

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E DEMANDA DE TRAÇÃO EM  
SEMEADURA DIRETA DE SOJA, COM DIFERENTES PRESSÕES DE  
PASTEJO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

OSMAR CONTE  
Dissertação de Mestrado

Porto Alegre, 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E DEMANDA DE TRAÇÃO EM  
SEMEADURA DIRETA DE SOJA, COM DIFERENTES PRESSÕES DE  
PASTEJO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.

OSMAR CONTE  
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como  
um dos requisitos à obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil  
Março de 2007

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Renato Levien, que além da orientação por dois anos e meio na Iniciação Científica, ainda assumiu a minha orientação na Pós-Graduação, oferecendo algo mais que mero amparo institucional, dispôs de seu companheirismo e amizade, depositando confiança no meu trabalho e potencialidade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, e ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia/UFRGS pela possibilidade de realização dessa pós-graduação.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e à Faculdade de Agronomia por me propiciar a realização de um curso superior, de alta qualidade, e alcançar a honrosa titulação de Engenheiro Agrônomo.

À sociedade brasileira por contribuir tão onerosamente com impostos e, assim, ao menos dispor de ensino público, gratuito, e de qualidade, possibilitando a formação profissional.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

A minha família; meus pais, Claudino Natal Conte e Amábile Rampazzo Conte, e meus irmãos Sirlei Conte e Evandro Conte pelo apoio incondicional durante todos esses anos de estudo.

Aos colegas da Pós-Graduação das áreas de Mecanização Agrícola e Conservação do Solo, Carla Cepik, Josué Fernando Beutler, Leandro Volk, Antônio Alexandre Petersen Xavier, Jeane Cruz Portela, Henrique Debiasi, André Julio Amaral, Luciléia Giles e Karina Marie Kamimura pela amizade, companheirismo, e outros benefícios de estar desfrutando do mesmo espaço físico.

Aos professores, em especial a Paulo César de Faccio Carvalho e Ibanor Anghinoni, que empenham trabalho de pesquisa em integração lavoura-pecuária e obtém dessa interação multidisciplinar um valioso sinergismo na pesquisa, do qual resultou esse trabalho e outros mais.

Ao professor Carlos Ricardo Trein, por estar sempre pronto a dispor da EEA/UFRGS na realização dos trabalhos de campo, pelo convívio, e por seus ensinamentos pessoais e profissionais.

Ao professor Neroli Pedro Cogo, pela amizade, descontração e por suas atitudes humanas no reconhecimento das necessidades e anseios dos alunos.

Agradeço de forma especial à colega Carla Tatiana Chaves Cepik, que me incentivou a ingressar nessa fase e sua imensa disposição em ajudar.

Aos colegas e bolsistas de Iniciação Científica, Guilherme Batista Menegati, Tobias Rossi, Bernardo Dalcin e Michel Mazurana, pelo coleguismo, amizade e ajuda prestada.

Não poderia deixar de agradecer aos colegas do “Cafofo do Xandão” em especial ao Alexandre Tadeu Piana e ao Luis de França Neto, pelo convívio, amizade e companheirismo, que certamente tornaram essa etapa mais extrovertida.

A todos os colegas do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, os quais tiver a honra de conviver nos anos de 2005 e 2006, e dividir muitos momentos, seja nas aulas ou atividades ligadas ao pós-graduação ou nos momentos de descontração e confraternização, onde sempre pode-se perceber a união e companheirismo, lembranças eternas!

Aos meus amigos que não estão ligados às relações no meio acadêmico, mas que em muitas oportunidades foram e serão essenciais a minha vida.

A todas aquelas pessoas que não foram mencionados, mas que se acaso vierem a ler esses agradecimentos, poderão sentir que a eles me refiro e que de alguma forma participaram e me auxiliaram a concluir esta etapa em minha vida.

Muito obrigado.

# ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E DEMANDA DE TRAÇÃO EM SEMEADURA DIRETA DE SOJA, COM DIFERENTES PRESSÕES DE PASTEJO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA<sup>1</sup>.

Autor: Osmar Conte

Orientador: Prof. Renato Levien

## Resumo

A integração lavoura-pecuária (ILP) é um sistema de uso das áreas agrícolas com alternância de culturas e animais na mesma gleba. Ao implantar a ILP em semeadura direta, podem ocorrer alterações nas propriedades físicas de solo. Em semeadura direta, as hastes sulcadoras das semeadoras assumem a função de preparar o leito de semeadura, promovendo a descompactação localizada do solo. Diferentes intensidades de pastejo resultam em mudanças na altura e massa de forragem, que interferem na quantidade de raízes presentes e no teor de água no solo, no tráfego dos animais e suas possíveis implicações nas condições físicas do solo. Os objetivos dessa pesquisa foram avaliar a força de tração exigida em quatro modelos de hastes sulcadoras, atuando em diferentes profundidades, na semeadura direta de soja, assim como a resistência à penetração, densidade e porosidade do solo e massa de resíduos e de raízes no momento da semeadura, sob diferentes intensidades de pastejo na ILP. A pesquisa foi conduzida em Latossolo Vermelho distrófico, no município de São Miguel das Missões, RS nos anos de 2004 e 2005. Os tratamentos foram constituídos por intensidades de pastejo, que resultam em alturas da pastagem formada por aveia + azevém: 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 m e sem pastejo, dispostos em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Com aumento na intensidade de pastejo, aumentou a força de tração demandada na haste sulcadora, assim como a resistência do solo à penetração, sendo que estas, foram mais sensíveis para acusar o efeito da presença desigual de animais em pastejo que a densidade e porosidade do solo. A resposta ao pastejo em diferentes intensidades foi detectada até os 12 cm, tanto pela resistência à penetração, como na força de tração demandada na haste sulcadora. A população de plantas de soja foi influenciada pela intensidade de pastejo na safra 2004/05, porém esta não afetou a produtividade nas duas safras avaliadas.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. PPG em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre. (91p.) Março de 2007. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

# SOIL PHYSICAL PARAMETERS AND POWER DEMAND IN NO TILLAGE OF SOYBEANS, WITH DIFFERENT GRAZING PRESSURES IN INTEGRATION CROP-CATTLE <sup>2</sup>

Author: Osmar Conte

Adviser: Prof. Renato Levien

## **Abstract**

The integration of cattle and crop (ILP) is a use of the agricultural areas alternating crop and cattle on the same field. While implanting ILP in systems that adopt crop no tillage, alterations in the physical properties of soil can happen. Different grazing pressures result in changes in the height and total forage being offered, interfering in the amount of roots and in the amount of water in the soil, as a result of cattle grazing and possible implications in the physical conditions of the soil. The aims of the research were to evaluate the power demand by four models of fertilizer shanks, acting at different depths, in direct drilling of soy, as well as physical properties of soil, such as soil resistance to the penetrometer, soil density and porosity and mass of residues and roots when drilling, under different grazing pressures in ILP. The research was carried out on an Oxisoil, in Tupanciretã, RS during 2004 and 2005. The treatments were constituted by grazing pressures, allowing for different heights of the pasture formed by oats + ryegrass: 0.10; 0.20; 0.30; 0.40 m and no grazing, disposed in randomized blocks, with three repetitions. Increasing grazing intensities, fertilizer shanks power demand increased as well, and so it happened with soil resistance to the penetrometer; these variables showed higher dependance on the way cattle moved through the field than density and porosity of the soil. The answer to grazing pressure intensities was detected down to 0.12m, so much for the resistance to the penetration, as in the traction force required by the shanks. The population of soy plants was influenced by the grazing pressures during 2004/05, but it didn't affect the yield in both years.

---

<sup>2</sup> M. Sc. Dissertation in Soil Science., PPG em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre. (91p.) March, 2007. Financil support by CNPq.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. O sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP).....	4
2.1.1. Conceitos.....	4
2.1.2. Sistemas utilizados no país.....	4
2.1.3. Benefícios da adoção da Integração Lavoura-Pecuária .....	8
2.1.4. Problemas inerentes a Integração Lavoura-Pecuária .....	11
2.1.4.1. Compactação do solo .....	12
2.1.4.2. Resistência do solo à penetração .....	14
2.1.4.3. Densidade e porosidade do solo.....	16
2.2. Semeadura direta em Integração Lavoura-Pecuária .....	19
2.3. Demanda de tração em semeadoras-adubadoras.....	21
2.4. Resposta do sistema radicular à compactação do solo.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1. Histórico e localização .....	28
3.2. Caracterização da área experimental .....	29
3.3. Tratamentos e condução inicial do experimento.....	29
3.4. Etapa experimental referente ao presente trabalho .....	32
3.4.1. Condução do experimento e amostragens na safra 2004/05.....	32
3.4.1.1. Máquinas e equipamentos utilizados .....	33
3.4.1.2. Avaliações e determinações .....	33
3.4.1.2.a. Resistência do solo à penetração .....	33
3.4.1.2.b. Demanda de tração.....	34
3.4.1.2.c. Área de solo mobilizado e profundidade de atuação das hastes sulcadoras .....	35
3.4.1.2.d. Massa seca de raízes e resíduos .....	36
3.4.1.2.e. População de plantas e produtividade da cultura da soja.....	36
3.4.2. Condução de experimento e amostragens na safra 2005/06.....	37
3.4.2.1. Máquinas e equipamentos usados .....	37
3.4.2.2. Resistência do solo à penetração .....	38
3.4.2.3. Densidade, macro, micro e porosidade total.....	38
3.4.2.4. Demanda de tração .....	39

3.4.2.5. Área de solo mobilizado e profundidade de atuação .....	39
3.4.2.6. Massa seca de raízes e resíduos .....	39
3.4.2.7. Avaliações da cultura da soja .....	39
3.4.3. Análise estatística .....	39
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	41
4.1. Caracterização inicial da área experimental: variáveis de solo e da pastagem .....	41
4.2. Análise de aspectos relacionados às hastes sulcadoras estudadas.....	53
4.3. População de plantas e produtividade de grãos de soja.....	67
4.4. Relações entre algumas das variáveis estudadas .....	70
5. CONCLUSÕES.....	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
7. APÊNDICE.....	90



## RELAÇÃO DE TABELAS

1. Atributos físicos de solo determinados 6 meses antes da implantação do experimento (Dezembro de 2000). .....	42
2. Atributos físicos de solo após o primeiro ciclo de pastejo de 104 dias (Novembro de 2001) .....	42
3. Massa seca de resíduos remanescentes da pastagem sobre a superfície, e de raízes até 0,10 m de profundidade, na semeadura da safra 2004/05, em função dos tratamentos estudados .....	43
4. Massa seca de resíduos remanescentes da pastagem sobre a superfície e de raízes, até 0,10 m de profundidade, antes da semeadura safra 2005/06, em função dos tratamentos estudados .....	43
5. Resistência do solo a penetração, avaliada em três profundidades, na semeadura da safra 2004/05, nos tratamentos estudados .....	45
6. Resistência do solo à penetração, avaliada em três profundidades, na semeadura da safra 2005/06, nos tratamentos estudados .....	46
7. Densidade do solo avaliada em três profundidades na semeadura da soja, safra 2005/06, nos tratamentos estudados .....	48
8. Porosidade total do solo avaliada em três profundidades no momento da semeadura da soja, safra 2005/06, nos tratamentos estudados.....	50
9. Macroporosidade do solo, avaliada em três profundidades no momento da semeadura da soja, safra 2005/06, nos tratamentos estudados.....	50
10. Microporosidade do solo, avaliada em três profundidades no momento da semeadura da soja, safra 2005/06, nos tratamentos estudados.....	51
11. Valores de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo HN, em função da profundidade de regulagem, nos tratamentos estudados .....	54
12. Profundidade de atuação (cm) da haste sulcadora de adubo HN, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.....	55
13. Área da seção transversal de sulco mobilizado (cm <sup>2</sup> ) pela haste sulcadora de adubo HN, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.....	56
14. Volume de solo mobilizado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) pela haste sulcadora de adubo HN, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados .....	57

15. Força específica ( $N.cm^{-2}$ ) na haste sulcadora de adubo HN, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos aplicados .....	57
16. Valores de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos aplicados .....	58
17. Profundidade de atuação (cm) da haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.....	59
18. Área de sulco mobilizada ( $cm^2$ ) pela haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados .....	60
19. Volume de solo mobilizado por haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.....	60
20. Força específica ( $N.cm^{-2}$ ) na haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.....	61
21. Valores de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.....	61
22. Profundidade de atuação (cm) na haste sulcadora HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.....	61
23. Área da seção transversal de sulco mobilizado ( $cm^{-2}$ ) pela haste sulcadora HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos aplicados .....	62
24. Volume de solo mobilizado ( $m^{-3}$ ha) pela haste sulcadora HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.....	62
25. Força específica ( $N cm^{-2}$ ) na haste sulcadora de adubo HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados .....	62
26. Valores de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo Stara Sfil, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados .....	64
27. Profundidade de atuação na haste sulcadora de adubo Stara Sfil (cm), em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados .....	65
28. Área da seção transversal de sulco mobilizado ( $cm^{-2}$ ) pela haste sulcadora de adubo Stara Sfil, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.....	65
29. Volume de solo mobilizado ( $m^3 ha^{-1}$ ) por haste sulcadora de adubo Stara Sfil, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados .....	66

30. Força específica ( $N.cm^{-2}$ ) na haste sulcadora de adubo Stara Sfil, em função das profundidades de regulação, nos tratamentos estudados. ....	66
31. Número de plantas de soja por hectare, nas duas safras avaliadas em função dos tratamentos estudados .....	68
32. Produtividade de soja ( $kg ha^{-1}$ ) nas duas safras avaliadas em função dos tratamentos estudados.....	68

## RELAÇÃO DE FIGURAS

1. Croqui da área experimental. Fazenda do Espinilho – Tupanciretã Rio Grande do Sul .....	30
2. Umidade gravimétrica (Ug) determinada no momento da medição da resistência do solo à penetração (RP) e na semeadura da soja (SS).....	48
3. Regressão entre alturas de pasto e resistência do solo à penetração medida em diferentes profundidades, na semeadura da safra 2004/05 .....	71
4. Regressão entre alturas de pasto e resistência do solo à penetração medida em diferentes profundidades, na semeadura da safra 2005/06 .....	72
5. Regressão entre alturas de pasto e força de tração medida em hastes sulcadora atuando em diferentes profundidades.....	73
6. Regressão entre alturas de pasto e força de tração medida em modelos de hastes sulcadoras atuando em diferentes profundidades .....	73
7. Correlação entre resistência do solo à penetração e força de tração mensurado na haste sulcadora Stara Sfil, em duas profundidades .....	74
8. Correlação entre resistência do solo à penetração e esforço de tração mensurado na haste sulcadora HN, em duas profundidades .....	75

## 1. INTRODUÇÃO

Pelo conhecimento atual, sabe-se que existem benefícios proporcionados pelo uso de áreas agrícolas para alimentação dos animais via pastejo. Com a adoção do sistema de integração lavoura-pecuária, há um incremento na renda da propriedade pela possibilidade de obtenção de ganho de peso animal ou manutenção de maior número de animais na propriedade. Esse fato assume maior relevância quando observado que na região Sul do Brasil, e principalmente no Rio Grande do Sul, o período de entressafra coincide com o de menor oferta de forragem dos campos nativos. Sendo assim, o cultivo de espécies forrageiras hibernais em sucessão às culturas de verão, como a soja ou o milho, permite um incremento na disponibilidade de alimento aos animais e, assim, possibilitando que estes sejam rapidamente engordados, permitindo ao proprietário uma liquidez imediata. Ainda, nesse contexto, com a adoção do sistema plantio direto nessa região, faz-se necessário a manutenção de cobertura permanente do solo, onde são usados como plantas de cobertura principalmente a aveia preta e o azevém, que apresentam grande potencial para produção de forragem. Dessa forma, é possível diversificar e ou incrementar a renda das propriedades com o uso dessas espécies também para o pastejo dos animais. O uso de áreas com integração lavoura-pecuária ainda apresenta como benefícios, a ciclagem acelerada da biomassa produzida pelas coberturas de solo e, assim, o aumento na disponibilidade de nutrientes para a cultura seguinte; a possibilidade de quebra de ciclo biológico de pragas e de doenças e a redução dos problemas decorrentes da presença destas assim como a diversificação de uso das áreas agrícolas de forma que o sistema esteja mais próximo da sustentabilidade.

Embora apresentando uma série de vantagens em termos econômicos e de manejo, a adoção do sistema de integração lavoura-pecuária poderá resultar em prejuízos à qualidade do solo, principalmente no que se refere a

suas propriedades físicas. Alguns produtores ainda crêem na extração exacerbada de nutrientes do solo quando as áreas agrícolas são pastejadas, mas esse fato é facilmente desmistificado ao se analisar a extração de nutrientes via colheita de grãos das grandes culturas, e que são muito maiores em relação ao que é retirado com o ganho de peso pelos animais. Porém, com relação à degradação da qualidade física de solo promovida pelo pisoteio de animais em pastejo é preciso ter cautela, pois realmente esta poderá ocorrer. De fato o pisoteio animal é capaz de causar degradação física do solo, resultando em aumento da sua densidade e da resistência à penetração, diminuição das taxas de infiltração de água e da porosidade, principalmente dos macroporos. Mas isso ocorrerá somente se a intensidade de pastejo for muito elevada, com um intenso consumo da forragem proporcionada pela longa permanência dos animais ou, então, por um grande número de animais em curto espaço de tempo. Ainda contribuirá para isso, o teor de água que o solo se encontra quando da presença dos animais, assim como sua textura. Se houver degradação física do solo pela presença dos animais em pastejo, além das alterações nas propriedades anteriormente citadas, se detectará aumento na demanda de tração em implementos agrícolas que causem mobilização do solo, como escarificadores e semeadoras dotadas de sulcadores do tipo facão.

Com base no que foi anteriormente exposto, este trabalho foi norteado pela hipótese de que o aumento na intensidade de pastejo, ou seja, da carga animal por área, resulta numa maior compactação superficial. Em consequência disso, a demanda de força de tração pelas hastes sulcadoras de adubo, em semeadura direta, aumenta, assim como aumenta a resistência do solo à penetração e a densidade do solo, com redução da macroporosidade e porosidade total do solo. Também se espera que a redução na intensidade de pastejo e a manutenção de maior quantidade de biomassa da forrageira sobre o solo aumentem a presença de raízes e, com isso, contribua na melhoria das propriedades físicas de solo.

Deste modo, buscou-se investigar, em uma área onde se adota o sistema integração lavoura-pecuária, a demanda de tração em hastes sulcadoras de semeadora-adubadora, assim como propriedades físicas do solo, com sua resistência à penetração, densidade e porosidade. Também foram avaliados a massa seca dos resíduos das forrageiras presentes sobre o

solo e a massa seca de raízes da pastagem até 10 cm de profundidade, ao final do período de pastejo e antes da implantação da cultura de verão (soja). Da cultura da soja avaliou-se a população de plantas aos 30 dias após a emergência e a produtividade de grãos no final do ciclo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP)**

#### **2.1.1 Conceitos**

O termo integração lavoura-pecuária (ILP) é utilizado para designar a alternância de cultivo de grãos e pastejo de animais em pastagens de gramíneas e/ou leguminosas (Moraes et al., 1998) sempre que ambas as atividades são conduzidas sob uma mesma área ou que tenham um mínimo de interface. A integração lavoura-pecuária é definida como o sistema que integra as duas atividades com os objetivos de maximizar racionalmente o uso da terra, da infra-estrutura e da mão-de-obra, minimizar custos, diluir os riscos, diversificar e verticalizar a produção e agregar valores aos produtos agropecuários pelo uso dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra (Mello 2001).

#### **2.1.2 Sistemas utilizados no país**

No Rio Grande do Sul, podem-se distinguir dois sistemas de integração lavoura-pecuária. Primeiramente, o sistema que integra as áreas de produção de grandes culturas estivais, principalmente a soja. Geograficamente situa-se na metade norte do Estado, onde se concentra a maior parte da produção de grãos, ou seja, do Planalto Riograndense e Missões, onde os solos têm origem nos derrames de basalto, com exceção de algumas áreas com afloramento de Arenito na região mais oeste do Estado. Os solos predominantes são os Latossolos. Estas áreas agrícolas apresentam um grande potencial para se integrar à bovinocultura, haja vista que já utilizam plantas de cobertura de solo com potencial para servir de alimentação animal, como o azevém e a aveia preta, que apresentam elevado acúmulo de biomassa com características



nutricionais desejáveis. A consolidação do sistema plantio direto nessa região demandou a cobertura de solo permanente e, nesse contexto, as coberturas com potencial forrageiro são inseridas no sistema na entressafra das culturas estivais, justamente no período que a oferta dos campos naturais decresce devido às baixas temperaturas da estação. Desta forma, as forrageiras de crescimento hibernal, semeadas na sucessão do milho ou da soja, ou provenientes de ressemeadura natural, poderão fornecer alimento aos animais nos meses de inverno e parte da primavera, período que não se exploraria economicamente as áreas, a não ser com o trigo ou cevada, que apresentam reduzida área semeada nos últimos anos. Sabendo-se que no RS atualmente são cultivados cerca de 5,5 milhões de hectares sob semeadura direta no período de primavera-verão, e destes menos de 1 milhão são cultivados com culturas hibernais como trigo e cevada de acordo com dados da (CONAB 2007), percebe-se que há um grande potencial para aproveitamento dessas áreas para fornecimento de forragem. Sistema semelhante de uso das terras agrícolas com integração da pecuária é comum em parte dos Estados de Santa Catarina e do Paraná, onde as condições edafoclimáticas são semelhantes.

Ainda no RS, mas em outro contexto em termos de localização geográfica e exploração agrícola, as áreas de cultivo de arroz, localizadas principalmente na metade sul do Estado, incluindo a Depressão Central e Fronteira Oeste, Planície Costeira Interna e Externa à Lagoa dos Patos, estendendo-se ao Litoral Norte. Essas áreas apresentam uma rotação de cultivo, com alternância no uso das glebas, podendo as mesmas ficarem até dois anos sem serem cultivadas novamente. Em função das características de solo e das condições de drenagem dificilmente podem ser usadas com outras culturas, e sendo assim grande parte destina-se à produção animal. O pastejo, nessas áreas, é feito sobre espécies espontâneas ou então introduzidas. Parte dessas áreas de várzea, principalmente as que apresentam melhor condição de drenagem, e cuja produção animal está presente na propriedade, é semeada com azevém após a colheita do arroz. A semeadura é feita sem incorporação das sementes, a lanço, de forma tratorizada ou mesmo com aviões agrícolas. Em algumas áreas é introduzido o sorgo forrageiro para uso em pastejo em virtude de sua boa adaptação aos solos de várzea.

No Brasil, existem outros sistemas de integração lavoura-pecuária, com características peculiares e dependentes da condição do meio. As formas de integração empregadas nos Estados do Sudeste, mas mais expressiva no Centro-Oeste assumem grande relevância no contexto econômico dessas regiões. Kluthcouski et al., 2004, citam que por razões econômicas ou agronômicas, a exploração isolada da lavoura ou da pecuária nos Cerrados tem apresentado sinais de insustentabilidade, com reflexos negativos também nos parâmetros sociais e ambientais. A exploração econômica principalmente das áreas do Centro-Oeste ocorreu mais tardiamente em relação às demais regiões do país e deveu-se inicialmente à produção animal. No início da década de 60, a introdução das *Brachiaria* sp., que apresentam boa adaptação aos solos ácidos e pouco férteis da região, propiciou um desenvolvimento quantitativo e qualitativo na pecuária para os padrões de conhecimento tecnológico da época (Kluthcouski et al., 2004). Ainda de acordo com esses autores, até a década de 70, a atividade pecuária nos Cerrados desenvolveu-se de maneira empírica e como atividade extrativista, com baixa produtividade. A partir dos anos 80 houve um avanço expressivo na pecuária com a introdução de forrageiras, como as dos gêneros *Brachiaria*, *Andropogon* e *Panicum*. Nos Cerrados, os solos predominantes são os Latossolos, que de modo geral apresentam textura com predominância de argila, são bem estruturados e com alta estabilidade de agregados. Porém, são solos altamente intemperizados, apresentando baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e esta dependente da matéria orgânica (Meurer, 2006).

A maior dificuldade verificada na exploração pecuária extensiva desenvolvida a pasto nos Cerrados refere-se à oferta de forragem no período de outono/inverno, registrando-se, na pecuária convencional, perda de peso e até mesmo morte de bovinos como consequência da desnutrição (Oliveira et al., 1996). As principais causas da redução da oferta forrageira são a deficiência hídrica, que normalmente ocorre entre os meses de maio e outubro na maior parte das sub-regiões dos Cerrados e os efeitos da redução da temperatura e da luminosidade, entre os meses de junho e setembro. Estes últimos dois fatores, mesmo em condições de boa disponibilidade hídrica, podem reduzir a produção forrageira (Kluthcouski et al., 2004).

Atualmente são encontradas, na região dos Cerrados, distintas formas de manejar pastagens, quando inseridas em áreas que também tem uso agrícola. Destacam-se dois sistemas denominados de Barreirão e de Santa Fé.

O sistema Barreirão é tido como uma tecnologia de recuperação e renovação de pastagens, onde é feito um consórcio simultâneo com culturas anuais. Normalmente são consorciados arroz de terras altas, milho, sorgo e o milheto com forrageiras, como as braquiárias (*Andropogon gayanus* e *Panicum* sp.), ou ainda com leguminosas forrageiras, como *Stylosanthes* sp., *Calopogonio mucunoides* e *Arachis pintoe* (Kluthcouski et al., 1991). Esse sistema embasou-se em experiências de produtores que estabeleceram grande parte de suas pastagens nos Cerrados por meio da consorciação com o arroz não irrigado.

O sistema Santa Fé, recentemente adotado na região Centro-Oeste do Brasil, é caracterizado por cultivo consorciado de culturas de grãos com forrageiras na integração lavoura-pecuária, em áreas de lavoura com solos que tiveram a fertilidade corrigida, (Kluthcouski et al., 2004). O sistema Santa Fé está fundamentado na produção consorciada de culturas de grãos, especialmente o milho, sorgo, milheto, arroz e soja com forrageiras tropicais, preferencialmente as do gênero *Brachiaria*, no Sistema Plantio Direto, em áreas de lavoura. Tem como principais objetivos a produção forrageira para utilizar na entressafra e produção de palhada para o Sistema Plantio Direto. Este sistema de integração apresenta diversas vantagens, como de não alterar o cronograma de atividades do produtor, ser de baixo custo e não exigir equipamentos especiais para sua implantação. O consórcio é estabelecido anualmente, podendo ser implantado simultaneamente à semeadura da cultura anual ou cerca de 10 a 20 dias após a emergência desta (Kluthcouski et al., 2004).

Segundo Cardoso (2000), existem vantagens proporcionadas pela implantação de braquiárias como a maior durabilidade da palhada no sistema, competitividade, persistência e vigor vegetativo do pasto, sugerindo que estas espécies possuem associações radiculares com bactérias, fungos ou algas que fixam o nitrogênio atmosférico.

### **2.1.3 Benefícios da adoção da Integração Lavoura-Pecuária**

A manutenção de grandes áreas sem cobertura do solo, durante o período de entressafra das culturas anuais, é uma prática comum no Brasil. Quando são utilizadas culturas para cobertura do solo, faltam alternativas sobre qual o melhor uso ou manejo dessa palhada, podendo esta ser utilizada para alimentação animal na forma de grãos, silagem, feno e pastejo direto (Levien, 1999). Quando há presença de animais em pastejo podem haver mudanças nas propriedades físicas de solo. Salton et al. (1999a), visando avaliar alterações em atributos físicos do solo decorrentes da rotação soja-pastagem, observaram que os mesmos foram afetados positivamente quando houve cultivo de pastagem, e que tais alterações melhoram as condições de desenvolvimento das lavouras anuais, quando conduzidas no Sistema Plantio Direto.

De acordo com Rocha (2000), sistemas de produção baseados na integração agricultura-pecuária permitem a diluição dos custos fixos da propriedade, a obtenção de receita distribuída durante o ano e o melhor aproveitamento da mão-de-obra especializada.

Lanzanova et al. (2004) ao avaliarem um sistema de pastejo conduzido de forma não contínua, com frequência de pastejo de 14 e 28 dias, concluíram que o retorno de animais no maior intervalo proporcionou bons rendimentos de forragem e, conseqüentemente, bom ganho de peso animal e boa quantidade de matéria seca para o sistema plantio direto. A utilização de áreas para pastagem e engorda de gado não afetou a posterior produção de grãos de soja, viabilizando a integração lavoura-pecuária.

Nolla (1983) determinou a estabilidade em água de agregados do solo, provenientes de áreas com seis anos de pastagens de gramíneas, implantadas em áreas de cultivo tradicional de trigo, soja e milho, em um Latossolo Roxo distrófico. Concluiu que não houve diferença da área com pastagem implantada em relação à de com gramíneas nativas, indicando que ocorreu regeneração da estrutura do solo que havia sido degradada pelo cultivo contínuo das culturas anuais.

Girardello et al. (2004) estudando os efeitos da presença de animais pastejando sobre a cultura de inverno sobre a densidade e porosidade do solo

e os reflexos na produtividade de soja, em sistema com rotação de culturas (soja-milho) e monocultivo de soja, concluíram que o pastejo realizado a cada 28 dias não alterou a produtividade da soja e que o emprego de rotação de culturas apresentou tendência de maior produtividade ao sistema. Porém os autores evidenciaram alterações na densidade e porosidade do solo, principalmente na camada de 0 a 5 cm, com redução da macroporosidade e aumento de densidade atribuídos ao pisoteio dos bovinos.

Para Primavesi (1982) os resíduos provenientes das gramíneas promovem a melhoria do solo por possuírem maior conteúdo de lignina, aumentando a produção de ácidos carboxílicos e ácidos húmicos nos substratos e, dessa, forma favorecendo a estruturação e a estabilidade dos agregados do solo, tornando-o menos suscetível à compactação (Fassbender & Bornemisza, 1994). Para Silva & Mielniczuk (1997) os efeitos benéficos das gramíneas perenes na formação e estabilização dos agregados do solo são devidos à alta densidade de raízes. Estas promovem a aproximação das partículas pela constante absorção de água do perfil do solo, às periódicas renovações do sistema radicular e à uniformidade da distribuição dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana, onde estes subprodutos atuam na formação e estabilização dos agregados. Segundo Tisdall & Oades (1979), o aumento da estabilidade de agregados devido à ação de gramíneas se origina da liberação de polissacarídeos por hifas de micorrizas associadas.

Os benefícios obtidos da integração lavoura-pecuária podem ser sintetizados, em termos agronômicos, por meio da recuperação e manutenção das características produtivas do solo; em termos econômicos, pela diversificação de oferta e obtenção de maiores rendimentos e na qualidade, com menor custo; em termos ecológicos, devido à redução da biota nociva às espécies cultivadas e conseqüente redução da demanda de agrotóxicos e melhor controle da erosão; e sociais, pela distribuição de renda mais uniforme, já que as atividades de pecuária e de lavoura concentram e distribuem renda, respectivamente. É relevante ainda considerar que há maior geração de tributos e de empregos diretos e indiretos, além de fixação do homem ao campo (Kluthcouski et al., 2004).

Segundo Broch et al. (1997) e Cardoso (2000), vantagens da adoção do sistema de integração lavoura-pecuária podem ser divididos em benefícios da lavoura para a pecuária e benefícios da pecuária para a lavoura.

Como benefícios da lavoura para a pecuária, podem ser citados a rapidez e economia, pois o sistema torna mais fácil a recuperação ou a renovação da pastagem, devido o retorno do capital investido ser mais rápido. Também, a formação da pastagem após a agricultura é rápida e com custos menores. Havendo sucessão ou rotação com soja, a forrageira ainda pode se beneficiar de nitrogênio fixado simbioticamente pela leguminosa. Há possibilidade de produzir forragem na época mais crítica do ano. Na seqüência da cultura de verão, podem ser semeadas as forrageiras anuais, como o milho forrageiro, sorgo silagem, sorgo e milheto, e a aveia ou azevém, nas regiões com inverno mais frio.

Entre os benefícios da pecuária para a lavoura pode ser citada, a rotação de culturas, que proporciona redução de inóculos de pragas e doenças, pela quebra dos seus ciclos, assim como o das plantas daninhas; a recuperação física, química e biológica do solo, devido basicamente à abundância e agressividade do sistema radicular das forrageiras, principalmente as tropicais. A maior atividade biológica no solo, que além de promover a reciclagem de nutrientes e a adição de elevadas quantidades de biomassa na superfície e no perfil do mesmo, afeta positivamente sua estrutura. Isso é atribuído, principalmente, ao aumento da matéria orgânica e de exsudados das raízes e, conseqüentemente, a aceleração da atividade biológica, resultando numa melhor porosidade do solo, armazenamento de água e crescimento das raízes das culturas anuais.

As espécies forrageiras, ao mesmo tempo em que produzem alimento para os animais, proporcionam cobertura do solo em sistemas produtivos de grãos. A palhada proveniente das forrageiras garante quantidade suficiente para a proteção de toda a superfície do solo contra a erosão, desde que devidamente manejada. Também pode reduzir a evaporação da água no solo, dificultar a emergência de plantas daninhas e o ataque de fungos do solo sobre as plantas cultivadas. De forma mais ampla, os benefícios da integração lavoura-pecuária referem-se ao aumento na produção de grãos e de carne, redução nos custos de produção, capitalização dos produtores, melhoramento

e conservação das características produtivas do solo, desenvolvimento do setor rural, maior estabilidade econômica, geração de empregos diretos e indiretos e sustentabilidade da agropecuária.

#### **2.1.4 Problemas inerentes a Integração Lavoura-Pecuária.**

Numa primeira etapa, o pastejo resulta no desfolhamento da pastagem e a conseqüente perda da cobertura vegetal. Ao mesmo tempo, tem-se a aplicação de tensões ao solo através do pisoteio dos animais (Taboada, 2005). Isso pode resultar em aumento da perda de água por evaporação e na compactação do solo, que se constitui numa das principais causas da degradação da capacidade produtiva de solos agrícolas (Albuquerque et al., 2001). De uma maneira geral, todos os solos sob pastejo sofrem compactação devido ao tráfego dos animais, sobretudo os solos argilosos quando úmidos (Tanner & Mamaril, 1959; Trein et al., 1991; Correa & Reichardt 1995) ou quando são utilizadas intensidades de pastejo demasiadamente altas (Bertol et al., 1998; Bertol et al., 2000).

A perda de produtividade de uma pastagem cultivada pode derivar principalmente do manejo inadequado do solo, embora muitas vezes se procure associar a degradação das pastagens exclusivamente com a redução da fertilidade do solo. No entanto, respostas insatisfatórias à adubação podem ser resultantes da degradação física do solo, devido ao aumento da densidade e à adsorção de fósforo (Camargo & Aleoni, 1997). Mesmo com bons níveis de fertilidade, a degradação física do solo pode inviabilizar a pastagem. A compactação degrada a qualidade física do solo, reduzindo a produtividade do sistema (Silva et al., 1997). Estes autores também relatam que altas pressões são aplicadas ao solo pelos cascos dos animais. Estimaram em 0,35 MPa a pressão aplicada no solo por um bovino de 400 kg, que ocasionou compactação na profundidade de 7 a 10 cm. Comentam ainda, que num sistema de pastejo intensivo, o fator do solo determinante na redução da produtividade das culturas é a degradação da sua qualidade física, a qual está intimamente associada à compactação.

Segundo Souza et al. (1998), bovinos em pastejo exercem uma pressão ao solo 106% superior à exercida por pneus de tratores. Watkin & Clements

(1978), estimaram a carga estática exercida no solo por bovinos entre 112 e 165 kPa, admitindo que durante a movimentação dos animais, esses valores são consideravelmente maiores.

De acordo com Salton et al. (1999b), para a sustentabilidade do plantio direto, em muitas situações, faz-se necessário integrar a produção de grãos com produção de forragens, sendo uma prática usual o cultivo de espécies forrageiras na entressafra. O pisoteio dos animais pode causar alterações nos atributos físicos do solo. Em pastejo de aveia, em um Latossolo Roxo distrófico, os autores concluíram que houve aumento da densidade do solo, na camada de 0-5cm, em mais de 50% da área.

Lanzanova et al. (2004) ao avaliarem a infiltração de água no solo pelo método dos anéis concêntricos em área com influência de pastejo, e encontraram sensível redução na taxa de infiltração à medida que foi reduzido o tempo de retorno dos animais aos poteiros. Atribuíram a redução na infiltração e conseqüentemente na lâmina de água infiltrada à degradação da estrutura superficial do solo pela ação da pressão aplicada pelo casco dos animais.

Cassol (2003) define uma pastagem mal manejada, em termos de carga animal, a que resultará numa baixa produção de massa de forragem, compactação superficial, diagnosticada por aumento na densidade do solo e redução da macroporosidade, com decorrente redução da taxa de infiltração e infiltração acumulada.

#### **2.1.4.1 Compactação do solo**

Quando um solo não saturado é submetido a uma determinada pressão, ocorre o processo de compactação, ocasionando redução de volume e conseqüente aumento da densidade (Gupta & Allmaras, 1987). O tráfego agrícola com tratores e máquinas pesadas tem produzido problemas de compactação do solo (Hakansson & Reeder, 1994).

Segundo Botta (2005), a compactação condicionada por ação antrópica tem origem no pisoteio animal, preparos contínuos de solo, ação da água em sistemas de irrigação e pressão exercida pelo tráfego de veículos e implementos. A manipulação do solo induz à aplicações de forças e a



compactação é uma das deformações resultantes dessa manipulação (Vandenberg, 1966).

Mesmo em semeadura direta ocorre tráfego, no mínimo nas operações de semeadura e colheita, cujos rodados dos tratores e colhedoras tem grande potencial de compactação do solo em superfície e subsuperfície (Schuler & Wood, 1992). Solos mais compactados aumentam o desempenho dos pneus ao exercerem tração, mas requerem mais esforço para serem mobilizados, aumentam o desgaste de máquinas e equipamentos e podem prejudicar ou mesmo impedir o desenvolvimento radicular das plantas (Reinert et al. 1998). Para tração e transporte, os pneus necessitam superfícies suficientemente firmes e secas para desempenhar as operações de forma eficiente. Por outro lado, os requerimentos das plantas quanto às condições do solo para seu crescimento e desenvolvimento, são totalmente opostas, requerem solo não compactado, friável e úmido (Terminello & Palancar 2005). Levien (1999), trabalhando com diferentes manejos no preparo do solo e condições de cobertura do solo, detectou maiores valores de densidade e resistência do solo à penetração até a profundidade de 21cm, com o incremento desses valores em função do tempo de uso sob plantio direto, quando comparados aos valores obtidos em áreas com mobilização do solo.

Estudando o efeito do pisoteio animal sobre atributos físicos de um solo de várzea, Vizzoto et al. (2000) observaram que houve redução da porosidade total e aumento da densidade do solo nos primeiros 5 cm de profundidade e que um período de seis meses após o término do pastejo não foi suficiente para que as raízes das plantas revertem a compactação do solo. Porém, este período de tempo foi suficiente para a macroporosidade do solo atingir níveis semelhantes aqueles encontrados antes do início do pisoteio. De acordo com Broch (2000), ocorre a compactação do solo sob pastejo, porém, a mesma é superficial e temporária, pois após a morte e a decomposição do sistema radicular das espécies forrageiras, ocorre a formação de vários canais no solo que permitem a infiltração de água e de ar e o deslocamento de nutrientes em profundidade. Este autor afirma ainda que, normalmente abaixo dos oito centímetros, o solo sob pastejo encontra-se descompactado devido à abundância de raízes.

#### **2.1.4.2 Resistência do solo à penetração**

O crescimento radicular ocorre via exploração da porosidade já existente no solo ou através da abertura dos poros, superando a resistência mecânica oferecida pela matriz do solo (Dexter, 1988). Sendo assim, quanto maior a resistência do solo à penetração, maior a dificuldade encontrada pelas plantas em estabelecer suas raízes adequadamente no perfil do solo. Também, conforme o mesmo autor, o aumento na resistência do solo à penetração não representa gasto adicional de energia à planta; mas o crescimento radicular e o volume de solo explorado pelas raízes, são diminuídos em função do aumento na resistência mecânica. Conseqüentemente, com agravamento sob condições de estresse hídrico, o volume explorado pelas raízes pode não ser suficientemente grande para que a demanda hídrica e de nutrientes por parte da planta seja atendida.

A quantificação da resistência do solo ao crescimento radicular tem sido feita mediante métodos que tentam simular a penetração das raízes no solo, por meio do emprego de hastes metálicas, providas ou não de um cone na extremidade a ser introduzida ao solo. A resistência do solo à penetração depende diretamente de duas características do solo: o teor de água e a densidade do solo. Alguns trabalhos científicos demonstram que a resistência do solo à penetração aumenta e diminui de maneira exponencial, respectivamente, com a redução no conteúdo de água e incremento na densidade do solo (Tormena et al., 1998a; Imhoff et al., 2002; Leão et al., 2002).

Solos fisicamente degradados tendem a apresentar valores de resistência à penetração e de densidade elevados. Os dados obtidos em penetrometria podem ser distorcidos pela umidade do solo, mascarando a elevada resistência à penetração, quando a mesma for elevada. Portanto, a análise correta dos dados de resistência do solo à penetração exige o conhecimento do teor de água sob a qual o ensaio foi executado (Camargo 2006).

Magalhães et al. (2005) avaliaram as relações entre a resistência do solo à penetração, expressa na forma de índice de cone, e os teores de argila mais silte, matéria orgânica e teor de água. Encontraram que a resistência do

solo à penetração aumentou com o decréscimo do teor de água, com a redução do teor de argila mais silte e de matéria orgânica. Atribuíram à interação entre textura do solo e teor de matéria orgânica, a possibilidade de minimizar os efeitos da compactação em solos de textura mais fina.

Embora o crescimento das raízes seja altamente correlacionado com a resistência do solo à penetração, os mecanismos de atuação das raízes e dos penetrômetros são distintos (Leão, 2002; Camargo, 2006). Dessa forma, a resistência oferecida pelo solo ao cone pode ser maior que aquela encontrada pelas raízes durante o crescimento (Bengough & Mullins 1990). A principal justificativa para este comportamento é que a resistência ao penetrômetro é influenciada pela textura do solo. A utilidade do penetrômetro na medida da compactação do solo é limitada à medidas feitas para o mesmo solo e com mesmo teor de água. Por isso é recomendada a apresentação dos dados de umidade do solo, juntamente com os de resistência do solo à penetração. Quanto mais seco estiver o solo, maior sua resistência à penetração. A maioria dos penetrômetros tem diâmetro maior que as porções das raízes que estão se alongando.

A resistência real exercida pelo solo à penetração radicular é, geralmente, menor que a resistência medida pelo penetrômetro, já que as raízes procuram os espaços de maior fraqueza durante seu crescimento. A ponta das raízes tem normalmente camadas de mucilagem que reduzem o coeficiente de fricção na superfície de contato com o solo. A raiz se deforma facilmente, enquanto a ponta do penetrômetro é rígida. Deve-se tomar muito cuidado ao usar o penetrômetro em solos pedregosos, pois apenas um fragmento de rocha pode invalidar a leitura (Camargo 2006).

De forma generalizada, o valor de 2 MPa é aceito como sendo o limite acima do qual o crescimento radicular é prejudicado (Silva et al., 1994; Tormena, 1998b; Leão, 2002; Imhoff, 2002). Sene et al. (1985), consideram críticos os valores que variam de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos.

Conforme Lanças (1991), pela facilidade e rapidez com as quais numerosas medidas podem ser realizadas, a resistência do solo à penetração é freqüentemente utilizada para a indicação comparativa do nível de

compactação em solos de mesmo tipo e com mesmo teor de água. O penetrômetro de cone é um dispositivo simples e muito usado por pesquisadores, pois permite fazer muitas medições de forma rápida, e assim compensar a alta variabilidade do parâmetro resistência à penetração, permitindo obter dados a profundidades maiores de 60 cm, onde é complicado se amostrar a densidade do solo (Jorajuría Colazo, 2005).

#### **2.1.4.3 Densidade e porosidade do solo**

A densidade do solo corresponde à relação existente entre a massa de sólidos e o seu volume total, incluindo os espaços ocupados por ar e água, que correspondem à porosidade (Kiehl, 1979; Hillel, 1982). De acordo com este conceito, a densidade do solo é definida pelos parâmetros massa e volume. A massa do solo é representada unicamente pela massa de suas partículas e, portanto, não apresentando alterações. Apenas variações acentuadas no teor de matéria orgânica, dificilmente alcançáveis em nível de campo, são capazes de mudar a massa de solo. O volume do solo, por sua vez, inclui o volume das partículas e do espaço poroso. Da mesma forma que a massa, o volume das partículas também não se altera em curto espaço de tempo. Portanto, o fator mais relevante do qual a densidade depende, é o volume do espaço poroso, de maneira que, quanto menor a densidade, maior o volume de poros.

De acordo com Reichardt (1978), a amplitude de variação da densidade do solo, em geral, situa-se dentro dos seguintes limites médios, de acordo com a sua textura: solos argilosos: 1,0 a 1,4 Mg m<sup>-3</sup>; solos arenosos: 1,2 a 1,6 Mg m<sup>-3</sup>; solos húmicos: 0,7 a 1,0 Mg m<sup>-3</sup>; e solos turfosos de 0,2 a 0,5 Mg m<sup>-3</sup>. Os solos arenosos possuem densidades mais elevadas, especialmente aqueles com baixos teores de matéria orgânica, devido às partículas permanecer mais coesas (Brady, 1989). Ainda, de acordo com esse autor, solos com elevados teores de argila e matéria orgânica normalmente apresentam valores de densidades menores devido às partículas estarem agregadas.

A densidade é a medida quantitativa mais direta da compactação do solo. Dentre os vários métodos usados para sua determinação, destaca-se o do anel volumétrico, possuindo bordas cortantes e volume conhecido. Outros

métodos permitem a obtenção de melhores resultados, mas exigem o uso de aparelhos mais sofisticados. Vaz et al. (1992), por exemplo, usaram a técnica da tomografia computadorizada de raios gama na avaliação do estado de compactação. Os autores constataram que a tomografia computadorizada pode ser utilizada com sucesso, pois foi sensível, precisa, não destrutiva e possibilitou a medida da densidade e do teor de água do solo em amostras indeformadas. Além disso, mostrou-se superior ao penetrômetro de impacto, tanto na resolução, quanto no tipo de informações geradas.

A adição de material orgânico por meio de plantas de cobertura ou aplicação de adubos orgânicos é uma medida que, a médio e longo prazo, tende a melhorar a qualidade física do solo para o desenvolvimento das culturas. A matéria orgânica é um dos principais agentes cimentantes que atuam na formação e na estabilização dos agregados (Dexter, 1988; Bayer & Mielniczuk, 1999; Silva et al., 2002). Neste contexto, Dexter (1988) afirma que solos agregados se caracterizam por uma maior porosidade total, especialmente no que se refere aos macroporos, e por uma menor densidade e resistência à penetração.

Kiehl (1979) indica que, idealmente, um solo deve possuir 50% do seu volume ocupado por poros; deste volume, 1/3 deve corresponder aos macroporos e 2/3 aos microporos, e 50% de sólidos (45% de matéria mineral e 5% de matéria orgânica). Considera-se que, em média, a porosidade total dos solos arenosos varia de 35 a 50% e a dos argilosos de 40 a 60%. Raras vezes se encontram solos de textura grosseira de porosidade total inferior a 30% ou solos de textura fina com volume total de poros superior a 60%.

Somente solos ricos em matéria orgânica apresentam porosidade entre 60 e 80%. A matéria orgânica, além de dificultar o arranjo compacto das partículas é, por si, um material poroso. Segundo Bertoni (1990), solos com textura mais fina têm maior porosidade, porém necessitam de maiores cuidados na manutenção da aeração. Da mesma forma, os solos cultivados têm menor porcentagem de porosidade quando comparados com os mesmos solos não cultivados.

A porosidade do solo é fundamental, pois permite a entrada, transporte e armazenamento de ar e de água no solo, bem como confere consistência adequada para a penetração das raízes e a emergência das

plantas. Assim a porosidade é um atributo importante que deve ser considerado na avaliação da qualidade estrutural do solo. Segundo Baver et al. (1972), valores críticos de macroporosidade estão abaixo dos valores compreendidos entre 0,10 e 0,16 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Para Da Ros et al. (1997), valores de macroporosidade dentro das condições ideais estão na faixa de 0,09 a 0,12 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>, podendo a redução da macroporosidade causar um decréscimo da permeabilidade do solo.

De acordo com Imhoff (2002), solos pouco densos e porosos favorecem o crescimento das plantas, ao prover adequada aeração e baixa resistência mecânica à penetração do sistema radicular. Conforme o mesmo autor, solos com densidades moderadas apresentam maior volume de água disponível e maior condutividade hidráulica, o que aumenta a probabilidade de que a demanda hídrica da planta seja atendida. Além disso, solos com densidade baixa se caracterizam por uma maior capacidade de infiltração, o que, além de aumentar a água disponível às plantas, reduz o escoamento superficial e, conseqüentemente, as taxas de erosão.

A densidade do solo depende do grau de estruturação do solo. Neste sentido, Dexter (1988) afirma que a estrutura do solo é amplamente variável no espaço e no tempo, além de ser modificada pelas práticas de manejo adotadas. Assim, a densidade do solo tem sido utilizada como indicador do impacto de práticas de manejo sobre a qualidade física do solo (Leão, 2002; Imhoff, 2002). Embora na teoria a densidade e a porosidade do solo se constituam em indicadores de qualidade física do solo, alguns trabalhos (Centurion & Demattê, 1985; Uhde et al., 1996) têm demonstrado que esta variável é pouco sensível a alterações no manejo, como por exemplo, nos sistemas de preparo do solo, comparativamente a outros indicadores, como a resistência à penetração e a capacidade de infiltração de água no solo.

Henklain (1997), estudando a influência do tempo de manejo sobre os atributos físicos do solo, encontrou menores valores de densidade do solo e maior volume de macroporos em áreas sob plantio direto após 20 anos de cultivo. Em contrapartida, Beutler et al. (2001), trabalhando em Latossolo Vermelho distrófico sob irrigação, após seis anos de cultivo, detectaram maiores valores de densidade do solo na camada de 0-5cm em plantio direto, quando comparado com sistemas de preparo que mobilizam o solo.

Possivelmente esses resultados contraditórios devem-se ao tempo de adoção do sistema e a resposta deste frente as alterações no manejo.

Primavesi et al. (1984), para avaliar alterações decorrentes da compactação do solo, determinaram a densidade do solo, a porosidade de aeração ou porosidade livre de água, a resistência à penetração e a condutividade hidráulica saturada. A porcentagem de poros de aeração foi o indicador mais adequado, talvez por ser menos afetada por fatores externos, como a água, ou mesmo por fatores inerentes às partículas sólidas, como sua densidade.

Estudando os efeitos da presença de animais sobre a cultura de inverno na densidade e porosidade do solo e os reflexos na produtividade de soja, em sistema com rotação de culturas (soja-milho), e monocultivo de soja, Girardello et al. (2004), relatam que maiores diferenças na densidade e porosidade são encontradas na camada de 0 a 5 cm. A macroporosidade mostrou-se mais sensível à mudanças impostas no manejo do solo e presença de animais.

Sommer (1976), citado por Jorajuría Colazo (2005), encontrou em seus estudos que a proporção de macroporos diminuiu drasticamente com a aplicação de pressões ao solo, enquanto que a quantidade de mesoporos aumentou, assim como os microporos, estes em menor escala. A eliminação de parte dos macroporos reduziu drasticamente a infiltração de água, por serem estes os responsáveis por promover a entrada e drenagem de água no perfil do solo.

Os efeitos da compactação sobre as propriedades físicas do solo têm sido claramente demonstrados. Dias Junior & Pierce (1996) afirmam que a compactação aumenta a densidade do solo e a sua resistência mecânica e diminui a porosidade total em função, principalmente, da redução no volume de macroporos. Foi provado que o aumento da compactação modifica as curvas características de água no solo e reduz sua condutividade hidráulica, diminuindo a disponibilidade de água às plantas (Dexter, 2004). Valores de porosidade de aeração abaixo do nível considerado crítico (10%), por sua vez, são atingidos sob menores teores de umidade (Imhoff, 2002). No que se refere ao desenvolvimento das plantas, os maiores prejuízos parecem estar

relacionados às relações hídricas e de aeração do solo, bem como ao aumento da resistência do solo à penetração das raízes (Imhoff, 2002; Leão, 2002).

## **2.2. Semeadura direta em Integração Lavoura-Pecuária**

Silva (2001) relata que o plantio direto no Brasil teve aumento considerável a partir da década de 90, sendo que na safra 2000/01 aproximadamente 13 milhões de hectares foram explorados sob esse sistema. O autor informa também que o plantio direto tem demonstrado maior capacidade de melhorar as condições físicas do solo que o sistema convencional, devido à cobertura da superfície do solo, a qual se comporta como camada isolante interposta entre o solo e a atmosfera, criando um ambiente diferente do encontrado em preparo convencional. Na safra 2005/06 já estavam sendo cultivados 25,5 milhões de hectares sob semeadura direta no Brasil, sendo que na safra 2004/05 o país era o segundo do mundo em área sob esse sistema de cultivo, ficando atrás somente dos Estados Unidos (FEBRAPDP 2007).

Do ponto de vista conservacionista, doses elevadas de resíduos culturais sobre a superfície do solo são benéficas, especialmente no sistema de semeadura direta. No entanto, Herzog et al. (2002) verificaram que, quanto maior a dose de resíduo sobre a superfície, maiores foram os índices de patinação dos rodados do trator, em mesma exigência de força de tração.

Para que o sistema de plantio direto possa manifestar o seu potencial, Denardin & Kochhann (1993) propoem adição anual de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de palha na superfície. Já para Bayer (1996), o aporte anual de palha deve ser de 10 a 12 Mg ha<sup>-1</sup>. O autor comenta que quantidades tão elevadas de palha somente são possíveis em sistemas de produção que incluam a utilização de culturas de cobertura e rotação de culturas e que a cultura da soja, devido à pequena quantidade de palha produzida (2,5 Mg ha<sup>-1</sup>ano), necessita ser precedida por cultura com elevado potencial de produção de palha.

Calegari (2000), afirma que o sistema de plantio direto com o emprego de plantas de cobertura, conduzidas em rotação com cultivos comerciais, permite melhor distribuição do trabalho durante o ano, resultando em economia e diversificação. Esse método promove maior diversidade



biológica e melhor redistribuição e aproveitamento de nutrientes no solo, mostrando ser um sistema sustentável.

Machado et al. (1998) citam que, no sistema de integração lavoura-pecuária, as espécies anuais de forrageiras são mais indicadas para o plantio na entressafra das lavouras anuais, pois se estabelecem com maior rapidez e menor custo que as espécies perenes. Ainda, citam que o pisoteio animal causa compactação apenas até dez centímetros de profundidade, podendo ser rompida com o uso de sulcadores do tipo facão nas semeadoras-adubadoras para implantação das culturas de verão.

### **2.3. Demanda de tração em semeadoras-adubadoras**

O pisoteio animal ao resultar em compactação do solo, possivelmente interfira nas relações que se estabelecem entre as hastes sulcadoras de adubo usadas em semeadura direta e o solo, podendo aumentar a força de tração requerida pelas mesmas. O esforço de tração exigido nas hastes depende das características construtivas das mesmas, como ângulo de ataque e largura da ponteira e o formato, espessura e ângulo de inclinação da haste (Sánchez-Girón et al., 2005). Além disso, esse parâmetro aumenta com o incremento da profundidade de trabalho (Levien, 1999) e da resistência do solo ao cisalhamento (Sánchez-Girón, 1996).

A resistência ao cisalhamento é proporcional à coesão e ao ângulo de atrito interno do solo, sendo que a magnitude dessas variáveis é maior em solos compactados (Secco, 2003). Assim, incrementos na demanda de força de tração de hastes sulcadoras em função da compactação do solo são esperados e foram relatados em trabalhos como os realizados por Tullberg (2000) e Sanchez-Girón et al. (2005). No entanto, são poucos os trabalhos realizados com o intuito de verificar se o pisoteio animal é capaz de compactar o solo ao ponto de aumentar a demanda de força de tração das hastes sulcadoras de adubo.

As necessidades de tração dos implementos agrícolas são dependentes de variáveis como o solo, o próprio implemento e outras. No solo, destacam-se a distribuição de tamanho dos agregados, a textura, o teor de água, a densidade do solo, a estrutura, os efeitos da declividade, da vegetação

e dos resíduos de culturas anteriores. No implemento, podem influir no esforço de tração, o tipo de ferramenta usada, as características do metal que está em contato com o solo, a superfície em contato com o solo, a curvatura, a forma e as condições da superfície da ferramenta onde a força é aplicada, (Modolo, 2005). Outras variáveis envolvem largura e profundidade do sulco e velocidade de deslocamento da máquina (Telischi et al., 1956, citados por Faganello, 1989).

Bordignon et al. (2005), avaliando esforço em hastes sulcadoras e discos de corte de resíduos, em Latossolo vermelho distroférico (60% argila), e em diferentes velocidades (6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>) e profundidades (8, 13 e 18 cm), obtiveram valores crescentes de esforço vertical no disco de corte com o aumento de velocidade e profundidade, assim como na haste sulcadora. Os valores encontrados no disco de corte variaram de 770 a 956 N, enquanto que na haste sulcadora foram de 485 a 2934 N, respectivamente para a menor e maior profundidade e velocidade.

Em se tratando de semeadoras-adubadoras, o maior esforço de tração pode ocorrer, também, pela maior profundidade de atuação dos órgãos ativos, especialmente discos de corte de resíduo e sulcadores para abertura de sulcos de adubação e semeadura (ASAE, 1999).

Cepik et al. (2005a), utilizando dados de esforço de tração em hastes sulcadoras na semeadura de milho em Argissolo, conseguiram mapear de forma indireta zonas de maior compactação do solo pela maior demanda de tração nessas áreas. Os autores vêem essa possibilidade como uma relevante ferramenta dentro da agricultura de precisão, por poder correlacionar este tipo de mapa com outros que informam atributos de solo e da cultura atualmente gerados na agricultura de precisão. O mapeamento de zonas compactadas pode ser um importante fator na tomada de decisão de ações mecânicas para reverter a degradação física do solo, possibilitando restringir o preparo às áreas que realmente necessitam e, assim, economizando em operações de descompactação, por exemplo.

Cepik et al (2005b) avaliaram a demanda de tração em hastes de semeadora e patinagem do rodado, operando em Argissolo, com seis diferentes doses de cobertura de solo por resíduos culturais e duas profundidades de atuação (6 e 12 cm). A patinagem aumentou com a maior

presença de resíduos sobre o solo e também com o aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora. Já, o esforço de tração na haste não foi influenciado pelas doses de resíduos, e foi 33% maior quando a haste trabalhou a 12 cm, em relação a 6 cm, ficando aquém dos valores estipulados pela ASAE (1999).

Bortolotto et al. (2005), trabalhando em Latossolo Vermelho distrófico, com diferentes condições de cobertura de solo (vegetação espontânea, aveia dessecada e aveia dessecada + rolada) e velocidades de deslocamento, avaliaram a força de tração por linha de semeadura, energia por área trabalhada e patinação dos rodados do trator. Encontraram valores de força de tração demandada pertinentes com os encontrados na norma ASAE (1999), que considera 3400 N (+/- 35%) por linha de semeadura munida de hastes sulcadoras, porém sendo maiores nas maiores velocidades de operação. Já, os valores de patinação dos rodados do trator foram um pouco superiores (7 a 10%) aos recomendados pela ASAE (1989) para obtenção da máxima eficiência de operação em solos não mobilizados. As condições de cobertura do solo não interferiram na velocidade de deslocamento do trator.

Jorajuría Colazo (2005) relata que cultivos repetidos promovem compactação e que o preparo continuado do solo eleva sua densidade. O processo de compactação também pode ocorrer em pastagens, com pastejo contínuo e em presença de alta umidade. Como resultado da compactação há redução do espaço poroso, com possível déficit de oxigênio para as raízes, aumento no esforço de tração em equipamentos e, conseqüentemente, do consumo de combustível nos preparos.

#### **2.4. Resposta do sistema radicular à compactação do solo**

Existem diversos fatores que ocasionam um crescimento deficiente do sistema radicular de plantas cultivadas, podendo ser citados danos causados por insetos e moléstias, deficiências nutricionais, acidez do solo, drenagem insuficiente, baixa taxa de oxigênio, temperatura imprópria do solo, compactação do solo e dilaceramento radicular. Dentre essas limitações, a compactação do solo assume relevância, pois ao causar restrição ao crescimento e desenvolvimento radiculares, acarreta uma série de problemas

que afetam direta e indiretamente a produção das plantas (Camargo, 2006). Muita atenção deve ser dada a esse fato, pois a compactação do solo agrícola é um conceito complexo e de difícil descrição e mensuração. Além do mais, está intimamente relacionada a atributos físicos, químicos e biológicos que, reconhecidamente, são importantes ao desenvolvimento das plantas e cujos efeitos sinérgicos podem agravar significativamente o problema.

As raízes das plantas de ciclo anual ocupam menos que 5% do volume do solo, considerando os 15 cm superficiais, onde são mais abundantes e nessa profundidade ocorre a maior compactação proporcionada pelo tráfego de máquinas e animais. Em muitas espécies, o volume ocupado decresce rapidamente com a profundidade (Gregory 1992). Daí se deduz que apenas uma pequena fração de solo na zona radicular está em contato direto com as raízes. Por isso, o funcionamento das raízes nos solos é determinado, não só pelas características fisiológicas do sistema radicular, mas também por fatores edáficos, como a compactação do solo, que determina a velocidade com que os nutrientes e a água se movem até a interface solo-raiz. O crescimento radicular se dá quando células da região meristemática se dividem, alongam e levam a ponta da raiz através do material adjacente. A pressão de turgor nas células que se alongam é a força direcional e deve ser suficiente para sobrepor a resistência da parede celular ou outra resistência externa qualquer. Sendo assim, a pressão de turgor celular, a resistência da parede celular às solicitações e a resistência do meio à deformação são fatores importantes na avaliação do crescimento radicular através do solo.

Um impedimento mecânico provoca decréscimo na taxa de crescimento celular porque ocorre diminuição na taxa de divisão celular do meristema e no comprimento das raízes (Bengough & Mullins, 1990, Camargo, 2006).

A soja tem sido amplamente cultivada no Brasil por sua importância alimentar e econômica e vem sendo crescente sua utilização no sistema de plantio direto (SPD). Entretanto, o tráfego de máquinas pesadas no SPD tem provocado compactação superficial do solo (Silva et al., 2000b) e reduzido a produtividade das culturas (Beutler & Centurion, 2004).

Os fatores do solo que afetam o desenvolvimento radicular podem ser classificados em fatores químicos, como nutrientes e elementos tóxicos, e

fatores físicos, como resistência mecânica à penetração, disponibilidade hídrica e aeração (Rosolem, et al.1994). De acordo com Gupta & Allmaras (1987), num solo não saturado submetido a uma determinada pressão, ocorre redução de volume, com conseqüente aumento de densidade, caracterizando o processo de compactação do solo. O arranjo estrutural da fração mineral e orgânica do solo, a consistência, a porosidade total, o número e tamanho dos poros e, por conseguinte a difusão de gases é diminuída pela compactação, que acaba afetando o crescimento de raízes (Taylor & Brar, 1991). Segundo Camargo & Alleoni (1997), o uso intensivo de máquinas tem tornado comuns os problemas de compactação em solos agrícolas. O desenvolvimento radicular se dá quando a pressão de crescimento das raízes for maior do que a resistência mecânica do solo à penetração (Passioura, 1991). Tormena et al., (1998) e Silva et al. (2002) relatam que um valor de 2 MPa de resistência do solo à penetração tem sido associado à condições impeditivas para o crescimento das raízes e, conseqüentemente, ao desenvolvimento da parte aérea das plantas.

Para Materechera et al. (1992), a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada, promovendo modificações morfológicas e fisiológicas específicas a cada espécie ou cultivar, na tentativa de se adaptarem à condição adversa e inadequada para o desenvolvimento, resultante do processo de compactação. As raízes diminuem de diâmetro para penetrar pequenos poros, pois a resistência mecânica do solo estimula a proliferação de raízes laterais, as quais são mais finas (Russel & Goss, 1974). No entanto, existe uma estreita relação entre porosidade do solo e crescimento radicular, com maior crescimento de raízes onde há maior número e continuidade de macroporos (Hatano et al., 1988). Para Bennie (1996), é difícil generalizar conclusões, pois a influência da compactação do solo sobre o crescimento radicular é decorrente de diversos fatores, que dependem das espécies e suas características genéticas, das condições ambientais e do estágio de desenvolvimento do vegetal.

Queiroz-Voltan et al. (2000) relatam que, em solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes é prejudicado e estas são as responsáveis pela absorção de água e de nutrientes. Os mesmos autores mencionam que a quantidade de oxigênio na rizosfera pode ser limitante nos

processos metabólicos. Para Hakansson et al. (1998), o menor desenvolvimento do sistema radicular em solos compactados resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente, menor absorção de água e nutrientes.

Resultados obtidos em casa de vegetação por Guimarães et al. (2002), assim como no campo por Merten & Mielniczuk (1991) e Silva et al., (2000a), indicam que as raízes apresentam dificuldades em penetrar nas camadas compactadas. Isto é evidenciado pelo maior desenvolvimento radicular na camada imediatamente superior ou inferior, menos compactada, como forma de compensar a redução do desenvolvimento radicular na camada de solo compactada. Mielniczuk et al. (1985) constataram uma redução de 86% no comprimento radicular da soja, em vasos, quando a resistência do solo à penetração foi de 2,35 MPa, porém, não decrescendo a massa de matéria seca da parte aérea, em um Latossolo Roxo.

As principais modificações morfológicas nas raízes, provocadas pela restrição ao crescimento, são o aumento do diâmetro e da tortuosidade e a diminuição do comprimento. Essas alterações na arquitetura radicular, geralmente, são decorrentes do crescimento das raízes nos pontos de menor resistência oferecidos pelo solo (Borges et al., 1988), como canais deixados por raízes decompostas e fendas naturalmente encontradas no solo (Keisling et al., 1995). Assim, uma das estratégias para amenizar os efeitos da compactação pode ser o cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso, que deixem canais que propiciem condições ao desenvolvimento de raízes da cultura subsequente (Wang et al., 1986). Desta forma, espécies de crescimento inicial rápido e agressivo, que proporcionam boa cobertura do solo (Nuernberg et al., 1986), com raízes capazes de penetrar em camadas com altas resistências à penetração (Alvarenga et al., 1996), permitiriam melhor desenvolvimento da cultura sucessora.

Montico & Bonel (2005) avaliaram o desenvolvimento do sistema radicular da soja por meio de modelos matemáticos, contínuo e reticulado, nas linhas de tráfego de um trator, trator mais reboque de 10 Mg e locais sem tráfego. Retiraram plantas de soja para medição do sistema radicular a cada sete dias, por 90 dias do ciclo e concluíram que, quanto maior a compactação, maior o comprimento dos eixos radiculares e menor o número de bifurcações.

Na condição de solo não compactado por tráfego, as raízes apresentaram maior número de bifurcações e menor comprimento total, mas que proporcionou uma melhor absorção de água e nutrientes, por explorar maior volume de solo e ter maior área de interface solo-raíz.

Tanto a deficiência de oxigênio (Hillel, 1982), quanto à elevada resistência à penetração (Unger & Kaspar, 1994; Rosolem et al., 2002; Beutler & Centurion, 2004), diminuem o crescimento e a efetividade das raízes, afetando negativamente a absorção de nutrientes e água. Neste sentido, Tubeileh et al. (2003) relatam que as raízes ao encontrarem um ambiente desfavorável, como um solo compactado, produzem e lançam no xilema, sinais de natureza bioquímica, constituídos pelo fitohormônio ácido abscísico, (ABA).

Ao ABA é atribuído a diminuição da condutividade dos estômatos, fato que reduz a taxa de assimilação de carbono e, por conseguinte, o crescimento da parte aérea das plantas. Diversas investigações têm demonstrado que a planta compensa o menor crescimento radicular em profundidade aumentando o volume de raízes na camada de solo acima da que se encontra compactada (Rosolem et al., 2002; Silva & Rosolem, 2002; Foloni et al., 2003; Beutler & Centurion, 2004). Beutler (2005) na profundidade de 0 a 20 cm encontrou valores de massa seca de raízes de 14,5 e 12,5 Mg ha<sup>-1</sup> para o consórcio de aveia mais ervilhaca e aveia solteira, respectivamente, sendo que a quantidade de raízes mensurada no campo nativo foi pouco inferior a da cultura da aveia, com 12,1 Mg ha<sup>-1</sup>. Já Lunardi (2005), trabalhando em pastagem composta por azevém, em baixa intensidade de pastejo, no método contínuo, quantificou maior massa de raízes onde o pastejo foi mais intenso, obtendo 6,5 Mg ha<sup>-1</sup> de raízes na camada de 2,5 a 5,0 cm. Na camada superficial, de 0 a 2,5 cm, encontrou massa de raízes oscilando de 4,4 a 5,0 Mg ha<sup>-1</sup>.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Histórico e localização

O experimento vem sendo conduzido desde maio de 2001 em área pertencente à Fazenda do Espinilho, localizada no município de São Miguel das Missões-Rio Grande do Sul, região fisiográfica do Planalto Médio, tendo a localização geográfica designada pela latitude 29° 03' 10" ao sul, e longitude 53° 50' 44" a oeste, a uma altitude de 465 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 1999) (unidade de mapeamento Santo Ângelo), com textura argilosa. O relevo é ondulado a suavemente ondulado e a localização na paisagem, é topo de colina, com declividade variada de 0,02 a 0,10 m m<sup>-1</sup>. A área, na qual foi implantado o experimento, estava sendo conduzida sob sistema plantio direto desde 1994, sendo utilizada no verão para produção de grãos com a cultura da soja (*Glycines max*) e no inverno para produção de semente de aveia, usada no estabelecimento de pastagens da própria fazenda.

No mês de julho de 2000, iniciou o uso desta área para pastejo, com o primeiro evento de presença de animais na área experimental, que permaneceram por um período de três semanas sobre uma pastagem consorciada de aveia preta+azevém (*Avena strigosa* + *Lolium multiflorum*), implantada por semeadura direta. Após, a colheita das sementes dessas espécies forrageiras, que ocorreu ao final de outubro, foi estabelecida a cultura da soja, também em semeadura direta. No outono de 2001, após a colheita da soja o experimento teve início com a implantação da aveia preta (100 kg de sementes ha<sup>-1</sup>), implantada por semeadura direta, já que o azevém fora estabelecido por ressemeadura natural.



### **3.2. Caracterização da área experimental**

A área total do experimento é de aproximadamente 22 hectares, e foi dividido em três blocos, com quatro parcelas cada um, cujas áreas variam de um a três hectares. Entre os blocos, foi deixada uma faixa de 10 m, sem pastejo, com o mesmo manejo aplicado as demais parcelas, para a pastagem no inverno e para a cultura da soja, sendo o tratamento testemunha do experimento, porém este com duas repetições. Fez-se uma coleta de amostras de solo antes da entrada dos animais, em maio de 2001, para caracterização física e química da área. Também foi determinada a taxa de infiltração de água no solo pelo método dos anéis concêntricos, conforme metodologia descrita por Cauduro & Dorfman (1986), em três locais de cada parcela.

As propriedades físicas do solo determinadas em laboratório foram a densidade do solo, a macroporosidade e a microporosidade, nas camadas de 0 a 2,5, 2,5 a 5,0 e 5 a 10 cm. As químicas foram o pH do solo (em H<sub>2</sub>O), o índice SMP e cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), em camadas de 2,5 cm até a profundidade de 20 cm e na camada de 20 a 25 cm. Mais detalhes da implantação e condução desta área experimental, no período de 2.000 a 2.003, assim como os resultados dessas determinações são apresentados em Cassol (2003) e Flores (2004).

### **3.3. Tratamentos e condução inicial do experimento**

Os tratamentos principais foram obtidos pelo manejo da pastagem de inverno (aveia + azevém) em diferentes alturas: 10, 20, 30 e 40 cm e sem pastejo (SP), dispostos de acordo com o croqui da Figura 1. Os tratamentos foram arranjados em um delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com três repetições para as alturas de pastagem e duas repetições para a condição de ausência de pastejo. O acompanhamento da altura da pastagem foi feito a um intervalo aproximado de 14 dias, utilizando-se o método Sward Stick (Bircham, 1981). A altura da pastagem foi controlada pelo manejo da carga animal nas parcelas, a qual era variável. A área das parcelas eram diferentes, sendo maiores naquelas com menor pressão de pastejo, ou seja, com maior altura de manejo da pastagem. Foi adotado o pastejo contínuo,

sendo que os animais entravam na pastagem quando essa atingia uma determinada altura, e os mesmos deixavam a área quando do início da senescência da mesma, normalmente no início do mês de novembro, no primeiro ciclo de pastejo. Foram utilizados bovinos jovens, com idade entre 8 a 9 meses, com padrão racial variado, oriundos da própria Fazenda do Espinilho.

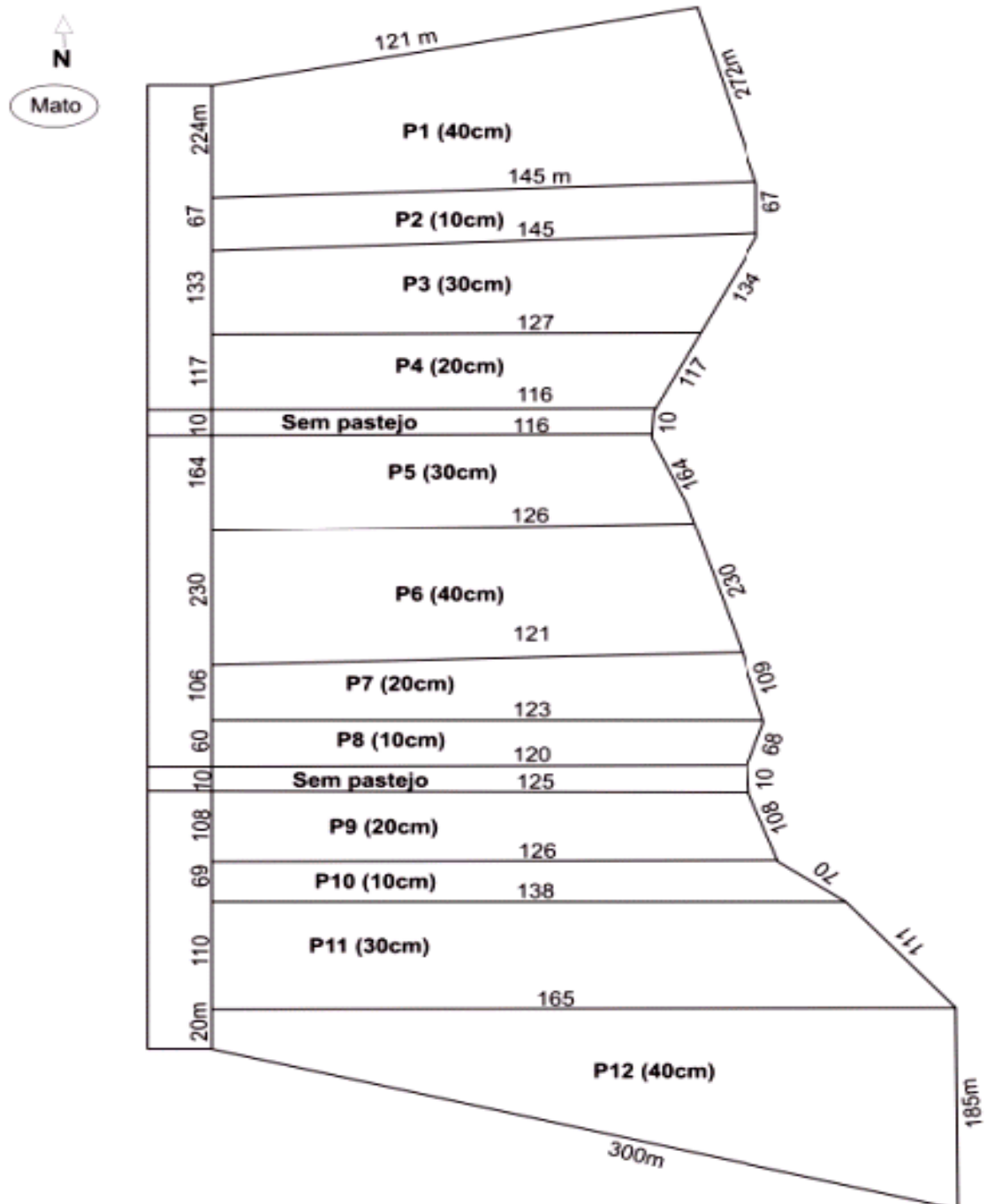


FIGURA 1. Croqui da área experimental. Fazenda do Espinilho – São Miguel das Missões/RS.

Os animais, com um peso médio de 220 kg, entraram na área experimental após a colheita da soja e estabelecimento da pastagem, quando esta possuía uma altura média de 25 cm e uma massa de forragem de 1,7 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca, em média. Os mesmos permaneceram em pastejo na área até metade de novembro, totalizando um período de pastejo de 110 dias.

Após a saída dos animais das parcelas, foi feita uma nova amostragem de solo, para se detectar possíveis alterações nas propriedades químicas e físicas do solo devidas ao pastejo. Após a amostragem do solo e antes da semeadura da cultura da soja (Novembro de 2001), foi feita na área, a aplicação superficial de calcário (PRNT 62%), na dose de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup>, que foi uniformemente distribuído na superfície por um caminhão equipado com dispositivo específico para esse fim. A cultura da soja foi implantada no primeiro decêndio do mês de dezembro, em semeadura direta, onde foi utilizada uma adubação de base com 300 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples. A variedade de soja utilizada foi a *Iguaçu*, caracterizada por apresentar ciclo precoce e crescimento indeterminado, que foi colhida no mês de maio 2002, totalizando um ciclo de 147 dias. Uma semana depois foi implantada, por semeadura direta, a pastagem de inverno, composta por 100 kg ha<sup>-1</sup> de aveia preta e 25 kg ha<sup>-1</sup> de azevém, sendo aplicada uma adubação inicial de 300 kg ha<sup>-1</sup> com superfosfato simples na semeadura, e após uma aplicação de nitrogênio na dose de 45 kg ha<sup>-1</sup> aos 39 dias, na forma de uréia.

O ciclo de pastejo seguinte iniciou no meio do mês de julho de 2002, época em que a pastagem apresentava uma altura média de 20 cm e um acúmulo de forragem de 1,47 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca. O manejo aplicado à pastagem e aos animais foi o mesmo ao do período de pastejo do ano anterior, de forma a se obter as alturas propostas. Este ciclo foi mantido até meados do mês de novembro, totalizando um período de pastejo de 120 dias. A continuidade da condução do experimento após a fase inicial descrita, até o final do quarto ciclo de pastejo, ocorrido em novembro de 2004, assim como os resultados obtidos, tanto nos dois primeiros ciclos de pastejo e no primeiro da cultura da soja, são encontradas em Cassol (2003). Já os manejos aplicados nos demais anos de condução, assim como os resultados obtidos foram apresentados por Flores (2004).

### **3.4. Etapa experimental referente ao presente trabalho**

Após encerrar o quarto período de pastejo nessa área experimental, com a saída dos animais no final do mês de novembro de 2004, foram iniciadas as amostragens referentes ao presente trabalho. O mesmo contempla dados obtidos em duas ocasiões; implantação da cultura da soja nas safras 2004/05 e 2005/06. Foram determinadas a massa seca de raízes e de resíduos da pastagem presentes após o término do período de pastejo, e realizadas amostragens a fim de determinar propriedades físicas do solo, como densidade, macro e micro porosidade e porosidade total, resistência mecânica do solo à penetração e teor de água do solo. O foco principal das investigações, no entanto foi a medição da força de tração demandada em hastes sulcadoras do tipo facão, que equipam dois modelos comerciais de semeadoras-adubadoras, assim como a mobilização de solo ocasionada pelas mesmas, quando em operação.

#### **3.4.1 Condução do experimento e amostragens na safra 2004/05**

As primeiras avaliações a campo foram realizadas no dia 12 de dezembro de 2004. Iniciou-se pela amostragem do residual da pastagem presente na superfície nos diferentes tratamentos de altura de pastejo e nas parcelas sem pastejo. Na seqüência, foram retiradas amostras de solo até 10 cm de profundidade com um trado calador com o objetivo de avaliar a massa de raízes. Paralelamente, procedeu-se a amostragem, com penetrômetro digital, da resistência do solo à penetração. Depois de realizadas as referidas amostragens, iniciou-se a semeadura da soja, sendo que essa operação foi realizada transversalmente as parcelas contendo os tratamentos. No decorrer da operação de semeadura, estando a semeadora-adubadora equipada com hastes instrumentadas para aquisição da demanda de tração, obteve-se os dados de esforço de tração nestas. A semeadora-adubadora estava equipada com três diferentes modelos de hastes sulcadoras, sendo que estas foram avaliadas atuando em duas profundidades. Após a semeadura avaliou-se a mobilização de solo provocada pela passagem das hastes, pela da medição da área transversal de sulco na linha de semeadura.

### **3.4.1.1 Máquinas e equipamentos utilizados**

A obtenção dos dados de esforço de tração foi feita na semeadura direta da soja, utilizando-se uma semeadora-adubadora de 5 linhas, marca Vence Tudo, modelo 11500, com espaçamento entre linhas de 0,40m. A linha de semeadura é constituída por um disco de corte de palha, um sulcador tipo facão para deposição de adubo, sistema de disco duplo desencontrado em “V” para deposição das sementes com rodas de borracha posicionadas lateralmente para limitação de profundidade de semeadura e roda de borracha plana para compactação do solo na linha. A profundidade de deposição de sementes foi regulada para 5 cm, enquanto que a aplicação do fertilizante mineral foi regulada para duas profundidades, sendo estas dependentes da haste utilizada nos testes.

Foram utilizadas três hastes sulcadoras de adubo denominadas como: haste normal de linha da Vence Tudo (HN) para operação de 6 até 12 cm, cujas informações técnicas constam no Apêndice 1; haste protótipo do IAPAR (HI) e haste longa da Vence Tudo (HL), esta detalhada no Apêndice 2, para operação de 9 até 18 cm. A haste HI foi desenvolvida por pesquisadores do IAPAR com objetivo de se obter menor exigência de esforço de tração na semeadura direta em solos argilosos, devido a sua configuração no que se refere à angulação da haste e ponteira.

O trator utilizado para tracionar a semeadora-adubadora foi da marca John Deere, modelo 5600, com Tração Dianteira Auxiliar (TDA), potência máxima no motor de 53 kW. A velocidade média de operação do conjunto trator/semeadora-adubadora foi de 5,6 km h<sup>-1</sup>.

### **3.4.1.2 Avaliações e determinações**

#### **3.4.1.2.a Resistência do solo à penetração**

O estado de compactação do solo foi avaliado pela resistência do solo à penetração, que foi obtida por meio de um penetrômetro digital com armazenamento eletrônico de dados. O mesmo é composto de uma haste

metálica, que possui uma ponteira em forma de cone que é introduzida no solo, enquanto os valores são armazenados. Penetrômetros são normatizados pela norma ASAE S 313.3 (2004), que estabelece, entre outros aspectos, que o cone deve possuir um ângulo de 30° em relação à vertical; a área da base deve ser de 323 mm<sup>2</sup> e de 130 mm<sup>2</sup> e o diâmetro da haste de 15,88 mm e 12,83 mm, respectivamente, para solos macios e duros. O desgaste máximo permitido é de 3% em relação ao diâmetro recomendado. A sua utilização deve obedecer a alguns parâmetros descritos na norma ASAE EP542 (1999), sendo os de maior relevância a serem observados durante o ensaio: velocidade de penetração, que deve ser constante e equivalente a 30 mm s<sup>-1</sup> e teor de água do solo. Como a resistência à penetração diminuiu com o aumento do teor de água do solo, a norma recomenda realizar o ensaio quando aquele estiver próximo ao correspondente à capacidade de campo. Se o solo aderir ao cone e/ou à haste, estes devem ser cuidadosamente limpos antes da medição seguinte. A adesão de solo aumenta a área da seção da base do cone e modifica o atrito, o qual passa a ser solo-solo e não solo-metal. Isto pode resultar numa superestimação dos valores de resistência à penetração.

A metodologia de amostragem na área experimental foi na forma de transectas, onde cada uma destas foi composta por cinco pontos de amostragem distando de 0,4 m entre si. Em cada parcela foram feitas três amostragens, e dessas fez-se uma média por tratamento.

#### **3.4.1.2.b Demanda de tração**

Para a aquisição dos esforços de tração na haste sulcadora de adubo foram instalados no suporte que as une à linha de semeadura, extensômetros do tipo *strain gauges*, capazes de medir sua deformação quando em operação. A deformação dos extensômetros é captada na forma de sinal elétrico que é enviado a um dispositivo com capacidade de processar esses sinais de acordo com um “*software*” desenvolvido para este fim, e então armazená-los. Detalhes deste tipo de instrumentação eletrônica, assim como metodologia de amostragem, são descritos em Cepik (2006). Os dados foram armazenados e processados utilizando-se um Datalogger CAMPBEL SCIENTIFIC, modelo CR23X. Depois de instrumentadas as hastes foram

calibradas objetivando relacionar as leituras feitas nos extensômetros com os esforços impostos às hastes. Esta calibração consiste da elaboração de uma equação de calibração, com no mínimo cinco pontos, a fim de se obter precisão no fator de calibração. Normalmente se consegue obter na calibração coeficientes de correlação elevados, com um mínimo de erro, significando que tanto a metodologia de aplicação do teste, como a própria instalação dos extensômetros foi efetiva (Cepik 2006). Na sementeira, a frequência de aquisição de dados foi de 5 leituras por segundo (5Hz), o que na prática correspondeu a uma leitura de esforço de tração na haste a cada 0,31 m de linha de sementeira. É importante lembrar que, devido ao tamanho variado das parcelas, e a sementeira ter sido realizada transversalmente às mesmas, o comprimento das mesmas variou de 10 m a 230 m, como pode ser observado na Figura 1. Devido à frequência de aquisição ser de 5Hz, conseguiu-se um número expressivo de dados, mesmo nas parcelas do tratamento de menor largura (SP).

#### **3.4.1.2.c Área de solo mobilizado e profundidade de atuação das hastes sulcadoras**

A área de solo mobilizado foi obtida pela mensuração da seção do sulco após a retirada de todo o solo mobilizado pela passagem da haste sulcadora e demais componentes da linha de sementeira. Essa medição foi realizada com auxílio de um perfilômetro com uma largura total de 0,35 m, composto por hastes espaçadas de 0,01 m, e que podem ser deslocadas verticalmente em 0,30 m. Para se obter as leituras, o solo mobilizado foi retirado cuidadosamente do sulco. Após foi locado o perfilômetro sobre o mesmo e liberadas as hastes que copiaram o contorno do mesmo, o qual foi transferido para uma folha de papel disposta junto das hastes, demarcando-se no papel a altura das mesmas. Em laboratório mediram-se, com régua, essas alturas que foram digitadas em planilha eletrônica, obtendo-se a área do sulco, em  $m^2$ , resultante da integral dos valores de profundidade e largura do sulco. O procedimento de amostragem foi repetido três vezes em cada tratamento de altura de pastagem.

#### **3.4.1.2.d. Massa seca de raízes e resíduos**

Para determinar a massa de resíduos da pastagem remanescente ao final do ciclo de pastejo (novembro de 2005), procedeu-se a amostragem nos diferentes tratamentos de altura de pastagem, bem como no sem pastejo (SP). Na amostragem, foram utilizados demarcadores com área de 1 m<sup>2</sup>. O material vegetal presente no delimitador foi cortado, coletado, ensacado e seco em estufa a 60 C°. Após, o material foi pesado e o valor obtido extrapolado para hectare.

Para a determinação da massa de raízes presentes até 0,10 m de profundidade, foram retiradas amostras de solo com um trado calador com diâmetro de 6,5 cm. A amostragem foi composta por três sub-amostras por parcela experimental. Essas amostras de solo contendo as raízes da pastagem, foram dispersas em solução de 1 mol L<sup>-1</sup> de NaOH, em laboratório, a fim de facilitar a separação das raízes do solo, já que este procedimento é dificultado quando o solo possui elevado conteúdo de argila, como é o caso do presente estudo. Após a dispersão, o material foi passado por uma peneira de 1 mm, onde ficaram retidas as raízes, que foram lavadas e secas a 60 °C em estufa. Depois de secas foram pesadas e os valores extrapolados para a massa seca de raízes por hectare.

#### **3.4.1.2.e População de plantas e produtividade da cultura da soja**

Na cultura da soja, avaliou-se a população de plantas aos 30 dias após a emergência e, no final do ciclo (abril), a produtividade de grãos. Para determinar a população de plantas, foram contadas as plantas em 10 m de linha de semeadura em cinco pontos por parcela. Com a média desses valores calculou-se a população (Pop) por hectare.

$$\text{Pop} = [X / (10\text{m} \times 0,4\text{m})] \times 10.000$$

Onde:

X= número de plantas contadas em 10 m lineares

Para a determinação da produtividade da soja, foram coletadas as plantas em um metro de linha de semeadura e em 10 locais de cada parcela. As amostras foram levadas para laboratório, onde se separou os legumes do



restante das plantas. Em seguida, estes foram secos em estufa a 60°C, debulhados e pesados os grãos. Com a massa de grãos secos, considerando-se uma umidade de 13%, calculou-se a produtividade de grãos por hectare.

### **3.4.2 Condução de experimento e amostragens na safra 2005/06**

As amostragens referentes a essa etapa foram realizadas em duas ocasiões. No dia 12 de novembro de 2005, após encerrar o período de permanência dos animais sobre a pastagem, foram feitas as amostragens para a determinação da massa de raízes e do residual da pastagem. Ainda, nesta ocasião, avaliou-se a resistência do solo à penetração e retiraram-se amostras de solo para determinar o teor de água do solo, a densidade e porosidade do solo, em diferentes profundidades.

Na segunda ocasião, no dia 02 de dezembro de 2005, durante a semeadura da soja, foram obtidos os dados referentes à demanda de tração nas hastes sulcadoras da semeadora-adubadora, assim como a determinação da área de solo mobilizado após a passagem das hastes. Também foram coletadas amostras de solo para determinação do teor de água do mesmo, na ocasião da semeadura. Todas as determinações foram executadas com mesmo procedimento descrito para a safra anterior.

#### **3.4.2.1 Máquinas e equipamentos usados**

Na semeadura da soja na safra 2005/06 usou-se uma semeadora-adubadora marca Stara Sfil, modelo SS 8000, com 8 linhas, e espaçamento entre linhas de 45 cm. Os sulcadores de sementes foram regulados para dispor as mesmas a 5 cm, e as hastes sulcadoras de aplicação do fertilizante em duas profundidades: 12 cm e 15 cm. O trator utilizado foi da marca CBT, modelo 2100, sem Tração Dianteira Auxiliar (TDA), potência máxima no motor de 77 kW que realizou a operação na velocidade de 4,5 km h<sup>-1</sup>. Para a aquisição do esforço de tração nas hastes, e armazenamento dos dados coletados seguiu-se a metodologia descrita no (Item 3.4.1.2.b).

### **3.4.2.2 Resistência do solo à penetração**

A amostragem e determinação da resistência do solo à compactação foi realizada de forma semelhante e com o mesmo penetrômetro digital utilizado na avaliação feita no ano anterior (item 3.4.1.2.). Na avaliação referente a esta safra fez-se a amostragem com cinco transectas por parcela.

### **3.4.2.3 Densidade, macro, micro e porosidade total**

As avaliações de densidade do solo e porosidade foram realizadas com amostras retiradas no final do pastejo, em Novembro de 2005, nas profundidades de 0 a 2,5 cm, 2,5 a 5 cm e 5 a 10 cm. As amostras indeformadas de solo foram retiradas com anéis metálicos de dimensões 25 x 63 mm, para as duas primeiras profundidades, e na maior profundidade usou-se anéis, de 4,9 x 8,4 cm. Estas amostras foram retiradas em trincheiras de dimensões aproximadas de 20 x 50 x 30 cm, em locais distintos por parcela em cada tratamento. Depois de coletados, os anéis destinados às avaliações de densidade e de porosidade foram colocados em latas com tampa e vedadas com fita, para evitar a perda de umidade do solo até a determinação em laboratório.

No laboratório, foi feito um acabamento nas amostras para ajustar o volume de solo ao volume do anel, antes de serem colocadas para saturar em recipiente com água. Após um período de aproximadamente 48 horas, as amostras foram retiradas e colocadas em funis de *Buckingham*, nos quais ficaram aproximadamente 72 horas sob uma tensão de 60 cm de coluna de água. Após esse período nos “funis”, as amostras foram pesadas, sendo as destinadas à avaliação da densidade postas em estufa a 105°C por um período de aproximadamente 48 horas. As amostras para determinação da porosidade foram novamente saturadas para então serem colocadas para secar em estufa e assim obter o volume de água retido pelas mesmas. Para a determinação da macro e da microporosidade, foi utilizado o modelo capilar para o cálculo na tensão de 60 cm de coluna da água, em amostras de solo com estrutura natural (Bouma, 1973).

#### **3.4.2.4 Demanda de tração**

Para a determinação do esforço de tração nas hastes sulcadoras foi usada a instrumentação e metodologia descritas no item 3.4.1.2.b, porém as hastes usadas foram da semeadora-adubadora marca Stara Sfil, cujas dimensões encontram-se no Apêndice 3 . Foi avaliado somente um modelo de haste, que operou em duas profundidades (12 e 15 cm). Os dados de esforço de tração foram obtidos em quatro passagens da semeadora-adubadora, transversalmente às parcelas (Figura 1).

#### **3.4.2.5 Área de solo mobilizado e profundidade de atuação**

A metodologia de amostragem e os instrumentos utilizados foram os mesmos dos descritos em 3.4.1.2.c.

#### **3.4.2.6 Massa seca de raízes e resíduos**

A metodologia de amostragem e instrumentos utilizados foram os mesmos dos descritos em 3.4.1.2.d.

#### **3.4.2.7 Avaliações da cultura da soja**

A forma de amostragem e procedimentos empregados foram os mesmos dos descritos no item 3.4.1.2.e.

#### **3.4.3 Análise estatística**

As parcelas da área em estudo estão arranjas em um delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), onde os tratamentos de altura de pastagem (0,1m, 0,2 m, 0,3 m e 0,4 m) possuem três repetições, enquanto que a área sem pastejo (SP), duas repetições.

Para as avaliações força de tração na haste sulcadora, resistência do solo à penetração, densidade do solo, porosidade do solo, massa de resíduos e de raízes da pastagem, população de plantas de soja e

produtividade da soja aplicou-se comparação de médias, pelo teste de Duncan com nível de significância de 5%. As médias foram estatisticamente analisadas através do “software” ESTAT, desenvolvido na Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Também foram analisadas algumas das variáveis estudadas por regressões quando estas apresentavam relação de dependência, e quando não havia relação de dependência entre as variáveis aplicaram-se correlações. Obtendo-se significância estatística nas regressões e correlações usadas, as mesmas colaboraram na interpretação dos dados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização da área experimental: variáveis de solo e da pastagem

Na caracterização física do solo da área experimental foi determinada a distribuição granulométrica da fração mineral para classificação textural. As frações argila, silte e areia deste solo representam 0,540, 0,270 e 0,190 kg kg<sup>-1</sup> respectivamente. O conteúdo de argila deste solo faz com que o mesmo seja classificado como argiloso e da classe dos Latossolos. Um solo com textura argilosa apresenta peculiaridades quanto a suas características físicas e químicas. Um elevado conteúdo de argila, devido às propriedades físicas e químicas desta, normalmente condiciona uma boa estruturação do solo, e com isso apresenta-se poroso, conferindo-lhe altas taxas de infiltração e armazenamento de água, o que está de acordo com a caracterização inicial da área experimental feita por Cassol, (2003). A fração argila é também determinante de propriedades químicas, que juntamente com a matéria orgânica confere quase que toda a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo.

Na avaliação física do solo também se determinou a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico, descrito por EMBRAPA (1997), obtendo-se o valor médio de 2,87 Mg m<sup>-3</sup>. Mas em relação a valores médios de densidade de partícula (2,75 Mg m<sup>-3</sup>) obtido em literatura, verifica-se que valores mais altos de densidade de partícula são comumente encontrados em solos que apresentam elevado conteúdo de óxidos de ferro, que é o caso do solo em estudo, classificado como Latossolo. Valores iguais ou mesmo superiores a estes, para densidade de partícula, também foram relatados por Silva (1980), trabalhando com Latossolos do Planalto Riograndense.

Na Tabela 1 são encontrados os valores de densidade e porosidade do solo em diferentes profundidades, referentes à caracterização física da área experimental realizada na semeadura da soja que antecedeu o primeiro ciclo

de pastejo. Naquela época, a referida área completava oito anos de cultivo sob semeadura direta, e sem histórico de presença de animais em pastejo, exceto por curto período de três semanas. De acordo com as Tabelas 1 e 2, observa-se que nas duas ocasiões, seis meses antes da implantação do experimento e após o primeiro ciclo de pastejo, a densidade do solo foi menor até os 2,5 centímetros iniciais. A menor densidade é explicada pela maior porosidade total diagnosticada superficialmente. O mesmo comportamento para os valores de densidade e porosidade do solo foi obtido nas duas ocasiões, o que leva a crer que o manejo imposto pela atividade agropecuária não alterou significativamente esses atributos. A atividade biológica de raízes e dos microorganismos até os 2,5 cm normalmente é acentuada em solos sob semeadura direta e é fortemente determinante da condição de estruturação do mesmo, resultando em menor densidade e maior porosidade, afetando principalmente os macroporos.

Tabela 1. Atributos físicos de solo determinados 6 meses antes da implantação do experimento (Dezembro de 2000)

Profundidade (cm)	Densidade do solo Mg m <sup>3</sup>	Porosidade do solo		
		Macro	Micro	Total
0,0 – 2,5	1,21	0,13	0,39	0,52
2,5 – 5,0	1,36	0,11	0,40	0,51
5,0 – 10,0	1,35	0,11	0,40	0,51

Tabela adaptada de Cassol (2003).

Tabela 2. Atributos físicos de solo determinados após o primeiro ciclo de pastejo de 104 dias (Novembro de 2001)

Profundidade (cm)	Densidade do solo Mg m <sup>3</sup>	Porosidade do solo		
		Macro	Micro	Total
0,0 – 2,5	1,29 b	0,10 a	0,44 a	0,55 a
2,5 – 5,0	1,39 a	0,09 a	0,42 b	0,52 b
5,0 – 10,0	1,36 a	0,09 a	0,40 c	0,49 c

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Tabela adaptada de Cassol (2003).

Nas Tabelas 3 e 4 são encontrados os valores de massa seca de resíduos da pastagem, no momento da semeadura das safras 2004/05 e 2005/06, respectivamente da massa seca de raízes presentes nessa mesma ocasião, até 10 cm de profundidade. Observa-se um aumento na quantidade de resíduos presentes sobre o solo com a diminuição da intensidade de

pastejo, o que era esperado, pois menor quantidade da biomassa de forragem foi consumida e, conseqüentemente, remanescendo sobre o solo. Levando-se em conta que a quantidade de resíduos oscilou de 1,22 a 5,32 Mg ha<sup>-1</sup> para os tratamentos de 10 cm de altura de pasto e sem pastejo, respectivamente, pode-se supor que o solo, além de receber maiores pressões por tráfego animal nos tratamentos mais intensivamente pastejados, ainda encontrava-se com uma menor cobertura podendo assim promover uma redução dos benefícios proporcionados pela mesma. Mas, no entanto, a produção de biomassa total de forragem em todos os tratamentos não foi semelhante, pois devido ao pastejo, foi constantemente consumida, não acumulando.

Tabela 3. Massa seca de resíduos remanescentes da pastagem sobre a superfície, e de raízes até 0,10 m de profundidade, na semeadura da safra 2004/05, em função dos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Resíduos	Raízes
(m)	..... Mg ha <sup>-1</sup> .....	
0,10	1,12 b	1,39 a
0,20	1,44 b	1,27 a
0,30	3,25 ab	1,14 a
0,40	4,72 ab	0,92 a
Sem pastejo	5,32 a	0,83 a
Média	3,17	1,11
C V (%)	21	27,8

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Tabela 4. Massa seca de resíduos remanescentes da pastagem sobre a superfície e de raízes, até 0,10 m de profundidade, antes da semeadura da safra 2005/06, em função dos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Resíduos	Raízes
(m)	..... (Mg ha <sup>-1</sup> ).....	
0,10	2,85 c	1,46 a
0,20	3,70 b	1,45 a
0,30	4,17 ab	1,21 b
0,40	4,58 ab	1,09 b
Sem pastejo	5,26 a	0,66 c
Média	4,12	1,18
C V (%)	13,5	15,6

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Ao observar as Tabelas 3 e 4, nota-se ainda que a massa de raízes encontrada nos 10 cm superficiais do solo aumentou com o aumento da intensidade de pastejo, chegando a duplicar, quando comparado o tratamento com pastejo mais intensivo e a área não pastejada. A massa de raízes quantificada ficou aquém da encontrada por Beutler (2005), avaliando aveia preta e consórcio de aveia preta com ervilhaca, sem pastejo, e Lunardi (2005), em pastagem de azevém com pastejo por ovinos em intensidades baixa e moderada. Este último autor concluiu que nem o método de pastejo (rotacionado ou contínuo), nem a intensidade (baixa ou moderada), implicaram diferenças significativas na massa de raízes da pastagem. Verificou também que houve uma concentração do sistema radicular do azevém na camada de 2,5 a 5,0 cm, atingindo valores superiores a  $6.500 \text{ kg ha}^{-1}$  de massa seca no tratamento com baixa intensidade e no método de pastejo contínuo. Segundo o mesmo autor, as intensidades de pastejo (baixa e moderada) resultaram em massas de forragem residuais diferentes no momento da implantação da cultura de soja. As intensidades de pastejo moderada e baixa determinaram uma biomassa de 798 kg e  $3.083 \text{ kg ha}^{-1}$  de massa seca de azevém, respectivamente, na época de semeadura da cultura da soja.

A massa seca de raízes da pastagem de azevém mais aveia, avaliada na semeadura da safra 2004/05 (Tabela 3), não demonstrou diferença ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos, apesar da grande amplitude nos valores encontrados, como pode ser comprovado pelo elevado coeficiente de variação (27,8%). Ao observar os resultados da avaliação do ano seguinte (Tabela 4), percebe-se também uma grande amplitude dos valores de massa de raízes, porém com diferença significativa entre os tratamentos e redução do coeficiente de variação. As mudanças observadas nos resultados são atribuídas principalmente à metodologia de amostragem, pois nessa segunda avaliação, aumentou-se o número de subamostras em cada parcela.

O aumento na massa de raízes da pastagem, com a intensificação da pressão de pastejo, pode ser em parte explicado pela resposta das forrageiras ao estresse advindo do próprio pastejo, devido aos animais ingerirem parcialmente o dossel das mesmas e, como resposta, há um incremento na emissão de raízes. Outra explicação pertinente para o fato é o



período de crescimento mais longo nos tratamentos onde o pastejo é menos intenso. Isso ocorre porque as forrageiras menos intensamente pastejadas têm período vegetativo mais longo, por estar em constante rebrote, para recompor as partes consumidas pelos animais. Enquanto isso, nos tratamentos com maior altura de pastagem ou sem pastejo, as forrageiras vão emitir estruturas reprodutivas, completar seu ciclo de desenvolvimento e senescer, tendo, portanto, menor período de crescimento no campo, e conseqüentemente, menor acúmulo de biomassa nas raízes. Outra provável explicação é que houve um maior período de tempo entre o final do ciclo das forrageiras e a época da amostragem da massa de raízes. Desse modo nos tratamentos em que a pastagem de aveia mais azevém completou o ciclo biológico pode ter havido uma decomposição de raízes, previamente à amostragem, implicando menor massa da mesma.

Nas Tabelas 5 e 6 são encontrados os valores de resistência mecânica do solo à penetração (RP), avaliados em três profundidades, obtidos no final do período de pastejo nos anos de 2004 e 2005. Na média dos tratamentos pastejados e sem pastejo, a RP foi diferente nas três profundidades avaliadas (6, 12 e 18 cm), aumentando com a profundidade. Observa-se que na profundidade de 0,06 m, para os dois anos de estudo, houve diferenças significativas nos valores de resistência do solo à penetração entre os tratamentos de intensidade de pastejo, com valores mais elevados para os tratamentos com pastejo mais intenso.

Tabela 5. Resistência do solo à penetração, expressa em índice de cone, avaliada em três profundidades, na semeadura da safra 2004/05, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo (m)	Profundidades (cm)		
	6	12	18
	.....kPa.....		
0,10	1.263 a	2.053 a	2.610 a
0,20	1.143 ab	1.922 a	2.526 a
0,30	1.062 ab	1.977 a	2.654 a
0,40	804 bc	1.759 a	2.389 a
Sem pastejo	635 c	1.448 a	2.131 a
Média	981,4 A	1.831,8 B	2.462 C
C V (%)	17,9	14,2	7,8

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan P<0,05).

Tabela 6. Resistência do solo à penetração, expressa em índice de cone, avaliada em três profundidades, na semeadura da safra 2005/06, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo (m)	Profundidades (cm)		
	6	12	18
	.....kPa.....		
0,10	1.931 a	5.090 a	4.340 ab
0,20	1.582 a	4.488 a	4.495 a
0,30	940 b	3.308 b	3.978 abc
0,40	887 b	2.994 b	3.540 cd
Sem pastejo	760 b	2.252 b	3.185 d
Média	1.253 A	3.725 B	3.959 C
C V (%)	15,2	13,5	11,7

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste e Duncan ( $P < 0,05$ ).

Ao se observar à magnitude dos valores de resistência do solo à penetração até 6 cm de profundidade, percebe-se que os mesmos são inferiores a 2 MPa citado em literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular, segundo Leão (2002) e Imhoff (2002).

Quando analisados os valores de RP a 12 cm de profundidade nos dois anos em estudo, observa-se que os encontrados ao final do período de pastejo do ano de 2005 foram superiores aos de 2004. A magnitude dos valores de RP, que chegaram a duplicar, pode ser atribuída à significativa diferença nos teores de água no solo na ocasião da avaliação da RP, os quais são apresentados na Figura 2. O efeito de redução na resistência do solo à penetração, devido ao maior teor de água do solo é conhecido, podendo ser visualizado nas duas ocasiões de avaliação, nas três profundidades avaliadas. Para a condição de solo mais seco (avaliação do segundo ano), observa-se diferenças significativas para a RP entre os tratamentos, mesmo em maiores profundidades (12 e 18 cm), sendo que os valores encontrados podem proporcionar restrições ao adequado desenvolvimento radicular. Aumentos nos valores de RP também estão associados à elevação da densidade do solo, o que pode ser confirmado observando os dados da Tabela 7, onde aquela é mais elevada nos tratamentos com a presença de animais em relação ao sem pastejo, na camada de 2,5 a 5 cm.

Apesar de as avaliações de densidade do solo não permitirem estabelecer uma distinção entre tratamentos com a presença de animais em diferentes intensidades de pastejo, as mesmas evidenciam que houve

alterações na condição física do solo. Dessa forma, pode-se dizer que avaliações de RP foram mais sensíveis para indicar alterações na condição física do solo do que a determinação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico. A mesma conclusão pode ser tomada quando se avaliam os valores porosidade total, macroporosidade e microporosidade, expressas nas Tabelas 8, 9 e 10, respectivamente, uma vez aquelas tendências observadas não foram significativas ao comparar os tratamentos.

Xavier (2005) em avaliações realizadas em um experimento conduzido em Argissolo, com diferentes doses de resíduos e com tráfego agrícola controlado, obteve valores de resistência à penetração próximos a 2 MPa até 10 cm de profundidade, e superiores ao esse valor, em profundidades maiores.

Já Lunardi (2005) avaliando resistência do solo à penetração não encontrou diferenças entre os métodos de pastejo empregados e nem quanto à intensidade de pastejo imposta, também em Argissolo. Os valores de resistência à penetração medidos ficaram próximos a 2 MPa, tido como o limite a partir do qual haveria restrições ao desenvolvimento de raízes. No entanto, Andreolla (2006), ao avaliar a resistência do solo à penetração em áreas pastejadas em ocasiões de solo seco e úmido concluiu, que, os efeitos da presença de animais sobre a medida de índice de cone foram mais acentuadas na condição de solo úmido, notadamente até os 5 cm superficiais.

Observa-se na Figura 2, uma redução no teor de água no solo com o aumento da intensidade de pastejo. A manutenção de maior conteúdo de água no solo nos tratamentos com menor intensidade de pastejo ou com ausência de pastejo é atribuída à maior cobertura do solo, como observado por Tabuada (2005), comprovada pela maior quantidade de resíduos sobre o mesmo no momento da sementeira, nos dois anos de avaliações, (Tabelas 3 e 4).

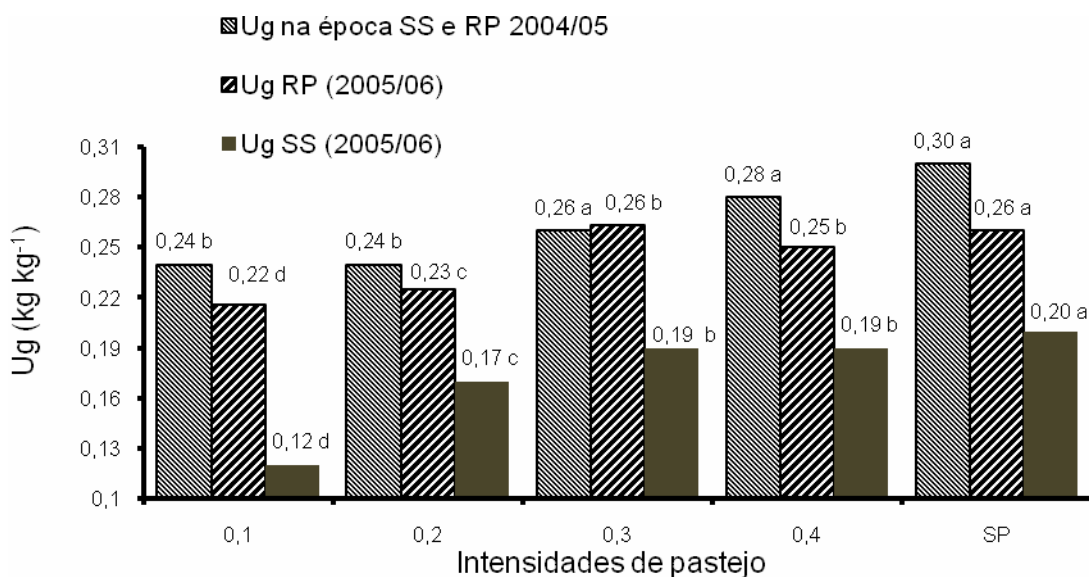


Figura 2. Umidade gravimétrica (Ug) determinada no momento da medição da resistência do solo à penetração (RP) e na semeadura da soja (SS).

Os valores de densidade do solo (Tabela 7), foram mais baixos nos 2,5 cm superficiais, quando comparados às demais profundidades avaliadas. Valores de densidade do solo menores em superfície são normalmente encontrados, mesmo em áreas sob semeadura direta, e são atribuídos a maior quantidade de matéria orgânica e sua relevante participação na agregação do solo. Os valores de densidade do solo para as profundidades de 2,5 a 5 cm e de 5 a 10 cm atingiram, ou estão próximos do limite superior do intervalo de densidade para solos argilosos (1,0 a 1,4 Mg m<sup>-3</sup>), estabelecidos por Reichardt (1978).

Tabela 7. Densidade do solo avaliada em três profundidades na semeadura da soja, safra 2005/06, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo (m)	Profundidades (cm)			Média
	0 – 2,5	2,5 - 5	5 -10	
	.....Mg m <sup>-3</sup> .....			
0,10	1,26 a	1,44 a	1,41	1,37
0,20	1,13 ab	1,35 ab	1,44	1,31
0,30	1,26 a	1,39 a	1,39	1,35
0,40	1,21 a	1,35 ab	1,41	1,32
Sem pastejo	1,06 b	1,24 b	1,36	1,22
Média	1,18 A	1,35 B	1,40 B	1,31
C V (%)	4,8	6,5	5,7	

Ausência de letras após as médias indica que não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05). Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Cassol (2003) e Flores (2004) avaliaram o efeito de alturas de condução de pastagem sobre atributos físicos de solo ao final de um ciclo de pastejo de 104 dias, e concluíram que não houve efeito sobre a densidade e porosidade do solo. Também concluíram que, com o aumento da profundidade de amostragem, houve um aumento da densidade e diminuição da porosidade total, sendo este um efeito isolado e relacionado às propriedades intrínsecas do solo. Os mesmos autores afirmam que houve somente uma tendência de incremento da densidade e diminuição da porosidade com a redução da altura da pastagem ou seja, aumento da carga animal. Também houve pequenas alterações na porosidade total, com redução da macroporosidade e elevação da microporosidade.

Os efeitos do pisoteio animal durante o período de pastejo sobre os atributos do solo como a porosidade e densidade, são revertidos após o ciclo da cultura da soja segundo Cassol (2003). Este autor também encontrou decréscimo na taxa de infiltração de água no solo com a redução da altura de manejo da pastagem, provavelmente relacionada com a redução da macroporosidade.

Os resultados obtidos em experimento conduzido por Lunardi (2005) demonstraram que o efeito do pisoteio animal sobre a densidade do solo, além de ser pequeno e não significativo, se concentrou na camada mais superficial do solo, não havendo diferenças quanto aos métodos de pastejo (contínuo e rotacionado) e às épocas em que foram realizadas as determinações.

Para a densidade do solo, Xavier (2005) obteve valores semelhantes para as profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm, independentemente da condição de tráfego e presença ou ausência de irrigação suplementar, em Argissolo.

Nas Tabelas 8, 9 e 10 encontram-se os dados de porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, respectivamente, avaliados na implantação da safra 2005/06. Na Tabela 8, observa-se a ausência de diferenças ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos para porosidade total, nas três profundidades avaliadas. No entanto, na camada mais superficial (0-2,5 cm), os valores foram menores ( $P < 0,05$ ) em relação aos das camadas mais profundas.

Tabela 8. Porosidade total do solo avaliada em três profundidades no momento da semeadura da soja, safra 2005/06, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidades (cm)			Média
	0 – 2,5	2,5 - 5	5 -10	
(m)	.....m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> .....			
0,10	0,54	0,50	0,49	0,51
0,20	0,60	0,53	0,49	0,54
0,30	0,56	0,51	0,50	0,52
0,40	0,55	0,53	0,50	0,52
Sem pastejo	0,59	0,54	0,51	0,55
Média	0,57 A	0,52 B	0,50 B	0,53
C V (%)	6,5	5,3	6,8	

Ausência de letras após as médias indica que não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Tabela 9. Macroporosidade do solo, avaliada em três profundidades no momento da semeadura da soja, safra 2005/06, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidades (cm)			Média
	0 – 2,5	2,5 - 5	5 -10	
(m)	.....m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> .....			
0,10	0,11	0,06	0,03	0,07
0,20	0,18	0,07	0,03	0,09
0,30	0,12	0,08	0,03	0,07
0,40	0,14	0,10	0,02	0,09
Sem pastejo	0,20	0,09	0,03	0,11
Média	0,15 A	0,08 B	0,03 C	0,09
C V (%)	12,1	10,6	8,9	

Ausência de letras após as médias, nas colunas, indica que as médias não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Para a macroporosidade (Tabela 9), também não foi encontrada diferença entre os tratamentos, porém os valores de macroporosidade também decresceram expressivamente com a profundidade de avaliação. Observa-se nessa Tabela, maiores valores de macroporosidade na camada de 0 a 2,5 cm, intermediários na de 2,5 a 5 cm e bem menores na camada de 5 a 10 cm. Na média das três profundidades avaliadas, os valores de macroporosidade do solo encontrados são semelhantes os citados em literatura para Latossolos e obtidos por outros autores, como Silva (1980) e por Cassol (2003) e Flores (2004) no mesmo experimento. Com relação aos valores de microporosidade

do solo, (Tabela 10), e observa-se somente uma tendência de aumento dos mesmos conforme aumenta a profundidade da camada de solo, mas sem diferença ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos e profundidades.

Tabela 10. Microporosidade do solo, avaliada em três profundidades no momento da semeadura da soja, safra 2005/06, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo (m)	Profundidades (cm)			Média
	0 – 2,5	2,5 - 5	5 -10	
	.....m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> .....			
0,10	0,43	0,44	0,46	0,44
0,20	0,42	0,45	0,46	0,45
0,30	0,44	0,43	0,47	0,45
0,40	0,41	0,43	0,47	0,44
Sem pastejo	0,39	0,45	0,48	0,44
Média	0,42	0,44	0,47	0,44
C V (%)	8,1	5,9	6,5	

Ausência de letras após as médias indica que não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $P<0,05$ ).

Flores (2004) observou as mesmas tendências que Cassol (2003) quanto aos atributos de solo e a influência que estes sofreram da presença de animais em pastejo. Os autores observaram que a pastagem conduzida em menores alturas apresentou maior densidade do solo, com diminuição da macroporosidade e porosidade total, e que esse processo foi revertido ao longo do ciclo da soja, implantada na seqüência da pastagem.

Segundo Mello (2001), estudando um sistema de integração lavoura-pecuária, sob pivô central com pastejo rotativo de sorgo e em semeadura direta, detectou que a densidade do solo foi superior logo após o primeiro pastejo, e a partir de então, não mais se alterou em função dos demais pastejos. Segundo o mesmo autor, a exemplo da densidade do solo a macroporosidade e a porosidade total também foram influenciadas já no primeiro pastejo, com redução nos valores dos referidos atributos, mantendo-se constantes nos pastejos posteriores. Essas alterações levaram a valores de macroporosidade inferiores a 10% da porosidade total, o que tem sido considerado prejudicial ao suprimento de oxigênio às raízes. Este autor também complementa que os efeitos do pisoteio animal se concentraram na

superfície do solo (até 10 cm), e a partir desta profundidade não houve alterações nos atributos físicos do solo.

Lunardi (2005), em experimento de integração lavoura-pecuária utilizando ovinos em pastejo contínuo e rotacionado, não encontrou diferenças nos atributos físicos de solo avaliados, em função dos métodos de pastejo. No entanto, o autor encontrou valores de taxa de infiltração de água no solo maiores quando a intensidade de pastejo foi baixa, com relação à moderada, ou seja, com menos carga animal imposta à pastagem. Ainda segundo Lunardi (2005), nem o método de pastejo (rotacionado ou contínuo) ou a intensidade (baixa ou moderada), implicaram diferenças na macroporosidade do solo, em superfície. Contrariamente, Mello (2001) afirma que apesar da compactação superficial devida ao pisoteio animal, evidenciada pelo aumento dos valores de densidade do solo e decréscimo dos de macroporosidade e porosidade total, não houve comprometimento do sistema de semeadura direta, pois o mecanismo sulcador do tipo facão das semeadoras-adubadoras foi capaz de reverter à compactação superficial.



## 4.2. Aspectos relacionados às hastes sulcadoras estudadas

Os resultados apresentados nas a seguir referem-se a estudos envolvendo quatro modelos de hastes sulcadoras que equipam duas marcas comerciais de semeadoras-adubadoras utilizadas para a implantação da cultura da soja, posteriormente ao pastejo bovino na área experimental. As informações referem-se à força de tração demanda pelas hastes, profundidade de atuação, área da seção transversal do sulco de semeadura, volume de solo mobilizado por hectare e força de tração específica. Os quatro modelos de hastes operaram em duas profundidades. As avaliações envolvendo os modelos de hastes HN, HI e HL, da semeadora-adubadora marca Vence Tudo, foram realizados em dezembro de 2004, por ocasião da semeadura da soja safra 2004/05. Já, os estudos efetuados com o modelo de haste da semeadora-adubadora Stara Sfil foram desenvolvidos no ano subsequente, no mesmo período, também ao se implantar a cultura da soja.

Nas Tabelas 11 a 15 estão apresentados dados referentes a avaliações envolvendo haste sulcadora que normalmente equipam semeadoras-adubadoras da marca Vence Tudo, modelo 11500. Esta haste foi designada como HN. Observa-se que o esforço de tração demandado na haste sulcadora HN diminui com a redução na intensidade de pastejo (Tabela 11). É possível separar os tratamentos quanto à força de tração demandada na haste HN em três grupos, sendo que o primeiro engloba as duas maiores intensidades de pastejo; o segundo as duas menores intensidades e o tratamento sem pastejo distingue-se dos demais, com o menor valor de esforço. Os valores de força de tração encontrados para a haste sulcadora HN, nas duas profundidades de atuação, são semelhantes aos encontrados por Xavier (2005), Beutler (2005) e Cepik (2006), trabalhando com mesmo modelo de haste, porém em Argissolo.

Com relação à força de tração medida na haste sulcadora, Xavier (2005) verificou que nas duas profundidades de atuação do sulcador de adubo (6,4 cm e 10 cm), a força de tração não foi influenciada pelas doses de resíduos sobre a superfície do solo. Mas na média dos locais com tráfego e sem tráfego, houve um aumento de 150% na força de tração demandada,

quando a profundidade de atuação do sulcador de adubo passou de 6,4 para 10 cm.

Cepik (2006), avaliando o esforço medido em haste sulcadora na semeadura de feijão, com uma semeadora-adubadora de 5 linhas, operando em duas profundidades e seis diferentes doses de resíduos culturais, não encontrou interferência da dose de resíduos no esforço demandado. O esforço na haste variou de 885 N para a menor profundidade (7,1 cm), a 1.306 N na maior profundidade (11,3 cm).

Deve-se levar em conta que, no presente trabalho, as doses de resíduos da pastagem, remanescentes ao final do período de pastejo, são resultantes da intensidade de pastejo imposta à forrageira, envolvendo com isso, diferenciação de pressões sobre o solo resultantes do tráfego dos animais, e dessa forma não se equivale às doses de resíduos dispostas sobre o solo, como citado nos trabalhos de Xavier (2005) e Cepik (2006).

Tabela 11. Valores de força de tração na haste sulcadora de adubo HN, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo - cm		Média
	6	12	
(m)	..... N .....		
0,10	634	1329	983 a
0,20	646	1327	987 a
0,30	595	1266	931 ab
0,40	526	1206	866 ab
Sem pastejo	413	1124	768 b
Média	563 B	1271 A	907
C V	6,7	11,3	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si (P<0,05).

De acordo com os dados da Tabela 12, a profundidade média de atuação da haste HN foi condizente com a regulagem intencionada, para a profundidade de atuação de 6,0 cm. Porém, na média, não atingiu a maior profundidade proposta, mesmo havendo aumento significativo na profundidade de atuação. O mesmo fato foi observado por Xavier (2005). Cepik (2006) comenta que hastes sulcadoras reguladas para trabalhar a maiores

profundidades (12 cm) dificilmente conseguem atingi-la. Já quando são dispostas para atuar a 6 cm, sempre ultrapassaram a profundidade intencionada. A autora, em experimento conduzido para avaliar influência de doses de resíduos sobre desempenho de semeadora, não encontrou interferência destas sobre a profundidade de atuação de hastes sulcadoras, independentemente da profundidade de atuação das mesmas.

Cepik (2006) afirma que, em decorrência da maior seção de área de sulco, o volume de solo mobilizado por hectare foi maior nos tratamentos com as maiores doses de resíduos, quando a semeadura foi executada por semeadora-adubadora operando com três linhas na semeadura de milho. Mas quando a mesma semeadora-adubadora operou com cinco linhas, em semeadura de feijão, espaçamento de 40 cm, a mobilização de solo foi dependente da dose de resíduos na superfície e da profundidade de atuação da haste sulcadora. Na regulagem mais superficial, (7,1 cm), o volume médio de solo mobilizado foi de 135 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Quando passou a atuar a 11,3 cm de profundidade, a mesma haste mobilizou 30% a mais de volume de solo por hectare.

Tabela 12. Profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo HN, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	6	12	
(m)	.....cm.....		
0,10	5,7	10,9	8,3
0,20	5,8	11,9	8,8
0,30	5,5	11,5	8,5
0,40	7,0	11,0	9,0
Sem pastejo	5,8	12,0	8,9
Média	6 B	11,5 A	8,8
C V(%)	23,2	21	

Ausência de letras após as médias indica que não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Ao analisar os dados da Tabela 12, observa-se que não houve diferença (P>0,05) entre as profundidades de sulco, e a variação na área da seção transversal do sulco (Tabela 13) deveu-se a mobilização lateral de solo

em relação à passagem da haste sulcadora. De acordo com os dados da Tabela 13, observa-se que esta mobilização lateral de solo foi maior quando a altura da pastagem foi de 0,4 m e onde não foi pastejada, quando a haste atuou na menor profundidade. Para a profundidade de 12 cm, isso ocorreu somente no tratamento sem pastejo. Essa mesma lógica é válida para o volume de solo mobilizado por hectare (Tabela 14), haja visto que o mesmo é obtido por um fator multiplicativo da área mobilizada.

A partir da força de tração específica, expressa na Tabela 15, para a haste HN operando a 6 cm, é possível perceber que a força demandada para mobilizar uma mesma área de sulco foi maior para os tratamentos que mantiveram alturas de pasto de 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m.

Este resultado demonstra que a manutenção da pastagem mais baixa, devido ao incremento da carga animal, se reflete na condição física do solo e, conseqüentemente, no trabalho de órgãos sulcadores de máquinas, como as semeadoras. Resultado semelhante foi obtido na avaliação com a haste Stara Sfil (Tabela 30), na mesma área experimental.

A força de tração específica média para a haste HN não se alterou quando sua profundidade de atuação passou de 6 m para 12 cm. Dentre os tratamentos de pastejo, o sem pastejo diferiu dos demais, com menor força de tração específica. Dessa forma é possível inferir que os reflexos da presença dos animais foram mais claramente identificáveis até a profundidade de 6 cm.

Tabela 13. Área da seção transversal de sulco mobilizado pela haste sulcadora de adubo HN, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		<u>Média</u>
	6	12	
(m)	.....cm <sup>2</sup> .....		
0,10	49,8 b	106,5 b	78,2
0,20	52,7 b	116,8 b	84,5
0,30	59,2 b	123,7 b	91,4
0,40	62,9 a	127,2 b	95,0
Sem pastejo	67,4 a	131,5 a	99,4
Média	58,4 B	121,1 A	89,8
C V (%)	16,2	14,4	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si (P<0,05).

Tabela 14. Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora de adubo HN, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	6	12	
(m)	.....m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> .....		
0,10	124,5 b	266,3 b	195,4
0,20	131,7 b	292,0 b	211,8
0,30	148,0 b	309,2 b	228,6
0,40	157,3 a	318,0 b	237,6
Sem pastejo	168,5 a	328,7 a	248,6
Média	122 B	302,8 A	212,4
C V (%)	9,7	11,6	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si (P<0,05).

Para valores de força de tração específica, Xavier (2005) obteve 6,7 e 12,7 N cm<sup>-2</sup>, respectivamente para as profundidades de atuação de 6,4 cm e 10 cm, porém em Argissolo. Cepik (2006), ao avaliar a força de tração específica em hastes sulcadoras concluiu que houve um incremento da mesma com o aumento da profundidade de atuação da haste, também em Argissolo. A mesma autora obteve resultados demonstrando que a presença de maior quantidade de resíduos culturais na superfície diminuiu a força de tração específica e atribuiu o efeito à manutenção de maior teor de água no solo.

Tabela 15. Força específica na haste sulcadora de adubo HN, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	6	12	
(m)	.....N cm <sup>-2</sup> .....		
0,10	12,6 a	12,5 a	12,5
0,20	12,3 a	11,4 a	11,8
0,30	10,0 a	10,3 a	10,1
0,40	8,4 b	10,3 a	9,3
Sem pastejo	6,2 b	8,6 b	7,4
Média	9,9 B	10,6 A	10,2
C V (%)	7,4	8,6	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si (P<0,05).

Nas Tabelas 16 a 25 estão expressos resultados obtidos com avaliações envolvendo as hastes sulcadoras designadas por HI e HL, ambas equipando a semeadora-adubadora da marca Vence Tudo. A haste HI é um protótipo desenvolvido por pesquisadores do IAPAR, enquanto que a HL é própria da marca Vence Tudo, e diferenciam-se da HN pelo comprimento, sendo mais longa. As hastes HI e HL são equivalentes em tamanho e receberam a mesma regulagem para profundidade de atuação, podendo assim ser comparadas nas avaliações.

O maior tamanho destas hastes em relação à HN permitiu que as mesmas fossem reguladas para operar a 9 cm e 15 cm. Na prática, a profundidade efetiva de trabalho das mesmas ficou próxima, porém ainda um pouco inferior ao da regulagem prevista, como pode ser observado nas Tabelas 17 e 22, mas superior a da haste HN (Tabela12).

Com relação à força de tração, as hastes HI e HL se equiparam, nas profundidades de atuação avaliadas (Tabelas 16 e 21). A força de tração demandada pelas hastes HI e HL só diferiu para o tratamento sem pastejo e foi, na média dos tratamentos, 112% superior a força de tração medida na haste HN.

Tabela 16. Valores de força de tração na haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	9	15	
(m)	.....N.....		
0,10	1.555	2.368	1.962 a
0,20	1.551	2.406	1.978 a
0,30	1.538	2.439	1.989 a
0,40	1.504	2.466	1.985 a
Sem pastejo	1.271	2.126	1.698 b
Média	1.484 B	2.361 A	1.922
C V (%)	6,9	7,7	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si (P<0,05).

Tabela 17. Profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	9	15	
(m)	.....cm.....		
0,10	7,6	12,6	10,1
0,20	7,9	13,7	10,8
0,30	8,7	13,3	11,0
0,40	8,5	14,7	11,6
Sem pastejo	8,9	14,1	11,5
Média	8,3 B	13,7 A	11,0
C V (%)	10,2	1,7	

Ausência de letras após as médias indica que não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $P < 0,05$ ).

Referente à área de seção transversal de sulco e o volume de solo mobilizado no sulco de semeadura, as hastes HI e HL tiveram comportamento semelhante (Tabelas 18, 19, 23 e 24). O incremento de área mobilizada no sulco, quando se mudou a profundidade de regulagem de 9 cm para 15 cm, foi em média de 12,8 % para a haste HI e de 13% para a haste HL, enquanto que na haste HN, quando a profundidade de atuação passou de 6 cm para 12 cm o incremento de área de sulco mobilizado foi de 107% (Tabela 14). Para a haste Stara Sfil, usada e avaliada na semeadura da soja safra 2005/06, o aumento de área de sulco foi de 23% ao passar da regulagem de 12 cm para 15 cm de profundidade (Tabela 28). Assim, analisando os dados de área de solo mobilizada no sulco de semeadura, infere-se que há uma profundidade crítica de rompimento do solo, a exemplo do que ocorre para hastes de escarificadores. Profundidade crítica é definida como a profundidade a partir da qual o esforço tratorio aumenta sem haver incremento significativo da área mobilizada (Spoor & Godwin 1978). Em escarificadores, a profundidade crítica ocorre entre 2 e 7 vezes a largura da ponteira da ponteira (Lanças 1991, Machado 2001).

Xavier (2005) constatou que quando a haste sulcadora de semeadora passou de 6,4 cm para 10 cm de profundidade de atuação, a seção transversal do sulco aumentou em 42 %. Também concluiu que a quantidade de resíduos de aveia preta sobre o solo não afetou a área de solo mobilizada. A mesma tendência ocorreu para o volume de solo mobilizado por hectare.

Tabela 18. Área de sulco mobilizada pela haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	9	15	
(m)	.....(cm <sup>2</sup> ).....		
0,10	108,4	115,0	111,7 b
0,20	102,5	117,0	109,8 b
0,30	109,1	116,5	112,8 b
0,40	99,5	115,7	107,6 b
Sem pastejo	116,5	139,8	128,2 a
Média	107,2 B	120,9 A	114,1
C V (%)	8,3	7,1	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05)

Ao analisar os valores de força de tração específica das hastes HI e HL, apresentados nas Tabelas 20 e 25, reitera-se a semelhança entre as duas hastes, sendo os valores médios superiores aos mensurados para a haste HN. A força de tração específica foi maior quando as hastes HI e HL operaram na maior profundidade de regulagem. Esse aumento na força específica é função da elevação expressiva na força de tração demandada, sem aumento correspondente da área de solo mobilizada.

Tabela 19. Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (m)		Média
	9	15	
(m)	.....m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> .....		
0,10	271,0	287,5	279,2 b
0,20	256,3	292,5	274,4 b
0,30	272,7	291,3	282,0 b
0,40	248,7	289,3	269,0 b
Sem pastejo	291,3	349,5	320,4 a
Média	268,0 B	302,0 A	285,0
C V (%)	12,2	8,3	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05)



Tabela 20. Força específica na haste sulcadora de adubo HI, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (m)		Média
	9	15	
(m)	.....N.cm <sup>-2</sup> .....		
0,10	14,3	20,6	17,6 a
0,20	15,1	20,6	18,0 a
0,30	14,1	20,9	17,6 a
0,40	15,1	21,3	18,4 a
Sem pastejo	10,9	15,2	13,2 b
Média	13,8 B	19,5 A	16,6
C V (%)	7,3	6,4	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05)

Tabela 21. Valores de força de tração na haste sulcadora de adubo HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo - m		Média
	9	15	
(m)	.....N.....		
0,10	1.571	2.325	1.948 a
0,20	1.534	2.399	1.966 a
0,30	1.486	2.479	1.983 a
0,40	1.489	2.430	1.959 a
Sem pastejo	1.251	2.164	1.707 b
Média	1.466 A	2.359 B	1.913
C V (%)	7,1	5,7	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan P<0,05).

Tabela 22. Profundidade de atuação na haste sulcadora HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (m)		Média
	9	15	
(m)	.....cm.....		
0,10	7,8	12,7	10,2
0,20	7,9	13,1	10,5
0,30	8,3	13,3	10,8
0,40	8,1	14,3	11,2
Sem pastejo	8,5	14,7	11,6
Média	8,1 B	13,6 A	10,8
C V (%)	17,5	13,0	

Ausência de letras após as médias indica que não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Tabela 23. Área da seção transversal de sulco mobilizado pela haste sulcadora HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (m)		Média
	9	15	
(m)	.....cm <sup>2</sup> .....		
0,10	103,1	115,9	109,5 b
0,20	102,4	112,8	107,6 b
0,30	105,8	116,6	111,2 b
0,40	102,6	117,7	110,2 b
Sem pastejo	110,7	130,6	120,6 a
Média	104,9 B	118,6 A	111,8
C V (%)	10,3	11,5	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem (P<0,05)

Tabela 24. Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (m)		Média
	9	15	
(m)	.....m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> .....		
0,10	257,7	289,8	273,8 b
0,20	256,0	282,0	269,0 b
0,30	264,5	291,5	278,0 b
0,40	256,5	294,3	275,4 b
Sem pastejo	276,7	326,5	301,6 a
Média	262,3 B	296,5 A	279,4
C V (%)	7,3	8,3	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05)

Tabela 25. Força específica na haste sulcadora de adubo HL, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (m)		Média
	9	15	
(m)	.....N cm <sup>-2</sup> .....		
0,10	15,2	20,1	17,8 a
0,20	15,0	21,3	18,3 a
0,30	14,0	21,3	17,8 a
0,40	14,5	20,6	17,8 a
Sem pastejo	11,3	16,6	14,2 b
Média	14,0 B	19,9 A	17,1
C V (%)	9,1	7,9	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05)

Ao se comparar os valores de força de tração obtidos com a haste NH (Tabela 10) com os obtidos com os demais modelos (Tabelas, 16, 21 e 26) que atuaram em profundidades maiores, observa-se que a magnitude destes é menor, devendo resultar da menor profundidade de atuação (Tabela 12) e, conseqüentemente, da menor área de seção do sulco (Tabela 13) e volume de solo mobilizado por hectare (Tabela 14). Na Tabela 11, observa-se que o incremento médio na força de tração demandada quando a haste sulcadora passou a atuar na maior profundidade (0,12 m) foi de 126 %, enquanto que a profundidade média de atuação aumentou somente 92 %, (Tabela 12).

Nas Tabelas 26 a 30, são apresentados os resultados das avaliações quando foi empregada a haste sulcadora da semeadora-adubadora Stara Sfil. Estas avaliações foram realizadas na semeadura da soja safra 2005/06, ao final do período de pastejo. Concomitantemente, avaliou-se o teor de água no solo, cujos valores encontram-se expressos na Figura 2.

A força de tração demandada na haste Stara Sfil (Tabela 26) foi superior à demandada nas demais hastes testadas na semeadura da safra anterior. Superou, inclusive, a força de tração demandada pelas hastes HI e HL que operaram na mesma profundidade, na regulagem para atuar mais profundo. Uma explicação para essa constatação é o baixo teor de água no solo no momento da avaliação, como pode ser observado na Figura 2. Sabe-se que com a redução no conteúdo de água no solo elevam-se substancialmente as forças de coesão e, dessa forma, a força demandada para romper a estrutura do solo aumenta. Stafford (1979), verificou que a coesão é o fator mais influente no esforço de tração, sendo que nas suas investigações foi responsável por 87% do esforço de tração, enquanto que a densidade do solo e a adesão foram responsáveis por 13% da mesma. Esta grande participação da coesão na força de tração explica a importância do teor de água na magnitude do esforço de tração, principalmente em solos argilosos.

Tabela 26. Valores de força de tração na haste sulcadora de adubo Stara Sfil, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	12	15	
(m)	.....N.....		
0,10	2.390	4.970	3.680 a
0,20	2.200	4.570	3.385 ab
0,30	1.950	4.570	3.260 bc
0,40	1.790	4.070	2.930 cd
Sem pastejo	1.600	3.840	2.720 d
Média	1.986 B	4.404 A	3.195
C V (%)	9,3	7,6	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $P < 0,05$ ).

As profundidades de atuação da haste Stara Sfil foram as únicas a superar regulagens pré-estabelecidas (Tabela 27), o que não ocorreu com nenhum dos modelos avaliados na semeadura do ano anterior. Porém a profundidade efetiva de operação da haste Stara Sfil ficou muito próxima da regulagem. Esses resultados diferem dos obtidos por Casão Júnior et al. (2000), que compararam dez modelos de semeadoras-adubadoras equipadas com hastes sulcadoras de adubo, e constataram imprecisão na regulagem da profundidade do sulcador de adubo. As máquinas usadas no estudo do referido autor trabalharam com as hastes sulcadoras entre 12,9 cm e 19,9 cm, valores acima do pré-estabelecido (10 cm). Devido a esta constatação, concluíram que deveria se recomendar aos fabricantes de semeadoras o desenvolvimento de algum dispositivo capaz de manter a profundidade desejada de atuação das hastes sulcadoras de adubo.

Faganello (1989), avaliando força horizontal em sulcadores de semeadora-adubadora, acompanhados por disco de corte de 45,72 cm, encontrou acréscimo de 317% na força demandada quando a profundidade de atuação passou de 5 cm para 10 cm, e de 654% quando regulados para 15 cm. Também, de acordo com o mesmo autor, a força de tração horizontal, para as profundidades de operação de 5, 10 e 15 cm foram respectivamente de 429, 1.787 e 3.661 N.

Tabela 27. Profundidade de atuação na haste sulcadora de adubo Stara Sfil, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	12	15	
(m)	..... cm .....		
0,10	13,5	15,8	14,7
0,20	12,8	15,5	14,2
0,30	12,5	16,0	14,3
0,40	13,5	15,7	14,6
Sem pastejo	13,5	15,8	14,7
Média	13,2 B	15,8 A	14,5
C V (%)	15,2	11,0	

Ausência de letras após as médias indica que não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Tabela 28. Área da seção transversal de sulco mobilizado pela haste sulcadora de adubo Stara Sfil, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	12	15	
(m)	.....cm <sup>2</sup> .....		
0,10	108,2	147,8	128,0 b
0,20	120,8	127,7	124,3 b
0,30	106,1	146,0	126,0 b
0,40	102,3	131,0	116,7 b
Sem pastejo	136,3	157,1	146,7 a
Média	114,7 B	141,9 A	128,3
C V (%)	13,6	9,8	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Comparando-se os resultados obtidos com a haste sulcadora Stara Sfil aos dos demais modelos avaliados, mas principalmente aos modelos HI e HN, que possuem características dimensionais mais próximas, pode-se constatar uma maior demanda de força de tração (Tabela 26), que refletiu em uma maior força específica (Tabela 30), resultante de área de solo mobilizado no sulco de semeadura semelhante às hastes HI e HL (Tabelas 18 e 23).

A menor mobilização de solo no sulco de semeadura, em área (Tabela 28) e em volume de solo mobilizado por hectare (Tabela 29), obtidos com a haste Stara Sfil, também pode ser resultante do menor teor de água no solo no momento dos testes, comparado aos testes com as demais hastes

sulcadoras, pois menor teor de água no solo resulta em aumento nas forças de coesão e, com isso, há redução da mobilização no sulco, decorrente da passagem da haste sulcadora.

Tabela 29. Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora de adubo Stara Sfil, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (m)		Média
	12	15	
(m)	.....m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> .....		
0,10	240,4	328,5	284,5 b
0,20	268,5	283,9	276,2 b
0,30	235,9	324,4	280,1 b
0,40	227,3	291,1	259,2 b
Sem pastejo	302,8	349,1	325,9 a
Média	255 B	315,4 A	285,2
C V (%)	11,1	9,5	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05)

Tabela 30. Força específica na haste sulcadora de adubo Stara Sfil, em função das profundidades de regulagem, nos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo	Profundidade de atuação do sulcador de adubo (cm)		Média
	12	15	
(m)	.....N cm <sup>-2</sup> .....		
0,10	22,1	33,6	27,9 a
0,20	18,2	35,8	27,0 a
0,30	18,4	31,3	24,8 a
0,40	17,5	31,1	24,3 a
Sem pastejo	11,7	24,4	18,1 b
Média	17,6 B	31,2 A	24,4
C V (%)	10,5	8,9	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05)

### 4.3. População de plantas e produtividade de grãos de soja

Na Tabela 31 são encontrados os valores do número de plantas de soja em relação aos tratamentos de intensidade de pastejo nas safras 2004/05 e 2005/06. Observa-se uma população média de plantas por hectare inferior na safra 2004/05 em relação à safra 2005/06. Houve diferença ( $P < 0,05$ ) no número de plantas na safra 2004/05, com redução no estande à medida que aumentou a intensidade de pastejo. Nos tratamentos em que houve pastejo pelos bovinos, a população de plantas de soja ficou aquém do sugerido pela recomendação técnica da cultura (300.000 plantas por hectare). Porém, superou a população obtida por Herzog (2003) e Herzog (2004), que, mesmo assim, resultou em produtividades de grãos superiores a  $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , acima da média do Estado.

Segundo Cassol (2003), a soja semeada no sistema de integração lavoura-pecuária sofre redução da população de plantas com o aumento da carga animal imposta, ou seja, nas menores alturas de manejo da pastagem (10 e 20 cm) o número de plantas foi menor que nas maiores alturas de condução da pastagem (30 e 40 cm) e nas áreas sem pastejo.

Xavier (2005) verificou que as doses de resíduos sobre o solo, no experimento irrigado, afetaram a população de plantas de soja, enquanto no experimento não irrigado não houve influência. No entanto, as profundidades de atuação do sulcador de adubo não alteraram a população de plantas de soja, tanto no experimento irrigado, quanto no experimento não irrigado.

A influência da intensidade de pastejo sobre a população de plantas da cultura subsequente à pastagem pode ser devida à cobertura do solo por resíduo, e seu efeito no teor de água no solo (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990) e também de reflexos da compactação superficial do solo (Taboada, 2005). Esta compactação pode, até certo ponto, proporcionar condições não adequadas a um bom leito de semeadura. Porém deve-se ter em mente que são diversos os fatores envolvidos na germinação e estabelecimento de uma cultura e, dessa forma, é preciso cautela e uma análise mais complexa para se poder atribuir de forma segura o efeito isolado de um fator sobre a população de plantas. No entanto, a menor população de plantas nos tratamentos mais intensamente pastejados não se refletiu na produtividade da cultura da soja, como pode ser visto na Tabela 32. Nota-se que a produtividade média da soja foi baixa na

safra 2004/05, que pode ser atribuído ao déficit hídrico ocorrido em algum período ao longo do ciclo da soja. Já na safra 2005/06, apesar do incremento de produtividade de 44% em relação à safra anterior, não houve diferença entre os tratamentos de intensidades de pastejo. A produtividade de soja nesses dois anos de avaliação é, no entanto, muito inferior à obtida nesta mesma área experimental em safras de anos normais de pluviosidade, nos quais foram alcançados rendimentos de grão de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>, conforme (Cassol 2003 e Flores 2004).

Tabela 31. Número de plantas de soja por hectare, nas duas safras avaliadas, em função dos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo (m)	Plantas por hectare		Média
	Safra 2004/05	Safra 2005/06	
0,10	195.556 c	267.407	231.481
0,20	208.148 c	278.519	243.333
0,30	237.778 b	294.519	265.926
0,40	243.704 b	310.370	277.037
Sem pastejo	295.556 a	297.778	296.667
Média	236.148	289.630	262.889
C V (%)	16,3	13,1	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan (P< 0,05)

Tabela 32. Produtividade de soja nas duas safras avaliadas em função dos tratamentos estudados.

Intensidade de pastejo (m)	Plantas por hectare		Média
	Safra 2004/05	Safra 2005/06	
	.....kg ha <sup>-1</sup> .....		
0,10	1.291	1.849	1.570
0,20	1.300	1.783	1.541
0,30	1.193	1.714	1.453
0,40	1.306	1.915	1.610
Sem pastejo	1.197	1.822	1.510
Média	1.257	1.816	1.537
C V (%)	8,7	7,4	

Ausência de letras após as médias indica que não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Tanto o número de plantas por área, como a produtividade de grãos da cultura da soja que demonstram ter sido pouco afetados pela presença de animais, são suportados pela ausência de diferença entre os tratamentos, nos atributos físicos de solo avaliados, como a densidade, porosidade total,



macroporosidade e microporosidade. No entanto, as diferenças de resistência do solo à penetração detectadas entre os tratamentos não afetaram a soja, tanto na população de plantas, quanto na produtividade de grãos.

Cassol (2003) encontrou que a produtividade da soja foi diretamente proporcional à altura de manejo da pastagem, tendo a massa de forragem e a produção de soja uma relação linear. No entanto, ao se trabalhar em um sistema integrado não se pode atender a apenas um fator, como optar pela máxima produtividade da soja e, por outro lado perder em quantidade e qualidade na produção animal. Analisando o efeito da massa residual do pastejo, Cassol (2003) conclui que 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de palhada remanescentes sobre o solo são suficientes para promover bons ganhos com animais em pastejo e produtividade de soja satisfatória.

Em avaliação econômica do sistema de integração lavoura-pecuária, Cassol (2003) observou que a margem bruta para a cultura da soja aumentou de forma quadrática com o aumento da altura de condução da pastagem, enquanto que para a produção de bovinos decaiu linearmente. Isso demonstra que é preciso conciliar a exploração da pastagem de forma que os rendimentos com agricultura e pecuária sejam satisfatórios, e que se analise o sistema economicamente por meio do somatório das duas atividades.

Quanto à produtividade da soja, Lunardi (2005) obteve menor rendimento em áreas sem pastejo, atribuindo esse resultado à ausência da reciclagem de nutrientes proporcionada pelos animais. Nas áreas pastejadas, foi mais produtiva a que teve intensidade de pastejo baixa, em relação à moderada.

A produtividade da soja é determinada pelos componentes de rendimento, que são o número médio de plantas por área, de legumes por área, de grãos por legume e peso médio dos grãos. Para Lunardi (2005), a presença de animais em sistema de integração lavoura-pecuária favoreceu a produtividade da soja por afetar positivamente o número de legumes por planta e o peso de 1.000 grãos.

#### **4.4. Relações entre algumas das variáveis estudadas.**

A seguir são apresentados os resultados de regressões e correlações envolvendo algumas das variáveis estudadas. Para essas relações fez-se necessário conhecer a altura do pasto para o tratamento sem pastejo, já que os demais tratamentos são representados por altura do pasto. Para se atribuir a altura nesse tratamento, buscou-se nas diversas medições executadas ao longo dos períodos de pastejo, o momento que a pastagem apresentou a maior altura, ocorreu no início de setembro, bem antes do final do ciclo da forrageira.

A altura do pasto no tratamento sem pastejo decresceu no final do ciclo devido ao acamamento, influenciado pela ausência de pastejo e emissão de estrutura reprodutiva. Obteve-se que a maior altura atingida no tratamento sem pastejo foi de 50,7 cm no ano de 2004 e de 55,2 cm no ano de 2005. Para as análises realizadas, envolvendo essas alturas, utilizou-se a média desses valores. As alturas de pasto ao longo do período de pastejo foram monitoradas e apresentadas nas avaliações realizadas por estudantes e pesquisadores do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

Observa-se, nas Figuras 3 e 4, que a resistência do solo à penetração diminuiu linearmente com o aumento da altura da pastagem. Isso demonstra que o maior número de animais em pastejo na mesma área se refletiu em aumento da resistência do solo à penetração, resultado da alteração na estrutura do solo ou no seu teor de água. Como as alterações na estrutura do solo não são claramente observadas entre os tratamentos através da densidade (Tabela 7) e da porosidade total (Tabelas 8), macroporosidade (Tabelas 9) e microporosidade (Tabelas 10), supõe-se que o teor de água (Figura 2) tenha tido maior contribuição na resistência à penetração, e este seja diretamente relacionado à cobertura do solo por resíduos da pastagem, diminuindo a perda de água a partir da superfície.

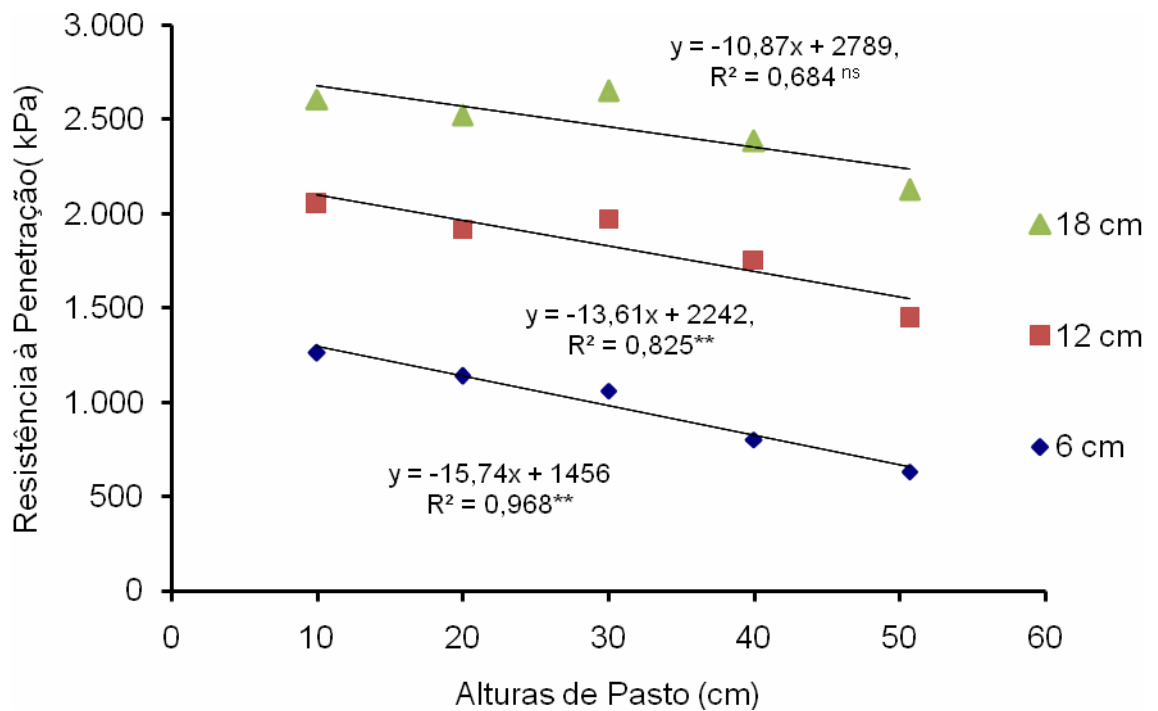


Figura 3. Relação entre alturas de pasto e resistência do solo à penetração medida em diferentes profundidades, na semeadura da soja safra 2004/05.

(\*\* e \*) Regressão significativa ao nível de significância de 1% e 5%, respectivamente.

Ao analisar a relação entre força de tração na haste sulcadora e altura da pastagem (Figuras 5 e 6) nota-se o mesmo comportamento já citado para a resistência à penetração, ou seja, redução linear significativa na força de tração demandada com aumento na altura da pastagem, resultante da menor pressão de pastejo. Isso pode ser observado quando se analisa a força de tração por profundidade de atuação das hastes sulcadoras (Figura 5) ou então pelos modelos de hastes estudados (Figura 6). Mas, apesar da regressão entre força de tração e altura da pastagem ter significância estatística, quando foram feitas as comparações de médias para força de tração nas hastes e os tratamentos da intensidade de pastejo, nem sempre houve diferenciação significativa entre os tratamentos (Tabelas 11, 16, 21, e 26).

As hastes HN (Haste normal Vence Tudo) e SF (Stara Sfil) melhor expressam a redução na força de tração com o aumento da altura da pastagem, o que pode ser comprovado pela significância da equação de regressão da Figura 6.

A força de tração na haste Stara Sfil aumenta linearmente com o decréscimo da altura da pastagem resultante da maior intensidade de pastejo (Figura 6), fato que também pode ser observado na Tabela 26, para as duas profundidades de atuação da haste. O mesmo comportamento para a força de tração em relação à altura da pastagem é observado para a haste HN. No entanto, as hastes HI e HL não apresentaram redução linear significativa para a força de tração (Figura 6).

Utilizando as hastes HI e HL não se confirmou a relação significativa entre a força de tração exigida e a altura da pastagem, apesar de terem sido avaliadas na mesma ocasião da haste HN. Possivelmente, a profundidade que ambas atuaram, superior a da haste NH, ou aspectos geométricos das mesmas não permitiu que as mesmas detectassem o efeito do pastejo menos intensivo.

Ao analisar a Figura 5, comprova-se o aumento na força de tração com o aumento na profundidade de atuação da haste sulcadora, como constatado por diversos autores (Levien 2004; Xavier, 2005 e Cepik, 2006).

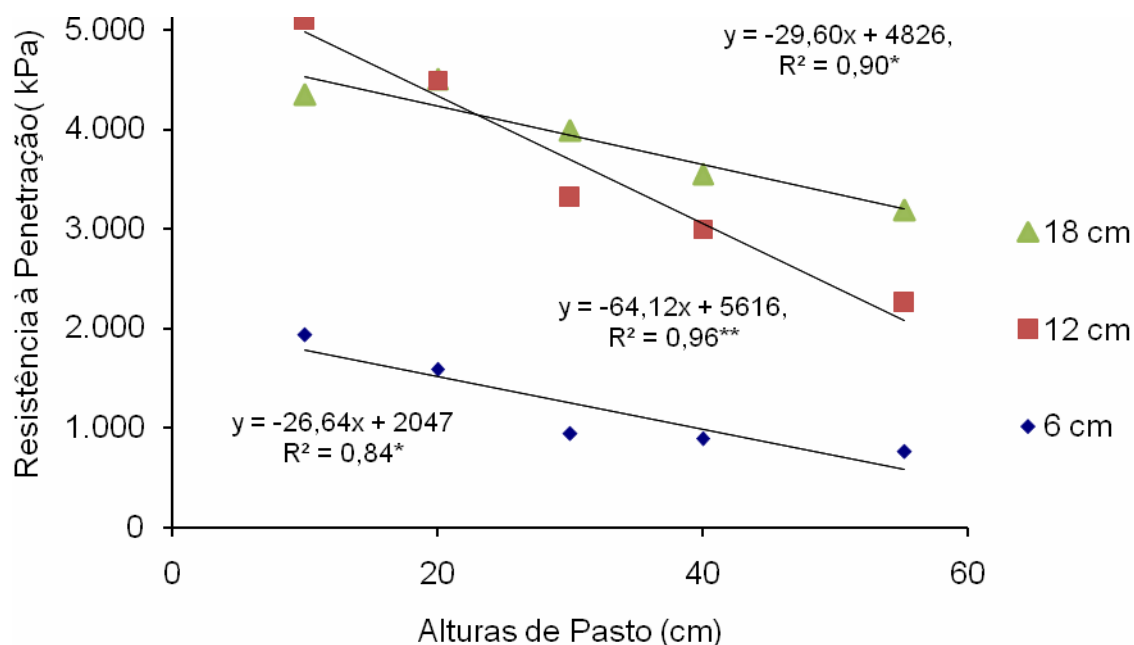


Figura 4. Relação entre alturas de pasto e resistência do solo à penetração medida em diferentes profundidades, na semeadura da soja safra 2005/06.

(\*\* e \*) Regressão significativa ao nível de significância de 1% e 5%, respectivamente.

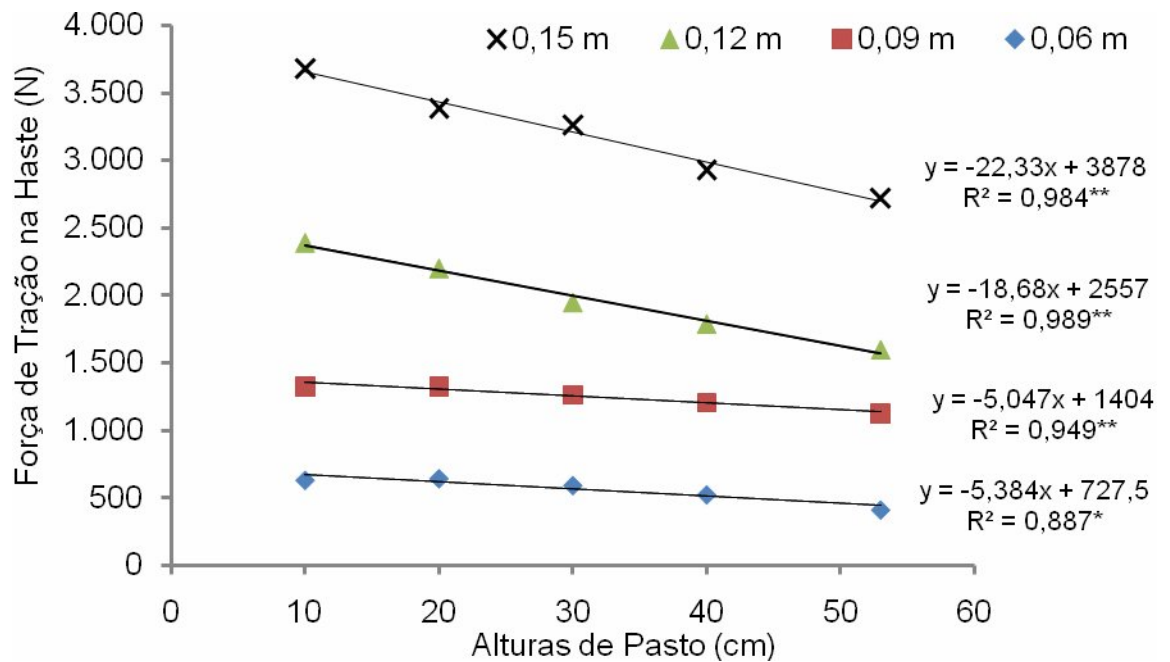


Figura 5. Relação entre alturas de pasto e força de tração medida em hastes sulcadora atuando em diferentes profundidades.

(\*\* e \*) Regressão significativa ao nível de significância de 1% e 5%, respectivamente.

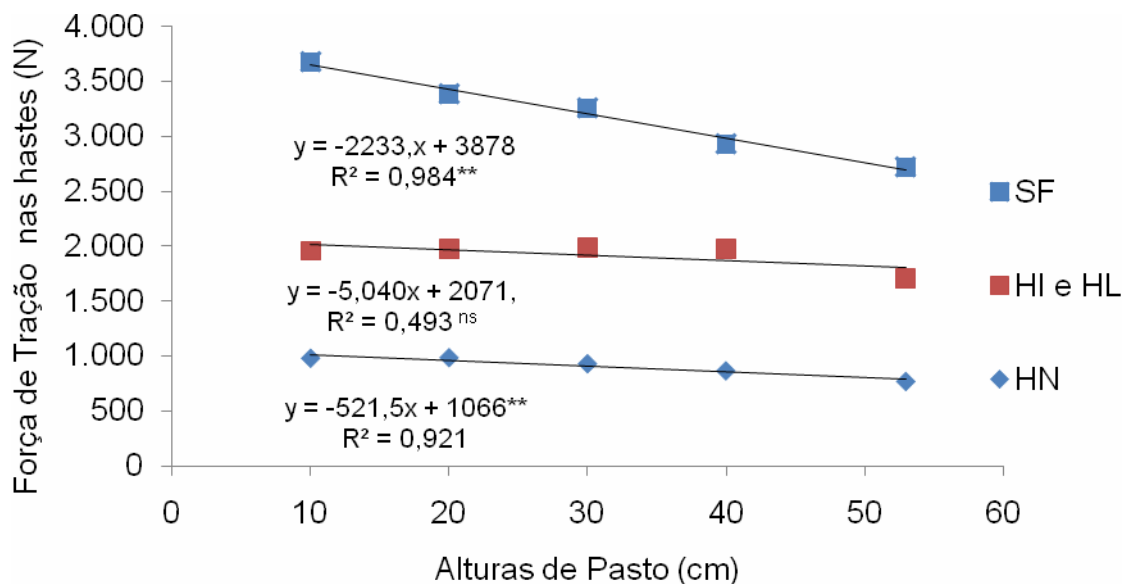


Figura 6. Relação entre alturas de pasto e força de tração medida em modelos de hastes sulcadoras atuando em diferentes profundidades.

\*\* Regressão significativa ao nível de significância de 1%.

Ao se relacionar as variáveis, resistência do solo à penetração e força de tração medida nas hastes sulcadoras de adubo das semeadoras-adubadoras, o coeficiente de correlação foi significativo, indicando que uma

dessas variáveis pode indicar o quanto a outra é capaz de variar. Essa correlação entre resistência à penetração e força de tração foi obtida para as hastes HN e Stara Sfil, nas duas profundidades de atuação (Figuras 7 e 8).

Se a resistência do solo à penetração é um método clássico e eficiente de se diagnosticar compactação do solo, e esta medida apresenta correlação significativa com a força de tração medida nas hastes sulcadoras de semeadoras, conclui-se que a mesma é capaz de diagnosticar alterações na estrutura do solo, como a compactação. Dessa forma, o uso de hastes sulcadoras instrumentadas para aquisição do esforço de tração, pode fornecer um diagnóstico da condição física do solo, principalmente com relação à compactação, e assim substituir avaliações específicas para esse fim.

Neste caso, onde se comparou a força de tração nos tratamentos com diferentes intensidades de pastejo, que supostamente proporcionariam diferenças nos atributos físicos de solo, nem sempre se obteve diferenças entre os tratamentos propostos, quando analisados estatisticamente por comparação de médias, porém as regressões entre força de tração e alturas de pasto foram significativas. Também se percebe que nem todos os modelos de hastes testadas apresentaram relação linear significativa entre força tração e os tratamentos de intensidade de pastejo.

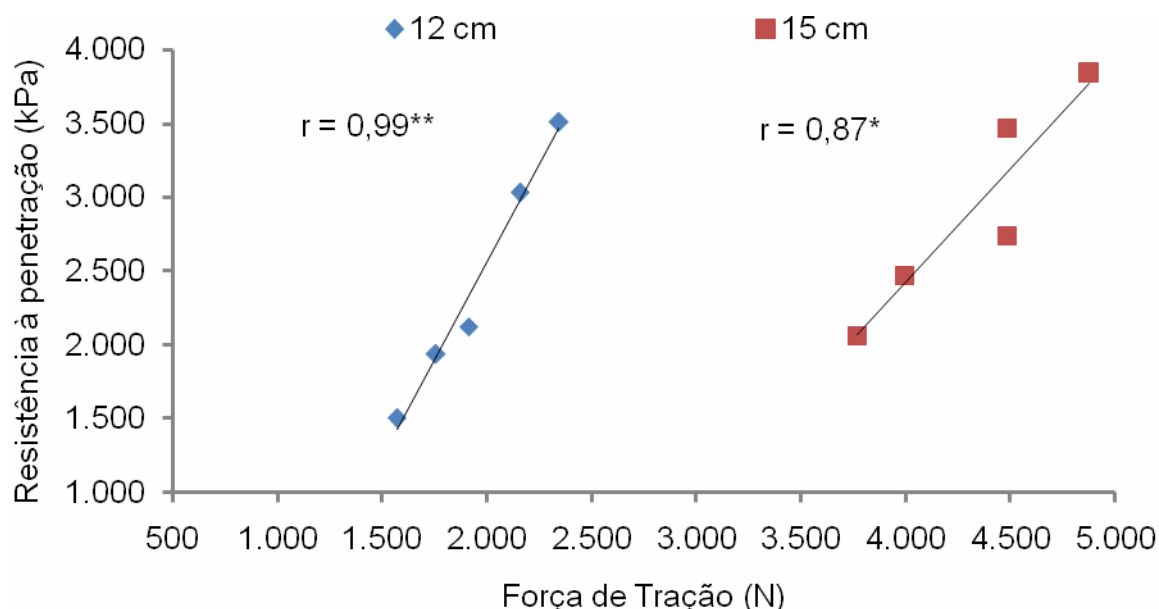


FIGURA 7. Correlação entre resistência do solo à penetração e esforço de tração mensurado na haste sulcadora Stara Sfil, em duas profundidades.

(\*\* e \*) Regressão significativa ao nível de significância de 1% e 5%, respectivamente.

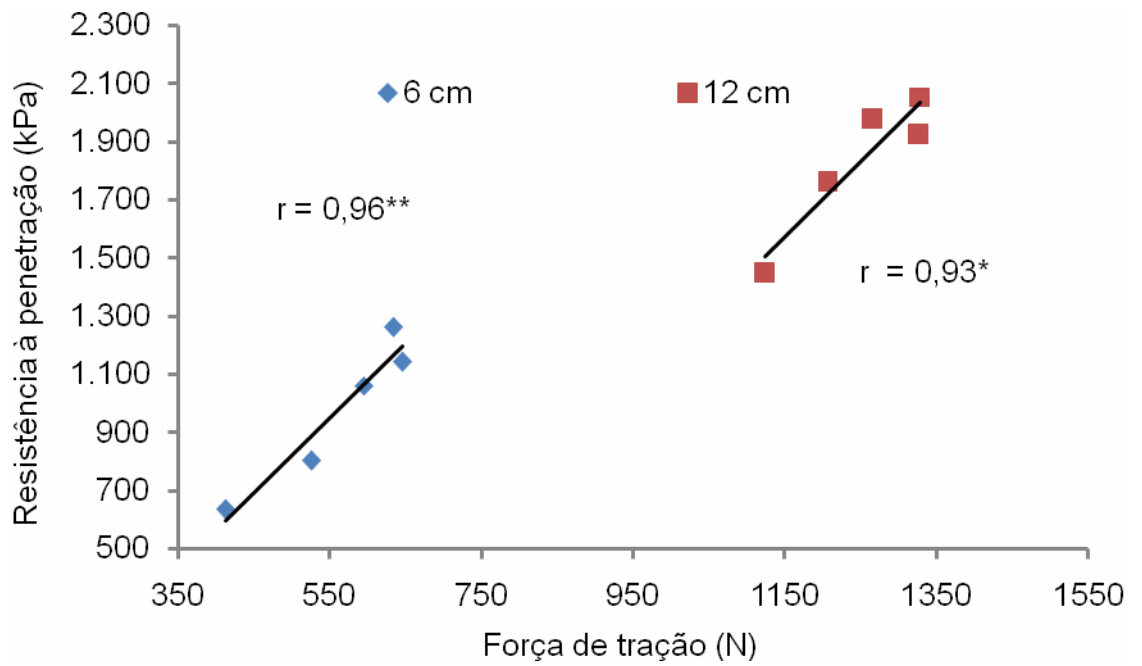


FIGURA 8. Correlação entre resistência do solo à penetração e esforço de tração mensurado na haste sulcadora HN, em duas profundidades. (\*\* e \*) Regressão significativa ao nível de significância de 1% e 5%, respectivamente.

## 5. CONCLUSÕES

Nas condições em que as avaliações que deram base a este trabalho foram realizadas, após quatro anos que a área experimental vem sendo conduzida com adoção do sistema lavoura-pecuária, pode-se concluir que:

1) Por meio da força de tração medida na haste sulcadora foi possível diagnosticar o efeito da presença de animais em diferentes intensidades de pastejo sobre o solo, sendo que o esforço de tração aumentou linearmente com a intensidade de pastejo, em duas das hastes sulcadoras estudadas (HN e Stara Sfil).

2) O aumento na intensidade de pastejo, com incremento no trânsito de animais sobre a pastagem se refletiu, em elevação na resistência do solo à penetração.

3) Os atributos físicos de solo como a densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade se mostraram pouco sensíveis para detectar o efeito do aumento do tráfego de animais sobre o solo, ou seja, a elevação na intensidade de pastejo.

4) O pastejo menos intensivo resultou em maior quantidade de resíduos sobre o solo no final do período de uso da pastagem, sendo os mesmos foram responsáveis pela manutenção de maior teor de água no solo.

5) A massa de raízes da pastagem avaliada até 10 centímetros, no final do período de pastejo, foi menor onde a pastagem foi menos intensivamente pastejada ou permaneceu sem pastejo.

6) A presença de animais em pastejo promoveu alterações nas condições físicas de solo até 12 e 15 cm, detectada pela resistência do solo à penetração e força de tração demandada na haste sulcadora, respectivamente.



7) Os modelos de hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras diferiram quanto à força de tração demandada na semeadura da soja.

8) Hastes sulcadoras mais longas, capazes de atuar a profundidades maiores que 12 cm, apresentaram uma profundidade crítica de trabalho, a partir da qual houve um elevado incremento na demanda de tração, sem correspondente aumento no volume de solo mobilizado na linha de semeadura.

9) A produtividade da cultura da soja não foi afetada pela intensidade de pastejo dos bovinos, nas duas safras avaliadas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A. et al. Efeito da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v.25, n.3, p.717-723, 2001.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 319-326, 1996.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer** – ASAE EP542. Saint Joseph, 1999.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Soil Cone Penetrometer** – ASAE S 313.3. Saint Joseph, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management data. In: ASAE standards 1999: standards engineering practices data.** San Joseph, 1999. p.359-66. (ASAE D497.4 JAN 98).

ANDREOLLA, V. R. M.; FILHO, A. G.; CARDOSO, D. L.; TABILE, A. R.; TOLEDO, A., BONINI, A. K. Resistência à penetração e grau de compactação de um Latossolo sob o pisoteio do gado no sistema integração lavoura-pecuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...**João Pessoa: UFCG, 2006a. 1 CD-ROM.

ASAE, S209.5. Agricultural tractor test code. In: ASAE standards 1989: standards engineering practices data. St. Joseph, 1989, p. 44-8.

ASAE. Agricultural Machinery Management. In: ASAE standards 1999: standards engineering practices data. St. Joseph, 1999, p. 359-336.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil Physics**. New York: J. Wiley, 1972. 498 p.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solo**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e funções da matéria orgânica. In: SANTOS, J. A.; CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo** – Ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 9-26.

BENEZ, S.H.; JORAJURIA, D. **Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito Latinoamericano**. La Plata: Editorial de la UNLP, 1998. p. 159-164.

BENGOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.41, p.341-358, 1990.

BENNIE, A. T. P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plant roots**. 2nd ed. New York: M. Dekker, 1996. p. 453-470.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. de; ALMEIDA, E. X. de; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.1047-1054, 2000.

BERTOL, I.; GOMES, K. E.; DENARDIN, R. B. N.; MACHADO, L. A. Z.; MARASCHI, G. E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.779-786, 1998.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Ceres, 1985. 392p. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39 n.6, p.581-588, 2004.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, M.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, MG, v.25, p.167-177, 2001.

BEUTLER, J. F. **Parâmetros de solo e máquinas na semeadura direta de milho e soja em duas coberturas de solo sobre campo natural**. 2005. 107 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BIRCHAM, J.S. **Herbage growth and utilization under continuous stocking management**. 1981. Ph.D. thesis. University of Edinburgh.

BORDIGNON, J.; BATISTA, V.; THOMAS, C. A. K.; SILVA, S. N.; CEPIK, C.; TREIN, C.R. Demanda de tração em linha de semeadura em função de diferentes profundidades de atuação da haste e velocidades de operação, em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...** Canoas:ULBRA, 2005. 1 CD-ROM.

BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; REGAZZI, A.J.; FERNANDES, B.; BARROS, N.F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres, Viçosa**, v.35, p. 553-568, 1988.

BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora sob diferentes velocidades e condições de cobertura do solo na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...** Canoas:ULBRA, 2005. 1 CD-ROM.

BOTTA, G. F. Compactación en suelos labrados de baja capacidad portante. In: JORAJURÍA COLLAZO, D. (Org.) Reologia del suelo agrícola bajo tráfico: **Modificaciones fisico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2005. p.73-84.

BOUMA, J. **Guide to the study of water movement in soil pedons above the watertable**. Madison: University of Wisconsin, 1973. 194p.

Brady, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BRAGAGNOLO, N. ;MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo s seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.369-374, 1990.

BROCH, D. L.; PITOL, C.; BORGES, E. P. Integração agricultura-pecuária: plantio direto de soja na integração agropecuária. Maracajú-MS: Fundação MS, 1997. 24 p. (Informativo Técnico)

BROCH, D.L. Integração agricultura – pecuária no Centro – Oeste do Brasil. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., 2000, Uberlândia. **Plantio direto na integração lavoura – pecuária**. Uberlândia: UFU, 2000. p.53-60.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura: dificuldades para a sua adoção. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7., 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu, 2000. p.145-152.

CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L.R.f. **Reconhecimento e Medida da Compactação do Solo**. 2000. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/Comp1.htm>>. Acesso em: 28 jan. 2006.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. 2006. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/Comp1.htm>>. Acesso em: 28 jan. 2006.

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

CARDOSO, F. Braquiária é mais que pasto. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 25 dez. 2000, n. 2355, p.17-19. Suplemento Agrícola. Suplemento Agrícola,

CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISH, R. **Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Primeiro de Maio, PR**. Londrina: IAPAR, 2000. 14 p. (Boletim técnico).

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 143 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratórios e de irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI : Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 1986. 216p.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p. 263-266, 1985.

CEPIK, C. T. C. **Parâmetros de solo e máquinas em semeadura direta em diferentes doses de cobertura de solo e diferentes configurações de deposição de adubo**. 2006. 117 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CEPIK, C.; TREIN, C.; LEVIEN, R.; CONTE, O. Demanda de tração em haste sulcadora de adubo em função de coberturas de inverno e profundidades de atuação da haste, em semeadura direta de feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...Canoas: ULBRA, 2005a. 1 CD-ROM.**

CEPIK, C.; TREIN, C.; LEVIEN, R.; CONTE, O. Estado de compactação do solo em área sob semeadura direta, mapeado por meio de dados de esforço de tração em haste sulcadora de semeadora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais... Canoas: ULBRA, 2005b. 1 CD-ROM.**

CONAB.[**Informações**].Disponívelem:  
<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>.> Acesso em: 25 fev. de 2007.

CORREA, J.C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.1, p.107-114, 1995.

COSTA, O.V.; NASCIMENTO JUNIOR, D. **Impacto animal sobre o componente abiótico do solo: ciclagem de nutrientes e compactação**. Disponível em: <[www.tdnet.com.br/domicio/Impacto\\_animal\\_sobre.htm](http://www.tdnet.com.br/domicio/Impacto_animal_sobre.htm)>. Acesso em: 15 nov. de 2006.

DA ROS C. O.; SECCO D. ; FIORIN J. E. ; PETRERE C. ; CADORE M. A.; PASA L. Manejo do solo a partir de campo nativo : Efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, 1997, vol. 21, n. 2, p. 241-247.

DENARDIN, J. E. ; KOCHHANN, R A . Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: CENTRO NACIONAL DE PESQUISA

DE TRIGO [da] EMBRAPA; FECOTRIGO; FUNDAÇÃO ABC. (Org.). **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. v.5 , p. 19-27.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 3-4, p. 199-238, 1988.

DEXTER, A.R. Soil physical quality - Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, n.3-4, p. 201-214, 2004.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p.175-182, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: SPI, 1999.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA / SNLCS, 1997. 247 f.

FAGANELLO, A. **Avaliação de sulcadores para semeadura**. 1989. 89 f. Dissertação (Mestrado em Mecanização Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1989.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de solos**: com ênfasis en suelos de América Latina. 2. ed. San José: IICA, 1994. 420 p.

FBPDP.[**Informações**].Disponível em:  
<<http://www.febrapdp.org.br/arquivos/BREvolucaoPD2002a2006.pdf>>. Acesso em: 27 de fev. de 2007.

FILHO, A. G. S. **Desempenho energético e operacional em função da velocidade de deslocamento e do teor de água no solo**. 1993. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, 1993.

FLORES, J. P. C. **Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.8, p. 947-953, 2003.

GIRARDELLO, V.; LOVATO, T.; LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; WEBER, M. A. Efeito do manejo da pastagem de inverno e do sistema de cultivo da soja na densidade e

porosidade do solo In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 5., 2004, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: UFSC, 2004. 1 CD-ROM.

GOEDERT, W.J. Uso e manejo dos recursos naturais do Cerrado: solo e clima. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 5., 1979, Brasília. **Cerrado: uso e manejo**. Brasília: Editeria, 1980. p. 475-498.

GREGORY, P.J. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. In: WILD, A. (Coord.) **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas segun Russell**. Madrid : Mundi-Prensa, 1992. p. 121-175.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, p. 213-218, 2002.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advances in Soil Sciences**, New York, v. 6, p. 65-100, 1987.

HAKANSSON, I. ; REEDER, R.C. Subsoil compaction by vehicles with high axle-load extent, persistence and crop response. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 29, p. 277-304, 1994.

HATANO, R.; IWANAGA, K.; OKAJIMA, H.; SAKUMA, T. Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 34, n. 4, p. 535-546, 1988.

HENKLAIN, J.C. Influência do tempo no manejo do sistema de semeadura direta e suas implicações nas propriedades físicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: SBCS: EMBRAPA, 1997. 1CD-ROM.

HERZOG ,R. L. S. **Semeadura direta de soja sobre resíduos de aveia preta cultivada em campo nativo, em função de doses de resíduos, irrigação e profundidades de atuação do sulcador de adubo da semeadora-adubadora**. 2003. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HERZOG R. L. S.; LEVIEN, R.; BEUTLER, J.F.; TREIN, C.R. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduos sobre o solo na semeadura direta de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. 2002, Salvador. **Anais...** Salvador:Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1CD-ROM

HERZOG, R.L.S.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R. Produtividade de soja semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 771-780, 2004.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York : Academic Press, 1982. 364 p.

IMHOFF, S. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

JORAJURÍA COLLAZO, D. Compactación del suelo agrícola inducida por tráfico vehicular. Una Revisión. In: JORAJURÍA COLLAZO, D. (Org.) Reología del suelo agrícola bajo tráfico: **Modificaciones fisico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2005. p. 39-55.

KEISLING, T.; BATCHELOR, J. T.; PORTER, O. A. Soybean root morphology in soils with and without tillage pans in the lower Mississippi River Valley. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 3, p. 373-384, 1995.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo : Ceres, 1979. 262 p.

KLUTHCOUSKI, J.; PACHECO, A. R. ; TEIXEIRA, S. M. et al. Renovação de pastagem do cerrado com arroz. 1- Sistema Barreirão. Goiânia-GO: EMBRAPA-CNPAP; 20p. Documentos, 33, 1991.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H.; CABUCCI, T. Integração lavoura- pecuária e o manejo de plantas daninhas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 106, Jun. 2004. POTAFOS. Encarte Técnico.

LANÇAS, K.P. **Subsolador: constituição, regulagens, operação e desempenho**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrárias - UNESP, 1991. 47p. Apostila.

LANZANOVA, M. E.; LOVATO, T.; NICOLOSO, R. S.; GIRARDELLO, V.; SILVA V.L; BRAGAGNOLO, J. Efeito do pisoteio bovino na infiltração de água de um argissolo vermelho-amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: UFRP, 2005. 1 CD-ROM.

LANZANOVA, M. E.; LOVATO, T.; NICOLOSO, R.S. Freqüência de pastoreio na pastagem de inverno e sua influência na produtividade de grãos de soja, sob plantio direto. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 5., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004. 1 CD-ROM.

LEÃO, T. P. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (*Zea mays L.*)** 1999. 305 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1999.

LUNARDI, R. **Atributos físicos do solo e rendimento de soja num sistema de integração lavoura-pecuária**. 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado – Plantas Forrageiras) -Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.



MACHADO, A.L.T.; **Esforço de tração para ferramentas de hastes com ponteiros estreitas em dois solos do Rio Grande do Sul.** 2001. 175 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MACHADO, L.A.Z.; SALTON, J.C.; PRIMAVESI, O.; FABRÍCIO, A.C.; KICHEL, A.N.; MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H.; GUIMARÃES, C.M. Integração agricultura – pecuária. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z. **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília: EMBRAPA . SPI, 1998. p.217-232.

MAGALHÃES, R. P.; MOLIN, J. P.; FURLANI, G. D. C. Relação entre o índice de cone, teor de água, textura e matéria orgânica do solo em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...** Canoas: ULBRA, 2005. 1 CD-ROM.

MARCHEZAN, E.; VIZZOTO, V.R.; ZIMMERMANN, F.L. Produção de forrageiras de inverno em diferentes espaçamentos entre drenos superficiais sob pisoteio animal em várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n. 3, p. 393-397, 1998.

MATERECHERA, S.A.; ALSTON, A.M.; KIRBY, J.M.; DEXTER, A.R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.144, p. 297-303, 1992.

MELLO, L.M.M. **Integração agricultura-pecuária em plantio direto: atributos físicos e cobertura residual do solo, produção de forragem e desempenho econômico.** 2001. 72 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p. 369-374, 1991.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER D. ; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In. MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre: Evangraf, 2006. p.117-162.

MIELNICZUK, J. Importância do Estudo de Raízes no Desenvolvimento de Sistemas Agrícolas Sustentáveis.. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju, SE. **Anais...**: Metodologias e Estudo de Casos. Aracaju, SE. : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. v. 1. p. 13-17.

MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 38, p. 42-3, 1985.

MODOLO, A. J.; FILHO, A. G., SUEDEMIO DE L. SILVA, S. L.; GNOATTO, E. Força de tração necessária em função do número de linhas de semeadura utilizadas por uma semeadora-adubadora de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 465-473, maio/agosto. 2005.

MONTICO, S. ; BONEL, B. Influencia de la compactación por tránsito sobre la arquitetura de las raíces. In: JORAJURÍA COLLAZO, D. (Org.) Reologia del suelo agrícola bajo tráfico: **Modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2005. p.13-20.

MORAES, A. et al. Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3., 1998, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco:CEFET-PR, 1998. 1 CD-ROM.

NOLLA, D. **Efeito de diferentes usos agrícolas do solo em algumas propriedades físicas em Latossolo Roxo Distrófico**. 1983. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1983.

NUERNBERG, N. J.; STAMMEL, J. G.; CABEDA, M. S. V. Efeito de sucessão de culturas e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 185-190, 1986.

OLIVEIRA, I. P. de; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P.; DUTRA, L.G.; PORTES, T. de A.; SILVA, A.E. da; PINHEIRO, B. da S.; FERREIRA, E.; CASTRO, E. da M. de; GUIMARÃES, C.M.; GOMIDE, J. de C.; BALBINO, L.C. **Sistema Barreirão: recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais**. Goiânia: Embrapa.CNPAP, 1996. 87 p. (CNPAP. Documentos, 64).

PASSIOURA, J. B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 29, p. 717-728, 1991.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 541 p.

PRIMAVESI, O.; MELLO, F.A.F. ; LIBARDI, P.L. Seleção preliminar de parâmetros físicos mais adequados para estudar o efeito da compactação de amostras de solo sobre a produção de matéria seca do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: ANAIS DA ESALQ **Anais...** Piracicaba:ESALQ 41:449-463, 1984.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B. et al. Root structural aspects and development of soybean in compacted soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, vol. 35, n. 5, p. 929-938, 2000.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119 p.

REINERT, Dalvan José ; REICHERT, José Miguel ; SILVA, V. R. Sistema radicular de milho e compactação do solo afetados pelo pastejo e preparo. In: CONGRESSO LATIOAMERICANO DE INGENIERÍA RURAL, 13., 1998, La Plata. [**Anais...**]: Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito Latinoamericano. La Plata, Argentina, 1998. v. 1, p. 159-164.

ROCHA, E.L.C. Plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7., 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu, 2000. p.118.

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

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n.1, p. 109-115, 2002.

RUSSEL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots to the mechanical impedance. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 22, p. 305-318, 1974.

SALTON, J.C. et al. **Alterações em atributos físicos do solo decorrentes da rotação soja-pastagem, no sistema plantio direto**. Dourados: EMBRAPA, 1999a. Não paginado. (Comunicado técnico, 10).

SALTON, J.C.; OLIVEIRA, H.; FABRICIO, A.C.; MACHADO, L.A.Z. Uso do SGI/INPE na avaliação de atributos físicos do solo no sistema de integração agricultura-pecuária. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n.51, 1999b.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V. **Dinámica y mecánica de suelos**. Madrid : Ediciones Agrotécnicas, 1996. 426 p.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; RAMÍREZ, J. J.; LITAGO, J. J.; HERNANZ, J. L. Effect of soil compaction and water content on the resulting forces acting on three seed drill furrow openers. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 25-37, 2005.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Biodinâmica de Solos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C. ; DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 422-427, 1985.

SHULER, R.T.; WOOD, R.K. Soil compaction. In: CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS AND MANAGEMENT: crop residues management with no-till, ridge-till, mulch-till. Ames: Midwets Plan Service, 1992. p. 42-45.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 1-18.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; MAZZA, J.A. Manejo físico de solos sob pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.25-37.

SILVA, E.C. **Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto na região de cerrado**. Ilha Solteira: Folheto Explicativo da UNESP, 2001. 83p.

SILVA, I. de F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SILVA, I. F. **Efeito de sistema de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um Latossolo**. 1980.70 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular da soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n. 6, p. 855-860, 2002.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p.191-199, 2000b.

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**, Santa Maria, v. 30, p. 795-801, 2000a.

SOUSA, A.R.; SILVA, A.B.; RESENDE, M. Influência da pressão exercida por pisoteio de animais na compactação do solo do vale do Pajeú, em Pernambuco. In: REUNIÃO BRASILEIRO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1988, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 1998. p.256-257.

SPOOR, G.; GODWIN, R.J. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of agriculture engineering research**, Silsoe, v.23, p.243-258, 1978.

STAFFORD, J.V. The performance of a rigid tine in relation to soil properties and speed. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.24, p.41-55, 1979.

TABOADA, M. A. Efectos del pastoreo y pisoteo animal sobre las propiedades físicas de suelos. In: JORAJURÍA COLLAZO, D. (Org.) Reología del suelo agrícola bajo tráfico: **Modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2005. p.131-143.

TANNER, C. B.; MARMARIL, C. P. Pasture soil compaction by animal traffic. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, n. 6, p. 329-331, 1959.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p.

TERMINIELLO, A. M.; PALANCAR, T. Compactación por tránsito em sistema de producción hortícola. In: JORAJURÍA COLLAZO, D. (Org.) **Reologia del suelo agrícola bajo tráfico**: Modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2005. p.57-72.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 17, n. 4, p. 429-441, 1979.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 301-309, 1998a.

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**, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998b.

TREIN, C.R. et al. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.1, p.105-111, 1991.

TUBEILEH, A.; GROLEAU-RENAUD, V.; PLANTUREUX, S.; GUCKERT, A. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize–soil system. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 71, n.2, p.151-161, 2003.

TULLBERG, J. N. Wheel traffic effects on tillage draught. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 75, n. 4, p.375-382, 2000.

UHDE, L. T.; COGO, N. P.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R. Comportamento da sucessão trevo/milho, em área com e sem pastejo intensivo, sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 493-501, 1996.

UNGER, P. W.; KASPAR, T. C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p.759-766, 1994.

VANDENBERG, G.E. **Triaxial measurements of shear strain and compaction in unsaturated soil**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 9, p. 460-467, 1966.

VAZ, C.M.P.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Tomografia computadorizada na avaliação da compactação de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p. 153-159, 1992.

VIZZOTO, V.R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo em várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n. 6, p. 965-969, 2000.

WANG, J.; HESKETH, J. D.; WOOLLEY, J. T. Preexisting channels and soybean rooting patterns. **Soil Science**, Baltimore, v. 141, p. 432-437, 1986.

WATKIN, B. R.; CLEMENTS, R. J. The effects of grazing animals on pastures. In: WILSON, J.R. (Ed.) **Plant relations in pastures**. East Melbourne : CSIRO, 1978. p. 273–289.

XAVIER, A. **Comportamento da cultura da soja em função de resíduos culturais, mobilização do solo e irrigação, em semeadura direta**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2005.

## APÊNDICE

### Apêndice 1. Características técnicas da haste sulcadora HN.

Estruturais: (kgf mm <sup>-2</sup> )	- Resistência à tração	40
	- Limite de escoamento	25
	- Resistência à compressão	80
	- Resistência à flexão	80
	- Dureza Brinell	135 a 185
Dimensionais:	- Comprimento da haste	0,415 m
	- Espessura da haste	0,0127 m
	- Largura máxima da ponteira	0,0257 m
	- Ângulo de ataque	18°

Fonte: VENCE TUDO Implementos Agrícolas Ltda.

### Apêndice 2. Características técnicas da haste sulcadora HL.

Estruturais: (kgf mm <sup>-2</sup> )	- Resistência à tração	40
	- Limite de escoamento	25
	- Resistência à compressão	80
	- Resistência à flexão	80
	- Dureza Brinell	135 a 185
Dimensionais:	- Comprimento da haste	0,475 m
	- Espessura da haste	0,0127 m
	- Largura máxima da ponteira	0,0257 m
	- Ângulo de ataque	18°

Fonte: VENCE TUDO Implementos Agrícolas Ltda.

### Apêndice 3. Características técnicas da haste sulcadora Stara Sfil.

Dimensionais:	- Comprimento da haste	0,390 m
	- Espessura da haste	0,0100 m
	- Largura máxima da ponteira	0,02275 m
	- Ângulo de ataque	20°

Fonte: Medições realizadas pelo autor.