ALCIR JOSÉ MODOLO

EFEITO DA UMIDADE DO SOLO E CARGA APLICADA PELA RODA COMPACTADORA NO AMBIENTE SOLO-SEMENTE EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA CULTURA DA SOJA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da UFV

T
M692e
2006

Modolo, Alcir José, 1975-
Efeito da umidade do solo e carga aplicada pela roda compactadora no ambiente solo-semente em sistema de plantio direto na cultura da soja / Alcir José Modolo. – Viçosa : UFV, 2006.
xii, 83f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.
Tese (doutorado) - Universidade Federal deViçosa.

Referências bibliográficas: f. 74-81.

1. Semeadeira-adubadeira. 2. Solos - Compactação. 3. Palha - Utilização na agricultura. 4. Soja - Cultivo. 5. Solos - Densidade - Testes. 6. Plantas e solo. I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 631.372

ALCIR JOSÉ MODOLO

EFEITO DA UMIDADE DO SOLO E CARGA APLICADA PELA RODA COMPACTADORA NO AMBIENTE SOLO-SEMENTE EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA CULTURA DA SOJA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae.*

APROVADA EM: 05 de Junho de 2006

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
(Co-orientador)

Prof. Mauri Martins Teixeira

Prof. Eduardo Fontes Araújo

Dr. Roberto Fontes Araújo

Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

DEDICO

A Deus.

Aos meus queridos pais, Amilton e Mercedes.

Aos meus irmãos, Elizete (*in memoriam*) *e* Alcinei.

À minha esposa, Soelene.

Ao meu querido sobrinho, Samuel.

A todos que, de alguma forma, ajudaram na execução deste trabalho.

Aos meus familiares,

que me incentivaram, me apoiaram e, sem dúvida,
me ajudaram nas horas em que mais precisei.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que sempre esteve ao meu lado e ajudou-me, e sem o qual eu nunca teria conseguido concluir mais este desafio.

Aos meus queridos pais, Amilton Salvador Modolo e Mercedes Modolo, pelo apoio e pelo incentivo de continuar mesmo nas horas de grandes dificuldades.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida para realização do curso.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes, pela orientação, pelos ensinamentos e pelo incentivos permanentes, que tanto contribuíram para minha formação profissional.

Ao professor Carlos Ernesto G. R. Schaefer, pelo apoio e pelas sugestões concedidas para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador da EMBRAPA-CNPDIA, Dr. João de Mendonça Naime, pela contribuição, sugestão e ajuda na realização das tomografias.

Ao professor Nerilson Terra Santos, pelos ensinamentos transmitidos e pela ajuda nas análises estatísticas.

À CAPES e ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu irmão, Alcinei Modolo, pela colaboração, pela compreensão, pela amizade e pelo incentivo.

De maneira especial, à minha irmã “Elizete Modolo”, que está junto ao DEUS-PAI, guiando meus passos.

À minha esposa e amiga, Soelene de Fátima Brovoski Modolo, pelo seu amor, pelo carinho, pelos conselhos e pela paciência.

Aos demais familiares que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste sonho.

Àqueles que, embora distantes, acompanharam-me e estão muito felizes com minha conquista, minha irmã e meus avós paternos (*in memoriam*).

Ao professor Deonir Secco, coordenador do Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola da UNIOESTE, Cascavel-PR, pelo empréstimo das máquinas utilizadas na realização dos trabalhos de campo.

À Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. – COODETEC, em especial, ao engenheiro-agrônomo, Edson Feliciano de Oliveira, por disponibilizar toda a infra-estrutura experimental.

Aos amigos Luiz Bonamigo e João Cleber Modernel da Silveira e, em especial, ao meu pai, Amilton Salvador Modolo, pelo apoio nos trabalhos de campo, sem os quais este trabalho não teria sido concretizado.

Ao professor Suedêmio de Lima Silva, pela ajuda e pelo auxílio na realização do trabalho.

Aos colegas de pós-graduação em Mecanização Agrícola, em especial ao Gerson, João Cleber, Walter, Diogo, Fabiane, Murilo, Renato, Leonardo, Wagner, Paula, Alison, Elder, Enrique, William, Denilson e Gilton, pela ajuda e amizade.

Aos amigos João Cleber, Edney, Stela, Cacaio, Joseane, Gerson, Keles e Igor, pelos momentos de solidariedade e alegria compartilhados dentro e fora da instituição.

BIOGRAFIA

ALCIR JOSÉ MODOLO, filho de Amilton Salvador Modolo e Mercedes Modolo, nasceu em 5 de setembro de 1975, em Corbélia-PR.

Em dezembro de 1993, concluiu o ensino médio no Colégio Estadual "Presidente Costa e Silva", em Cascavel-PR.

Em dezembro de 2000, graduou-se engenheiro agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em Cascavel-PR.

Em março de 2001, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na UNIOESTE, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais, concluindo-o em fevereiro de 2003.

Em março de 2003, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da UFV, área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa de tese em junho de 2006.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Importância da cultura da soja	3
2.2. Sistema plantio direto	4
2.3. Semeadoras para plantio direto	6
2.4. Condicionamento físico do solo próximo à semente	8
2.5. Contato solo-semente	11
2.5.1. Método micromorfológico	12
2.5.2. Tomografia computadorizada	13
2.6. Índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE)	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Caracterização física do solo antes do plantio	17
3.1.1. Análise granulométrica	17
3.1.2. Teor de água do solo	18
3.1.3. Densidade do solo	19
3.1.4. Densidade de partículas	19
3.1.5. Porosidade total	19
3.1.6. Resistência mecânica do solo à penetração	20

Página

3.2. Caracterização das máquinas e implementos agrícolas utilizados .. 21

3.2.1. Trator 21
3.2.2. Semeadora 21

3.3. Insumos agrícolas utilizados 21

3.3.1. Sementes e fertilizantes 21

3.4. Tratamentos 23

3.4.1. Determinação do nível de carga aplicada pela roda compactatora 24
3.4.2. Determinação dos teores de água do solo 25

3.5. Delineamento experimental 25
3.6. Avaliações pós-plantio 26

3.6.1. Resistência mecânica do solo à penetração 26
3.6.2. Profundidade de deposição de sementes 27
3.6.3. Índice de velocidade de emergência de plântulas 27
3.6.4. Observações do contato solo-semente 28

3.6.4.1. Determinação do diâmetro médio ponderado dos agregados – DMP 28
3.6.4.2. Densidade mínima, média e máxima obtida por tomografia 30
3.6.4.3. Densidade do solo na região da semente 32

3.7. Análise estatística dos dados 33

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 37

4.1. Caracterização física do solo antes do plantio 37

4.1.1. Resistência mecânica do solo à penetração antes do plantio 38

4.2. Resultados pós-plantio 41

4.2.1. Resistência mecânica do solo à penetração no sulco de semeadura 41
4.2.2. Índice de velocidade de emergência – IVE 43
4.2.3. Relação solo-semente 50

4.2.3.1. Diâmetro médio ponderado 50
4.2.3.2. Porcentagem de finos (< 2,0 mm) 55

Página

4.2.3.3. Densidades do solo medidas por tomografia computadorizada 57

4.2.3.3.1. Densidade mínima do solo na região da semente 57

4.2.3.4. Perfil da densidade mínima do solo 59

4.2.3.4.1. Densidade média do solo na região da semente 62

4.2.3.5. Perfil da densidade média do solo 63

4.2.3.5.1. Densidade máxima do solo na região da semente ... 67

4.2.3.6. Perfil da densidade máxima do solo 69

5. CONCLUSÕES 72
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74
APÊNDICE 82

RESUMO

MODOLO, Alcir José, D.S., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2006. **Efeito da umidade do solo e carga aplicada pela roda compactadora no ambiente solo-semente em sistema de plantio direto na cultura da soja.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Co-orientadores: Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Luciano Baião Vieira e Nerilson Terra Santos.

O condicionamento físico do solo ao redor das sementes reveste-se de grande importância para o bom desenvolvimento inicial da cultura, assegurando uma população adequada de plantas. O adequado contato solo-semente é um pré-requisito para a rápida emergência e o bom estabelecimento da cultura. O presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da combinação entre teores de água do solo e cargas aplicadas pela roda compactadora da semeadora-adubadora sobre o contato solo-semente, em sistema de plantio direto na cultura da soja. Utilizou-se o esquema de parcelas subdivididas, em que as parcelas constituíram os três teores de água (U1, U2 e U3), correspondentes a 0,27, 0,31 e 0,36 kg kg^{-1}, respectivamente, e as subparcelas, os quatro níveis de carga aplicada pela roda compactadora (C1, C2, C3 e C4), correspondentes a 0, 50, 90 e 140 N, respectivamente, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Antes da instalação do experimento foi realizada a caracterização física da área experimental por meio da análise granulométrica, do teor de água do solo, da densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e resistência mecânica do solo à

penetração. Após o plantio, foram avaliados o índice de velocidade de emergência de plântulas, o diâmetro médio ponderado dos agregados na linha de semeadura, a porcentagem de finos < 2,0 mm, as densidades mínima, média e máxima do solo na região da semente, os perfis de densidade mínima, média e máxima do solo e a resistência mecânica do solo à penetração na linha de semeadura. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que: as cargas aplicadas pela roda compactadora elevaram a densidade do solo no plano vertical da linha de semeadura abaixo da profundidade de semeadura, quando comparada com os valores obtidos antes do plantio; a combinação entre cargas aplicadas pela roda compactadora e os teores de água no solo não influenciaram a porcentagem de finos < 2,0 mm e as densidades mínima, média e máxima do solo na região da semente; o maior índice de velocidade de emergência (IVE) ocorreu no teor de água igual a 0,33 kg kg^{-1} e na carga de 86,21 N; a utilização da tomografia computadorizada em amostras indeformadas de solo possibilitou quantificar os perfis das densidades mínima, média e máxima do solo, permitindo a caracterização das densidades desde a superfície até a profundidade analisada; a carga máxima de 140 N aplicada pela roda compactadora sobre a semente causou encrostamento superficial do solo, retardando a emergência das plântulas; e o plantio da soja não deve ser realizado sem compactação do solo sobre a semente.

ABSTRACT

MODOLO, Alcir José, D.S., Universidade Federal de Viçosa, june 2006. **Effect of water content and load applied by the press wheel on the soil-seed environment in the soybean direct planting system**. Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Adsivers: Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Luciano Baião Vieira and Nerilson Terra Santos.

The soil's physical conditioning around the seeds is important to the initial cultivation development and to assure an adequate plant population. An appropriate soil-seed contact is required to a rapid emergence and a good effectiveness of cultivation. The present work aimed to study the effects of the combination between the soil water contents of the soil and the loads applied by the press wheel of seed drills on the soil-seed contact in a system of direct planting cultivated with soybean. The experiment was made as subdivided design, where units had three soil water contents (U1, U2 e U3) corresponding to 0.27, 0.31 and 0.36 kg kg^{-1}, and in the sub-units, the four load levels applied by the press wheel (C1, C2, C3 e C4), corresponding to 0, 50, 90 and 140 N, respectively, in random blocks deign, with four repetitions. Before the experiment installation, physical attributes of the experimental area were determined: textural analysis, soil water content, soil density, particles density, total porosity and the mechanical soil resistance. After planting, the emergence speed index, the aggregate average diameter in the planted line, the percentage of fines (< 2.0 mm), the minimum, medium and maximum soil

density in the seed area, the minimum, medium and maximum soil density profile, and the mechanical soil resistance to the penetration in the planted line. According to the results, the present work allowed conclude that: the loads applied by the press wheel increased the soil density in the vertical planting level beneath the planting depth, when compared with values obtained before the planting; the combination between the loads applied by the press wheel and the soil water contents did not influence the < 2.0 mm percentage and the minimum, medium and maximum soil densities in the seed area; the best plant emergence speed index occurred whit soil water contents of 0.33 kg kg^{-1} and loads of 86.21 N; using the computerized tomography of non-deformed soil samples, it was possible to quantify minimum, medium and maximum soil density profile, allowing the detailed densities characterization from surface down to the studied depth; the maximum load of 140 N applied by the press wheel on the seed caused a superficial crust of the soil, delaying the plants emergence; soybean planting should not occur without soil compactation around the seed.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a agricultura vem passando por transformações tecnológicas significativas em função da necessidade de conciliar o manejo conservacionista do solo com a busca constante da redução dos custos de produção. Dessa forma, o sistema plantio direto passou a ser utilizado com grande intensidade no Brasil.

A técnica de semeadura direta tem sido preconizada como alternativa para evitar os efeitos indesejáveis do preparo do solo, realizado de forma repetitiva e inadequada. Entretanto, não se pode esperar que o efeito do cultivo intenso por diversos anos seja resolvido de imediato com a adoção dessa prática, uma vez que fatores como adequação à cultura, ao solo e às condições climáticas regionais devem ser levados em consideração.

No Brasil, cada vez mais se expandem o conceito e as técnicas de plantio direto. Com a expansão da área, cresce o interesse dos usuários e o nível de questionamentos, bem como a necessidade de produtos de qualidade, de confiabilidade e de eficiência agronômica.

O sucesso do estabelecimento de uma cultura depende do ambiente do solo, que, inicialmente, deve ser adequado à germinação da semente, à emergência da plântula e, finalmente, ao desenvolvimento da planta. Para a cultura da soja, assim como nas demais culturas anuais, as operações de semeadura e adubação revestem-se de grande importância, pois eventuais problemas somente serão detectados após a germinação das sementes e o

desenvolvimento das plantas, quando a correção, além de difícil e onerosa, compromete a produtividade.

O adequado contato solo-semente é um pré-requisito para a rápida emergência e o bom estabelecimento da cultura, pois proporciona o ambiente no qual a água estará disponível à semente.

As semeadoras têm sido dotadas com rodas recobridoras e compactadoras de sementes, que melhoram o contato solo-semente por meio de uma pressão lateral e sobre a linha de semeadura. Por provocar uma leve compactação, deixam o solo diretamente sobre as sementes solto o suficiente para minimizar a formação de crostas e promover a emergência mais rápida e fácil das plântulas. Dentro do contexto apresentado, faz-se necessário, portanto, o estudo dos efeitos causados pela compactação sobre o condicionamento do solo ao redor das sementes, visando proporcionar rápida emergência das plântulas e assegurar uma população adequada de plantas.

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar os efeitos da combinação entre teores de água do solo e cargas aplicadas pela roda compactadora da semeadora-adubadora sobre o contato solo-semente em sistema de plantio direto da cultura da soja.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar o índice de velocidade de emergência.
- Analisar o contato solo-semente, utilizando o método da tomografia computadorizada de resolução milimétrica.
- Determinar os teores de água e as cargas aplicadas pela roda compactadora sobre a semente, mais apropriados para serem utilizados em área de plantio direto da cultura da soja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merril) é uma das principais culturas da agricultura mundial e brasileira, devido ao seu potencial produtivo, e à sua composição química e ao seu valor nutritivo, o que lhe confere multiplicidade de aplicações na alimentação humana e, ou, animal, com relevante papel socioeconômico, além de ser matéria-prima indispensável para impulsionar diversos complexos agroindustriais.

A soja ocupa uma posição de destaque na economia brasileira, sendo uma das culturas com maior área cultivada, aproximadamente, 22,3 milhões de hectares na safra 2004/2005, com produção de cerca de 50,2 milhões de toneladas e produtividade média 2.251 kg ha^{-1}, justificando, assim, a busca de novas informações no sentido de otimizar o seu cultivo e reduzir os riscos de prejuízos (EMBRAPA, 2004; CONAB, 2005).

De acordo com EMBRAPA (2004), o Brasil ocupa o segundo lugar no *ranking* mundial de produção de soja, sendo os Estados de Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul os de maior produção. Na safra 2002/2003 foram colhidas no Paraná cerca de 10,7 milhões de toneladas, e a expectativa para a safra 2003/2004 era de 12 milhões de toneladas, o que não se concretizou pela forte estiagem ocorrida na região oeste, comprometendo cerca de 2 milhões de toneladas sobre essa projeção.

Atualmente, o Brasil dispõe de cultivares de soja com potenciais de produtividade de até 6.000 kg de grãos por hectare. Além de cultivares, dispõe-se de tecnologia avançada para produção de grãos e de sementes (HEIFFIG, 2002). Entretanto, devido a uma série de fatores relacionados à semeadura, à germinação, à planta, ao ambiente e às práticas de manejo, ainda depara-se com níveis de produtividade abaixo da média nacional, que se encontra em torno de 2.200 kg ha^{-1}.

A disponibilidade de água no solo é considerada uma das causas mais comuns da baixa germinação de sementes de soja, uma vez que períodos de estiagem são freqüentes na época de semeadura, porém a emergência e o desenvolvimento das plântulas estão, também, na dependência de seu potencial fisiológico (MORAES e MENEZES, 2003).

De acordo com EMBRAPA (2004), a disponibilidade de água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar boa germinação. Nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder 85% do total máximo de capacidade de retenção e nem ser inferior a 50%.

A soja é uma das culturas que melhor se adaptam ao sistema plantio direto (LANDERS, 1995), e os seus rendimentos, ao se considerar o efeito médio de várias safras, equivalem aos diferentes sistemas de manejo do solo, com pequena vantagem para o plantio direto.

2.2 Sistema plantio direto

As técnicas de revolvimento do solo (aração e gradagem) utilizadas pelos agricultores brasileiros, em sua maioria, são frutos da transposição para os trópicos de sistemas de produção desenvolvidos para regiões de clima frio. Segundo Primavesi (1980), nos países de clima temperado, a exposição do solo sem cobertura vegetal ao sol e à chuva cumpre papel importante no seu reaquecimento após o degelo no início da primavera, processo necessário para acelerar a reativação de sua microvida. Nas regiões tropicais,

permanentemente quentes, isso não é necessário. Pelo contrário, o sol e as chuvas torrenciais, características da região, tornam necessário evitar a exposição do solo desnudo ao tempo.

O excessivo preparo do solo por meio do uso de grades pesadas tem como resultado uma intensa mobilização da camada arável, na faixa de 0 a 20 cm. Esse procedimento contribui para a destruição dos agregados do solo, redução da taxa de infiltração de água e formação de camadas compactadas. Esses fatores resultam em acentuada erosão laminar e condições adversas para penetração e desenvolvimento radicular. A degradação do solo, com todas as suas conseqüências e implicações, tem resultado no desafio de viabilizar sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental, buscando sempre a sustentabilidade.

Essa degradação progressiva nos recursos naturais, provocada por práticas convencionais de preparo do solo, obriga o agricultor a recorrer cada vez mais a técnicas mecânicas e químicas, no sentido de manter as condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas, na medida em que elas próprias contribuem para agravar a situação (BORGES FILHO, 2001). Além dessas degradações praticadas, a monocultura existente no Brasil provoca intenso processo de degradação ambiental, especialmente no solo e na água, o que faz com que a compactação do solo e a erosão sejam uns dos mais importantes problemas ambientais decorrentes da intensa mecanização (PLANTIO DIRETO, 1999).

O preparo do solo feito por sistemas convencionais pode atuar nas propriedades químicas do solo, seja diretamente, alterando a distribuição do teor de nutriente no solo e, conseqüentemente, a disponibilidade para as plantas, ou indiretamente, por meio das alterações na estrutura do solo, modificando o balanço hídrico e a atividade biológica (BORGES, 2003).

Métodos de uso e manejo do solo na agricultura que preservem atributos físicos mantêm a cobertura sobre o solo e evitem o escoamento superficial devem ser cada vez mais utilizados na busca da sustentabilidade das áreas agrícolas.

Tendo em vista a conservação do solo, da água e dos recursos naturais, de modo geral, muitos agricultores têm adotado o sistema plantio direto como método de cultivo. Esse sistema de produção foi introduzido na Região Sul do

País, no início da década de 1970, como uma alternativa para controlar a erosão. Consiste em um sistema de exploração agrícola onde não há o revolvimento da superfície por implementos e a cobertura vegetal e, ou, restos culturais são mantidos sobre o solo, dispensando o tradicional preparo com as operações de aração e gradagem (LANDERS, 1998).

O plantio direto é o sistema de produção agropecuário que mais se aproxima de um sistema ecológico natural, tendo em vista que há um revolvimento mínimo do solo na linha de semeadura e preconiza-se a manutenção de uma cobertura (verde e, ou, morta) permanente no solo. Como conseqüência, o sistema de plantio direto constrói, ao longo do tempo, um solo estratificado que, em nível de fertilidade do solo, induz ao acúmulo acentuado de matéria orgânica e nutrientes na superfície, formando um gradiente de distribuição com a diminuição da concentração e com o aumento da profundidade no perfil do solo (PEIXOTO, 1997).

De acordo com Lange (2002), o sistema de plantio direto é um componente indispensável à agricultura sustentável. Um método de manejo do solo que conserve a sua estrutura e mantenha os restos culturais sobre a superfície, no período que vai da colheita até ao próximo plantio, é indicado como a melhor forma de conservar a umidade e evitar a erosão (CARDOSO, 1993).

Segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP, 2005), estima-se que hoje, aproximadamente, 22 milhões de hectares do território brasileiro são cultivados sobe o sistema de semeadura direta, com elevada expansão, principalmente no cerrado (São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás), com o cultivo de milho e algodão.

2.3 Semeadoras para plantio direto

Dentre as máquinas usadas na moderna agricultura, a semeadora foi a que apresentou maiores alterações desde sua concepção no século XVII (BALASTREIRE, 1990). Apesar de toda a sua utilidade, o desenvolvimento das semeadoras foi lento, pois, na verdade, não representava uma economia na execução do trabalho, uma vez que utilizava tanta mão-de-obra quanto na semeadura manual. A operação tornou-se vantajosa quando foram

consideradas a economia de sementes e a regularidade de distribuição, cujos benefícios vinham na forma de maior produtividade das culturas.

O processo produtivo agrícola, fundamentado na produção de grãos através de sistemas sustentáveis, com o uso de práticas conservacionistas adequadas, exige o desenvolvimento de máquinas e equipamentos agrícolas cada vez mais eficientes e precisos. Nesse contexto estão enquadradas as semeadoras, que passaram a assumir importância fundamental neste moderno sistema de produção. Oliveira *et al*. (2000) relataram que houve grande evolução das semeadoras-adubadoras utilizadas nesse sistema, principalmente quanto à sua concepção e utilização. As principais mudanças ocorreram nos mecanismos de distribuição de fertilizantes, os quais eram constituídos basicamente por discos duplos, e foram substituídos por hastes rompedoras.

Gadanha Júnior *et al*. (1991) afirmaram que a semeadora-adubadora para o sistema de semeadura direta é constituída de maneira semelhante às semeadoras-adubadoras convencionais, tanto as de precisão como as de fluxo contínuo, mas possui algumas modificações que permitem a ela trabalhar em solos não-preparados e com cobertura vegetal. De acordo com esses autores, uma modificação é a introdução de um sistema de corte, colocado na frente da máquina, que realiza o corte da cobertura vegetal, abrindo caminho para o sulcador, ou funcionando como o próprio. Um sistema de articulação das rodas é outra mudança em relação às semeadoras-adubadoras convencionais, que permite o acompanhamento das irregularidades do terreno, de modo a não alterar a distribuição da semente e do fertilizante. Os reservatórios são maiores e também podem realizar semeadura convencional ou cultivo mínimo. Alguns modelos possuem um compartimento onde podem ser colocados contrapesos que melhoram o desempenho da máquina em terrenos com dificuldade de penetração.

De acordo com Landers (1995), o sistema de semeadura direta exige que as semeadoras-adubadoras sejam versáteis (para servirem a diferentes culturas e espaçamentos distintos) e resistentes (para agüentarem maiores pressões, sem desgaste ou empenamento); cubram e tirem o ar do sulco da semente; que não embuchem com palha e terra; tenham boa penetração e controle de profundidade; coloquem as sementes em uma profundidade

constante e adequada e em contato com o solo, e não fiquem envolvidas na palha; e depositem o adubo na profundidade e distância ótima em relação à semente. Saturnino e Landers (1997) relataram que pequenos produtores podem fazer a semeadura direta com técnicas de cultivo manual por meio de "matracas" adaptadas e também com o uso de semeadoras de tração animal.

Segundo Portella *et al*. (1993), as semeadoras de plantio direto devem apresentar algumas características especiais que facilitem o corte da palha e o fluxo desta, sem causar problemas de embuchamento.

Elas são classificadas, segundo a forma de distribuição de sementes, em semeadoras de precisão e semeadoras de fluxo contínuo (ABNT, 1994). As semeadoras de precisão, segundo Coelho (1996), são máquinas agrícolas destinadas a promover a dosagem e a deposição de sementes em fileiras sob a superfície do solo, segundo uma densidade de semeadura preestabelecida, em função das características agronômicas da cultura. De acordo com Balastreire (1990), as semeadoras de fluxo contínuo são equipamentos que dosam e distribuem as sementes na linha de semeadura de forma contínua, não existindo uma precisão na sua colocação e existindo uma variação no número e na posição das sementes na linha.

2.4 Condicionamento físico do solo próximo à semente

O estabelecimento de uma cultura inicia-se com a semeadura e a subseqüente germinação das sementes e emergência das plântulas. Nesta fase, o condicionamento físico do solo ao redor das sementes tem importância fundamental para o bom desenvolvimento inicial da cultura, assegurando uma população adequada de plantas. Uma das causas de baixa produtividade reside na dificuldade de estabelecer as condições ideais para que esse processo se desenvolva normalmente (SILVA, 1990).

Hauser (1986) afirma que muitos fatores afetam a germinação de sementese o estabelecimento das plântulas (incluindo a idade da semente, porcentagem de germinação e o vigor das plântulas). Da mesma forma, Hillel (1972), citado por Silva (1990), relacionou fatores como a crosta na superfície do solo, a salinidade e o suprimento de oxigênio. Dentre os fatores físicos do solo, Hauser (1986) relatou que o conteúdo de água do solo é o maior

controlador da germinação e do crescimento das plântulas, seguido da temperatura e do grau de contato entre a semente e a água líquida dos capilares do solo.

A semeadura deve ser realizada no estádio de friabilidade do solo, pelo fato de os teores de água permitirem bom rendimento da operação e boa qualidade do trabalho realizado (GASSEN e GASSEN, 1996). A semeadura realizada quando o solo se encontra acima do limite de plasticidade causa compactação e conseqüente redução da sua capacidade de infiltração. A semeadura realizada em solo seco resulta em menor eficiência dos dispositivos sulcadores, que, por sua vez, ocasiona menor contato solo-semente (KONDO e DIAS JÚNIOR, 1999).

Silva (1990), Brown *et al*. (1996) e Silva (2002) relataram que no processo de semeadura de culturas anuais o condicionamento físico do solo ao redor das sementes reveste-se de importância capital para o bom desenvolvimento inicial da cultura, assegurando uma população adequada de plantas. Phillips e Kirkham (1962) afirmaram que um condicionamento inadequado nessa fase pode limitar o desenvolvimento das plantas em estádios posteriores de crescimento.

Um dos fatores da baixa produtividade está na dificuldade de estabelecer a população ideal de plantas por ocasião da semeadura, devido aos vários fatores que impedem a germinação normal de parte das sementes. Dentre os fatores que condicionam o meio ambiente do solo, a umidade, a temperatura e a aeração são primordiais para a germinação (SILVA, 1990; NABI *et al*., 2000). Porém, para que esta semente já germinada dê continuidade ao crescimento da plântula, deve-se incluir a esses fatores a resistência mecânica do solo à penetração da raiz. É importante citar que esses fatores são diretamente influenciados pelo estado de compactação do solo ao redor da semente.

As semeadoras têm sido dotadas com rodas cobridoras e compactadoras de sementes, que são dispositivos que melhoram o contato solo-semente por meio de uma pressão lateralmente e sobre a linha de semeadura (Figura 1), provocando leve compactação e deixando o solo diretamente sobre as sementes solto o suficiente para minimizar a formação de crostas e promover a emergência mais fácil das plântulas (BALASTREIRE,

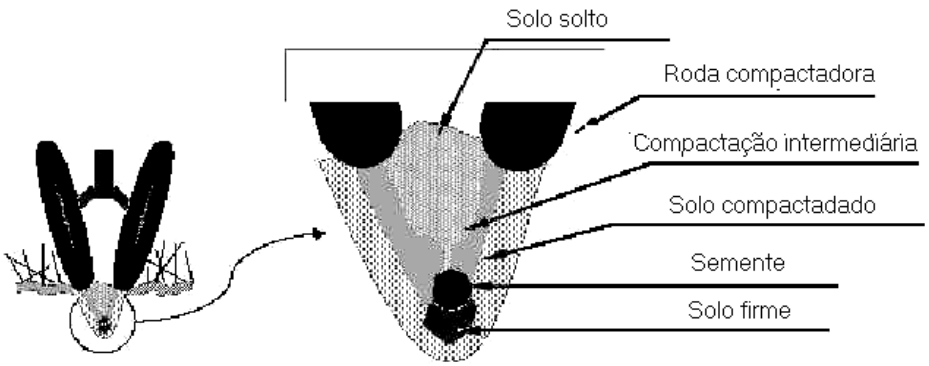


Figura 1 – Representação esquemática do trabalho da roda compactadora.

1990; SILVA *et al*., 1991; PACHECO, 1994; SILVA *et al*., 2004). Uma boa cobertura e uma boa compactação do solo sobre a semente irão depender, dentre outros fatores, dos mecanismos de cobertura e compactação, do teor de água do solo e da profundidade de colocação de sementes (SILVA, 2002).

Vários autores têm procurado estudar a relação máquina-solo-planta em ensaios de semeadura que utilizam rodas compactadoras. Furlani *et al*. (2001), combinando três profundidades de semeadura da cultura do milho com quatro níveis de compactação do solo sobre as sementes, não encontraram influência desses fatores sobre o número médio de dias para emergência das plântulas. Por outro lado, a resistência mecânica do solo à penetração aumentou com a utilização de maiores pressões sobre a roda compactadora.

Em trabalho conduzido com diferentes tipos de rodas compactadoras na semeadura da soja, Hummel *et al*. (1981) afirmaram que o desempenho da roda compactadora teve considerável influência sobre o meio ambiente do solo em torno da semente. Relataram, ainda, que a compactação aplicada sobre o solo por meio de rodas compactadoras pode ou não ser benéfica às sementes, o que dependerá do nível de compactação, do desenho da roda, do tipo e teor de água do solo e das condições climáticas entre o período de semeadura e emergência.

Silva *et al*. (1991) verificaram a influência de quatro diferentes modelos de rodas compactadoras sobre o condicionamento físico do solo, utilizando três níveis de compactação condizentes com o processo de semeadura, e afirmaram que elas alteram o comportamento hídrico do solo na região de

semeadura, além de elevar a densidade e a resistência à penetração no plano vertical da linha de semeadura. A velocidade de emergência e a emergência total das plantas de feijoeiro foram afetadas pelas pressões de compactação. À medida que a compactação aumentou, as plântulas tiveram sua emergência retardada e diminuída para todas as rodas testadas.

1.1 2.5 Contato solo-semente

O adequado contato solo-semente é um pré-requisito para a rápida emergência e o bom estabelecimento de plantas da cultura (PERDOK e KOUWNHOVEN, 1994; BROWN *et al*., 1996), principalmente por proporcionar um caminho através do qual a água possa estar disponível à semente.

Abreu (1993) afirmou que para ocorrer a germinação é necessário que o teor de água do solo seja adequado e que a relação solo-água-semente seja favorável ao desencadeamento desse processo. Bewley e Black (1978) afirmaram que a textura do solo influencia o grau de contato semente-água, fazendo com que as respostas à germinação para um mesmo teor de água sejam diferentes para solos argilosos ou arenosos.

De acordo com Brown *et al*. (1996), existe um considerável grau de subjetividade nas descrições do contato solo-semente, que são baseados nas condições prevalecentes do solo: textura, umidade do solo, distribuição do tamanho de agregados e nível de compactação. Relataram ainda que pouco se conhece a respeito do que realmente constitui um “adequado” ou “inadequado” contato.

Karlen e Gooden (1987) atribuíram que a baixa germinação é devido ao contato inadequado solo-semente, sem estabelecer quais condições prevalecentes do solo influenciam o grau de contato ou qual o contato requerido para que a transferência de água do solo à semente não restrinja a taxa de embebição. Os autores concluíram ainda que a falta de conhecimento de como a estrutura do solo influencia o contato solo-semente tem implicações práticas.

O estudo da relação solo-semente requer metodologias apropriadas, que possam melhor caracterizar a camada de solo próximo à semente. Os métodos tradicionais existentes para determinação da relação solo-semente e

densidade próximo à semente são empíricos e não possuem sensibilidade suficiente como os métodos micromorfológicos e tomografia computadorizada.

1.1.1 2.5.1 Método micromorfológico

Por meio do estudo da micromorfologia torna-se possível avaliar a estrutura do solo, como distribuição do tamanho dos poros, além da forma e posição relativa dos agregados e poros (PAGLIAI, 1987; SCHAEFER *et al.*, 2001). Esse método tem possibilitado a quantificação da porosidade e a distribuição dos poros próximo à semente, viabilizando o estudo da relação solo-semente (REIS, 2000). Para tanto, é necessário fazer a análise de seções finas de blocos impregnados, preparados a partir de amostras de solo não-deformadas e que contenham a semente.

Schaefer *et al.* (2001), utilizando diferentes sistemas de preparo do solo, verificaram, com o auxílio de técnicas micromorfométricas, a formação de camadas com menor porosidade nos sistemas que envolveram a grade pesada e, ainda, que o uso da grade pesada resultou em mudanças na continuidade dos poros do solo. No sistema de plantio direto, os autores observaram boa conexão entre os macroporos, sem revelar descontinuidade entre a superfície e as camadas inferiores.

Viana *et al.* (2004) utilizaram o método micromorfológico para examinar as modificações provocadas por ciclos de umedecimento e secagem em amostras de Latossolos com diferentes mineralogias, em agregados integrais ou quando destruídos por moagem. Os autores verificaram, em todos os tratamentos sem desagregação, que não houve variação expressiva da porosidade total. Por outro lado, nos tratamentos em que os agregados foram destruídos, ocorreu significativa mudança na quantidade de poros e na distribuição destes após os ciclos.

Reis (2000), ao quantificar o contato solo-semente, utilizando a análise micromorfológica de blocos polidos de solo, constatou que o teor de água no solo afeta os valores da macroporosidade, apresentando maior valor de macroporosidade nos maiores teores de água.

1.1.2 2.5.2 Tomografia computadorizada

O método da transmissão de raios gama é uma ferramenta útil, pois permite caracterizar vários aspectos físicos dos materiais, como: densidade, perfil espacial e temporal da umidade, porosidade de materiais amorfos e distribuição espacial dos poros (POTTKER e APPOLONI, 2004).

O estudo da aplicação da metodologia de raios gama para o estudo da porosidade total em amostras de solo em laboratório foi introduzido por Phogat e Aylmore (1989), aplicando a tomografia computadorizada. Mais recentemente, a metodologia foi simplificada para o uso da transmissão de um feixe único de raios gama na medida da porosidade total, macroporosidade e microporosidade de solos (OLIVEIRA *et al*., 1998).

A tomografia computadorizada por transmissão de raios-X e raios gama é um processo de obtenção de imagem reconstruída da seção transversal ou fatia de um corpo, em um computador, utilizando um equipamento externo, o tomógrafo (APPOLONI e CESAREO, 1994).

O estudo da porosidade de materiais é normalmente dominado por metodologias convencionais. No entanto, a metodologia não-destrutiva da tomografia computadorizada de raios-X e raios gama é mais precisa, rápida e permite mostrar resultados da porosidade ponto a ponto em escala milimétrica (ou menor), sem interferir na integridade da amostra (MACEDO *et al*., 1997; FARBER *et al*., 2003; PEDROTTI *et al*., 2003).

De acordo com Pedrotti *et al*. (2003), utilizando a técnica de tomografia computadorizada em amostras indeformadas de solo, é possível quantificar a densidade em perfis ortogonais à superfície do solo, permitindo a caracterização da densidade desde a superfície até a profundidade analisada e possibilitando que estes dados sejam apresentados em gráficos.

Reis (2003), utilizando a técnica de tomografia computadorizada em amostras indeformadas, quantificou a densidade do solo na região da semente, em sistema de semeadura direta da cultura do milho.

Segundo Naime (2001), a resolução micrométrica dos novos detectores oferece a oportunidade de estudo da porosidade do solo em várias escalas, diretamente no campo. Além deste detector, o equipamento requer o emprego de um aparelho de raios-X microfoco.

Com a finalidade de viabilizar o uso da tomografia micrométrica na pesquisa de solos e meios porosos em geral, a Embrapa Instrumentação Agropecuária construiu um tomógrafo de resolução micrométrica com custo relativamente baixo, visando a obtenção de imagens, de forma não-destrutiva, do interior de amostras de solo (MACEDO *et al*., 1997). Segundo os autores, o equipamento mostrou-se totalmente apropriado para caracterização da porosidade de sistemas particulados na referida escala.

Pottker e Appoloni (2004) mediram a porosidade total de amostras de solo TRe (Terra Rocha eutrófica), por meio da metodologia convencional (cilindro) e pela transmissão de raios gama, e verificaram que, de modo geral, a correlação entre as duas metodologias foi razoável. Os autores concluíram ainda que a medida da porosidade por transmissão de raios gama tem significativa vantagem sobre a metodologia convencional, por ser uma determinação rápida e não-destrutiva e por fornecer resultados com maior caracterização em pequenas escalas em relação à heterogeneidade na porosidade.

2.6 Índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE)

O índice de emergência (sementes viáveis depositadas/plantas emergidas) é um dos melhores parâmetros para avaliar o desempenho final de uma semeadora (PORTELLA *et al*., 1997). Os autores observaram diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre os índices de emergência de plantas de soja nas seis semeadoras testadas, em que houve redução no índice de emergência de até 18% com o aumento da velocidade de trabalho. Entretanto, não foi observada diferença para o índice de emergência nas oito semeadoras ensaiadas para a cultura do milho.

Ao avaliar o desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense, Casão Júnior *et al*. (1998) concluíram que a boa condição de semeadura refletiu em satisfatória velocidade de emergência de soja e milho e no estande de plantas, cuja grande maioria emergiu após seis dias de semeadura.

Ortolani *et al*. (1986), estudando a emergência e o desenvolvimento do sorgo granífero, verificaram que uma profundidade igual a 4 cm e uma carga de

200 N, de uma roda compactadora cilíndrica, proporcionaram melhores condições de emergência e desenvolvimento vegetativo de plantas, antecipando-se aos demais tratamentos.

Coan (1996), estudando o efeito da profundidade de semeadura e da compactação do solo sobre a semente no comportamento da aveia-preta, verificou que a emergência e o desenvolvimento foram maiores para a combinação da profundidade de 3 cm e aplicação de carga de 100 N, enquanto a semeadura na profundidade de 1 cm sem compactação prejudicou o estande e o crescimento inicial de plantas. Por outro lado, a carga de 150 N foi prejudicial às plantas, afetando o comportamento físico do solo avaliado por meio da densidade do solo e do índice de cone.

Ao estudar a influência de três modelos de rodas compactadoras, três profundidades de semeadura e três níveis de carga da roda compactadora sobre a germinação e o desenvolvimento da cultura do milho, Silva (2002) verificou que as sementes, quando semeadas à profundidade de 3 cm, necessitaram de menos dias para a emergência e apresentaram maior porcentagem de germinação do que aquelas semeadas em profundidade de 5 e 7 cm. O autor constatou ainda que cerca de 50% das sementes que foram semeadas à profundidade de 3 cm emergiram aos quatro dias após a semeadura, enquanto na mesma data somente 19 e 13% das sementes, semeadas às profundidades de 5 e 7 cm, respectivamente, atingiram a emergência.

Abrecht (1989), estudando o efeito da profundidade de semeadura e da pressão da roda compactadora no estabelecimento de algumas culturas, em sistema de semeadura direta no norte da Austrália, não encontrou efeito da pressão da roda sobre a taxa de emergência, a população de plantas ou o crescimento das plântulas. Coelho (1979) também não encontrou diferenças significativas da influência da profundidade de semeadura e da compressão do solo sobre as sementes na emergência e no desenvolvimento inicial da cultura da soja. Por outro lado, Justino (1982) constatou influência da profundidade de semeadura e intensidade de compactação do solo sobre as sementes na emergência e no crescimento inicial das plantas de amendoim.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizada a combinação entre três teores de água do solo e quatro níveis de carga aplicada pela roda compactadora de uma semeadora-adubadora de precisão em sistema de plantio direto, na cultura da soja, em Latossolo Vermelho distroférrico típico.

Os ensaios de laboratório foram conduzidos na EMBRAPA-Instrumentação Agropecuária, em São Carlos-SP, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em Cascavel-PR, e nos Departamentos de Engenharia Agrícola e de Solos da Universidade Federal de Viçosa-MG.

O experimento de campo foi desenvolvido na Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda.-COODETEC, localizado lateralmente à BR 467, km 98, sentido Cascavel-Toledo, no Estado do Paraná, no mês de outubro de 2004. A Figura 2 apresenta uma vista geral da área experimental.

A localização geográfica está definida pelas coordenadas 24º 53' de latitude sul e 53º 23' de longitude oeste, com uma altitude média de 760 m e declividade entre 0 e 5%, que é uma declividade dentro da faixa recomendada para os ensaios de campo realizados com semeadoras (COELHO, 1996).

Conforme a classificação de Köppen (1948), o clima da região de Cascavel-PR é do tipo Cfa, com temperaturas moderadas e com chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno, a média de temperatura

Figura 2 – Vista geral da área experimental utilizada na realização do ensaio de campo.

é inferior a 16 ºC. Nos meses de verão, as máximas superam 30 ºC, com temperatura média anual de 21 ºC. A região está sujeita a geadas, embora elas não sejam freqüentes. A umidade média relativa do ar é de 75% e os ventos sopram na direção nordeste/sudoeste e leste/oeste com velocidade média entre 33 e 46 km h^{-1}. A precipitação pluviométrica mensal é de 163 mm e a média anual é de 1.956 mm (CASCAVEL, 2001).

3.1 Caracterização física do solo antes do plantio

O solo da área experimental foi classificado, de acordo com EMBRAPA (1999), como sendo Latossolo Vermelho distroférrico típico, em relevo plano e textura muito argilosa, sendo o clima subtropical.

A caracterização física do solo antes do plantio foi feita, determinando-se a granulometria, o teor de água do solo, a densidade do solo, a densidade de partículas, a porosidade total e a resistência mecânica do solo à penetração.

3.1.1 Análise granulométrica

As amostras deformadas foram inicialmente secas à sombra, destorroadas e peneiradas em peneiras de 2 mm, obtendo-se assim a TFSA

(Terra Fina Seca ao Ar). Utilizou-se uma amostra de 20 g de TFSA, na qual foram adicionados 100 mL de água destilada e 10 mL de NaOH 0,1 mol.

A amostra foi agitada e ficou em repouso durante 12 horas. Em seguida, fez-se uma agitação rápida de 15 minutos, em um agitador mecânico. Após o período de repouso indicado, fez-se a separação da areia das demais partículas, por peneiramento, utilizando uma peneira de malha de 0,053 mm (RUIZ, 2005).

A fração de argila foi obtida pelo método da pipeta e a porcentagem de silte, pela diferença entre a massa total e as frações de areia e argila.

O alto valor de argila dispersa em água encontrado para o Latossolo Vermelho deve-se ao método utilizado para sua determinação, que leva em consideração a argila suspensa em água.

A Tabela 1 apresenta a análise granulométrica do solo da área experimental.

Tabela 1 – Análise granulométrica do solo da área experimental

Partículas	Porcentual (%)
Areia	5
Silte	20
Argila	75
Argila dispersa em água	38

3.1.2 Teor de água do solo

Utilizou-se o método gravimétrico-padrão, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105 – 110 ºC, até massa constante, conforme EMBRAPA (1997).

Na condução do experimento, foram realizadas amostragens de solo para determinação do teor de água na camada de 0 a 15 cm. A primeira amostragem foi realizada no momento da determinação da resistência mecânica do solo à penetração e as demais, no dia da semeadura. Em ambas as amostragens, foram retiradas uma amostra por unidade experimental.

O solo coletado foi colocado em cápsulas de alumínio, que foram vedadas com fita plástica, até a chegada no laboratório, onde estas foram pesadas em balança digital de precisão de 0,01 g.

3.1.3 Densidade do solo

Foi determinada na camada de 0 a 15 cm de profundidade, utilizando-se o método do anel volumétrico, descrito em EMBRAPA (1997). A amostragem foi realizada antes da aplicação dos tratamentos, tendo sido retiradas duas amostras em cada unidade experimental.

3.1.4 Densidade de partículas

Foi determinada pela divisão da massa de sólidos correspondente a 20 g de TFSE (Terra Fina Seca em Estufa) pelo respectivo volume, sendo retirada uma amostra em cada unidade experimental. Foram usados balão volumétrico e álcool etílico para determinar o volume dos sólidos (EMBRAPA, 1997).

$$Dp = \frac{Ms}{Vs} \qquad (1)$$

em que

Dp = densidade de partículas, kg dm^{-3};

Ms = massa de sólidos, kg; e

Vs = volume de sólidos, dm^3.

3.1.5 Porosidade total

Foi calculada com base nas densidades das partículas e do solo, usando-se equação 2 (EMBRAPA, 1997).

$$Pt = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) * 100 \qquad (2)$$

em que

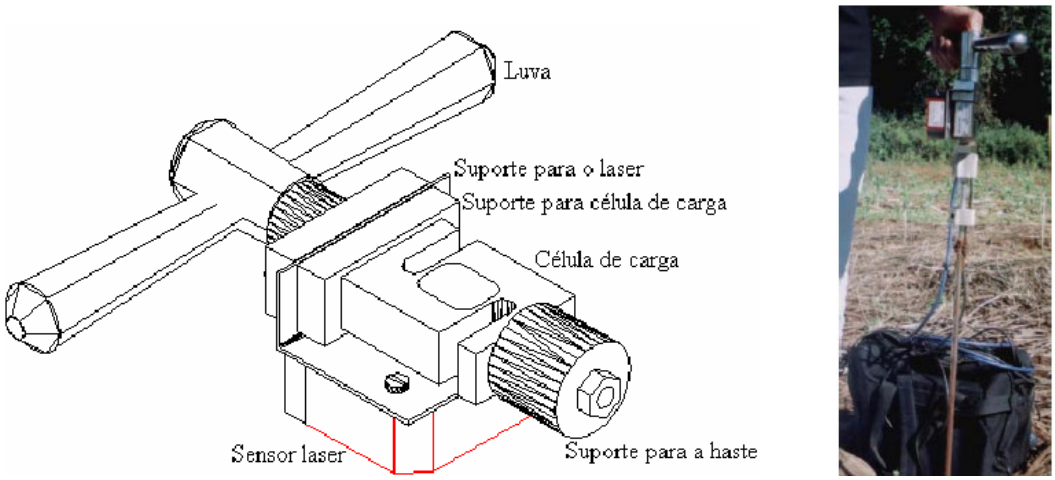
Pt = porosidade total, %;

Ds = densidade do solo, kg dm^{-3}; e

Dp = densidade das partículas, kg dm^{-3}.

3.1.6 Resistência mecânica do solo à penetração

Para sua determinação, utilizou-se um penetrômetro eletrônico desenvolvido por TIEPPO (2004), constituído de um sensor a laser para medir a profundidade da haste no solo e de uma célula de carga para medir a força exercida no solo (Figura 3).



(a) (b)

Fonte: Tieppo (2004).

Figura 3 – Visualização em 3D do penetrômetro (a) e aparelho sendo utilizado no campo (b).

Os sinais gerados pelo laser e pela célula de carga são armazenados em um datalogger CR510. A alimentação do *datalogger* e dos sensores é realizada por duas baterias seladas de 12 V cada, que fornecem corrente contínua para o sistema. As determinações foram feitas antes da realização do ensaio com a semeadora. Foram realizadas dez repetições por parcela experimental, de forma aleatória, obtendo-se os resultados da força por unidade de área nas profundidades entre 0 e 20 cm.

3.2 Caracterização das máquinas e implementos agrícolas utilizados

3.2.1 Trator

Utilizou-se um trator marca FORD, modelo 7630 4 x 2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 75,8 kW (103 cv) no motor a 2.100 rpm e massa em ordem de embarque de 3.580 e 6.196 kg com lastro máximo, com rodado de pneus. Na ocasião da semeadura, o trator encontrava-se com lastro mínimo.

3.2.2 Semeadora

Utilizou-se uma semeadora-adubadora de precisão marca Vence Tudo, modelo PSMT 6414 de arrasto, cujas principais características encontram-se no Quadro 1 e na Figura 4.

A semeadora-adubadora foi avaliada na velocidade de deslocamento de 5,5 km h^{-1}, que é uma velocidade dentro da faixa indicada para a operação de semeadura (BALASTREIRE, 1990; OLIVEIRA *et al.*, 2000).

Na realização do experimento, as caixas de sementes e fertilizantes da semeadora-adubadora estavam com 50% da sua capacidade, conforme descrito em Coelho (1996).

O plantio da soja foi realizado, alterando os níveis de cargas aplicadas pela roda compactadora de acordo com os tratamentos. Antes da realização do ensaio, a semeadora foi regulada, visando a distribuição de 25 sementes por metro linear (equivalente a 556.000 sementes ha^{-1}) e profundidade de plantio de 5 cm.

3.3 Insumos agrícolas utilizados

3.3.1 Sementes e fertilizantes

Utilizou-se o cultivar de soja superprecoce CD 216 produzido pela Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. – COODETEC, com 87% de germinação e 98% de pureza.

Quadro 1 – Características da semeadora-adubadora PSMT 6414

Componentes	Características
Corte da cobertura (palhada)	Disco liso com 381 mm (15”) de diâmetro
Sulcador de fertilizantes	Haste sulcadora com tubo condutor e ponteira com 14,76 mm de largura.
Sulcador de sementes	Discos duplos defasados com 356 mm (14”) de diâmetro
Dosador de sementes	Disco horizontal
Controle de profundidade	Rodas compactadoras e reguladoras, na parte posterior
Discos de cobertura	Duas rodas estreitas em “V”
Rodas compactadoras	Roda convexa de borracha com 330 mm (13”) de diâmetro e170 mm de largura
Posição dos sulcadores	Alinhados
Sistema de transmissão	Correntes intercambiáveis
Espaçamento entre linhas	0,45 m
Mecanismo dosador	Disco horizontal

Figura 4 – Semeadora-adubadora PSMT 6414 da Vence Tudo com cinco linhas para soja, utilizada no experimento de campo.

A densidade de semeadura foi de 25 sementes por metro linear.

Utilizou-se adubo de formulação 0-20-20 (N-P-K), tendo sido aplicados 300 kg ha^{-1} por ocasião da semeadura.

Antes do plantio, foi retirada uma amostra das sementes a serem utilizadas, para avaliação da germinação. O teste foi realizado, utilizando-se como substrato o rolo de papel germitest, umedecido com água destilada na proporção de 2,5:1 (peso da água: peso do papel), com quatro repetições de 50 sementes. A seguir, as sementes foram colocadas em germinador à temperatura constante de 25 ^{o}C. A avaliação do teste foi realizada conforme recomendações das "Regras para Análise de Sementes" (BRASIL, 1992).

3.4 Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos pela combinação entre três teores de água do solo e quatro níveis de carga aplicada pela roda compactadora sobre a semente, totalizando 12 tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Relação e designação dos tratamentos

Tratamentos	Teor de Água do Solo (kg kg^{-1})	Carga Aplicada (N)
U1C1	0,27	0
U1C2	0,27	50
U1C3	0,27	90
U1C4	0,27	140
U2C1	0,31	0
U2C2	0,31	50
U2C3	0,31	90
U2C4	0,31	140
U3C1	0,36	0
U3C2	0,36	50
U3C3	0,36	90
U3C4	0,36	140

3.4.1 Determinação do nível de carga aplicada pela roda compactadora

Para determinar o nível de carga aplicada pela roda compactadora sobre a semente, utilizou-se uma célula de carga da marca Kratos, modelo 2BL1601, com capacidade de 19,6 kN, acoplada sobre a roda compactadora. O pino que fixa a roda compactadora foi retirado de modo que esta ficasse livre, e toda a carga fosse aplicada diretamente na célula de carga. As cargas aplicadas pela roda compactadora sobre a semente foram visualizadas em um visor da marca Kratos, modelo IK-14A, da Kratos Equipamentos Industriais Ltda. A Figura 5 mostra os equipamentos utilizados no ensaio.

Figura 5 – Vista geral dos equipamentos utilizados na determinação das cargas aplicadas no solo pela roda compactadora. (1) célula de carga e (2) visor.

A calibração da célula de carga foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, utilizando uma máquina universal de 10 t, marca Losenhausen, modelo VHP 10. Foram aplicadas cargas conhecidas, e com os valores visualizados no visor determinou-se a relação entre a carga medida pelo visor e a carga aplicada pela roda compactadora (equação 3).

$$C = (185{,}78.V - 47{,}668) * 9{,}81 \qquad (3)$$

em que

C = carga aplicada pela roda compactadora sobre a semente, N; e

V = valor lido no visor.

Os quatro níveis de cargas aplicadas pela roda compactadora sobre a semente foram C1 = 0 N, C2 = 50 N, C3 = 90 N e C4 = 140 N, obtidos de acordo com as opções de regulagem da semeadora-adubadora.

3.4.2 Determinação dos teores de água do solo

Os níveis desejados do teor de água do solo para condução dos ensaios de campo foram obtidos após uma precipitação pluviométrica, utilizando o método da estufa. Após a ocorrência da precipitação, realizaram-se os ensaios com os tratamentos compostos pelo maior teor de água (U3 = 0,36 kg kg^{-1}). Na seqüência, quando o solo encontrava-se nos teores de água desejados, realizaram-se os ensaios com os tratamentos compostos pelos teores de água U2 = 0,31 kg kg^{-1} e U1 = 0,27 kg kg^{-1}, respectivamente.

3.5 Delineamento experimental

Utilizou-se o esquema de parcelas subdivididas, em que as parcelas constituíram os três teores de água (U1, U2 e U3), correspondentes a 0,27, 0,31 e 0,36 kg kg^{-1}, respectivamente, e as subparcelas os quatro níveis de carga aplicada pela roda compactadora (C1, C2, C3 e C4), correspondentes a 0, 50, 90 e 140 N, respectivamente, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, conforme apresentado na Figura 6.

A área foi subdividida em quatro blocos casualizados, totalizando 48 unidades experimentais, cada uma com área de 105 m^2 (3,5 x 30 m), com espaçamento de 2 m entre parcelas e de 15 m entre blocos, utilizados para manobra do conjunto motomecanizado.

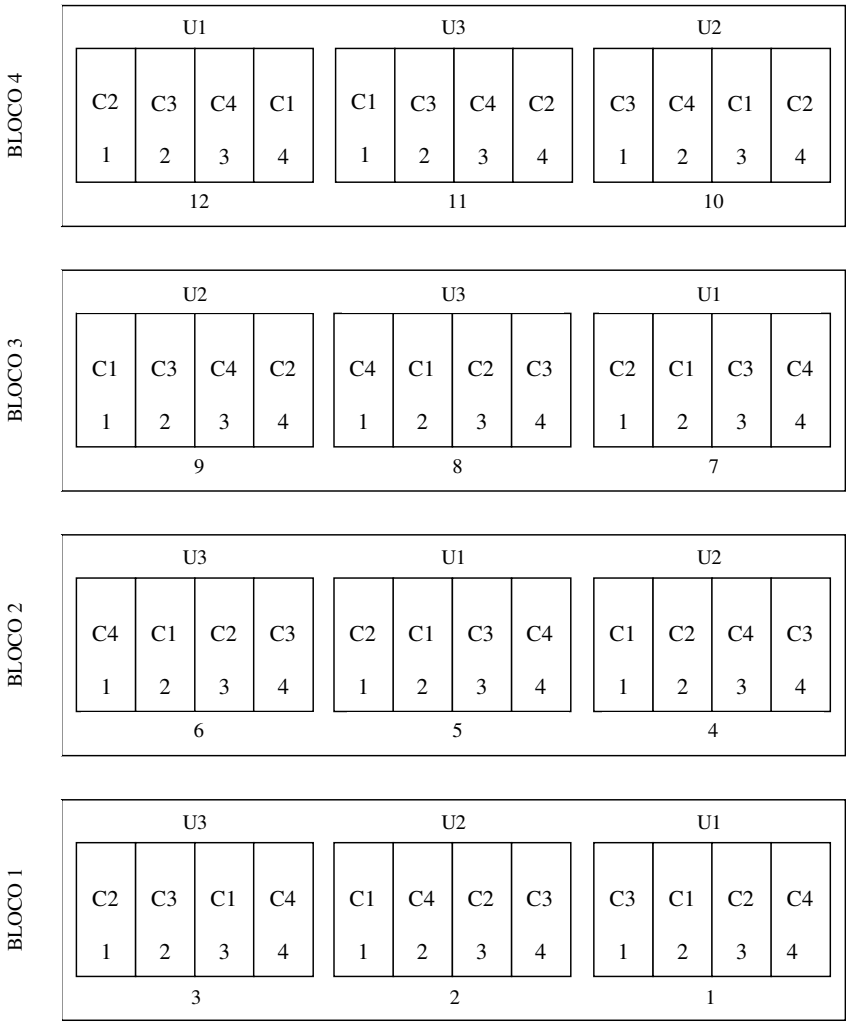


Figura 6 – Esquema de campo com a disposição das parcelas experimentais.

3.6 Avaliações pós-plantio

3.6.1 Resistência mecânica do solo à penetração

Depois da passagem da semeadora-adubadora, com o uso do penetrômetro eletrônico descrito no item 3.1.6, foi determinada a resistência mecânica do solo à penetração sobre a linha de plantio, tendo sido realizadas dez medições por unidade experimental, obtendo-se os valores na faixa de 0 a 20 cm de profundidade.

3.6.2 Profundidade de deposição de sementes

Foi determinada na linha central de semeadura em cada unidade experimental, tomando-se a profundidade de 20 sementes. Foi utilizada uma espátula para remoção do solo sobre as sementes, de forma a não retirá-las do seu local de deposição. Com as sementes descobertas determinou-se a distância da borda do sulco até o ponto onde esta se encontrava. A profundidade média de semeadura foi 5,5 cm.

3.6.3 Índice de velocidade de emergência de plântulas

Foi avaliado em um comprimento de 10 m na linha central de semeadura. O número de sementes inicial foi determinado de acordo com a uniformidade de distribuição da semeadora-adubadora.

A contagem das plântulas foi realizada, diariamente, até que o número de plântulas emergidas se apresentou constante. Cada planta foi considerada emergida a partir do instante em que ela rompeu o solo e pôde ser vista a olho nu, de algum ângulo qualquer. A partir dessas contagens, expressou-se o índice de velocidade de emergência de plântulas, utilizando-se a equação (4), adaptada de Maguire (1962).

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + ... \frac{E_n}{N_n} \qquad (4)$$

em que

IVE = índice de velocidade de emergência;

E_1, E_2, E_n = número de plântulas emergidas, na primeira, segunda, ..., última contagem; e

N_1, N_2, N_n = número de dias da semeadura à primeira, segunda, ..., última contagem.

3.6.4 Observações do contato solo-semente

3.6.4.1 Determinação do diâmetro médio ponderado dos agregados - DMP

Foram coletadas amostras deformadas de solo no sulco de semeadura, onde a semente foi depositada (REIS, 2000), tendo sido coletada uma amostra por unidade experimental. Utilizaram-se caixas de metal com dimensões de 0,10 x 0,10 x 0,10 m (Figura 7). Posteriormente, as amostras foram secas ao ar e peneiradas em peneiras com malhas de 19,0, 9,52, 7,93, 4,76, 4,0, 2,38 e 2,0 mm, dispostas verticalmente em um agitador mecânico (Figura 8).

O teor de água residual foi obtido pelo método gravimétrico a partir de amostras de solo retidas em cada malha, para 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, marca IMPAC, modelo GM-225G, precisão ± 0,05%.

Os valores de DMP foram obtidos por meio da equação 5.

$$DMP = \frac{\sum_i Mi.Xi}{\sum_i Mi} \qquad (5)$$

em que

DMP = diâmetro médio ponderado dos agregados do solo, mm;

M_i = massa de solo retida na peneira i, g; e

X_i = malha da peneira i, mm.

O solo que passou na última peneira foi considerado como finos (< 2,0 mm). Com esse valor determinou-se a percentagem de finos < 2,0 mm, em relação à massa total de solo.

Figura 7 – Vista geral da caixa metálica utilizada para determinação do diâmetro médio ponderado.

Figura 8 – Agitador mecânico utilizado no peneiramento das amostras de solo.

3.6.4.2 Densidades mínima, média e máxima obtidas por tomografia

As densidades mínima, média e máxima do solo na região da semente foram obtidas mediante o uso do método da tomografia computadorizada. Após a realização da semeadura, foram coletadas quatro amostras indeformadas de solo em cada unidade experimental, dentro das quais estaria contida a semente (REIS *et al.*, 2002). Essas amostras foram coletadas sobre a linha central de plantio, onde foram cravados no solo quatro cilindros de 0,16 m de altura por 0,04 m de diâmetro. A Figura 9 mostra o procedimento de retirada das amostras.

Figura 9 – Vista geral dos cilindros plásticos utilizados para retirada das amostras indeformadas, para determinação da densidade do solo na região da semente.

As análises tomográficas foram realizadas com o uso de 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. Utilizou-se uma fonte de raios gama (^{241}Am, E = 59,54 keV, 1,11 x 10^9 Bq) e um arranjo de 256 detectores, compostos de material semicondutor (Figura 10). Os movimentos de elevação e rotação foram executados por dois motores de passo, controlados por um sistema eletrônico e um computador dedicado à eletrônica embarcada-padrão PC/104.

Fonte: Naime (2001).

Figura 10 – Vista geral do tomógrafo utilizado para determinação das densidades mínima, média e máxima do solo.

Para que a semente não desse início ao processo de embebição, as amostras contidas nos cilindros foram secas em estufa a 50 ºC, por 48 horas. Posteriormente, elas foram colocadas na base do tomógrafo, dando início à obtenção das imagens. Trabalhou-se com 33 planos horizontais, em que o feixe em leque atravessou a amostra de 0,05 em 0,05 m, até a profundidade de 0,16 m.

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

$$I = I_0 e^{-\int \mu dx} \tag{6}$$

em que

I = intensidade da radiação do feixe emergente, contagem por segundo;

I_0 = intensidade da radiação do feixe incidente, contagem por segundo;

μ = coeficiente de atenuação linear do solo, cm^{-1}; e

x = espessura da amostra, cm.

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

$$\mu = \mu_m \rho \tag{7}$$

O valor do coeficiente de atenuação em massa (μ_m), obtido experimentalmente para o solo estudado, foi 0,4140 $cm^2\ g^{-1}$. Esse coeficiente depende da composição química do solo e da energia do feixe incidente.

Um programa de reconstrução e visualização de imagens, desenvolvido com base na linguagem *Visual Basic* da Microsoft e Borland C++ Builder (NAIME, 2001), foi responsável pelo processamento dos dados, ou pela 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 da imagem.

As determinações foram realizadas em um cilindro de solo de 0,16 m de altura de 0,04 m de diâmetro, que deveria conter a semente. Dentro das imagens tomográficas foi demarcado um quadrado de 25 x 25 pixels, correspondendo a uma área de 625 pixels. Como cada pixel corresponde a uma área de 0,318 mm^2 (0,564 x 0,564 mm), a área total correspondente a cada imagem foi de 198,75 mm^2, dentro da qual foram determinados os valores mínimo, médio e máximo de densidade do solo.

3.6.4.3 Densidades do solo na região da semente

As amostras foram levadas individualmente para um equipamento composto de uma fonte de ^{241}Am, com feixe colimado, com sistemas de detecção e contagem de radiação e de uma plataforma com motor de passo, para permitir a movimentação vertical da amostra. Foram realizadas 33 medições de atenuação da radiação, entre 0 e 0,16 m de profundidade.

A densidade foi determinada por meio da seguinte equação:

$$\rho = \frac{1}{x\mu_m} \ln \frac{I_0}{I} \tag{8}$$

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; e

μ_m = coeficiente de atenuação em massa do solo, $cm^2\ g^{-1}$.

O coeficiente médio de atenuação em massa, obtido experimentalmente para o solo em estudo, foi de 0,4140 $cm^2\ g^{-1}$. A partir desse valor foram obtidos os valores de densidade do solo na região da semente.

As Figuras 11, 12 e 13 mostram as imagens tomográficas utilizadas para determinação das densidades do solo na região da semente, para os diferentes teores de água do solo e cargas aplicadas pela roda compactadora. As imagens tomográficas representam as densidades do solo em uma escala de 16 toneladas de cinza, em que as sementes são caracterizadas pelas áreas com formato arredondado, de coloração mais escura (menores valores de densidade), enquanto as áreas de coloração mais clara indicam maiores valores de densidade.

3.7 Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos para as variáveis avaliadas antes do plantio foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os resultados pós-plantio foram submetidos à análise em superfície de resposta por meio do procedimento GLM do *Statistical Analysis System* (SAS-WINDOWS, 1989). Os modelos foram escolhidos com base no teste para a falta de ajustamento do modelo de superfície, na significância do teste t dos coeficientes de regressão a 5% de probabilidade. Quando a interação entre os fatores, os teores de água e as cargas aplicadas não foi significativa, os resultados foram discutidos por meio de estatísticas descritivas.

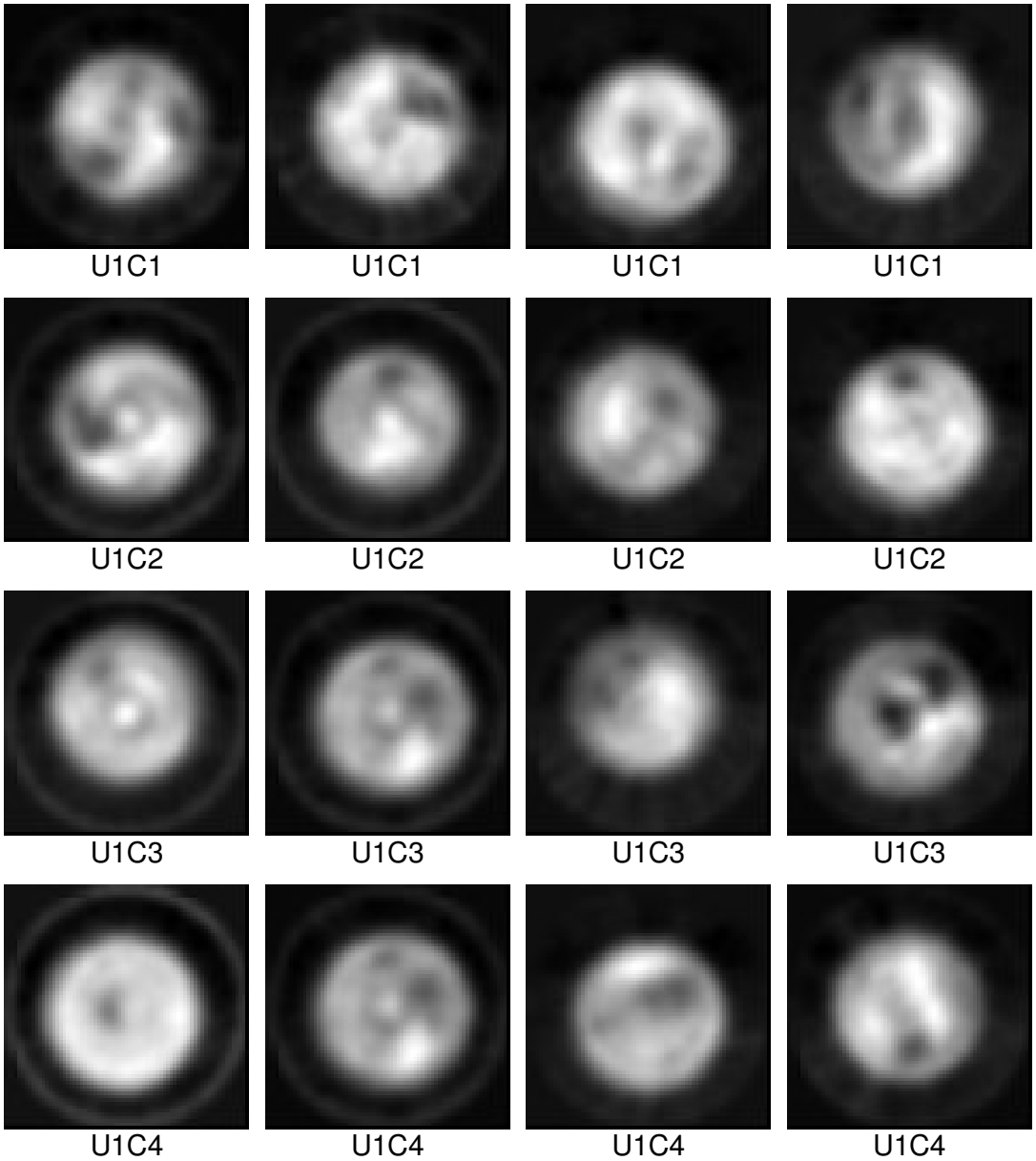


Figura 11 – Imagens tomográficas da densidade do solo na região da semente, no teor de água igual a 0,27 kg kg^{-1}, para os diferentes níveis de carga aplicada.

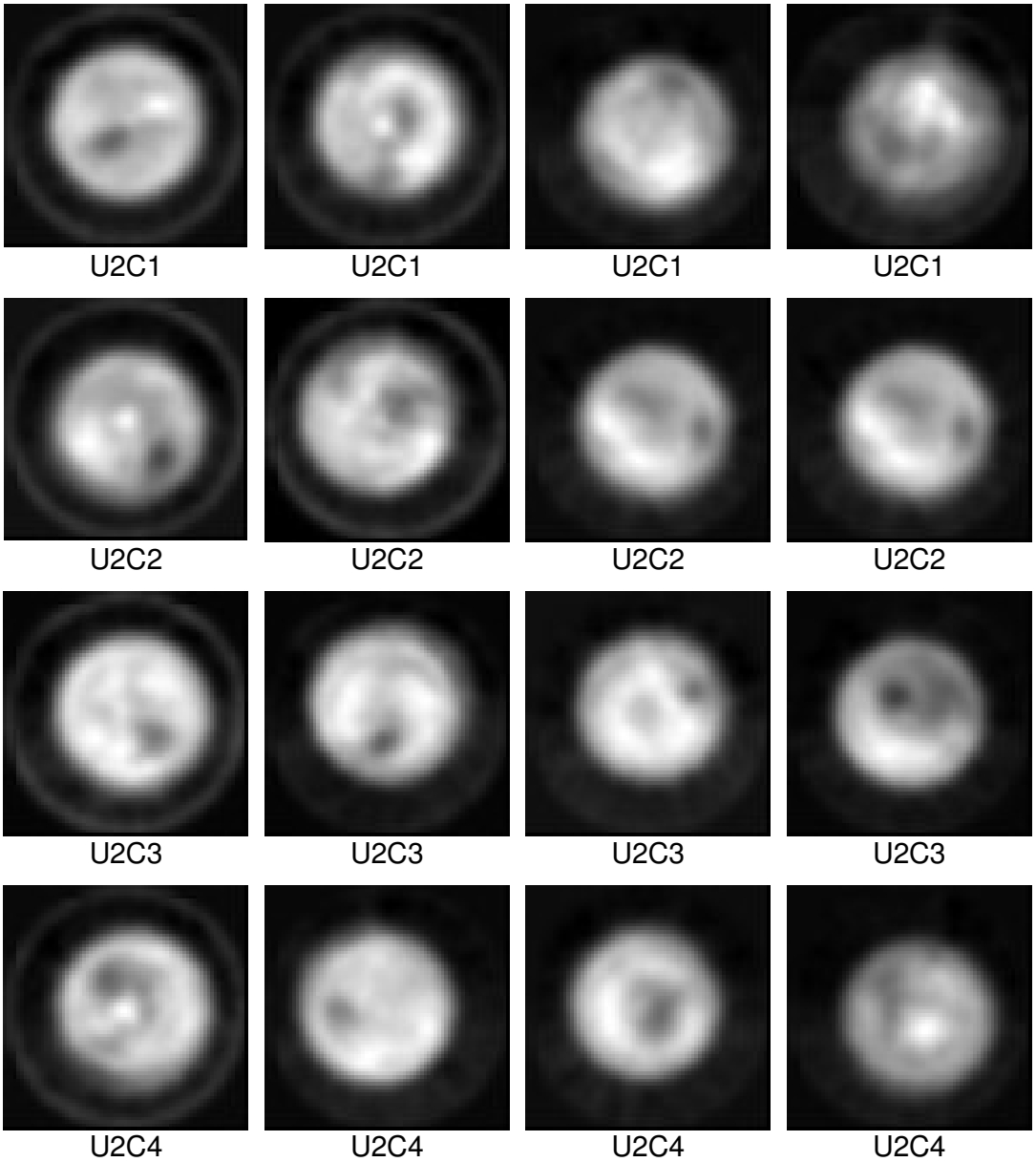


Figura 12 – Imagens tomográficas da densidade do solo na região da semente, no teor de água igual a 0,31 kg kg^{-1}, para os diferentes níveis de carga aplicada.

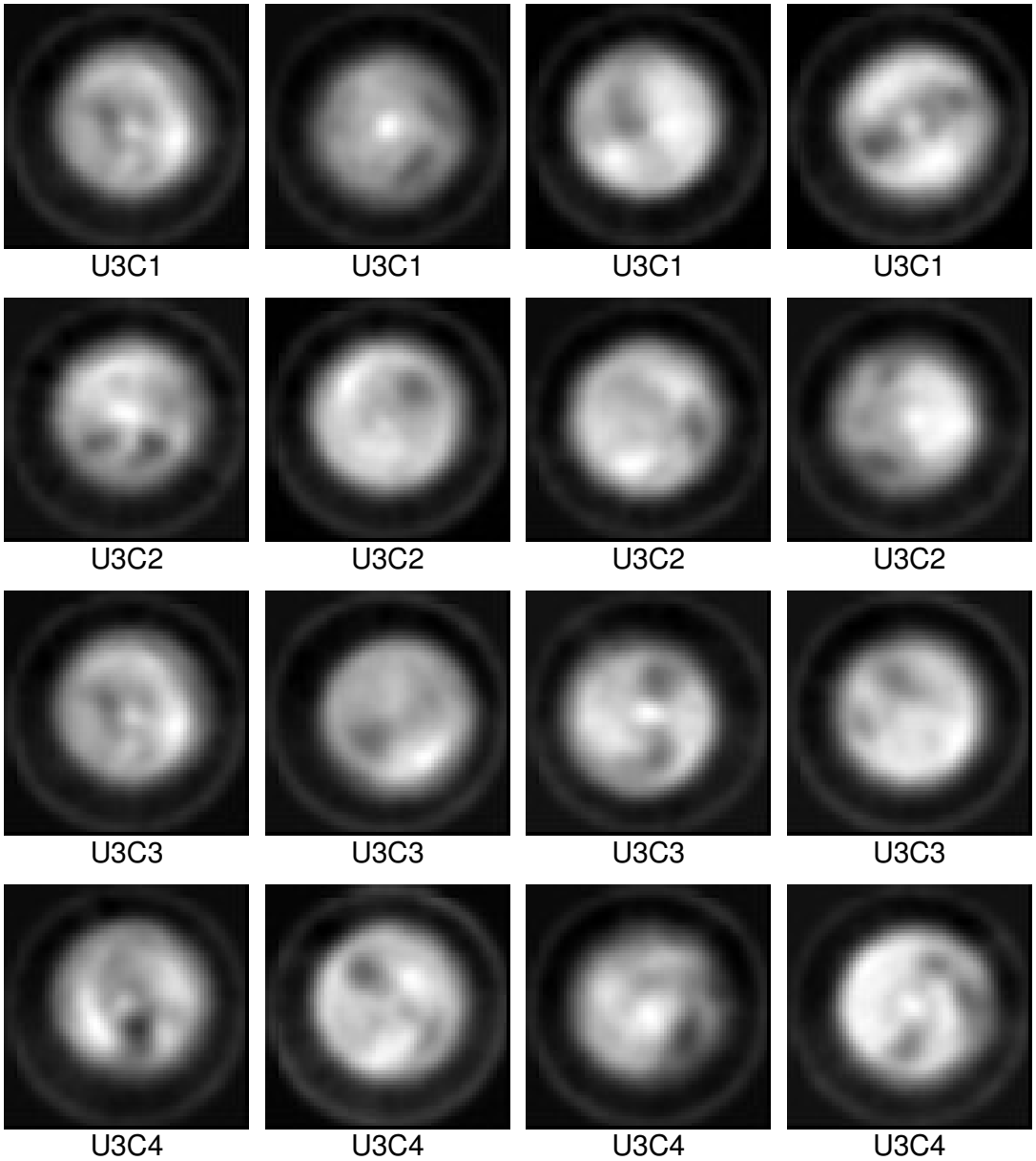


Figura 13 – Imagens tomográficas da densidade do solo na região da semente, no teor de água igual a 0,36 kg kg^{-1}, para os diferentes níveis de carga aplicada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as análises estatísticas dos dados obtidos com a realização do experimento estão apresentadas em forma de tabelas e figuras, adotando-se a seguinte simbologia:

T = tratamentos;

U = teores de água do solo;

C = cargas aplicadas pela roda compactadora;

CV = coeficiente de variação; e

DMS = diferença mínima significativa.

4.1 Caracterização física do solo antes do plantio

A análise de variância para as variáveis densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total do solo na camada de 0 a 15 cm, antes do plantio, estão no Apêndice A.

Os resultados obtidos com a análise de variância permitem concluir que, apesar de haver diferença entre os blocos, as unidades experimentais que foram alocadas para receber os 12 tratamentos estavam sob condições bastante homogêneas com relação à densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total do solo (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios da densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total para todos os tratamentos na camada de 0 a 15 cm

Tratamentos	Densidade do Solo (kg dm^{-3})	Densidade de Partículas (kg dm^{-3})	Porosidade Total (%)
U1C1	1,19	2,87	0,59
U1C2	1,21	2,83	0,57
U1C3	1,21	2,88	0,59
U1C4	1,22	2,78	0,56
U2C1	1,23	2,83	0,56
U2C2	1,20	2,87	0,58
U2C3	1,22	2,88	0,58
U2C4	1,21	2,85	0,58
U3C1	1,21	2,79	0,57
U3C2	1,23	2,88	0,57
U3C3	1,20	2,84	0,58
U3C4	1,19	2,83	0,58
CV (%)	2,06	2,02	2,34
DMS	0,06	0,14	0,03

4.1.1 Resistência mecânica do solo à penetração antes do plantio

A resistência mecânica do solo à penetração integra os efeitos da densidade e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes. Com a finalidade de obter melhor visualização e interpretação dos dados, os gráficos de resistência mecânica do solo à penetração foram divididos em função dos três teores de água no solo.

Os valores médios absolutos da resistência mecânica do solo à penetração, em função das profundidades do solo, estão nas Figuras 14, 15 e 16.

Observa-se que na camada entre 0 e 8,0 cm de profundidade o solo tendeu a apresentar resistência à penetração semelhante para todos os tratamentos. A resistência à penetração apresentou tendência de aumento até a profundidade de 8,0 cm. No entanto, os tratamentos U2C2 e U1C1 tenderam a apresentar a menor resistência mecânica do solo à penetração na profundidade de 8,0 cm, com valores de 2,02 e 2,03 MPa, respectivamente.

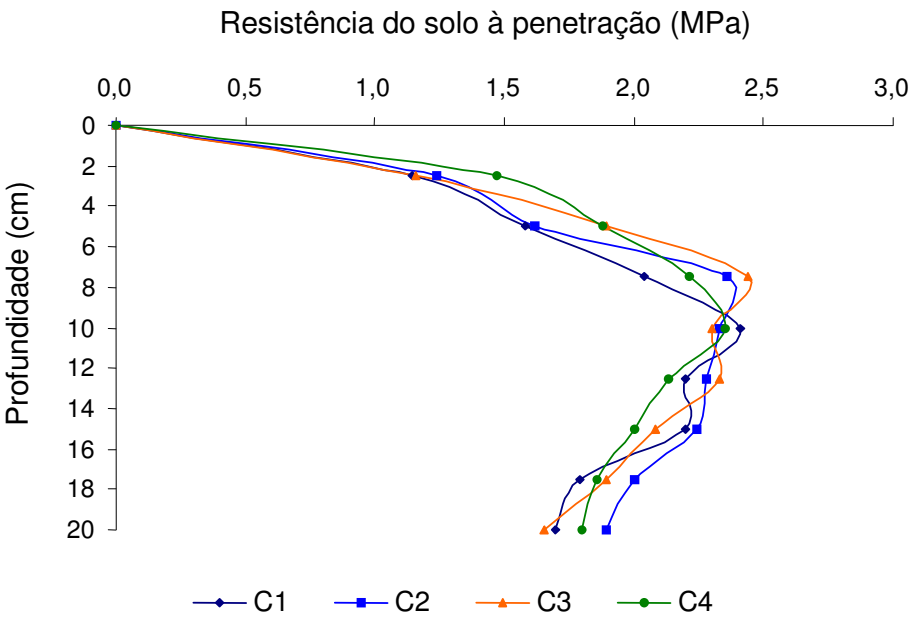


Figura 14 – Resistência mecânica do solo à penetração antes do plantio (MPa) para o teor de água U1 = 0,27 kg kg^{-1}, na profundidade de 0 – 20 cm.

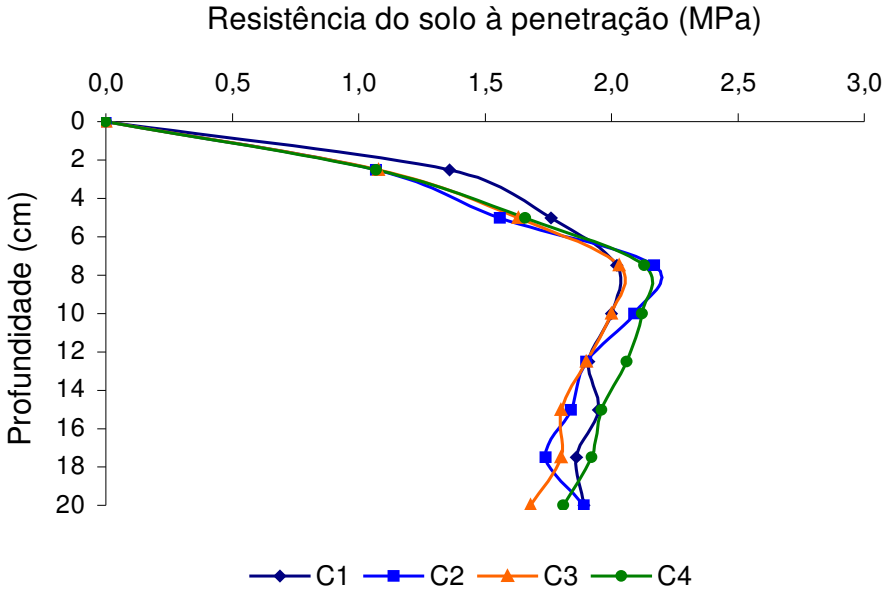


Figura 15 – Resistência mecânica do solo à penetração antes do plantio (MPa) para o teor de água U2 = 0,31 kg kg^{-1}, na profundidade de 0 – 20 cm.

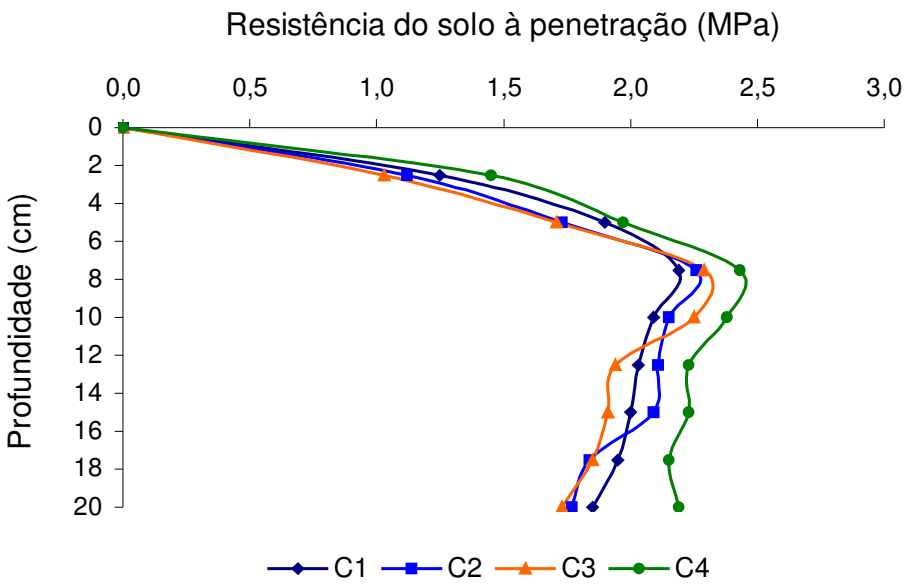


Figura 16 – Resistência mecânica do solo à penetração antes do plantio (MPa) para o teor de água U3 = 0,36 kg kg^{-1}, na profundidade de 0 – 20 cm.

Por outro lado, os tratamentos U1C3 e U3C4 tenderam a apresentar as maiores resistências, cujos valores observados foram 2,44 e 2,43 MPa, respectivamente.

Observou-se também que, na camada entre 8,0 e 20,0 cm a resistência à penetração tendeu a diminuir com o aumento da profundidade, e que apenas nas parcelas experimentais onde se utilizou o tratamento U3C4 o solo não apresentou resistência à penetração semelhante às demais (Figura 16). O teor de água do solo no momento da medida da resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0 – 15 cm foi 0,30 kg kg^{-1}.

Silva *et al*. (2000), em sistema de plantio direto, verificaram a formação de uma camada de solo mais compactada na camada de 5,0 - 10,0 cm, devido ao tráfego de máquinas sobre o solo.

4.2 Resultados pós-plantio

4.2.1 Resistência mecânica do solo à penetração no sulco de semeadura

Os valores médios absolutos da resistência mecânica do solo à penetração no sulco de semeadura, em função das profundidades do solo, estão nas Figuras 17, 18 e 19.

Na camada entre 0 e 6,0 cm de profundidade, o solo apresentou resistência mecânica à penetração semelhante para todos os tratamentos estudados. Observou-se ainda que na profundidade de 6,0 cm (profundidade próxima à de semeadura), o tratamento U3C1 tendeu a apresentar menor resistência à penetração, com valor de 1,38 MPa, enquanto o tratamento U3C4 tendeu a apresentar maior resistência à penetração, com valor de 1,86 MPa, o que pode ser explicado pelo fato de os tratamentos U3C1 e U3C4 serem compostos pelo maior teor água no solo (0,36 kg kg^{-1}) e pelas cargas (0 e 140 N), respectivamente. Nenhum dos valores encontrados até 6,0 cm de profundidade superou os valores considerados críticos pela literatura para a penetração das raízes (2,0 MPa) (TORMENA *et al.*, 1998).

Verificou-se também que na profundidade do sulco (em torno de 10,0 cm) os tratamentos compostos pelos teores de água U1 e U3 apresentaram valores de resistência à penetração semelhantes.

Com relação à camada entre 10,0 e 20,0 cm, os tratamentos estudados apresentaram comportamento semelhante aos valores de resistência mecânica à penetração encontrada antes do plantio (Figuras 14, 15 e 16). O teor de água do solo no momento da determinação da resistência mecânica do solo à penetração no sulco de semeadura na camada de 0 – 15 cm foi 0,31 kg kg^{-1}.

Independentemente dos teores de água do solo, a partir da profundidade de 10,0 cm os valores de resistência mecânica do solo à penetração continuaram aumentando, até atingirem valores críticos.

Rosolem *et al.* (1994), ao conduzirem um experimento em vasos, verificaram que na resistência à penetração de 0,69 MPa houve redução de 50% no comprimento radicular da soja, em Latossolo Vermelho-Escuro. Em geral, tem-se adotado o valor de resistência à penetração de 2,0 MPa como crítico ao crescimento radicular (TORMENA *et al.*, 1998).

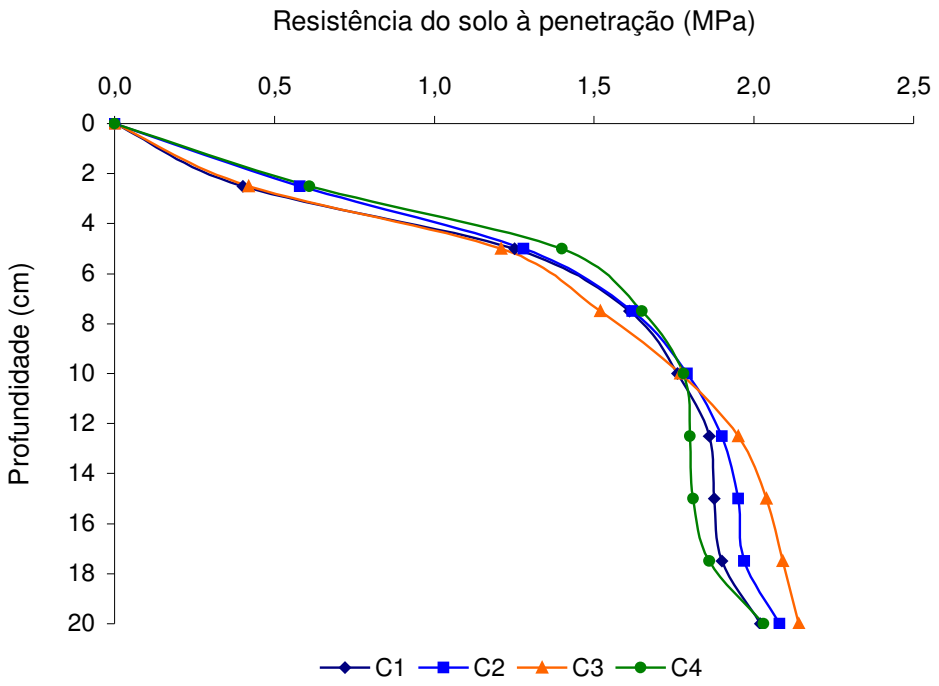


Figura 17 – Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) para o teor de água U1 = 0,27 kg kg^{-1}, na profundidade de 0 – 20 cm.

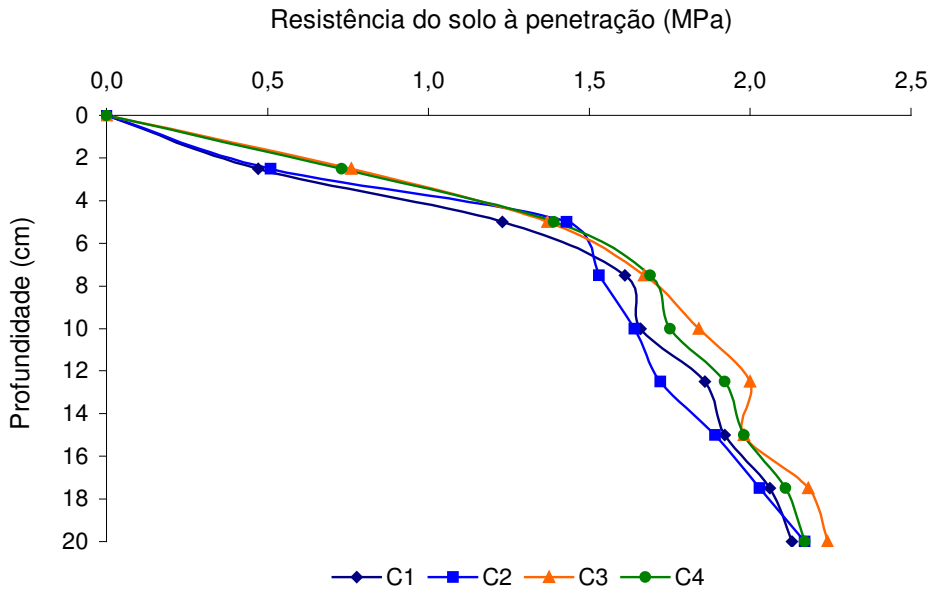


Figura 18 – Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) para o teor de água U2 = 0,31 kg kg^{-1}, na profundidade de 0 – 20 cm.

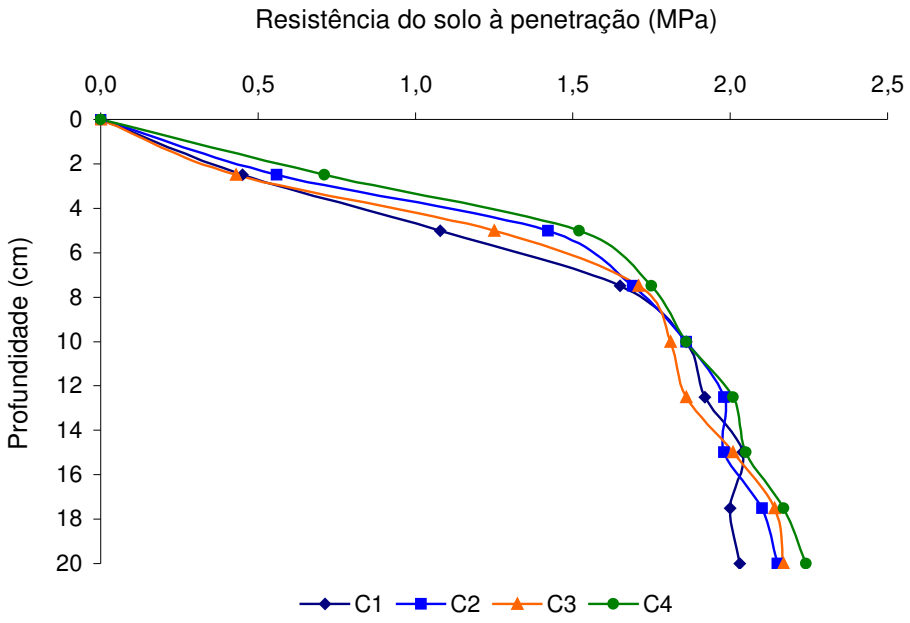


Figura 19 – Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) para o teor de água U3 = 0,36 kg kg^{-1}, na profundidade de 0 – 20 cm.

Segundo Camargo e Alleoni (1997), o aumento da compactação e conseqüente redução do tamanho dos poros, a ponto de impedir a passagem da raiz principal, fazem com que esse efeito seja compensado pela expansão de raízes laterais com diâmetros menores, que se proliferam e formam um sistema radicular muito denso e superficial, que no campo dificilmente sobrevive a condições secas.

4.2.2 Índice de velocidade de emergência – IVE

A tabela da análise de variância do teste F, no esquema em parcelas subdivididas para o índice de velocidade de emergência (IVE) é apresentada na Tabela 4.

Como o teste F para a fonte de variação resíduo(a) não foi significativo, conforme apresentado na Tabela 2, optou-se então por combinar o resíduo(a) e o resíduo(b) para realizar os testes relativos à análise de regressão. Esta combinação equivale a adotar o esquema fatorial (Tabela 5), em vez do esquema em parcelas subdivididas.

Tabela 4 – Tabela de análise de variância do teste F, no esquema parcelas subdivididas, para o índice de velocidade de emergência (IVE)

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Blocos	3	12,56	-	-	-
Teor de água (U)	2	171,02	-	-	-
Residuo(a)	6	41,22	6,87	1,56 ^{ns}	0,20
(Parcela)	(11)	-	-	-	-
Carga (C)	3	6,31	-	-	-
U*C	6	79,20	-	-	-
Resíduo (b)	27	119,06	4,41		

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 5 – Tabela de análise de variância do teste F, no esquema fatorial, para o índice de velocidade de emergência (IVE)

FV	GL	SQ	QM
Teor de água (U)	2	171,02	-
Carga (C)	3	6,31	-
U*C	6	79,20	-
Tratamentos	11	-	-
Blocos	3	12,56	-
Resíduo	33	160,27	4,85

A tabela da análise de variância com teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para índice de velocidade de emergência (IVE) é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Tabela de análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para o índice de velocidade de emergência (IVE)

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Regressão	5	203,40	40,68	8,38 *	< 0,01
Falta Ajustamento	6	53,12	8,85	1,82 ^{ns}	0,12
Tratamentos	11	256,53	-	-	-
Resíduo	33	160,27	4,86		

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.
* significativo a 5% de probabilidade.

O teste F para a FV falta de ajustamento indica que o modelo de regressão adotado se ajusta bem aos dados, podendo, portanto, ser utilizado para avaliar a significância dos fatores teor de água do solo (U) e cargas aplicadas pela roda compactadora (C) sobre a variável índice de velocidade de emergência (IVE). Portanto, pode-se combinar o quadrado médio do resíduo com o quadrado médio da falta de ajustamento para obter uma estimativa comum para o erro e utilizar este quadrado médio do resíduo combinado para testar o modelo ajustado. No entanto, ao testar os coeficientes de regressão, o componente quadrático associado à carga não foi significativo. Um novo modelo, sem esse componente, foi ajustado. O teste para a falta de ajustamento desse modelo foi não-significativo. O teste F para regressão do modelo é apresentado a seguir (Tabela 7).

Tabela 7 – Tabela de análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para o índice de velocidade de emergência (IVE), utilizando o resíduo combinado

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Regressão	4	203,06	50,76	9,65 *	< 0,01
Resíduo	40	226,31	5,26		

* significativo a 5% de probabilidade.

Portanto, o modelo de superfície estimado, usando as médias dos tratamentos para a variável IVE, é:

$$\hat{IVE} = -180{,}28 + 1285{,}34U - 1998{,}61U^2 + 0{,}129275C - 0{,}39135UC \qquad (9)$$

$$R^2 = 0{,}79$$

A equação anterior prevê os níveis ótimos de carga aplicada pela roda compactadora sobre a semente (C) e os teores de água do solo (U), representada pelas seguintes condições: C = 86,21 N e U = 0,33 kg kg^{-1}, que proporcionam um índice de velocidade de emergência (IVE) máximo de 26,24.

A superfície de resposta tridimensional ajustada para os dados de índice de velocidade de emergência (IVE), de acordo com o modelo polinomial de

regressão estimado, encontra-se na Figura 20. Nota-se que, nos teores de água do solo avaliados, os menores índices de velocidade de emergência foram encontrados nas áreas correspondentes às cargas entre 0 e 50 N e entre 90 e 140 N. É possível que esse fato tenha ocorrido nos tratamentos compostos pelas cargas 0 e 50 N, devido à formação de bolsões de ar sobre a semente, ocasionando um contato inadequado entre o solo e a semente, o que dificulta a absorção de água pela semente, retardando assim o processo de germinação e emergência das plântulas.

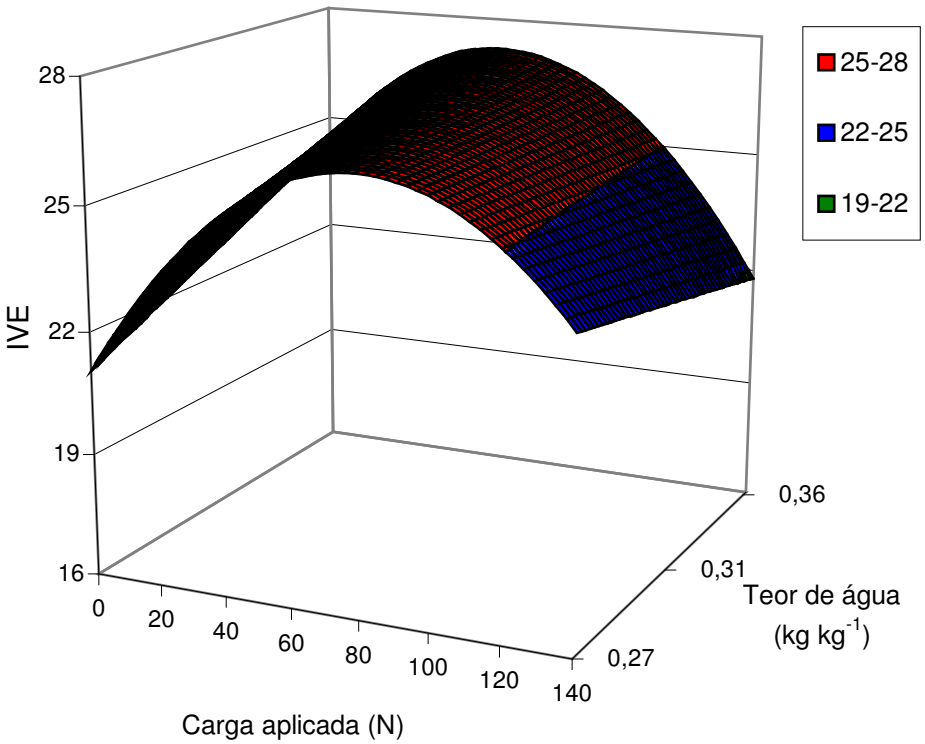


Figura 20 – Efeito das cargas aplicadas pela roda compactadora (C) e dos teores de água do solo (U) sobre o índice de velocidade de emergência (IVE).

Outro fator que pode ter tido influência é o maior valor de diâmetro médio ponderado dos agregados na linha de semeadura encontrado nas cargas entre 0 e 50 N (Figura 25), diminuindo o contato entre o solo e a semente, o que limita a quantidade de água que chega até a superfície da semente e, conseqüentemente, reduz a emergência. Por outro lado, os

menores índices de emergência observados, principalmente nos tratamentos compostos pela carga de 140 N, podem ter ocorrido pelo encrostamento superficial observado nesses tratamentos, causando impedimento mecânico do solo à emergência das plântulas, o que dificulta a penetração de oxigênio e faz com que a planta tenha que consumir mais energia para emergir.

Prado *et al*. (2001), ao avaliarem os efeitos da compressão do solo e da profundidade de semeadura no índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de milho, observaram que a baixa compressão do solo ao redor da semente reduziu o IVE. Os autores atribuíram esse fato à reduzida taxa de transmissão de água e nutrientes pela interface solo-semente-raiz.

Popinigis (1977) citou vários autores para explicar que há um conteúdo mínimo de umidade que a semente deve atingir para que a germinação tenha início. A soja germina ao atingir 50% de umidade e, em função das relações água-semente no solo, a velocidade de emergência decresce progressivamente com o decréscimo da umidade do solo.

A Figura 21 apresenta o efeito das cargas aplicadas pela roda compactadora sobre o índice de velocidade de emergência (IVE), em cada um dos teores de água do solo avaliado. O IVE tendeu a ser crescente para os teores de água igual a 0,27 e 0,31 kg kg^{-1}, enquanto para o teor de água igual a 0,36 kg kg^{-1} ocorreu o inverso.

A Figura 22 apresenta o efeito do teor de água no solo sobre o índice de velocidade de emergência (IVE), para cada uma das cargas avaliadas. Observa-se que o IVE apresentou comportamento semelhante, tendo o melhor resultado sido obtido para o teor de água próximo a 0,31 kg kg^{-1}, o que confirma a existência de um ponto ótimo próximo deste nível.

A marcha de emergência das plântulas de soja em função do teor de água e da carga aplicada pela roda compactadora sobre a semente está nas Figuras 23 e 24, respectivamente, onde se observa que houve incremento no número de plantas emergidas, no período compreendido entre o sexto e o décimo dia após o plantio. Constatou-se também que 33,7% das sementes semeadas no teor de água de 0,27 kg kg^{-1} emergiram aos sete dias após a semeadura, enquanto, na mesma data, somente 29,2 e 15,3% das sementes que foram semeadas nos teores de água de 0,31 e 0,36 kg kg^{-1}, respectivamente, atingiram a emergência.

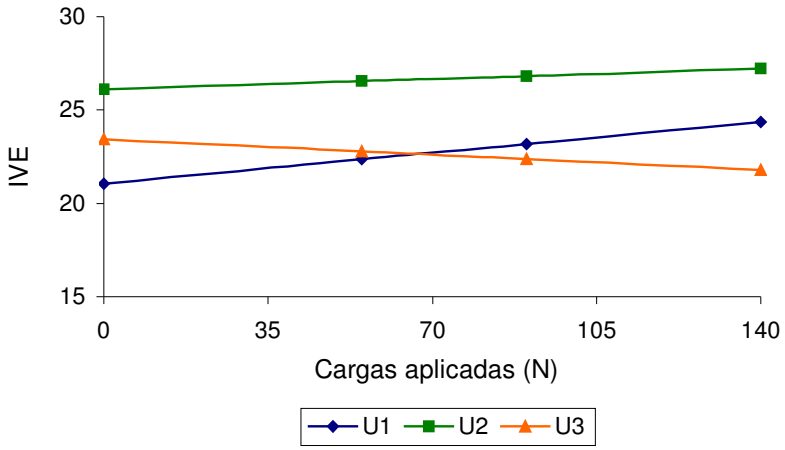


Figura 21 – Influência da interação entre cargas aplicadas e teores de água no solo sobre o índice de velocidade de emergência (IVE).

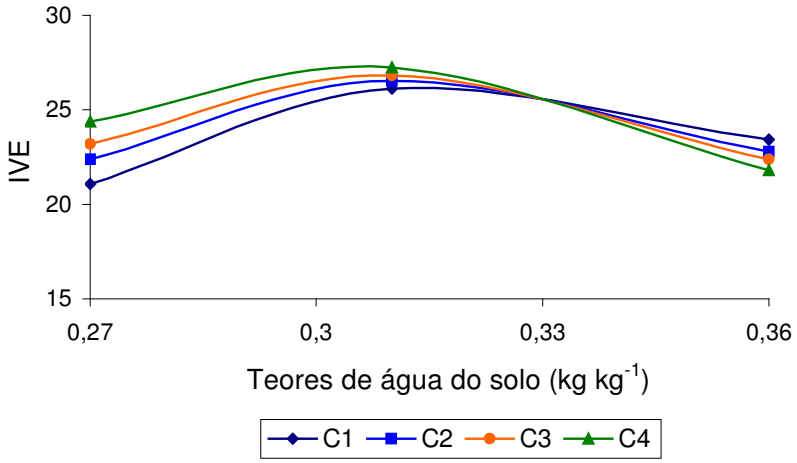


Figura 22 – Influência da interação entre teores de água no solo e cargas aplicadas sobre o índice de velocidade de emergência (IVE).

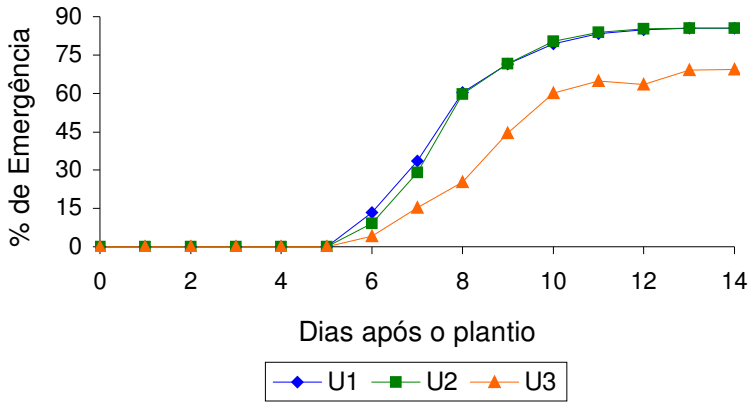


Figura 23 – Marcha de emergência das plântulas de soja, em função do teor de água de solo.

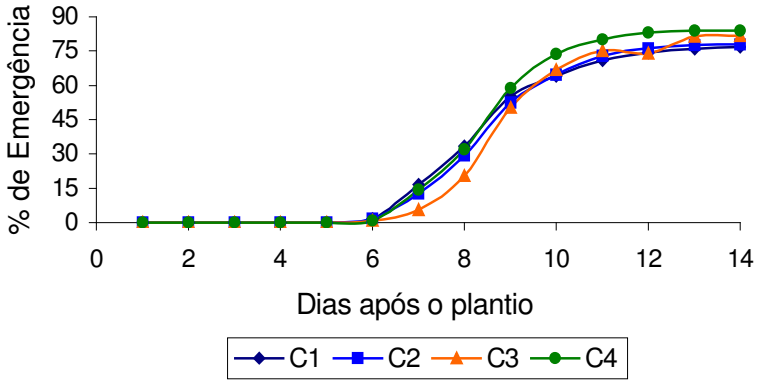


Figura 24 – Marcha de emergência das plântulas de soja, em função da carga aplicada pela roda compactadora sobre a semente.

Observa-se também que a porcentagem de emergência da soja variou entre 69,2 e 85,7% para os teores de água 0,36 kg kg-1 (U3), 0,31 kg kg-1 (U2) e 0,27 kg kg-1 (U1), respectivamente (Figura 23). Avaliando o efeito do fator carga aplicada na emergência (Figura 24), verifica-se que esta ocorreu de forma semelhante para todas as cargas avaliadas e que a porcentagem de plântulas emergidas variou de 76,6 a 83,7% para as cargas C1 e C4, respectivamente.

Silva *et al*. (2004), ao avaliarem o efeito de três níveis de carga aplicada pela roda compactadora e três profundidades de semeadura na emergência e produção de soja, encontraram resultados semelhantes aos aqui apresentados.

4.2.3 Relação solo-semente

4.2.3.1 Diâmetro médio ponderado

A tabela da análise de variância do teste F, no esquema parcelas subdivididas, para o diâmetro médio ponderado dos agregados na linha de semeadura está na Tabela 8.

Tabela 8 – Tabela de análise de variância do teste F, no esquema parcelas subdivididas, para o diâmetro médio ponderado – DMP

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Blocos	3	0,064	-	-	-
Teor de água (U)	2	1,967	-	-	-
Resíduo(a)	6	0,054	0,009	0,62 ^{ns}	0,71
(Parcela)	(11)	-	-	-	-
Carga (C)	3	0,150	-	-	-
U*C	6	0,726	-	-	-
Resíduo	27	0,389	0,014		

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

Como o teste F para a fonte de variação resíduo(a) não foi significativo, conforme apresentado na Tabela 8, optou-se então por combinar o resíduo(a) e o resíduo(b) para realizar os testes relativos à regressão. Esta combinação equivale a adotar o esquema fatorial (Tabela 9), em vez do esquema em parcelas subdivididas.

Tabela 9 – Tabela de análise de variância do teste F no esquema fatorial para o diâmetro médio ponderado – DMP

FV	GL	SQ	QM
Teor de água (U)	2	1,967	-
Carga (C)	3	0,150	º
U*C	6	0,726	º
Tratamentos	11	-	-
Blocos	3	0,064	º
Resíduo	33	0,443	0,013

A tabela da análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo na linha de semeadura está na Tabela 10.

Tabela 10 – Tabela de análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para diâmetro médio ponderado – DMP

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Regressão	3	2,473	0,824	63,38 *	< 0,001
Falta Ajustamento	8	0,457	0,057	4,26 *	0,001
Tratamentos	11	2,841	-	-	-
Resíduo	33	0,443	0,013		

* Significativo a 5% de probabilidade.

Somente o modelo com componentes para o segundo e terceiro grau dos efeitos de carga aplicada pela roda compactadora e dos teores de água do solo apresentou falta de ajuste não-significativo. No entanto, verificou-se que os coeficientes associados aos componentes de segundo e terceiro grau não foram significativos. Uma vez que não foi detectado um modelo com falta de ajuste não-significativo, escolheu-se o modelo com componentes de primeiro grau para estudar os efeitos dos fatores teores de água do solo (U) e cargas aplicadas pela roda compactadora (C) sobre o DMP dos agregados na linha de semeadura.

Portanto, pode-se combinar o quadrado médio do resíduo com o quadrado médio da falta de ajustamento para obter uma estimativa comum para o erro, e utilizar esse quadrado médio do resíduo combinado para testar o modelo ajustado. Sendo assim tem-se Tabela 11:

Tabela 11 – Tabela de análise de variância do teste F para falta de ajustamento do modelo de regressão para o diâmetro médio ponderado – DMP, utilizando o resíduo combinado

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Regressão	3	2,385	0,795	36,27 *	< 0,01
Resíduo	41	0,964	0,022		

* significativo a 5% de probabilidade.

Portanto, o modelo de superfície estimado, usando as médias dos tratamentos para a variável diâmetro médio ponderado, é:

$$\hat{DMP} = 6{,}94 - 8{,}57U - 0{,}02C + 0{,}05UC \qquad (10)$$

$$R^2 = 0{,}84$$

A superfície de resposta ajustada para os dados de diâmetro médio ponderado (DMP), de acordo com o modelo linear de regressão estimado, encontra-se na Figura 25.

Observa-se tendência para os maiores valores de DMP nas menores cargas aplicadas e no menor teor de água do solo (0,27 kg kg^{-1}), o que pode ter ocorrido devido ao fato de o solo da área experimental ser muito argiloso (Quadro 1), fazendo com que as forças de coesão se tornassem mais efetivas no solo mais seco, permitindo a ocorrência de atração entre as partículas, formando, assim, agregados maiores. Reis (2003), ao avaliar o ambiente solo-semente em três teores de água com diferentes mecanismos rompedores e compactadores, encontrou resultados semelhantes.

Há consenso entre os pesquisadores de que a variação no tamanho dos agregados tem relação direta com o tempo e a porcentagem de emergência das plântulas e a produção das culturas. Maior amplitude na variação do diâmetro dos torrões (heterogeneidade dos agregados) promove a redução do tempo, a maior porcentagem de emergência das plântulas e a maior produção, em relação a um leito de semeadura formado de torrões de mesmo diâmetro (BRAUNACK e DEXTER, 1988). Os autores, após testarem durante dois anos a influência do tamanho dos agregados na emergência de plântulas de trigo, concluíram que ela foi significativamente afetada pelo tamanho dos

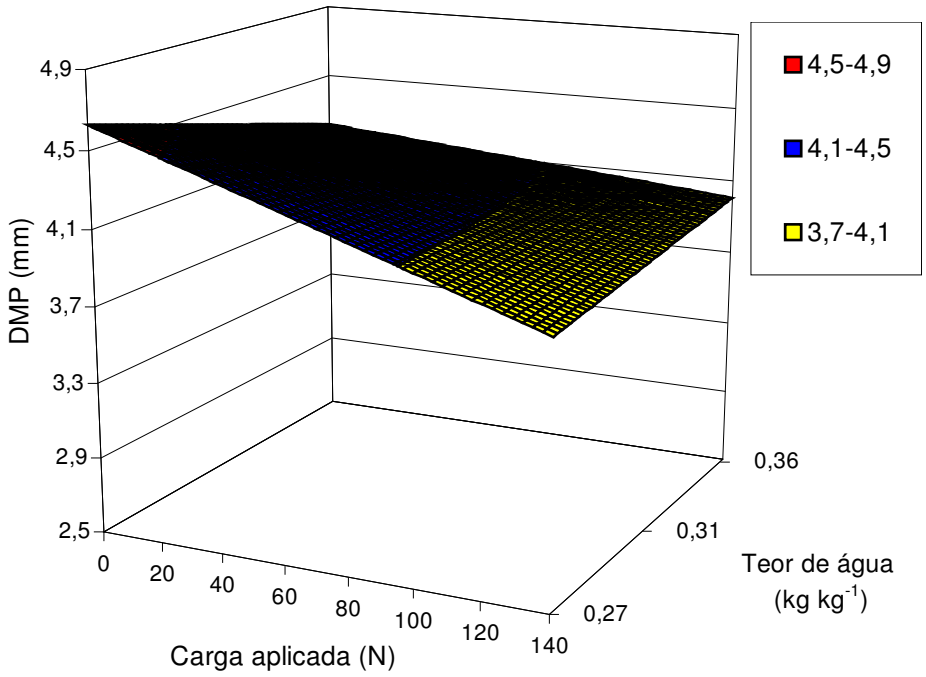


Figura 25 – Efeito das cargas aplicadas pela roda compactadora (C) e dos teores de água do solo (U) sobre o diâmetro médio ponderado (DMP).

agregados nos dois períodos amostrados. Em ambas as datas, a alta porcentagem de emergência ocorreu nos agregados com diâmetro entre 2 e 4 mm. Os autores afirmam ainda que pequenos agregados no leito de semeadura são mais benéficos sob baixas condições de chuva, por proporcionarem melhor contato solo-semente.

A Figura 26 apresenta o efeito das cargas aplicadas sobre o diâmetro médio ponderado (DMP) para cada um dos teores de água avaliados. Para os três teores de água no solo, o DMP apresentou comportamento decrescente na medida que aumentou a carga aplicada pela roda compactadora sobre a semente, sendo os menores valores observados para o maior teor de água no solo (U = 0,36 kg kg^{-1}).

A Figura 27 apresenta o efeito dos teores de água no solo sobre o diâmetro médio ponderado (DMP) em cada uma das cargas avaliadas. Para os quatro níveis de cargas aplicadas pela roda compactadora, o DMP apresentou um comportamento decrescente à medida que o teor de água no solo aumentou.

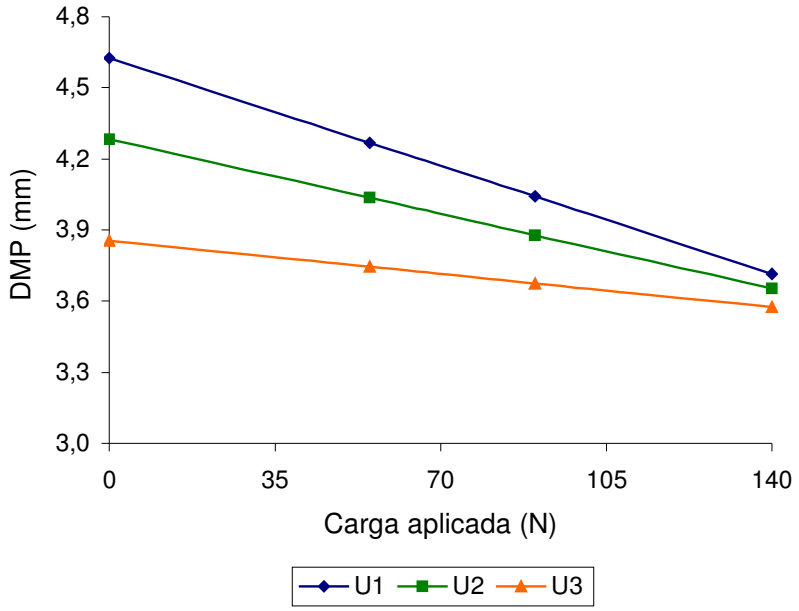


Figura 26 – Influência da interação entre cargas aplicadas e teores de água no solo sobre o diâmetro médio ponderado (DMP).

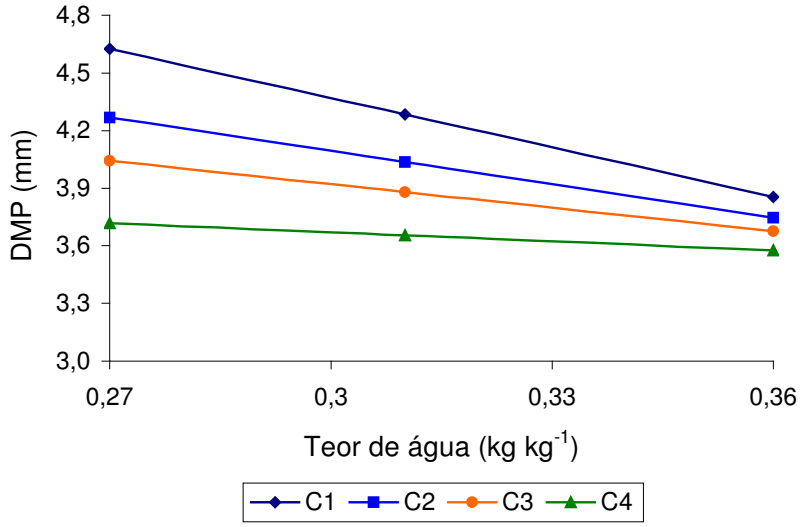


Figura 27 – Influência da interação entre teores de água no solo e cargas aplicadas sobre o diâmetro médio ponderado (DMP).

4.2.3.2 Porcentagem de finos (< 2,0 mm)

A tabela da análise de variância do teste F, no esquema parcelas subdivididas, para a porcentagem de finos dos agregados na linha de semeadura está na Tabela 12.

Tabela 12 – Tabela de análise de variância do teste F no esquema parcelas subdivididas para a porcentagem de finos dos agregados

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Blocos	3	54,64	-	-	-
Teor de água (U)	2	7,36	-	-	-
Resíduo(a)	6	75,63	12,60	0,78 ^{ns}	0,59
(Parcela)	(11)	-	-	-	-
Carga (C)	3	15,93	-	-	-
U*C	6	122,63	-	-	-
Resíduo(b)	27	437,00	16,18	-	-

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

Como o teste F para a fonte de variação resíduo(a) não foi significativo, conforme apresentado na Tabela 10, optou-se então por combinar o resíduo(a) e o resíduo(b) para realizar os testes relativos à regressão. Esta combinação equivale a adotar o esquema fatorial (Tabela 13), em vez do esquema em parcelas subdivididas.

Tabela 13 – Tabela de análise de variância do teste F, no esquema fatorial, para a porcentagem de finos dos agregados

FV	GL	SQ	QM
Teor de água (U)	2	7,36	-
Carga (C)	3	15,93	-
U*C	6	122,63	-
Tratamentos	11	-	-
Blocos	3	54,64	-
Resíduo	33	512,64	15,53

A tabela da análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para porcentagem de finos dos agregados do solo na linha de semeadura está na Tabela 14.

Tabela 14 – Tabela de análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para porcentagem de finos dos agregados

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Regressão	5	43,21	8,64	0,55 ^{ns}	0,73
Falta Ajustamento	6	102,70	17,12	1,10 ^{ns}	0,38
Tratamentos	11	145,91	-	-	-
Resíduo	33	512,64	15,53		

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

O teste F para a FV falta de ajustamento indica que o modelo de regressão adotado se ajusta bem aos dados, podendo, portanto, ser utilizado para avaliar a significância dos fatores teores de água do solo (U) e as cargas aplicadas pela roda compactadora (C) sobre a variável porcentagem de finos. No entanto, o teste F para a FV regressão do modelo ajustado possibilita concluir que os fatores teores de água do solo (U) e cargas aplicadas pela roda compactadora (C) não tiveram efeito significativo sobre a variável porcentagem de finos < 2,0 mm.

Na Tabela 15, estão os valores médios referentes à porcentagem de finos < 2,0 mm. Embora os efeitos de carga e de teor de água não tenham sidos significativos, os dados apresentaram tendência de redução na porcentagem de finos < 2,0 mm com o aumento do teor de água do solo. Acredita-se que isso pode ter acontecido pelo fato de o solo mais úmido apresentar maior facilidade ao corte pelo sulcador. Observa-se, também, maior soldagem de agregados nas maiores cargas aplicadas e nos maiores teores de água do solo.

Tabela 15 – Valores médios da porcentagem de finos < 2,0 mm (%)

Teor de água (kg kg^{-1})	Cargas aplicadas (N)				Média
	0	50	90	140	
0,27	45,34	48,68	47,75	49,62	47,84
0,31	49,08	45,40	49,74	45,60	47,45
0,36	46,70	46,70	46,70	44,98	46,27
Média	47,04	46,93	48,06	46,73	47,19

4.2.3.3 Densidades do solo medidas por tomografia computadorizada

4.2.3.3.1 Densidade mínima do solo na região da semente

A tabela da análise de variância do teste F, no esquema parcelas subdivididas, para a densidade mínima do solo na região da semente é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 – Tabela de análise de variância do teste F no esquema parcelas subdivididas para a densidade mínima do solo na região da semente

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Blocos	3	0,035	-	-	-
Teor de água (U)	2	0,019	-	-	-
Resíduo(a)	6	0,116	0,019	1,05 ^{ns}	0,42
(Parcela)	(11)	-	-	-	-
Carga (C)	3	0,076	-	-	-
U*C	6	0,099	-	-	-
Resíduo(b)	27	0,497	0,019		

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

Como o teste F para a fonte de variação resíduo(a) não foi significativo, conforme apresentado na Tabela 16, optou-se então por combinar o resíduo(a) e o resíduo(b) para realizar os testes relativos à regressão. Esta combinação equivale a adotar o esquema fatorial (Tabela 15), em vez do esquema em parcelas subdivididas.

Tabela 17 – Tabela de análise de variância do teste F no esquema fatorial para a densidade mínima do solo na região da semente

FV	GL	SQ	QM
Teor de água (U)	2	0,019	-
Carga (C)	3	0,076	-
U*C	6	0,099	-
Tratamentos	11	-	-
Blocos	3	0,035	-
Resíduo	33	0,612	0,019

A tabela da análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para a densidade mínima do solo na região da semente é apresentada na Tabela 18.

Tabela 16 – Tabela de análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para a densidade mínima do solo na região da semente

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Regressão	5	0,076	0,015	0,81 ^{ns}	0,55
Falta Ajustamento	6	0,119	0,020	1,07 ^{ns}	0,40
Tratamentos	11	0,194	-	-	-
Resíduo	33	0,613	0,018		

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

O teste F para a FV falta de ajustamento indica que o modelo de regressão adotado, mesmo não sendo significativo a 5% de probabilidade, se ajusta bem aos dados, podendo, portanto, ser utilizado para avaliar a significância dos fatores teores de água do solo (U) e das cargas aplicadas pela roda compactadora (C) sobre a variável densidade mínima do solo na região da semente. No entanto, o teste F para a FV regressão do modelo ajustado possibilita concluir que os fatores teores de água do solo (U) e cargas aplicadas pela roda compactadora (C) não tiveram efeito significativo sobre a variável densidade mínima do solo na região da semente. Embora não-significativa estatisticamente, a menor carga aplicada pela roda compactadora

(0 N) apresentou o maior valor de densidade mínima do solo na região da semente, o que possivelmente ocorreu devido ao maior diâmetro médio ponderado dos agregados encontrado nessa carga (Figura 25).

Reis (2003), ao avaliar diferentes teores de água do solo, tipos de mecanismos de abertura do sulco e elementos compactadores sobre a relação solo-semente em semeadura direta da cultura do milho, não verificou efeito significativo para os teores de água sobre a densidade mínima do solo na região da semente.

Os valores médios obtidos para a variável densidade mínima do solo na região da semente medida por tomografia nos diferentes tratamentos, estão na Tabela 19.

Tabela 19 – Valores médios da densidade mínima (kg dm^{-3}) do solo na região da semente

Teor de Água (kg kg^{-1})	Cargas Aplicadas (N)				Média
	0	50	90	140	
0,27	0,70	0,70	0,48	0,65	0,63
0,31	0,69	0,63	0,69	0,69	0,67
0,36	0,70	0,60	0,61	0,65	0,64
Média	0,70	0,64	0,59	0,63	0,65

4.2.3.4 Perfil da densidade mínima do solo

Nas Figuras 28, 29 e 30 estão os perfis dos valores médios da densidade mínima do solo obtida por tomografia computadorizada, nos teores de água 0,27, 0,31 e 0,36 kg kg^{-1}, respectivamente.

Observou-se que no perfil entre 0 e 8,0 cm de profundidade a densidade mínima do solo apresentou comportamento semelhante para todos os tratamentos estudados, porém os tratamentos U2C4 e U3C3 tenderam a apresentar os maiores valores de densidade (Figuras 29 e 30).

Nota-se também que no perfil entre 0 e 5,0 cm de profundidade os tratamentos compostos pela maior carga aplicada pela roda compactadora

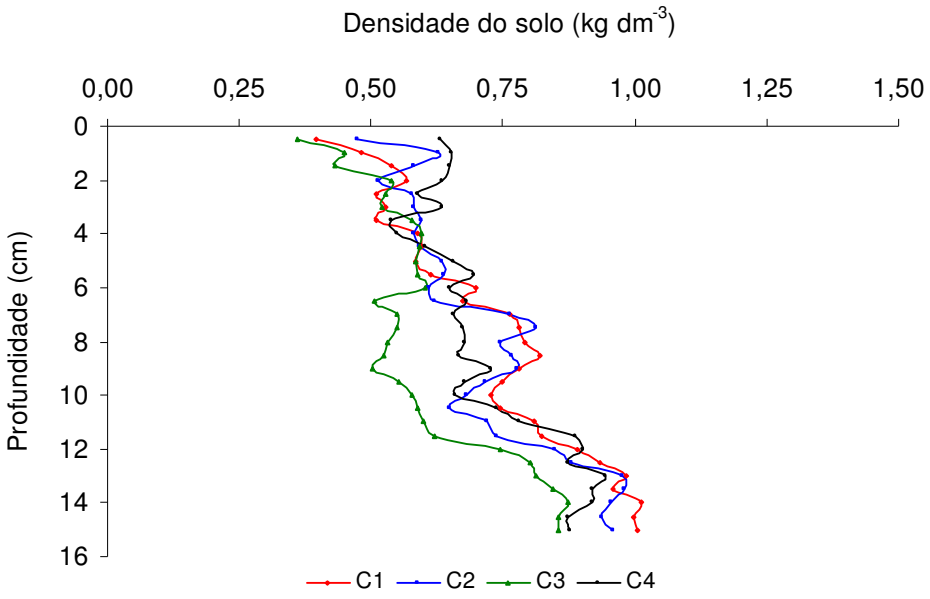


Figura 28 – Perfil da densidade mínima do solo obtida por tomografia computadorizada para o teor de água do solo U = 0,27 kg kg^{-1}.

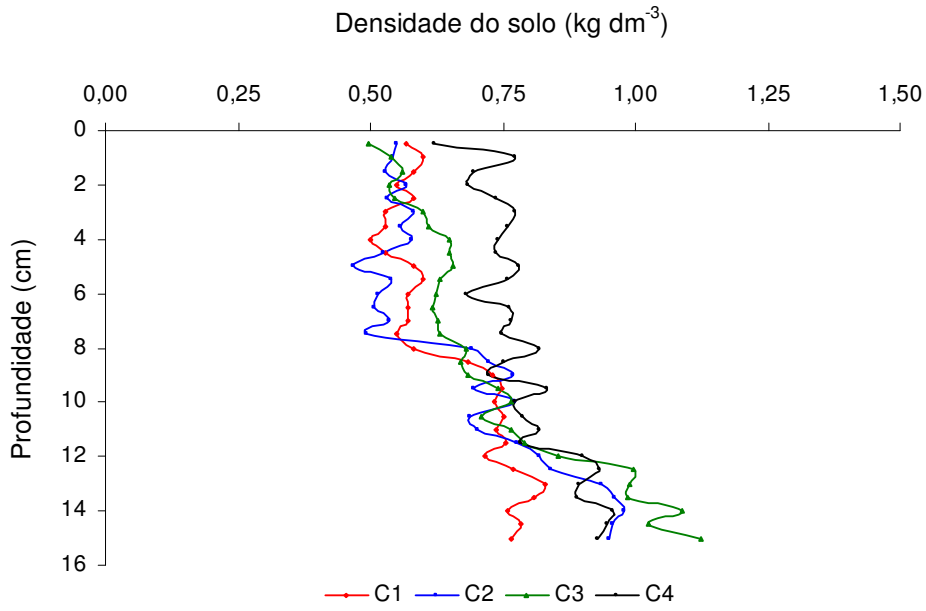


Figura 29 – Perfil da densidade mínima do solo obtida por tomografia computadorizada para o teor de água do solo U = 0,31 kg kg^{-1}.

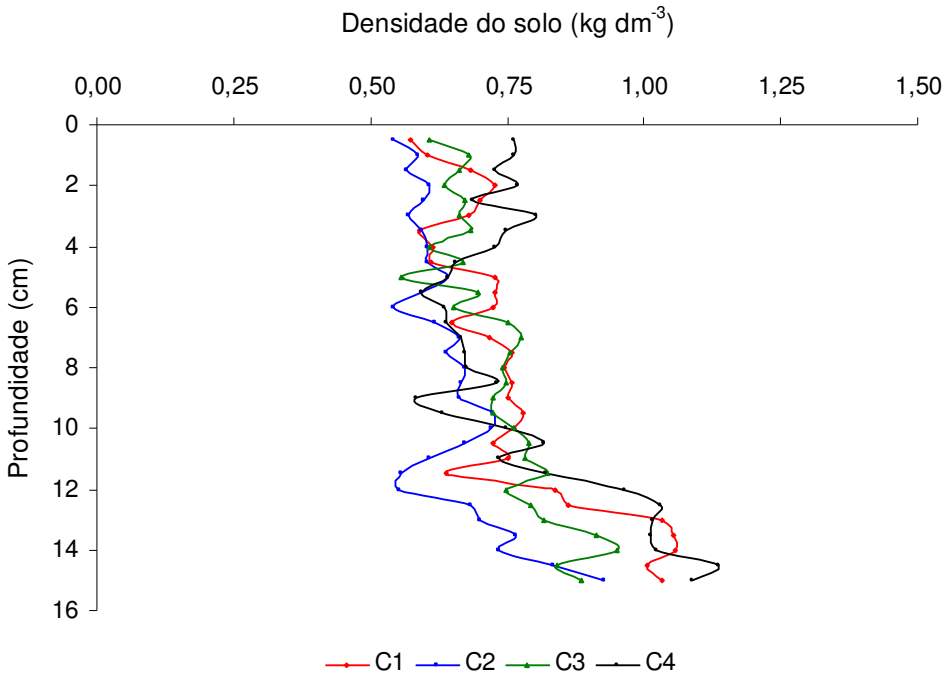


Figura 30 – Perfil de densidade mínima do solo obtida por tomografia computadorizada para o teor de água do solo U = 0,36 kg kg^{-1}.

U1C4, U2C4 e U3C4 sobre a semente (140 N) tenderam a apresentar os maiores valores de densidade mínima do solo (Figuras 28, 29 e 30).

Nota-se também que a densidade do solo aumenta da superfície para baixo, atingindo valores máximos nas maiores profundidades, independentemente dos tratamentos utilizados.

Entre 8,0 e 12,0 cm de profundidade (Figura 28), o tratamento U1C3 apresentou os menores valores de densidade (0,50 kg dm^{-3}), apresentando também comportamento diferenciado dos demais.

No perfil entre 12,0 e 15,0 cm de profundidade, com exceção do tratamento U2C1 (Figura 29), os demais tratamentos apresentaram comportamento semelhante quanto à densidade mínima, independentemente do teor de água do solo.

4.2.3.4.1 Densidade média do solo na região da semente

A tabela da análise de variância do teste F, no esquema parcelas subdivididas, para a densidade média do solo na região da semente é apresentada na Tabela 20.

Tabela 20 – Tabela de análise de variância do teste F, no esquema parcelas subdivididas, para a densidade média do solo na região da semente

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Blocos	3	0,087	-	-	-
Teor de água (U)	2	0,076	-	-	-
Resíduo(a)	6	0,111	0,018	1,39 ^{ns}	0,25
(Parcela)	(11)	-	-	-	-
Carga (C)	3	0,065	-	-	-
U*C	6	0,035	-	-	-
Resíduo(b)	27	0,358	0,013		

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

Como o teste F para a fonte de variação resíduo(a) não foi significativo, conforme apresentado na Tabela 18, optou-se então por combinar o resíduo(a) e o resíduo(b) para realizar os teste relativos à regressão. Esta combinação equivale a adotar o esquema fatorial (Tabela 21), em vez do esquema em parcelas subdivididas.

Tabela 21 – Tabela de análise de variância do teste F, no esquema fatorial, para a densidade média do solo na região da semente

FV	GL	SQ	QM
Teor de água (U)	2	0,076	-
Carga (C)	3	0,064	-
U*C	6	0,035	-
Tratamentos	11	-	-
Blocos	3	0,087	-
Resíduo	33	0,469	0,014

A tabela da análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para a densidade média do solo na região da semente é apresentada na Tabela 22.

Tabela 22 – Tabela de análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para a densidade média do solo na região da semente

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Regressão	5	0,080	0,016	1,12 ^{ns}	0,37
Falta Ajustamento	6	0,095	0,016	1,12 ^{ns}	0,37
Tratamentos	11	0,175	-	-	-
Resíduo	33	0,469	0,014		

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

O teste F para a FV falta de ajustamento indica que o modelo de regressão adotado se ajusta bem aos dados, podendo ser utilizado para avaliar a significância dos fatores teores de água do solo (U) e cargas aplicadas pela roda compactadora (C) sobre a variável densidade média do solo na região da semente. No entanto, o teste F para a FV regressão do modelo ajustado possibilita concluir que os fatores teores de água do solo (U) e cargas aplicadas pela roda compactadora (C) não tiveram efeito significativo sobre a variável densidade média do solo na região da semente. Embora não-significativo, o teor de água 0,31 kg kg^{-1} e a carga de 50 N apresentaram o maior valor de densidade média na região da semente.

Os valores médios obtidos para a variável densidade média do solo na região da semente medida por tomografia, nos diferentes tratamentos, estão na Tabela 23.

4.2.3.5 Perfil da densidade média do solo

Nas Figuras 31, 32 e 33 estão os perfis dos valores médios da densidade média do solo obtida por tomografia computadorizada nos teores de água 0,27, 0,31 e 0,36 kg kg^{-1}, respectivamente. Nota-se que na superfície do solo os tratamentos U1C4, U2C4 e U3C4, compostos pela maior carga aplicada pela roda compactadora sobre a semente (140 N), tenderam a apresentar os maiores valores de densidade média do solo.

Tabela 21 – Valores médios da densidade média do solo (kg dm^{-3}) na região da semente

Teor de Água (kg kg^{-1})	Cargas Aplicadas (N)				Média
	0	50	90	140	
0,27	1,04	1,10	0,92	0,99	1,01
0,31	1,04	1,12	1,04	1,11	1,08
0,36	1,00	1,01	0,96	0,96	1,00
Média	1,03	1,08	0,97	1,02	1,03

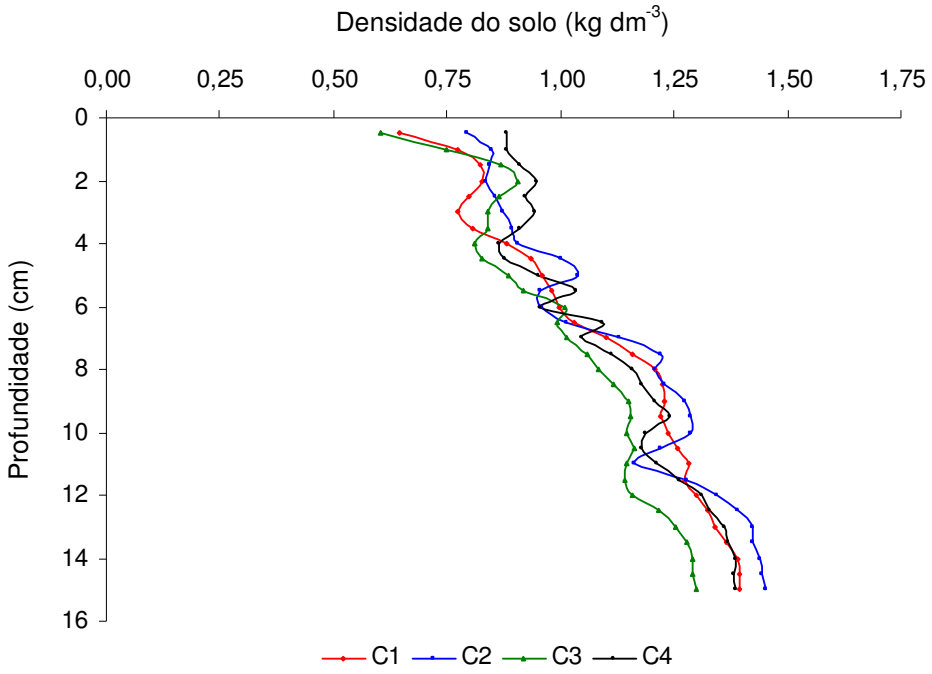


Figura 31 – Perfil da densidade média do solo obtida por tomografia computadorizada para o teor de água do solo U = 0,27 kg kg^{-1}.

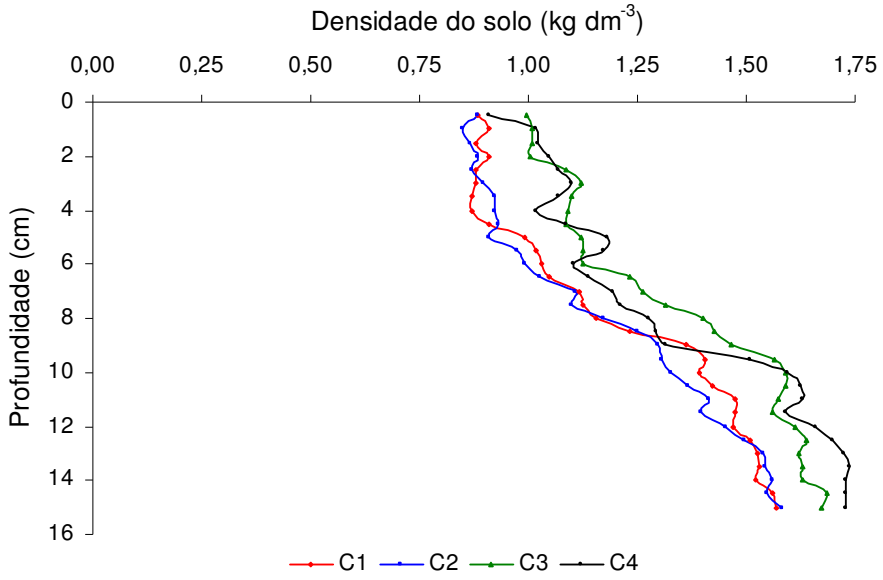


Figura 32 – Perfil da densidade média do solo obtida por tomografia computadorizada para o teor de água do solo U = 0,31 kg kg^{-1}.

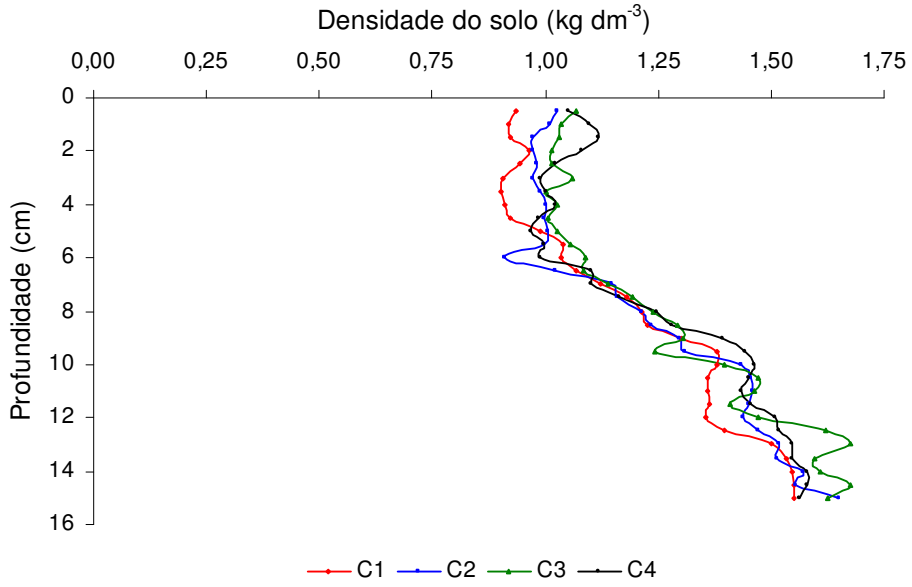


Figura 33 – Perfil da densidade média do solo obtida por tomografia computadorizada para o teor de água do solo U = 0,36 kg kg^{-1}.

Nota-se também que na profundidade de semeadura (6,0 cm) os tratamentos compostos pelo teor de água 0,27 kg kg^{-1} apresentaram valores semelhantes de densidade média, independentemente das cargas aplicadas pela roda compactadora (Figura 31). Quanto aos tratamentos compostos pelo teor de água 0,31 kg kg^{-1}, nota-se que os tratamentos U2C3 e U2C4, compostos pelas maiores cargas aplicadas pela roda compactadora (90 e 140 N), respectivamente, tenderam a apresentar os maiores valores de densidade média (Figura 32). Já no teor de água 0,36 kg kg^{-1}, as maiores densidades foram observadas nos tratamentos compostos pelas menores cargas (U3C1 e U3C3), respectivamente.

Verificou-se também que a densidade do solo aumenta da superfície para baixo, atingindo valores máximos nas maiores profundidades. Os maiores valores de densidade média observados foram 1,45, 1,74 e 1,68 kg dm^{-3}, para os teores de água 0,27, 0,31 e 0,36 kg kg^{-1}, respectivamente.

Não existe consenso entre os autores sobre o nível crítico da densidade do solo (valor acima do qual o solo é considerado compactado). Camargo e Alleoni (1997) consideram crítico o valor de 1,55 kg dm^{-3} em solos franco-argilosos a argilosos. Maria *et al*. (1999) constataram que na densidade do solo acima de 1,2 kg dm^{-3}, no Latossolo Roxo, ocorre restrição ao desenvolvimento de raízes quando o solo estiver na capacidade de campo, o que caracteriza um estado de compactação do solo. Queiroz-Woltans *et al*. (2000), avaliando o efeito da compactação do solo na anatomia da raiz e no desenvolvimento de dois cultivares de soja, constataram que valores de densidade do solo abaixo de 1,5 kg dm^{-3} não afetaram o desenvolvimento dos cultivares.

Nenhum dos valores encontrados nos tratamentos compostos pelo teor de água 0,27 kg kg^{-1} (Figura 31) superou os valores considerados críticos pela literatura (1,55 kg dm^{-3}) (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Dentre os tratamentos compostos pelo teor de água 0,31 kg kg^{-1} (Figura 32), apenas os tratamentos U2C1 e U2C2 são inferiores a este valor, podendo-se inferir que não ocorre compactação superficial ou em profundidade no solo, para estes tratamentos. Por outro lado, todos os tratamentos compostos pelo teor de água 0,36 kg kg^{-1} (Figura 33) apresentaram valores superiores a 1,55 kg dm^{-3}, para profundidades maiores que 13 cm. Esses valores estes, que podem influenciar o desenvolvimento radicular da cultura, fazendo com que as raízes se

concentrem na superfície do solo, acarretando um estande deficiente de plantas em períodos de déficit hídrico.

A maior densidade do solo observada abaixo de 10,0 cm de profundidade em todos os tratamentos estudados, em relação à densidade do solo antes da realização do ensaio (Tabela 3), deve ser decorrente da transmissão da carga aplicada na superfície do solo pela roda compactadora.

4.2.3.5.1 Densidade máxima do solo na região da semente

A tabela da análise de variância do teste F, no esquema parcelas subdivididas, para a densidade máxima do solo na região da semente é apresentada na Tabela 24.

Tabela 24 – Tabela de análise de variância do teste F, no esquema parcelas subdivididas, para a densidade máxima do solo na região da semente

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Blocos	3	0,177	-	-	-
Teor de água (U)	2	0,296	-	-	-
Resíduo(a)	6	0,199	0,033	1,08 ^{ns}	0,40
(Parcela)	(11)	-	-	-	-
Carga (C)	3	0,099	-	-	-
U*C	6	0,208	-	-	-
Resíduo(b)	27	0,827	0,031		

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

Como o teste F para a fonte de variação resíduo(a) não foi significativo, conforme apresentado na Tabela 24, optou-se então por combinar o resíduo(a) e o resíduo(b) para realizar os testes relativos à regressão. Esta combinação equivale a adotar o esquema fatorial (Tabela 25), em vez do esquema em parcelas subdivididas.

A tabela da análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para a densidade máxima do solo na região da semente, é apresentada na Tabela 26.

Tabela 25 – Tabela de análise de variância do teste F, no esquema fatorial, para a densidade máxima do solo na região da semente

FV	GL	SQ	QM
Teor de água (U)	2	0,296	-
Carga (C)	3	0,099	-
U*C	6	0,207	-
Tratamentos	11	-	-
Blocos	3	0,177	-
Resíduo	33	1,026	0,031

Tabela 26 – Tabela de análise de variância do teste F, para falta de ajustamento do modelo de regressão, para a densidade máxima do solo na região da semente

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Regressão	5	0,324	0,065	2,08 ^{ns}	0,09
Falta Ajustamento	6	0,280	0,047	1,50 ^{ns}	0,21
Tratamentos	11	0,602	-	-	-
Resíduo	33	1,026	0,031		

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade.

O teste F para a FV falta de ajustamento indica que o modelo de regressão adotado se ajusta bem aos dados, podendo, portanto, ser utilizado para avaliar a significância dos fatores teor de água do solo (U) e cargas aplicadas pela roda compactadora (C) sobre a variável densidade mínima do solo na região da semente. No entanto, o teste F para a FV regressão do modelo ajustado possibilita concluir que os fatores teores de água do solo (U) e cargas aplicadas pela roda compactadora (C) não tiveram efeito significativo sobre a variável densidade máxima do solo na região da semente. Embora não-significativos, o teor de água 0,31 kg kg^{-1} e a carga de 50 N apresentaram o maior valor de densidade máxima do solo na região da semente.

Os valores médios obtidos para a variável densidade máxima do solo na região da semente, medida por tomografia nos diferentes tratamentos, estão na Tabela 27.

Tabela 27 – Valores médios da densidade máxima do solo (kg dm^{-3}) na região da semente

Teor de Água (kg kg^{-1})	Cargas Aplicadas (N)				Média
	0	50	90	140	
0,27	1,36	1,52	1,18	1,29	1,34
0,31	1,48	1,44	1,48	1,43	1,46
0,36	1,22	1,25	1,20	1,24	1,23
Média	1,35	1,40	1,27	1,32	1,34

4.2.3.6 Perfil da densidade máxima do solo

Nas Figuras 34, 35 e 36 estão os perfis dos valores médios da densidade máxima do solo obtida por tomografia computadorizada nos teores de água 0,27, 0,31 e 0,36 kg kg^{-1}, respectivamente.

De maneira semelhante aos perfis de densidade mínima e média do solo, nota-se que na superfície do solo os tratamentos U1C4, U2C4 e U3C4, compostos pela maior carga aplicada pela roda compactadora sobre a semente (140 N), tenderam a apresentar os maiores valores de densidade máxima do solo, enquanto os menores valores tenderam a ocorrer nos tratamentos U1C1, U2C1 e U3C1.

Entre 0 e 6,0 cm de profundidade, todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes de densidade. Observou-se também que a partir de 6,0 cm de profundidade a densidade máxima do solo se elevou com o aumento da profundidade, sendo mais expressivo nos tratamentos compostos pelo teor de água 0,36 kg kg^{-1} (Figura 36), atingindo valor máximo de 2,28 kg dm^{-3} (U3C3) na profundidade de 14,5 cm.

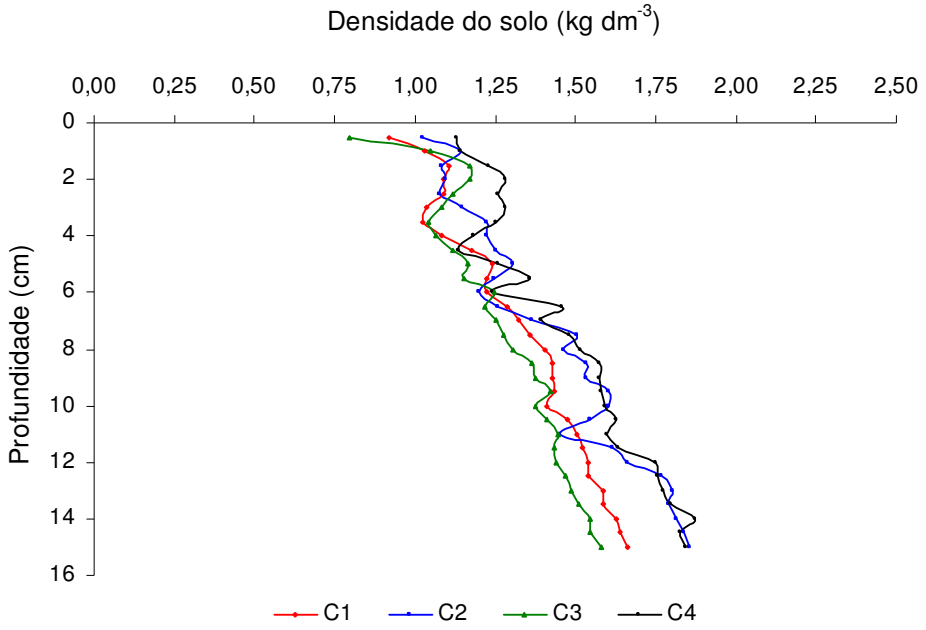


Figura 34 – Perfil da densidade máxima do solo obtida por tomografia computadorizada para o teor de água do solo U = 0,27 kg kg^{-1}.

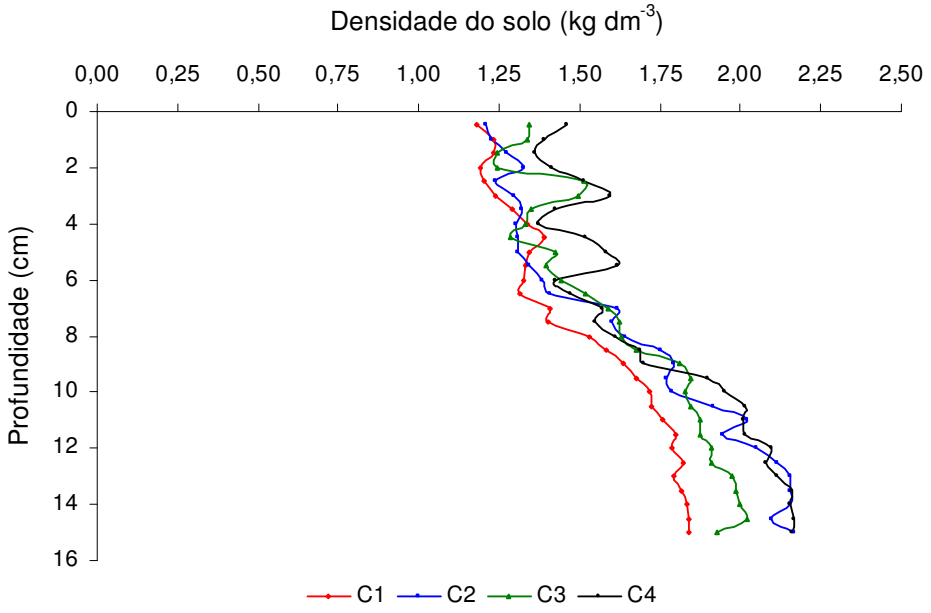


Figura 35 – Perfil da densidade máxima do solo obtida por tomografia computadorizada para o teor de água do solo U = 0,31 kg kg^{-1}.

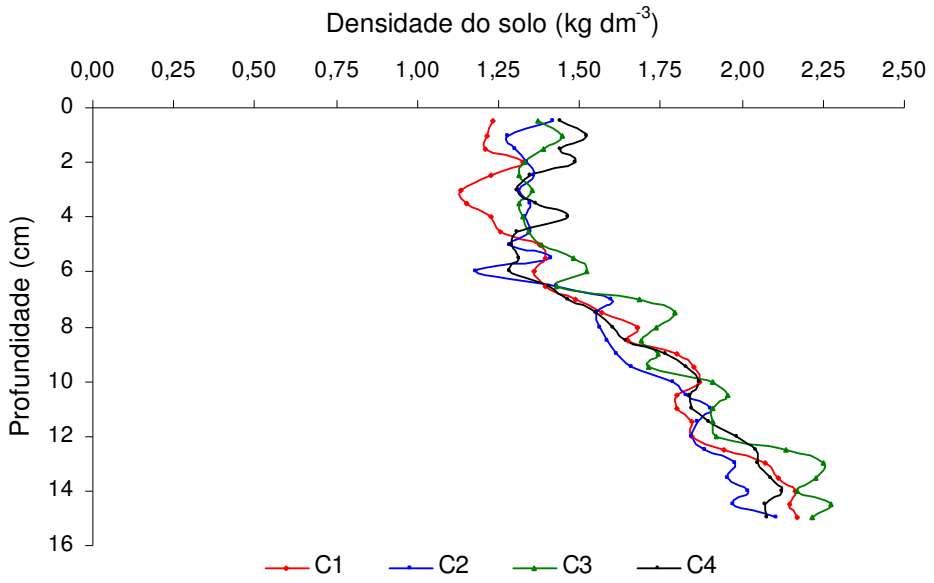


Figura 36 – Perfil da densidade máxima do solo obtida por tomografia computadorizada para o teor de água do solo U = 0,36 kg kg^{-1}.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou estudar os efeitos da combinação entre teores de água do solo e cargas aplicadas pela roda compactadora da semeadora-adubadora sobre a relação solo-semente em sistema plantio direto da cultura da soja. O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, em que as parcelas constituíram os três teores de água (U1, U2 e U3), correspondentes a 0,27, 0,31 e 0,36 kg kg^{-1}, respectivamente, e as subparcelas, os quatro níveis de carga aplicada pela roda compactadora (C1, C2, C3 e C4), correspondentes a 0, 50, 90 e 140 N, respectivamente, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições.

Foram avaliadas as características índice de velocidade de emergência de plântulas, diâmetro médio ponderado dos agregados na linha de semeadura, porcentagem de finos < 2,0 mm, densidades mínima, média e máxima do solo na região da semente, perfis de densidades mínima, média e máxima do solo e a resistência mecânica do solo à penetração na linha de semeadura. Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- As cargas aplicadas pela roda compactadora elevaram a densidade do solo no plano vertical da linha de semeadura abaixo da profundidade de semeadura, quando comparada com os valores obtidos antes do plantio.

- A combinação entre cargas aplicadas pela roda compactadora e teores de água no solo não influenciaram a porcentagem de finos < 2,0 mm e as densidades mínima, média e máxima do solo na região da semente.

- O maior índice de velocidade de emergência (IVE) ocorreu no teor de água igual a 0,33 kg kg^{-1} e na carga de 86,21 N.

- A utilização da tomografia computadorizada em amostras indeformadas de solo possibilitou quantificar os perfis das densidades mínima, média e máxima do solo, permitindo a caracterização da densidade desde a superfície até a profundidade analisada.

- A carga máxima de 140 N aplicada pela roda compactadora sobre a semente causou encrostamento superficial do solo, dificultando a emergência das plântulas.

- O plantio da soja não deve ser realizado sem compactação do solo sobre a semente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRECHT, D.G. No-till crop establishment on red earth soils at Katherine, Northen Terrytori: effect of sowing depth and firming wheel pressure on the establishment of cowpea, soybean and maize. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v.29, n.3, p.397-402, 1989.

ABREU, J.G. **Influência da profundidade de semeadura e da pressão de compactação do solo sobre a emergência de *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu**. 1993. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

APPOLONI, C.R.; CESAREO, R. **Microscanning and microtomography with X-ray tubes**. Rome: Università degli Studi di Roma La Sapienza-CISB, 1994. 84p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de norma 04.015.06-004. Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994. 7p.

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

BEWLEY, C.F.; BLACK, M. **Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination.** New York: Spring-Verlag, 1978, 305p.

BORGES FILHO, E.L. **O desenvolvimento do plantio direto no Brasil: a conjunção de interesses entre agricultores, indústria e o estado.** 141 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

BORGES, I.D. **Avaliação de épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, fontes de nitrogênio e de espaçamentos entre fileiras na cultura do milho.** 2003. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: 1992. 365p.

BRAUNACK, M.V.; DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review II – effect of aggregate sizes on plant growth. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.14, p.291-298. 1988.

BROWN, A.D.; DEXTER, A.R.; CHAMEN, W.C.T.; SPOOR, G. Effect of soil macroporosity and agregate size on seed-soil contact. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.38, n.3, p.203-216. 1996.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132p.

CARDOSO, A.N. Manejo e conservação do solo na cultura da soja. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SOJA NOS CERRADOS, 1992, Uberaba, **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1993, p.71-104.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISCH, R. Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.35, n.3, p. 523-532, 1998.

CASCAVEL, 2001. Disponível em: <http://www.br/celepar/seet/prtur/cidades/ /cascavel/index.html>. Acesso em: 17 maio 2001.

COAN, R.M. **Efeito da profundidade de semeadura e da compactação do solo sobre a semente no comportamento da aveia preta *(Avena strigosa, Schreb)***. 1996. 68 f. Trabalho de graduação – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1996.

COELHO, F.C. **Influência da profundidade de semeadura e compressão do solo, na emergência e desenvolvimento inicial da soja *(Glycine Max* (L.) *Merril)* cultivar UFV-1**. 1979. 71 f. Trabalho de graduação – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1979.

COELHO, J.L.D. Ensaio e certificação das máquinas para a semeadura. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas:** ensaios e certificação. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p.551-570.

CONAB, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 13 maio 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Ciência do Solo. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tecnologias de produção de soja – Paraná 2005**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 227 p. (Embrapa Soja / Sistema de Produção 5).

FARBER, L.; TARDOS, G.; MICHAELS, J.N. Use of X-ray tomography to study the porosity and morphology of granules. **Power Technology**, v.132, n.1, p.57-63, 2003.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – FEBRAPDP. 2005. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/area_PD_Brasil_2002>. Acesso em: 29 março 2005.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; REZENDE, L.C.; SOUZA & 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.147-53. 2001.

GADANHA JÚNIOR, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D. **Máquinas e Implementos Agrícolas do Brasil**. São Paulo: NSI/IPT & CIENTEC, 1991. 468p.

GASSEN, D.; GASSEN, F. **Plantio direto**: o caminho do futuro. Passo Fundo, RS: Aldeia Sul, 1996. 27p.

HAUSER, V.L. Water injection in grass seed furrows, **Transactions of the ASAE**, St Joseph, MI, v.29, n.5, p.1247-1253, 1986.

HEIFFIG, L.S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max (L.)* Merril) em diferentes arranjos espaciais**. 2002. 81 f. (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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

JUSTINO, A. **Influência da profundidade de semeadura e compressão sobre o solo, na emergência e desenvolvimento inicial do amendoim *(Arachis hipogaea* L.) variedade Tatu**. 1982. 71 f. Trabalho de graduação - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1982.

KARLEN, D.L.; GOODEN, D.T. Tillage systems for wheat production in the southeastern coastal plains. **Agronomy Journal**, v.79, n.3, p.582-587, 1987.

KONDO, M.K.; DIAS JÚNIOR, M.S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.2, p.497-506. 1999.

KOPPEN, W. **Climatologia com un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

LANDERS, J.N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. 2. ed. Goiânia: APDC, 1995. 261p.

LANDERS, J.N. **Situação do plantio direto**. Modulo 1 do curso de Especialização por tutoria a distância. Programa de suporte técnico à gestão de recursos hídricos. Brasília: UNB/ABEAS, 1998. 94p.

LANGE, A. **Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema de plantio direto no cerrado.** Lavras, MG: 2002. 148 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

MACEDO, A.S.; CRUVINEL, P.E.; NETO, A.T.; INAMASU, R.Y.; NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P, CRESTANA, S. Tomógrafo de resolução micrométrica para estudo de solos. **Boletim de Pesquisa**, n.4. São Carlos, SP, EMBRAPA-CNPDIA, 1997.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selectyon and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.1, p176-177, 1962.

MARIA, I.C. de; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.703-709, 1999.

MORAES, G.A.F.; MENEZES, N.L. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural,** Santa Maria, v.33, n.2, p.219-26. 2003.

NABI, G.; MULLINS, C.E.; MONTEMAYOR, M.B.; AKHTAR, M.S. Germination and emergence of irrigate cotton in Pakistan in relation to sowing depth and physical properties of the seedbed. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.59, n.2, p.33-44. 2000.

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 em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

OLIVEIRA, J.C.M.; APPOLONI, C.R.; COIMBRA, M.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; FERRAZ, E.; SILVA, S.C.; FILHO GALVÃO, W. Soil Structure Evaluated by Gamma-Ray Attenuation. **Soil e Tillage Research**, v.48, n.1, p.127-133, 1998.

OLIVEIRA, M.L.; VIEIRA, L.B.; MANTOVANI, E.V.; SOUZA, C.M.; DIAS, G.P. Desempenho de um semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1455-63. 2000.

ORTOLANI, A.F.; BANZATTO, D.A.; BORTOLI, N.M. Influência da profundidade de semeadura e da compactação do solo, na emergência e desenvolvimento do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBEA, 1986. p.27-39.

PACHECO, E.P. **Avaliação de uma semeadora-adubadora de precisão com modificações no tubo condutor de sementes**. 1994. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

PAGLIAI, M. Micromorphometric and micromorphological investigation on the effects of compaction by pressives and deformation resulting from tillage and wheel traffic, In: MONNIER, G., GOSS, M.J. **Soil compaction and regeneration**, Rotterdan: Balkema. p.31-38. 1987.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; SILVA, A.M. Tomografia computadorizada aplicada a estudos de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.38, n.7, p.819-826, 2003.

PEIXOTO, R.T.G. Manejo orgânico da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: Plantio Direto: O caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa. ***Anais***... Ponta Grossa, 1997. p.186-205.

PERDOK, U.D.; KOUWENHOVEN, J.K. Soil-tool interactions and field performance of implements. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v.30, n.2, p.283-326, 1994.

PHILLIPS, R.E.; KIRKHAN, D. Mechanical impedance and corn seedling root growth. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.26, n.4, p.319-22. 1962.

PHOGAT, V.K.; AYLMORE, L.A.G. Evaluation of soil structure by using computer assisted tomography. **Soil Physics and Hydrology**, v.27, n.2, p.313-323, 1989.

PLANTIO DIRETO. **Plantio direto**: rumo da agricultura sustentável no Brasil. Passo Fundo, n. 49, p.15, 1999.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente.** Brasília: AGIPLAN, 1977. 289p.

PORTELA, J.A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. Máquinas e equipamentos para plantio direto. In: CNPT/EMBRAPA, FECOTRIGO, FUNDAÇÃO ABC. **Plantio direto no Brasil.** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993, p.29-36.

PORTELLA, J.A.; SATLER, A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta no sul do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.2, p.71-78, 1997.

POTTKER, W.E.; APPOLONI, C.R. Medida da porosidade de materiais amorfos por transmissão de raios gama. Disponível em: <http://www.fisica.uel.br>. Acesso em: 20 agosto 2004.

PRADO, R.M.; TORRES, J.L.; ROQUE, C.G.; COAN, O. Semente de milho sob compressão do solo e profundidade de semeadura: influência no índice de velocidade de emergência. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.2, n.1, p.45-49, 2001.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo**. São Paulo: Nobel, 1980. 541p.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5, p.929-938, 2000.

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

REIS, E.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIEIRA, L.B.; SOUZA, C.M.; FERNANDES, H.C. Avaliação do contato solo-semente em um solo argiloso sob plantio direto, com diferentes teores de água no solo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, n.1, p.31-39. 2002.

REIS, E.F. **Ambiente solo-semente em um Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes mecanismos rompedores e compactadores de uma semeadora de plantio direto na cultura do milho**. 2003. 66 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição de soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, v.53, n.2, p.259-266, 1994.

RUIZ, H.A. **Método de análises físicas do solo:** Notas de aula. Viçosa, MG. 2005, 22p.

SAS-WINDOWS Institute Corporation – **Propriety software release 6.08**. Cary, 1989.

SATURNINO, H.M.; LANDERS, J. **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília: EMBRAPA-SP, 1997. 116p.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALEJOS M.F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C. Características da porosidade de um argiloso vermelho amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.765-769, 2001.

SILVA, F.M. **Influência do tipo de rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras, no condicionamento físico do solo e no desenvolvimento de plantas**. 1990. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

SILVA, F.M.; ORTOLANI, F.M., DANIEL, L.A. Rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras - influência no condicionamento físico do solo na região de semeadura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, Londrina. **Anais**... Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1991. p.1126-46.

SILVA, R.P. **Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura nas características agronômicas do milho *(Zea Mays* L.)**. 2002. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

SILVA, R.P.; CORÁ, J.E.; CARVALHO FILHO, A.; LOPES, A.; FURLANI, C.E.A. Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura sobre o desenvolvimento do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.396-404. 2004.

SILVA, R.P.; TEIXEIRA, F.A.B.; CAMPOS, M.A.C. Efeito da profundidade de semeadura e da carga aplicada sobre a roda compactadora no desenvolvimento da soja (*Glycine max)*. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.12, n.3, p.169-176, 2004.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30, n.5, p.705-801, 2000.

TIEPPO, R.C. **Desenvolvimento de um penetrômetro manual eletrônico.** 2004. 33 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2004.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

VIANA, J.H.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.1, p.11-19, 2004.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Tabela 1A – Análise de variância da densidade do solo antes do experimento na camada de 0 a 15 cm

FV	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	0,0055	0,0018	2,95*
Tratamentos	11	0,0102	0,0009	1,50ns
Resíduo	33	0,0204	0,0006	
Total	47	0,0361		

* significativo a 5% de probabilidade.
ns não-significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2A – Análise de variância da densidade de partículas do solo na camada de 0 a 15 cm

FV	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	0,0461	0,0154	4,66**
Tratamentos	11	0,0532	0,0048	1,47ns
Resíduo	33	0,1089	0,0033	
Total	47	0,2083		

* significativo a 5% de probabilidade.
ns não-significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 3A – Análise de variância da porosidade total do solo na camada de 0 a 15 cm

FV	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	0,0019	0,0006	3,58*
Tratamentos	11	0,0035	0,0003	1,76ns
Resíduo	33	0,0060	0,0002	
Total	47	0,0114		

* significativo a 5% de probabilidade.
ns não-significativo a 5% de probabilidade.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo