpm, com rodado de pneus. Os ensaios foram realizados em uma única velocidade de deslocamento ($V = 4,7 \text{ km h}^{-1}$). A profundidade média de semeadura foi de 3,9 cm.

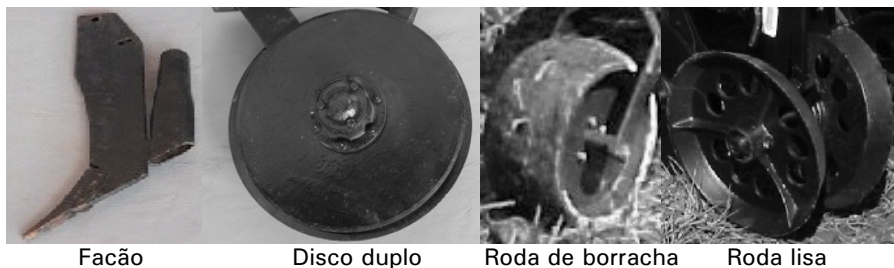


Fig. 1 - Mecanismos de abertura do sulco e elementos compactadores.



Fig. 2 Semeadora e adubadora utilizada no experimento.

Antes de iniciar os ensaios, realizou-se a caracterização física do solo, determinando-se fatores como granulometria, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, teor de água (EMBRAPA, 1997) e resistência do solo à penetração (ASAE, 1990).

Após o plantio, foram realizadas coletas de amostras para determinação do diâmetro médio ponderado (DMP), relação solo-semente pelo método da tomografia computadorizada e índice de velocidade de emergência de plântulas.

A avaliação do DMP foi realizada para caracterizar sua relação com o contato solo-semente. As amostras de solo foram coletadas no sulco onde a semente se encontrava, utilizando-se caixas de 250 X 100 X 100 mm, sendo, posteriormente, secas ao ar e peneiradas (REIS, 2000). O teor de água residual foi obtido pelo método gravimétrico a partir de subamostras de solo, em todas as repetições. Esses valores foram utilizados na correção dos resultados obtidos no peneiramento, com o solo seco ao ar. As frações obtidas em cada malha foram pesadas em balança digital (REIS, 2000).

Foi utilizada a seqüência de malhas 9,52; 4,76; 4,0; 2,83; e 2,0 mm, dispostas verticalmente em um agitador mecânico. O tempo de peneiramento (30 segundos) foi determinado por um peneiramento prévio, de acordo com a completa separação das frações.

Os valores de DMP foram obtidos com a seguinte equação:

$$DMP = \frac{\sum_i M_i X_i}{\sum_i M_i} \quad (1)$$

em que:

DMP - diâmetro médio ponderado;

M_i - massa de solo retida na peneira *i* (g); e

X_i - malha da peneira *i* (mm).

O solo não retido na última peneira foi considerado fino (< 2,0 mm). Com esse valor foi determinada a porcentagem de finos < 2,0 mm, em relação à massa total de solo.

O índice de velocidade de emergência de plântulas foi avaliado em um comprimento de 10 m na linha de plantio. O número de sementes inicial foi determinado de acordo com a uniformidade de distribuição das sementes pela semeadora-adubadora. A contagem das plântulas emergidas foi feita diariamente até os 14 dias após o plantio, sendo o resultado do total de plântulas emergidas expresso em porcentagem.

A determinação do índice de velocidade de emergência de plântulas foi feita, utilizando-se a fórmula proposta por Maguire (1962) e substituindo o termo germinação por emergência.

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} \frac{E_2}{N_2} \dots \frac{E_n}{N_n} \quad (2)$$

em que:

IVE - índice de velocidade de emergência;

E₁, E₂, E_n - número de plantas emergidas, na primeira, segunda, ..., última contagens;

N₁, N₂, N_n - número de dias da semeadura à primeira, segunda, ..., última contagens

Para determinar as densidades do solo na região da semente, utilizou-se um tomógrafo de terceira geração (NAIME, 2001), constituído de um sistema fonte-detector posicionado em uma guia circular, que realiza movimentos de rotação ao redor da amostra. Utilizaram-se uma fonte de raios gama (^{241}Am , $E = 59,54$ keV, $1,11 \times 10^9$ Bq) e um arranjo de 256 detectores composto de material semicondutor. Os movimentos de elevação e rotação foram executados por dois motores de passo, controlados por um sistema eletrônico baseado no computador dedicado à eletrônica embarcada padrão PC/104 (Fig. 3).



Fig. 3 - Vista geral do tomógrafo utilizado para determinação das densidades do solo na região da semente.

Antes de iniciar as tomografias, secaram-se as amostras em estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 horas. Posteriormente, elas foram colocadas na base do tomógrafo, dando início à obtenção das imagens. Trabalhou-se com 16 planos horizontais, em que o feixe em leque atravessou a amostra de 5 em 5 mm até a profundidade de 80 mm.

A expressão geral, que descreve a interação de um feixe de fótons e a amostra de solo com a semente, é:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3)$$

em que:

I e I_0 - intensidades da radiação do feixe emergente e incidente, respectivamente (contagem por segundo);

- coeficiente de atenuação linear do solo (cm^{-1});
 x - espessura da amostra (cm).

O μ_m foi calculado relacionando o coeficiente de atenuação em massa (μ_m) e a densidade do material (ρ), isto é:

$$\mu_m = \mu \cdot \rho \quad (4)$$

O valor do coeficiente de atenuação em massa (μ_m), obtido experimentalmente para o solo estudado, foi de $0,3076 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$. Esse coeficiente depende da composição química do solo e da energia do feixe incidente.

Um programa de reconstrução e visualização de imagens, desenvolvido utilizando-se a linguagens Visual Basic da Microsoft e a Borland C++ Builder (NAIME, 2001), foi responsável pelo processamento dos dados, ou retroprojeção e apresentação da imagem. Além da reconstrução, o programa permitiu determinar parâmetros estatísticos como média, desvio-padrão e coeficiente de variação das unidades tomográficas em áreas selecionadas na imagem.

As amostras de solo estruturado são cilíndricas, com 40 mm de diâmetro e 80 mm de altura, retiradas da linha de plantio das sementes. Na localização das imagens avaliadas, utilizou-se o pixel (palavra derivada dos termos da língua inglesa "picture element"), elemento de imagem, de forma quadrada, com dimensões definidas ($3,446 \text{ mm}^2$).

Cada unidade experimental foi dividida em seis subunidades, devido às limitações do tomógrafo ao diâmetro da amostra. Dentro das tomografias foi demarcado um quadrado de 25×25 pixels, inscrito na subunidade, correspondendo a uma área de 625 pixels; como cada pixel corresponde a uma área de $0,318 \text{ mm}^2$ ($0,564 \text{ mm} \times 0,564 \text{ mm}$), a área total correspondente a cada tomografia foi de $198,75 \text{ mm}^2$, dentro da qual foram determinados os valores mínimo, médio e máximo de densidade.

A densidade foi determinada através da seguinte equação:

$$\mu_m = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I} \quad (5)$$

em que:

I_0 - radiação que atravessa o recipiente vazio (cps);

I - radiação que atravessa a unidade experimental, no sentido horizontal (cps);

x - espessura interna do recipiente (cm);

μ_m - coeficiente de atenuação em massa do solo ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$).

Os resultados foram submetidos às análises de variância e regressão, conforme os teores de água do solo, elementos rompedores e elementos compactadores, utilizando-se o programa SAEG versão 9.0.

Resultados e Discussão

Os resultados das análises de variância apresentados no Quadro 1, indicam que: o teor de água do solo (UM) afetou significativamente o diâmetro médio ponderado; e o sulcador (SUL) afetou significativamente as densidades máxima e média medidas pelo tomógrafo. As interações entre o teor de água no solo, os mecanismos sulcadores e os elementos compactadores (EC) nas variáveis estudadas não foram significativas.

Quadro 1 - Resumo da análise de variância das variáveis DMP, finos < 2 mm (FN), densidade mínima medida pelo tomógrafo (DMI), densidade média medida pelo tomógrafo (DME), densidade máxima medida pelo tomógrafo (DMA) e índice de velocidade de emergência (IVE). FV é a fonte de variação, GL o grau de liberdade, blocos (BL) e RESÍD o resíduo da análise estatística.

FV	GL	Quadrado Medio					
		DMP	FN	DMI	DME	DMA	IVE
BL	2	0,1664	34,477	0,03198	0,03634	0,00877	0,0075
UM	2	1,6606 *	144,00	0,04406	0,00337	0,00584	0,4825
ERRO (A)	4	0,0745	87,195	0,05198	0,04956	0,01428	0,1775
SUL	1	0,4028	71,251	0,02368	0,0988 ***	0,10160 *	0,0069
SUL*UM	2	0,4133	29,752	0,10187	0,04674	0,04130	0,1003
ERRO (B)	6	0,5553	125,05	0,06761	0,03027	0,01623	0,2275
EC	1	0,1579	57,358	0,00512	0,00051	0,03404	0,0069
EC*UM	2	0,0805	6,409	0,00096	0,00122	0,00257	0,0369
EC*SUL	1	0,0795	79,123	0,07990	0,01930	0,00369	0,4225
EC*SUL*UM	2	0,1660	20,044	0,00434	0,00257	0,00049	0,4558
RESID	12	0,1729	19,074	0,04536	0,02745	0,01646	0,6208
Media		4,52	28,6	0,60	1,05	1,35	9,4
CV (%)		9,2	15,3	35,6	15,7	9,5	8,4

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

*** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste F.

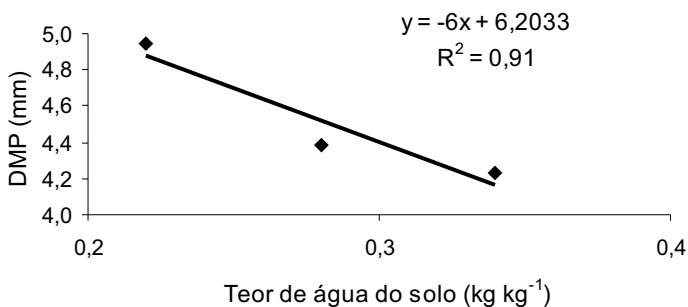
No Quadro 2 são apresentados os valores de DMP em função do teor de água no solo, dos mecanismos de abertura do sulco e dos elementos compactadores. Embora não significativo, o mecanismo sulcador tipo facão apresentou maior diâmetro médio ponderado que o disco duplo.

O Quadro 1 mostra que houve efeito significativo do teor de água do solo sobre o DMP. Na Fig. 4 está apresentado o efeito do teor de água do solo no diâmetro médio das partículas. Com incremento no teor de água, houve tendência de redução no valor do DMP. Como o solo empregado era argiloso, as forças de coesão tornaram-se efetivas no solo mais seco, o que permitiu a ocorrência de atração entre as partículas, formando, assim, blocos maiores. Em solos de

natureza caulínica, como os Latossolos Vermelho-Amarelo da região de Viçosa, há tendência de formação de blocos maiores, pelo arranjo face a face dos agregados menores em agregados maiores, em menor teor de água (Resende, 1988).

Quadro 2 - Valores médios de Diâmetro Médio Ponderado (DMP) nos tratamentos estudados.

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa		Media	
	Facao	Disco	Media	Facao	Disco		
0,22	5,49	4,69	5,09	4,72	4,88	4,80	4,95
0,28	4,29	4,6	4,47	4,35	4,29	4,32	4,39
0,34	4,45	3,97	4,21	4,12	4,38	4,25	4,23
Media	4,74	4,44		4,40	4,52		4,52



Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t

Fig. 4 - Diâmetro médio ponderado em função do teor de água do solo.

Porcentagem de finos < 2,0 mm

No Quadro 3, verifica-se que não houve efeito significativo do teor de água do solo, dos mecanismos de abertura do sulco e dos elementos compactadores sobre a porcentagem de finos. Embora não-significativo, o maior teor de água apresentou menor valor de finos, em razão da maior facilidade de corte. O mecanismo tipo disco exibiu maior porcentagem de finos < 2,0 mm devido à ação mecânica, fragmentando os agregados.

Quadro 3 - Valores médios de finos < 2,0 mm (%) nos tratamentos estudados.

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Media
	Facaço	Disco	Media	Facaço	Disco	Media	
0,22	32,5	31,6	32,0	28,4	27,6	28,0	30,0
0,28	32,2	32,3	32,2	25,0	34,7	29,8	31,0
0,34	25,0	25,4	25,2	19,8	28,2	24,0	24,6
Media	29,9	29,8		24,4	30,2		28,6

Densidade mínima na região da semente

Embora não-significativo estatisticamente, o maior teor de água apresentou maior valor de densidade mínima e o mecanismo tipo disco apresentou maior valor de densidade mínima, como mostrado no Quadro 4. Essas diferenças foram atribuídas à forma de revolvimento do solo pelo disco duplo, condicionando um menor diâmetro médio de partículas.

Quadro 4 - Valores médios de densidade mínima (kg dm⁻³) medida pelo tomógrafo nos tratamentos estudados na região da semente.

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Media
	Facaço	Disco	Media	Facaço	Disco	Media	
0,22	0,61	0,69	0,66	0,50	0,71	0,60	0,63
0,28	0,49	0,58	0,56	0,39	0,64	0,51	0,52
0,34	0,79	0,50	0,70	0,65	0,62	0,63	0,64
Media	0,63	0,59		0,51	0,66		0,60

Densidade média na região da semente

No Quadro 5, apresentam-se os valores de densidade média medida pelo tomógrafo nos diferentes tratamentos. Embora não-significativo, o menor teor de água do solo apresentou maior valor de densidade, o que possivelmente ocorreu devido ao maior diâmetro médio ponderado apresentado neste teor de água do solo. A roda de borracha apresentou o menor valor de densidade, o que possivelmente ocorreu devido à aplicação de menor pressão sobre a linha de semeadura. Stefannutti et al. (1980), trabalhando com diferentes níveis de cargas em rodas compactadoras, encontraram alteração significativa na densidade do solo.

Quadro 5 - Valores médios de densidade média (kg dm^{-3}) medida pelo tomógrafo nos tratamentos estudados na região da semente.

Teor de Água do Solo (kg kg^{-1})	Roda de Borracha			Roda Lisa			Media
	Facao	Disco	Media	Facao	Disco	Media	
0,22	0,98	1,15	1,07	1,06	1,08	1,07	1,07
0,28	0,88	1,17	1,03	0,96	1,14	1,05	1,04
0,34	1,06	1,06	1,05	1,06	1,04	1,05	1,05
Media	0,97	1,13		1,03	1,09		1,05

Independentemente do teor de água do solo e do elemento de compactação, o mecanismo de abertura do sulco tipo disco liso apresentou maior valor de densidade média ($1,11 \text{ kg dm}^{-3}$) que o facão ($1,00 \text{ kg dm}^{-3}$), média entre os usos com roda de borracha e roda lisa, como mostrado no Quadro 5. Isso ocorreu em razão, provavelmente, do espelhamento lateral causado pelo disco ao ser introduzido no solo, o que não acontece com o facão, que rompe o solo.

Apesar de os mecanismos tipo disco duplo causarem maior adensamento, o que possivelmente dificultou a passagem de água até a semente, não houve interferência no índice de velocidade de emergência. Já na percentagem de emergência houve interferência significativa dos sulcadores, apresentando menor emergência no mecanismo tipo disco duplo, que teve maior valor de densidade do solo; resultados semelhantes foram encontrados por Nars e Selles (1995). Já Wilkins et al. (1993), testando vários tipos de sulcadores, obtiveram valores de densidade superiores no sulcador tipo disco duplo. O mecanismo tipo facão é utilizado para romper camadas compactadas na superfície do solo (PORTELLA et al., 1997a; REIS et al., 2003). Os resultados indicaram que o facão reduziu os valores de densidade do solo de $1,14 \text{ kg dm}^{-3}$ para $1,00 \text{ kg dm}^{-3}$.

Densidade máxima na região da semente

Verifica-se também no Quadro 1, que não houve interferência significativa do teor de água no solo e dos elementos compactadores sobre os valores de densidade máxima medida pelo tomógrafo. O menor teor de água do solo apresentou maior valor de densidade, como mostrado no Quadro 6, o que possivelmente ocorreu devido ao fato de o solo estar mais seco e, com isso, apresentar maior força de coesão entre as partículas, dificultando, assim, a formação de macroporos. O elemento compactador tipo roda lisa apresentou maior valor de densidade por causa do seu formato, que aplica a carga na lateral do sulco. Hummel et al. (1981), trabalhando com diferentes tipos de mecanismos compactadores, afirmaram que o formato do elemento compactador tem influência sobre o meio ambiente do solo próximo à semente.

Quadro 6 - Valores médios de densidade máxima (kg dm^{-3}) medida pelo tomógrafo nos tratamentos estudados na região da semente.

Teor de Água do Solo (kg kg^{-1})	Roda de Borracha			Roda Lisa			Media
	Facaço	Disco	Media	Facaço	Disco	Media	
0,22	1,33	1,34	1,34	1,43	1,41	1,42	1,38
0,28	1,17	1,43	1,30	1,27	1,47	1,37	1,34
0,34	1,28	1,38	1,33	1,32	1,40	1,36	1,34
Media	1,26	1,38		1,34	1,43		1,35

O mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo apresentou valor médio de densidade, entre os usos dos dois tipos de roda, de $1,41 \text{ kg dm}^{-3}$ que é significativamente superiores ao mecanismo tipo facão que resultou $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$. É provável que o primeiro mecanismo tenha causado espelhamento na lateral do sulco, o que influenciou os valores de densidade do solo. O maior valor de densidade do solo encontrado no disco duplo dificultou a passagem de água até a semente, interferindo na percentagem de germinação. Resultados semelhantes foram encontrados por Righes et al. (1984), indicando que os sulcadores tipo discos duplos aumentam a compactação no fundo do sulco quando comparados com o do tipo haste, embora mobilizem menor quantidade de solo. Já Iqbal et al. (1998) observaram que, à medida que aumenta o teor de água do solo, aumenta também a compactação lateral dos sulcos.

O valor de densidade do solo medido pelo método do anel volumétrico antes do plantio foi de $1,14 \text{ kg dm}^{-3}$ e pelo método da tomografia com o mecanismo tipo disco duplo, de $1,41 \text{ kg dm}^{-3}$. Esse aumento de densidade deve ter sido ocasionado pela ação da ferramenta no solo.

Índice de Velocidade de Emergência

No mesmo Quadro 1 verifica-se, que não houve efeito significativo do teor de água no solo, dos mecanismos de abertura e dos elementos compactadores sobre o índice de velocidade de emergência. Embora não-significativo estatisticamente, houve tendência de aumento no índice de velocidade de emergência com a elevação do teor de água no solo, como mostrado no Quadro 7, apresentando maior valor do teor de água, igual a $0,34 \text{ kg kg}^{-1}$.

Possivelmente, o maior teor de água do solo no plantio acelerou a embebição das sementes, o que proporcionou maior velocidade de germinação e, conseqüentemente, maior velocidade de emergência das plântulas.

Quadro 7 - Valores médios de Índice de Velocidade de Emergência (IVE) nos tratamentos estudados.

Teor de Água no Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Media
	Facaço	Disco		Facaço	Disco		
			Media			Media	
0,22	9,3	9,1	9,2	9,3	9,1	9,2	9,2
0,28	9,5	9,6	9,5	9,3	9,4	9,3	9,4
0,34	9,2	9,9	9,5	10,0	9,3	9,6	9,6
Media	9,3	9,5		9,5	9,3		9,4

Embora não-significativos, os mecanismos de abertura do sulco apresentaram maior valor de índice de velocidade de emergência no teor de água do solo (0,34 kg kg⁻¹). Portella et al. (1997b), estudando o efeito dos elementos de abertura do sulco e da compactação das sementes em diferentes semeadoras/adubadoras, não encontraram diferenças significativas no índice de velocidade de emergência, o que também foi observado no presente trabalho. Já Tessier et al. (1991) e Mead et al. (1992) verificaram que a emergência de plantas foi afetada pela evaporação e que alguns dos fatores que mais influenciaram a perda de água pelo solo deveram-se à maior mobilização dos solos pelos mecanismos de abertura do sulco. Furlani et al. (2001) não verificaram efeito significativo da compactação do solo no número médio de dias para a emergência de plântulas de milho.

Conclusão

- 1) O teor de água, os mecanismos de abertura e os elementos compactadores do solo não interferem no índice de velocidade de emergência das plântulas.
- 2) O mecanismo sulcador tipo facão proporciona maior percentagem de emergência de plantas.
- 3) O teor de água do solo interfere no diâmetro médio ponderado.
- 4) O mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo apresenta maior valor de densidade média.
- 5) O mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo causa maior valor de densidade máxima.

O método da tomografia computadorizada mostra-se adequado e eficiente na determinação da densidade do solo na região da semente.

Referências Bibliográficas

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (Saint Joseph, Estados Unidos). **ASAE standards 1990**. Saint Joseph, 1990. 567p.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 307p.

CASÃO JUNIOR, R. **Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense**. Londrina, PR: IAPAR, 1998. 47p. (IAPAR circular, 105).

CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; VAZ, C. M. P.; CESAREO, R.; MASCARENHAS, S.; REICHARDT, K. Calibração e uso de um tomógrafo computadorizado em ciência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, n.2, p.161-167, 1992.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev.total. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; REZENDE, L. C.; SOUZA e SILVA, S. S.; LEITE, M. A. S. Influência da compactação do solo na emergência das plântulas de milho a diferentes profundidades de semeadura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.9, n.3, p.147-153, 2001.

GASSEN, D.; GASSEN, F. **Plantio direto o caminho do futuro**. Passo Fundo, RS: Aldeia Sul, 1996. 207p.

HUMMEL, J. W.; GRAY, L. E.; NAVE, W. R. Soybean emergence from field seedbed environments, **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.4, p.872-878, 1981.

IQBAL, M.; MARLEY, S. J.; ERBACH, D. C.; KASPAR, T. C. An evaluation of seed furrow smearing. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.41, n.5, p.1243-1248, 1998.

JOSCHKO, M.; MULLER, P. C.; KOTZKE, K.; DOHRING, W.; LARINK, O. Earthworm burrow system development assessed by means of X-ray computed tomography. **Geoderma**, Amsterdam, v.56, p.209-221, 1993.

LANDERS, J. N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. Goiânia, GO: Associação de Plantio Direto no Cerrado; Fundação Cargill, 1995. 261p.

MACEDO, I. A. **Construção e uso de um tomógrafo com resolução micrométrica para aplicações em ciências do solo e do ambiente**. 1997. 129 f.. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.1, p.176-177, 1962.

MEAD, J. A.; BALMER, A. L.; CHAN, K. Y. Effect of sseedbed conditions on sowing point performance. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.22, n.1, p.13-25, 1992.

NAIME, J. M. **Um novo método para estudos dinâmicos, *in situ*, da infiltração da água na região não-saturada do solo.** 2001. 146 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

NARS, H. M.; SELLES, F. Seedlings emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.34, n.1, p.61-76, 1995.

PEDROTTI, A. **Avaliação da compactação de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo.** 1996, 79f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PORTELLA, J. A.; SATTLER, A.; FAGANELLO, A. Desempenho de elementos rompedores de solo sobre o índice de emergência de soja e de milho em plantio direto do sul do Brasil. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.5, n.3, p.209-217, 1997a.

REIS, E. F. **Inter-relação solo-semente com duas semeadoras-adubadoras de plantio direto, em diferentes umidades de um solo argiloso.** 2000, 51f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

REIS, E. F.; CUNHA, J. P. A. N.; FERNANDES, H. C. Influência de mecanismos rompedores de solo no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Havana, v.12, n.4, 2003.

RESENDE, M. **Caracterização dos solos tropicais brasileiros.** Brasília: Associação Brasileira Educação Agrícola Superior-ABEAS, 1988. 182p.

RIGHES, A. A.; DALLMEYER, A. U.; SILVEIRA, D. R.; FARRET, I. S.; POZZERA, J.; FERREIRA, O. O.; SILVEIRA, T. C. **Inovação tecnológica de mecanismos para semeadura direta.** Santa Maria, RS: FATEC, 1984. 100p.

SANTOS, C. S. V. **Formação de camadas superficiais adensadas em solo argiloso em resposta a flutuações de umidade.** 2000, 71f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, F. M.; COAN, O.; NATALE, W. Influência da profundidade de semeadura com e sem uso de sulcador na cultura do milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. v.3, p.1438-1452.

STEFANUTTI, R.; ORTOLANI, A. F.; COAN, O. Desenvolvimento de uma pista de ensaio e carrinho com rodas compactadoras para estudos relacionados com emergência de plântulas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 10., 1980, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1980. p.190-203.

TESSIER, S.; HYDE, G. M.; PAPENDICK, R. I.; SAXTON, K. E. No till seeders effects on seed zone properties and wheat emergence. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.34, n.3, p.729-733, 1991.

VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S.; MASCARENHAS, S.; CRUVINEL, P. E.; RERICHARDT, K.; STOLF, R. Using a computed tomography miniscanner for studying tillage induce soil compaction. **Soil Technology**, Cremlingen, v.2, p.313-321, 1989.

VIEIRA, L. B., REIS, E. F. Máquinas para o plantio direto. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.22, n.208, p.42-48, 2001.

VIEIRA, L. G. E. **Desenvolvimento e produtividade das culturas**: cultura do trigo. Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 1981. p. 194-198. (Circular, 23).

WILKINS, D. E.; MUILENBURG, G. A.; ALLMARAS, R. R. Grain-drill opener effects on wheat emergence. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.3, p.651-656, 1993.