

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**EFICÁCIA DE SULCADORES DE SEMEADORAS-ADUBADORAS E
SUAS IMPLICAÇÕES SOBRE A CULTURA DA SOJA E NOS
ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO SOB INTEGRAÇÃO
LAVOURA – PECUÁRIA**

VERUSCHKA ROCHA MEDEIROS ANDREOLLA

**CASCADEL – PR – BRASIL
AGOSTO– 2005**

VERUSCHKA ROCHA MEDEIROS ANDREOLLA

**EFICÁCIA DE SULCADORES DE SEMEADORAS-ADUBADORAS E
SUAS IMPLICAÇÕES SOBRE A CULTURA DA SOJA E NOS
ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO SOB INTEGRAÇÃO
LAVOURA – PECUÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Gabriel Filho

CASCADEL – PR – BRASIL

AGOSTO– 2005

VERUSCHKA ROCHA MEDEIROS ANDREOLLA

“Eficácia de sulcadores de uma semeadora-adubadora e suas implicações na cultura da soja e nos atributos físicos de um Latossolo sob integração lavoura-pecuária”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Antonio Gabriel Filho
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Walter Boller
UPF – Passo Fundo - RS

Prof. Dr. Décio Lopes Cardoso
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Joaquim Odilon Pereira
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Deonir Secco
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Cascavel, 03 de agosto de 2005

DEDICATÓRIA

À Deus

AGRADEÇO

*Toda a boa dádiva e todo dom perfeito são lá do alto,
descendo do Pai. Thiago 1:17.*

O poder de Deus manifesta-se no pulsar do coração, na ação dos pulmões e nas correntes vivas que circulam através dos milhares de vasos do corpo. Somos-Lhe devedores por cada momento de existência, e por todos os confortos da vida. As faculdades e aptidões que elevam o homem acima dos animais inferiores são dotes do Criador. Ele derrama sobre nós Seus benefícios. De Suas mãos recebemos o alimento que ingerimos, a água que tomamos, a roupa com que nos cobrimos, o ar que respiramos. Sem Sua providência especial, o ar estaria carregado de tóxicos e pestilências. Ele é um generoso benfeitor e mantenedor. O Sol que ilumina a Terra e glorifica toda a natureza, o brilho de mágica solenidade da Lua, as glórias do firmamento adornado de refulgentes estrelas, os aguaceiros que refrigeram a terra e fazem florescer a vegetação, as coisas preciosas da natureza em sua variada riqueza, as árvores altaneiras, os arbustos e as plantas, os cereais ondulantes, o firmamento azul, a terra verdejante, as variações do dia da noite, as estações renovadoras – tudo fala ao homem do amor dAquele que o criou. Ele nos ligou a Si por todos esses testemunhos no céu e na terra (Review and Herald, 18 de setembro de 1888)

Podemos declarar-lhe nossos negócios temporais, pedindo-lhe pão e roupa da mesma maneira que o pão da vida e o vestido da justiça de Cristo. ...Os dons dAquele que tem todo poder no Céu e na Terra estão reservados para os filhos de Deus. Dons tão preciosos que nos advêm por intermédio do precioso sacrifício do sangue do Redentor; dons que satisfarão os mais profundos anseios do coração; dons tão perduráveis como a eternidade, serão recebidos e desfrutados por todos os que se aproximarem de Deus como criancinhas. Considerem as promessas de Deus como pertencendo a vocês, supliquem-nas diante dEle como Suas próprias

palavras, e receberão a plenitude da alegria (O Maior Discurso de Cristo, Ellen G. White).

DEDICO

À Claudionor Francisco Andreolla, meu esposo, amigo e companheiro, que com sua ajuda fundamental tornou possível a realização deste trabalho e Iago, meu filho, aos quais, com seu amor, compreensão, paciência e sacrifício pessoal fizeram com que este trabalho fosse possível.

OFEREÇO

Aos meus pais Blaine Medeiros e Terezinha Medeiros da Rocha, sem os quais eu não existiria e que mesmo a distância me ajudaram e incentivaram com o amor.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Dr. Antonio Gabriel Filho, pelo incentivo, apoio, pelos ensinamentos transmitidos, paciência, amizade, companheirismo, pela orientação e ajuda na condução desta pesquisa.

Em especial ao amigo e Professor Dr. Décio Lopes Cardoso, pela sua dedicação, colaboração e co-orientação na realização deste trabalho, pela ajuda fundamental e de extrema importância, pelos ensinamentos transmitidos, amizade e incentivo.

Aos funcionários da Universidade Estadual do Oeste do Paraná que, direta ou indiretamente, colaboraram na condução deste trabalho, em especial à Vera da secretaria do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelo apoio e amizade.

Ao Professor Dr. Joaquim Odilon Pereira, pelos ensinamentos transmitidos, amizade e incentivo.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, em especial ao Professor Dr. Deonir Secco; Professor Dr. Miguel Angel Uribe Opazo; Professor Dr. Luiz Cezar da Silva; pelos ensinamentos transmitidos e sugestões apresentadas; Professor Dr. Eduardo Godoy de Souza, pela oportunidade de poder trabalhar no grupo de pesquisa.

Ao Professor Dr. Walter Boller, pela participação na banca examinadora e pelas sugestões apresentadas.

A todos os amigos e colegas que me ajudaram de qualquer forma durante o desenvolvimento deste trabalho.

A dupla dinâmica Rubens André Tabile e Anderson de Toledo, pela amizade durante estes anos e pela ajuda fundamental neste experimento, sem a participação deles teria sido impossível ter concluído o experimento a campo e terminado este trabalho.

Aos amigos e colegas de curso: Patrícia Gentelini, Patrícia Drechmer, Kelly Vogado, Felomena, Ednéia Lourenço, Andréa Bonini, Márcia de Medeiros, Luci Nychai, Flávio Gurgacz, Mário Faraco e Almiro Weiss, pela amizade e

companheirismo. Pela convivência sincera e amiga, pelo estímulo, carinho e compreensão, sou eternamente grata a eles. Em especial as amigas Patrícias (Gentelini e Drechmer), que tanto me apoiaram e perderam noites de sono comigo. Em especial a Gentelini, minha irmã de fé, pela sua amizade, dedicação e colaboração fundamental, na realização deste trabalho.

Aos amigos Jair e Cíntia, pela amizade e companheirismo durante os anos de curso, pelo estímulo e apoio dado mesmo a distância e ao amigo Jair, pela sua dedicação e colaboração na realização inicial deste projeto.

A amiga Marta de Oliveira, pela força, incentivo e apoio.

Aos professores Emerson Fey e Ana Maria Conte e Castro, pela ajuda e apoio fundamental na fase inicial deste trabalho.

As técnicas Márcia Lurdes de Souza e a Alessandra Bobato, pelas facilidades concedidas, pela cessão da área dos Laboratórios de Saneamento e Geotecnia; respectivamente, colaboração durante a realização da pesquisa, pela acolhida, apoio, incentivo, amizade e pela boa vontade, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

À Fazenda Santa Maria, na pessoa do Sr. Claudionor Francisco Andreolla, pela disponibilização de infra-estrutura, máquinas, animais, mão-de-obra e insumos necessários à realização do experimento de campo, sem o qual seria impossível a realização desta pesquisa.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade de estudo e desenvolvimento desta dissertação.

À Coordenadoria de Apoio a Pesquisa e Ensino Superior – CAPES, pela bolsa concedida, com a qual foi possível garantir a necessária autonomia para investir no projeto e participar de eventos técnico-científicos.

A todos os verdadeiros mestres que, desde a alfabetização até este curso de pós-graduação, ofereceram o seu conhecimento e mostraram os caminhos a serem seguidos, um agradecimento especial.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 A CULTURA DA SOJA E SUA IMPORTÂNCIA.....	4
2.2 O SISTEMA LAVOURA-PECUÁRIA.....	5
2.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	7
2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	11
2.4.1 Densidade do Solo.....	11
2.4.2 Resistência do Solo à Penetração.....	16
2.4.3 Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade.....	21
2.4.4 Compactação do Solo em Laboratório.....	24
2.5 PLANTIO DIRETO.....	28
2.6 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE IMPORTÂNCIA NA RELAÇÃO SOLO-MÁQUINA.....	35
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	40
3.2 CLIMA 41	
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	45
3.3.1 Classificação do Solo.....	45
3.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO NA FASE INICIAL.....	46
3.4.1 Análise Química.....	46
3.4.2 Densidade de Partícula.....	48
3.4.3 Compactação do Solo em Laboratório.....	48
3.5 MASSA SECA DA ESPÉCIE DE COBERTURA.....	50
3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	50
3.7 ESPÉCIE DE COBERTURA.....	52
3.8 MASSA SECA DA ESPÉCIE DE COBERTURA.....	52
3.9 SISTEMA DE PASTEJO.....	52
3.10 A CULTURA DA SOJA.....	53

3.11 MÁQUINAS AGRÍCOLAS.....	54
3.11.1 Trator 55.....	
3.11.2 Semeadora de Precisão.....	55
3.11.3 Semeadora de Fluxo Contínuo.....	56
3.11.4 Pulverizador.....	57
3.11.5 Colheita.....	57
3.12 ELEMENTOS SULCADORES.....	57
3.13 DESEMPENHO DO SISTEMA MOTOMECANIZADO.....	59
3.13.1 Velocidade de Semeadura.....	60
3.13.2 Força de Tração.....	61
3.13.3 Potência Requerida na Barra de Tração.....	61
3.13.4 Potência Necessária no Motor.....	62
3.14 CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO.....	62
3.15 DENSIDADE DO SOLO.....	63
3.16 POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE E MICROPOROSIDADE.....	64
3.17 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO.....	64
3.18 ANÁLISE TENSÃO-DEFORMAÇÃO.....	65
3.19 PROFUNDIDADE DO SULCO PARA DEPOSIÇÃO DO ADUBO.....	69
3.20 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE).....	69
3.21 POPULAÇÃO DE PLANTAS.....	70
3.22 PESO DE MIL GRÃOS.....	71
3.23 RENDIMENTO DE GRÃOS.....	71
3.24 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	73
4.1.1 Conteúdo de Água no Solo.....	73
4.1.2 Densidade do Solo.....	76
4.1.3 Macroporosidade do Solo.....	79
4.1.4 Microporosidade do Solo.....	82
4.1.5 Porosidade Total do Solo.....	86

<u>4.1.6 Resistência do Solo à Penetração.....</u>	<u>89</u>
<u>4.1.7 Compactação do Solo em Laboratório.....</u>	<u>94</u>
<u>4.1.8 Análise Tensão-Deformação.....</u>	<u>97</u>
<u>4.2 VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO, FORÇA DE TRACÇÃO, POTÊNCIA REQUERIDA NA BARRA DE TRACÇÃO, POTÊNCIA NECESSÁRIA NO MOTOR.....</u>	<u>103</u>
<u>4.3 PROFUNDIDADE DO SULCO PARA DEPOSIÇÃO DO ADUBO.....</u>	<u>105</u>
<u>4.4 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE).....</u>	<u>108</u>
<u>4.5 POPULAÇÃO DE PLANTAS.....</u>	<u>109</u>
<u>4.6 PESO DE MIL GRÃOS.....</u>	<u>111</u>
<u>4.7 RENDIMENTO DE GRÃOS</u>	<u>112</u>
<u>5 CONCLUSÕES.....</u>	<u>114</u>
<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>116</u>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios das propriedades físicas do solo, antes da implantação do experimento.....	46@~
Tabela 2 - Análise Química do Solo.....	47@~
Tabela 3 - Conteúdos médios de água no solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	74@~
Tabela 4 - Conteúdos médios de água no solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	75@~
Tabela 5 - Densidade do solo (Mg m ⁻³) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo..	77@~
Tabela 6 - Densidade do solo (Mg m ⁻³) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	78@~
Tabela 7 - Macroporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo..	80@~
Tabela 8 - Macroporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	81@~
Tabela 9 - Microporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo..	83@~

Tabela 10 - Microporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	85@~
Tabela 11 - Porosidade Total do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo..	86@~
Tabela 12 - Porosidade Total do solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	88@~
Tabela 13 - Resistência do solo à Penetração (MPa) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	91@~
Tabela 14 - Resistência do solo à Penetração (MPa) na camada de 0 - 10, 10 - 20 e 20 - 30 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	92@~
Tabela 15 - Efeito do pisoteio animal e da cultura de soja no grau de compactação do solo.....	96@~
Tabela 16 - Parâmetros para análise tensão-deformação.....	97@~
Tabela 17 - Valores médios de velocidade de semeadura para os tratamentos principais (Pastejos com solo seco, úmido e sem pastejo) e secundários (sulcadores de hastes e discos duplos).....	103@~
Tabela 18 - Valores médios de força de tração para os tratamentos principais (Pastejos com solo seco, úmido e sem pastejo) e secundários (sulcadores de hastes e discos duplos).....	103@~
Tabela 19 - Valores médios de potência requerida na barra de tração para os tratamentos principais (Pastejos com solo seco, úmido e sem pastejo) e secundários (sulcadores de hastes e discos duplos)	104@~
Tabela 20 - Valores médios de potência necessária no motor para os tratamentos principais (Pastejos com solo seco, úmido e sem pastejo) e secundários (sulcadores de hastes e discos duplos).....	104@~

Tabela 21 - Profundidade do Sulco para Deposição do Adubo (cm) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	107@~
Tabela 22 - Índice de Velocidade de Emergência (IVE) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo	108@~
Tabela 23 - População de Plantas (plantas ha-1) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja) em resposta a três condições de pastejo.....	110@~
Tabela 24 - Peso de mil Grãos (g) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja) em resposta a três condições de pastejo.....	111@~
Tabela 25 - Rendimento de Grãos (kg ha-1) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo....	113@~

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva típica de compactação de solo.....	26@~
Figura 2 - Área experimental.....	40@~
Figura 3 - Precipitações pluviárias mensais (mm), durante a condução do experimento.....	42@~
Figura 4 - Precipitações pluviárias diárias (mm), durante o período de semeadura da soja.....	43@~
Figura 5 - Temperaturas médias mensais (°C), durante a condução do experimento.....	44@~
Figura 6 - Temperaturas médias diárias (°C), durante o período de semeadura da soja.....	45@~
Figura 7 - Croqui da Área do Experimento.....	51@~
Figura 8 - Área experimental com a espécie de cobertura (aveia preta), no dia da semeadura da soja.....	54@~
Figura 9 - Conjunto de semeadura.....	56@~
Figura 10 - Semeadora de precisão.....	56@~
Figura 11 - Elemento sulcador tipo disco.....	58@~
Figura 12 - Elemento sulcador tipo haste.....	59@~
Figura 13 - Célula de carga instalada entre o trator e a semeadora.....	60@~
Figura 14 - Célula de carga instalada entre o trator e a semeadora.....	60@~
Figura 15 - Amostrador de solo tipo “castelo” utilizado na coleta de amostras indeformadas do solo para o cálculo da densidade do solo e espaço poroso do solo.....	64@~
Figura 16 - Penetrógrafo utilizado para determinação da resistência do solo à penetração.....	65@~
Figura 17 - Célula de compressão triaxial de solos.....	66@~
Figura 18 - Área em que foi avaliado o IVE, população de plantas e produtividade.....	70@~

Figura 19 - Conteúdos médios de água no solo (%) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	75@~
Figura 20 - Conteúdos médios de água no solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	76@~
Figura 21 - Densidade do solo (Mg m ⁻³) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo..	77@~
Figura 22 - Densidade do solo (Mg m ⁻³) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	79@~
Figura 23 - Macroporosidade do solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo..	80@~
Figura 24 - Macroporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	82@~
Figura 25 - Microporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo..	83@~
Figura 26 - Microporosidade do solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	86@~
Figura 27 - Porosidade Total do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo..	87@~
Figura 28 - Porosidade Total do solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	89@~

Figura 29 - Resistência Mecânica do Solo à penetração (MPa) na 1ª Fase do experimento, antes da entrada dos animais no sistema.....	90@~
Figura 30 - Resistência Mecânica do Solo à penetração (MPa) na 2ª Fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	92@~
Figura 31 - Resistência Mecânica do Solo à penetração (MPa) , na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	94@~
Figura 32 - Curva de compactação no ensaio de Proctor.....	95@~
Figura 33 - Propagação das tensões com a profundidade para os tratamentos em pastejo solo úmido.....	98@~
Figura 34 - Propagação das tensões com a profundidade para os tratamentos em pastejo solo úmido.....	98@~
Figura 35 - Propagação das tensões com a profundidade para os tratamentos em pastejo solo seco.....	100@~
Figura 36 - Propagação das tensões com a profundidade para os tratamentos em pastejo solo seco.....	101@~
Figura 37 - Comportamento das deformações no perfil do solo.....	101@~
Figura 38 - Profundidade do Sulco para Deposição do Adubo (cm) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	106@~
Figura 39 - Índice de Velocidade de Emergência (IVE) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo	108@~
Figura 40 - População de Plantas (plantas ha-1) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo....	109@~
Figura 41 - Peso de mil Grãos (g) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo.....	111@~
Figura 42 - Rendimento de Grãos (kg ha-1) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo....	112@~

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência do pastejo em área de integração lavoura-pecuária sobre as características físicas do solo, avaliar a influência desses parâmetros e dos elementos sulcadores de uma semeadora (haste e disco de corte) sobre a produtividade da soja e quantificar o desempenho energético da semeadora em solo submetido ao pisoteio do gado. Realizou-se um experimento em LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, situado na Fazenda Santa Maria, em Santa Tereza do Oeste – PR, no período de abril de 2003 a abril de 2004. Foi utilizado o delineamento em parcelas subdivididas “Split Plot” inteiramente casualizado. Os tratamentos principais foram compostos pelo pastejo com o solo úmido ou molhado, pastejo com solo seco e sem pastejo, com uma lotação de 26 U.A. ha⁻¹ (unidade animal por hectare). Os tratamentos secundários foram compostos pelos elementos sulcadores da semeadora (haste ou discos duplo para deposição do adubo). Cada parcela com um total de 1600 m² (50 x 32 m) e as subparcelas tinham dimensões de 20 x 8 m, com total de 160 m². Foram avaliadas propriedades físicas do solo, variáveis de desempenho do conjunto trator-semeadora e rendimentos de grãos da soja. Os valores obtidos nos experimentos mostraram o efeito do pisoteio do gado em compactar o solo na camada até os 10 cm iniciais. O pico pronunciado na resistência à penetração a 5 cm pode ser indicador de que a máxima mobilização da resistência do solo ocorreu à profundidade 5 cm. Os sulcadores de haste promoveram a descompactação do solo conciliando assim com o efeito descompactador das raízes da aveia e da soja, mostrando uma tendência de retorno à condição estrutural inicial do mesmo. A análise tensão-deformação corroborou os resultados dos ensaios de compactação em laboratório, assim como a curva de deformação mostrou-se consistente com os perfis de resistência à penetração no campo. A ação do pisoteio do gado sobre o solo alterou as condições de densidade e resistência à penetração, entretanto não foi suficiente para interferir na demanda de potência nas três condições estudadas. A semeadora com sulcadores de discos exigiu menor força de tração e potência e a velocidade de deslocamento do conjunto foi cerca de 6,4 % maior em relação ao sulcador haste. O rendimento de grãos da soja não foi alterado significativamente pelos sistemas de manejo, mas quando foi utilizado o elemento haste na semeadora, a produção de grãos foi maior quando comparada com a semeadora equipada com sulcadores de discos.

PALAVRAS-CHAVES: sistemas de manejo, máquinas agrícolas, pisoteio animal, compactação do solo.

ABSTRACT

The objective of this work was to verify the influence of pasture in side of agriculture-cattle integration on the physical characteristics of the ground, to evaluate the influence of these parameters and the staggered of a planter (connecting rod and record of cut) on the grain yield of the soy and to quantify the energy performance of the planter in ground submitted to the trampling of animals. An experiment in Oxissol, situated was become fulfilled in the Santa Maria Farm, Santa Tereza do Oeste - PR, in the period of April of 2003 the April of 2004. The delineation in subdivided parcels "Split Plot" entirely randomized was used. The main treatments had been composed by pasture with the ground humid or wet, pasture with alone dry and without pasture, with a capacity of 26 U.A. ha⁻¹. The secondary treatments had been composites for the mechanisms staggered of the planter (double connecting rod or records for deposition of the seasoning). Each plot with a area 1600 m² (50 x 32 m) and the subparcels had dimensions of 20 x 8 m, with area of 160 m². Physical properties of the ground, parameters of performance of the tractor-planter set and grain yield of the soy had been evaluated. The values gotten in the experiments had shown the effect of the cattle trampling in compacting the ground in the layer until the 10 cm initial. The sharp peak in the resistance to the penetration the 5 cm can be indicating that the maximum mobilization of the resistance of the ground occurred at the depth 5 cm. The root of the soy had promoted the decompaction of the ground, showing a trend of return to the initial structural condition of it. The tension-deformation analysis corroborated the results of the assays of compacting in laboratory, as well as the deformation curve revealed consistent with the profiles of resistance to the penetration in the field. The action of the cattle trampling on the ground modified the density conditions and cone index, however was not enough to intervene with the demand of power in the three studied conditions. The planter with staggered of records had exerted minor power and snatch force and the speed of displacement of the set was about 6,4 % greater in relation to the staggered connecting rod. The grain yield of the soy was not modified significantly by the handling systems, but when the mechanism was used connecting rod in the planter, the production of grains bigger when was compared with the planter equipped with staggered of records.

KEY WORDS: agricultural systems of handling, agricultural machines, animals trampling, soil compaction.

1 INTRODUÇÃO

As propriedades agrícolas necessitam de alternativas que possam intensificar o uso da terra, aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção e melhorar a renda, o que pode ser obtido pela rotação de cultivos anuais com pastagens.

O plantio de coberturas de solo ou de culturas de alto risco econômico, como os cereais de inverno, leva o agricultor a buscar alternativas econômicas durante este período. A formação de pastagens hibernais torna viável a terminação de bovinos durante a entressafra e surge como alternativa para o aumento de rentabilidade das propriedades. Porém, o sucesso dos sistemas de integração lavoura-pecuária depende de diversos fatores, os quais por sua vez, são dinâmicos e interagem entre si.

Com a utilização do plantio direto nas propriedades agrícolas, cria-se a necessidade de promover uma boa cobertura do solo no período de outono/inverno e parte da primavera. As gramíneas utilizadas com esta finalidade, entre elas aveias e/ou azevém, são excelentes forrageiras capazes de suportar a atividade pecuária durante essas estações do ano, as quais representam o período mais crítico para a pecuária praticada no sul do Brasil.

Na região sul, o Brasil possui solos e clima propícios para o desenvolvimento desse sistema integrado, além de agricultores com suficiente infra-estrutura para superar os desafios da nova técnica. Entretanto, sempre surgem dúvidas a respeito de como se comporta o sistema quando utilizado por longo tempo (ELTZ; PEIXOTO; JASTER, 1989). Dúvidas que ficam ainda mais fortes quando se associa a atividade animal em áreas agrícolas cultivadas dentro do sistema plantio direto. Acredita-se que a entrada de animais em áreas de lavoura cause compactação ou outra alteração que possa comprometer a produtividade das culturas em sucessão à pastagem.

O conhecimento dessas alterações em condições específicas de solo e clima é importante para o entendimento da potencialidade dos sistemas de manejo em relação à produtividade de culturas e adoção de práticas que objetivam contornar possíveis limitações advindas da sua utilização (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

Em áreas utilizadas para exploração pecuária, o pisoteio do gado pode alterar as condições físicas do solo e afetar o bom desenvolvimento das culturas, entre elas, a da soja, diminuindo a sua produtividade. Por essa razão, necessita-se de mais informações acerca das condições físico-químicas do solo nessas áreas para que se possa utilizá-las na integração lavoura-pecuária, fazendo-se um manejo adequado a fim de maximizar a produtividade da cultura e da forragem para a alimentação dos animais.

Considerando-se esse contexto foi estabelecido como objetivo desta pesquisa:

- Verificar a influência do pastejo de bovinos em área de integração lavoura-pecuária sobre algumas propriedades físicas do solo, e a sua inter-relação com o comportamento tensão-deformação;
- Avaliar a influência desses parâmetros e dos elementos sulcadores de uma semeadora (haste e disco de corte) sobre a produtividade da soja;
- Quantificar o desempenho energético da semeadora em solo submetido ao pisoteio do gado;

- Determinar o efeito do conteúdo de água no solo sobre a intensidade da compactação por bovinos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA SOJA E SUA IMPORTÂNCIA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais *commodities* mundiais e seu preço é determinado pela negociação do grão nas principais bolsas de mercadorias. Por ser um grão de utilização variada, tem uma demanda mundial de consumo de 189,12 milhões de toneladas, com uma área semeada de 87,81 milhões de hectares (EMBRAPA, 2004).

A área cultivada com soja no Brasil ocupa cerca de 21,24 milhões de hectares, sendo o segundo maior produtor mundial. Na safra 2004, o Brasil produziu 50 milhões de toneladas, 25 % da safra mundial. Montante menor que o de 2003, quando o País produziu 52 milhões de toneladas e participou com quase 27 % da safra mundial, estimada em cerca de 200 milhões de toneladas em 2004; em diversos tipos de solos e com grande variação de uso e manejo. O uso incorreto de equipamentos, a aplicação em quantidades e formas inadequadas da adubação e da calagem e o cultivo sucessivo da soja estão levando esses solos a um processo de esgotamento e/ou degradação (EMBRAPA, 2004 a).

A soja, como lavoura comercial, chegou ao Paraná em meados dos anos 50, até então, a cultura no Estado era uma curiosidade. Sua produção era irrisória e as poucas e pequenas lavouras de soja existentes na região destinavam-se ao consumo doméstico – alimentação de suínos, principalmente. O total da produção não passava de 60 toneladas. Atualmente, o Estado do Paraná é o

segundo produtor brasileiro de soja, com uma produção de 10,03 milhões de toneladas e uma área semeada de 3,93 milhões de hectares. Na safra 2003/2004 a expectativa era de 12 milhões de toneladas, o que não se concretizou pela forte estiagem ocorrida na Região Oeste, comprometendo cerca de dois milhões de toneladas sobre essa expectativa. Entretanto, isso não afetou o posicionamento do Paraná como a segunda potência na produção brasileira de soja, atrás, somente do estado do Mato Grosso, consolidado na primeira posição com produção superior a 15 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2004 a).

2.2 O SISTEMA LAVOURA-PECUÁRIA

O sistema integração lavoura-pecuária pode ser definido 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, diversificar e verticalizar a produção, minimizar custos, diluir os riscos e agregar valores aos produtos agropecuários, por meio dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra (MELLO et. al, 2002).

A escassez de oferta e a baixa qualidade da biomassa proporcionada pelas pastagens de inverno, nas áreas de basalto localizadas nas regiões Sudoeste, Oeste e Centro-sul do Paraná, Oeste de Santa Catarina e Norte do Rio Grande do Sul, levam os pequenos produtores leiteiros a utilizar parte das áreas destinadas à produção agrícola, na produção de forragens para alimentação dos rebanhos no período de outono – inverno. Da mesma forma, produtores de carne que não cultivam cereais de inverno têm buscado alternativas para aproveitamento de suas áreas de lavoura durante a safra de inverno. Em ambos os casos prevalece a exploração empírica do solo pela baixa adoção de tecnologia, apesar do estoque

de conhecimentos tecnológicos já disponíveis nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (MORAES et al. 2002).

Nas duas últimas décadas, ocorreu uma tendência de reduzir os anos de “pousio”, intensificando a exploração do solo, principalmente em terras arrendadas. Esse manejo provoca alterações negativas tanto na estrutura física quanto na fertilidade dos solos e, em consequência, na composição, produção e qualidade da pastagem nativa existente nas várzeas (SAIBRO; SILVA, 1999).

O Paraná destaca-se como grande produtor de grãos e pela avançada tecnologia utilizada em suas áreas agrícolas, contudo, nos últimos anos, devido à baixa rentabilidade da exploração de cereais de inverno e à ausência de outras alternativas, nessa época, a maior parte das áreas agricultáveis tem sido destinada para o plantio de espécies exclusivamente protetoras de solo ou deixadas em pousio. Teoricamente, os sistemas de produção agrícola poderiam ser beneficiados por alternativas econômicas de rotação de culturas, que fossem capazes de contribuir para uma melhoria na utilização dos investimentos, e que buscassem intensificar o uso da terra e desenvolver sistemas de produção mais estáveis (MORAES et al. 2002).

De acordo com esses autores, o ingresso da pastagem no sistema representa um degrau a mais na escalada de uma agricultura agroecologicamente sustentável, pois permite uma diversificação do sistema de forma muito mais elástica e contrastante. Também, o proprietário fica distanciado dos riscos inerentes de uma propriedade apoiada somente nos cultivos de culturas agrícolas, independente do tamanho dessa propriedade e das diferentes condições edafoclimáticas em que se encontra. Além disso, permite um fluxo de caixa mais condizente com o orçamento familiar, principalmente para o pequeno proprietário.

A utilização de lavouras de grãos e pastagens anuais, em um sistema de integração, tem sido durante muito tempo uma prática cultural no processo de recuperação ou renovação de pastagens cultivadas. O uso eventual dessas atividades, pelo próprio produtor ou em parcerias ou arrendamentos, pode ser

somente uma estratégia para diminuir custos e retornar rapidamente para a atividade principal da produção animal (ZIMMER, et.al, 1999).

Do ponto de vista das propriedades químicas do solo, assim como ocorre no sistema de plantio direto, o sistema de integração possibilita uma melhoria na fertilidade do solo, devido ao acúmulo de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, melhoria na eficiência do uso de fertilizantes e capacidade diferenciada de absorção de nutrientes (LUSTOSA, 1998).

Segundo MORAES et al. (2002), o sistema de integração lavoura-pecuária proposto tem uma estrutura básica: o plantio direto, a rotação de cultivos, o uso de insumos e genótipos melhorados, o manejo correto das pastagens e a produção animal intensiva em pastejo. Existe, porém, muitas variações possíveis, dependendo do interesse de cada proprietário, podendo ser aplicado para produção de leite ou carne, apenas para engorda ou para cria, recria e engorda e ser utilizado em pequenas ou grandes propriedades. A integração lavoura-pecuária é mais do que utilizar ocasionalmente uma lavoura para reformar uma área de pastagem, é antes de tudo um sistema planejado de utilização racional do solo, em que participam lavouras e animais, com vantagens para ambos.

2.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO

No Sul do Brasil, em áreas de integração lavoura-pecuária, a época destinada ao pastejo ocorre geralmente no período de inverno-primavera e coincide com a época do ano em que o solo permanece com elevada umidade, o que pode favorecer o processo de compactação (BASSANI, 1996), prejudicando o crescimento radicular e a produtividade das plantas.

A compactação afeta as condições do solo, influenciando a maneira de preparação de terrenos, como os tratos culturais e a colheita são executados, a germinação das sementes e o subsequente crescimento e desenvolvimento das

plantas. As condições do solo mais seriamente afetadas são aquelas que controlam o teor e transmissão da água, ar, calor e nutrientes, e que modificam a resistência do solo, pela alteração da distribuição dos tamanhos dos poros. A compactação aumenta a resistência mecânica do solo, o que é indesejável para o desenvolvimento das culturas, pois o desenvolvimento das raízes diminui à medida que a resistência do solo aumenta (BARNES et al. 1971). De acordo com o autor, a resistência à compactação é determinada pela distribuição de tamanho de grânulos e pela composição desses no solo.

O entendimento da compactação adicional do solo é importante, pois ela pode causar uma redução da adsorção de nutrientes pelo solo, e/ou redução de sua absorção pelas plantas; dificultar a infiltração e redistribuição de água e as trocas gasosas, e ainda, aumentar a resistência mecânica dos solos e restringir o crescimento radicular (SMUCKER; ERICKSON, 1989; BICK; SIEMENS, 1991; LAFOND; ANGERS; VAVERDIÈRE, 1992), com conseqüente redução na produtividade das culturas e aumento da erosão hídrica (UNGER, 1996; VAN DEN AKKER, 1997).

A agricultura intensiva e o intenso tráfego de máquinas visam benefícios econômicos em curto prazo, sem preocupação com a conservação do solo. O problema da compactação vem aparecendo em extensas áreas do país, com efeitos comprometedores à produtividade agrícola (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Segundo DIAS JUNIOR e PIERCE (1996), áreas com problemas de compactação ocorrem provavelmente pela ausência de um cronograma de trabalho bem definido ou de modelos capazes de estimar a capacidade suporte de carga do solo. Por essa razão, muitas vezes, o preparo do solo é realizado sem considerar a sua umidade, fator controlador da compactação.

O processo de compactação resulta da ação de forças mecânicas, provenientes do tráfego de máquinas e/ou do pisoteio de animais sobre o solo podendo ocorrer ainda uma densificação pela ação da água de percolação no perfil do solo, transportando partículas dispersas (KOCHHANN; DENARDIN; BERTON, 2000). Segundo os autores, para determinar a camada compactada,

utiliza-se o penetrógrafo, que é um instrumento destinado à quantificação da resistência do solo à penetração, em que, ao longo do perfil do solo, as forças de resistência são registradas em um gráfico, identificando a maior resistência.

Dentre as limitações para as plantas cultivadas que ocasionam um crescimento deficiente do sistema radicular, a compactação do solo causa restrição ao crescimento e desenvolvimento radiculares, acarretando uma série de problemas que afetam direta ou indiretamente a produção das plantas (CAMARGO, 1983; ALVARENGA et al. 1996; PEDROTTI; VAHL; PAULETTO, 1998).

De acordo com CAMARGO (1983), o crescimento e o desenvolvimento das plantas que a levam a produzir grãos, fibras e outros produtos comerciáveis, dependem da harmonia de uma série de fatores ambientais. A absorção de nutrientes é um dos fatores de muita importância para que se tenha boa produção e pode-se dizer que qualquer obstáculo que restrinja o crescimento radicular reduz essa absorção.

Os nutrientes do solo se movem para as raízes basicamente por dois mecanismos: difusão e fluxo de massa. A compactação do solo influencia ambos os mecanismos. Por outro lado, a compactação do solo resulta numa diminuição da quantidade de nutrientes mineralizados a partir da matéria orgânica do solo. Esta pode ser facilmente suplantada pela adição de fertilizantes ao solo (BARNES et al. 1971). Segundo os autores, a compactação aumenta o escoamento da água das chuvas, reduz o teor de umidade do solo, e a área da secção transversal disponível para difusão diminui, reduzindo o fluxo difusivo e o fluxo convectivo de nutrientes. Todavia, se a entrada de água permanece satisfatória e as práticas de manejo provêm fertilidade adequada por meio do uso apropriado de fertilizantes, uma compactação moderada não deve ser limitante no estado de nutrientes disponíveis para as plantas.

A compactação modifica o comprimento, o diâmetro e a distribuição de raízes de milho no solo (SHIERLAW; ALSTON, 1984), fator que, por sua vez, pode interferir no crescimento e na taxa de absorção de nutrientes (BARBER et al. 1988) e água pela raiz (KUCHENBUCH; BARBER, 1987).

Segundo TAYLOR et al. (1996), os índices críticos da resistência do solo à penetração para o crescimento das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada. A presença de camadas de solo adensadas pode influenciar a distribuição do sistema radicular no solo, afetando as características morfológicas das raízes (comprimento, taxa de crescimento, diâmetro e distância média entre as raízes), tendo sua atividade diretamente afetada e definindo zonas que resistem à penetração e, indiretamente, pela influência na distribuição de água e nutrientes no solo. O cultivo e a compactação alteram a estrutura e a distribuição dos poros e as características hidráulicas do solo, assim influenciando no crescimento radicular e no movimento da água e solutos (ROSOLEM, 1995).

Segundo CAMARGO e ALLEONI (1997), em solos compactados ocorre uma diminuição na macroporosidade e como consequência o decréscimo em sua permeabilidade, tanto para a água como para as trocas gasosas. A baixa aeração induz à ramificação das raízes adventícias superficiais, tornando-as menos eficientes na absorção de água e nutrientes e nas trocas gasosas.

A descompactação deve ser realizada em condições de solo com baixa umidade. A efetividade dessa prática está condicionada ao manejo adotado após a descompactação. Em seqüência às operações de descompactação do solo é recomendado o estabelecimento de culturas de alta densidade de plantas, de alta produção de massa vegetativa e de sistema radicular abundante (EMBRAPA, 2003).

A degradação física do solo ocorre basicamente da seguinte forma: o pisoteio animal sobre o solo molhado causa o aumento da densidade do solo e selamento superficial. Esses fatores diminuem a capacidade vegetativa das plantas, que produzirão menos biomassa. A redução da biomassa aumentará a susceptibilidade do solo ao impacto da gota de chuva e ao escoamento superficial. Estes fatores iniciam o processo de erosão, que tornará o solo ainda mais pobre, reduzindo sua produção de biomassa e aumentando sua susceptibilidade (MELLO, 2002).

De acordo com esse autor, o início do ciclo de degradação física do solo sob integração lavoura-pecuária, na região sudoeste do Paraná, geralmente,

ocorre pelo selamento superficial. O selamento superficial adensado, com espessura entre 2 e 10 mm com agregados de diâmetro inferior a 200 mm dispostos de forma coesa e quase sem poros entre eles ou com poros muito pequenos. Essa camada forma-se pelo pisoteio dos animais sobre o solo em condições de umidade elevada e será tão mais grave e homogênea quanto menor for a taxa de cobertura do solo. Nos solos derivados do basalto, essa camada forma-se em função da facilidade de deslizamento e justaposição das argilas quando umedecidas. A água atua como lubrificante, fazendo com que o ajuste das partículas do solo seja orientado.

A baixa taxa de cobertura do solo, assim como lotações excessivas, aceleram o processo de selamento superficial. A ausência de cobertura permite o contato direto da pata do animal com o solo molhado acentuando o grau do selamento. Lotações excessivas tendem a aumentar a quantidade de solo descoberto, além de aumentarem o pisoteio. Uma vez instalado o processo de selamento superficial, inicia-se a compactação do solo, refletida principalmente pelo aumento da densidade do solo e por alterações em sua porosidade total e macroporosidade e resistência à penetração (MELLO, 2002).

2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

2.4.1 Densidade do Solo

A densidade do solo corresponde à massa de solo por unidade de volume aparente, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo os espaços ocupados pelo ar e água (KIEHL, 1979; KLAR, 1984; FONTES, 1992 e PREVEDELLO,

1996). A densidade do solo geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois, as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o fenômeno da compactação, reduzindo o volume. A eluviação, movimentação de material fino dos horizontes superiores para os inferiores, também contribui para reduzir os espaços porosos e aumentar a densidade dessas camadas (KIEHL, 1979). Quanto maior a densidade do solo, tanto mais compactado é o solo, restringindo o crescimento e desenvolvimento das plantas. A densidade do solo é um valor variável para um mesmo solo, alterando-se de acordo com a estruturação. O manejo incorreto de uma área de cultura pode provocar a compactação, alterando a estruturação e, conseqüentemente, a densidade do solo (PRIMAVESI, 1990). Sendo assim, a densidade do solo reflete o equilíbrio entre as fases sólida, líquida e gasosa que compõem o solo e tem, portanto, uma relação direta com a porosidade.

Os solos argilosos naturalmente tendem a ter índice de densidade em torno de 1,0 a 1,3 g cm⁻³. O conteúdo de matéria orgânica presente no solo interfere na densidade do solo, reduzindo ou aumentando seu valor, conforme reduz ou aumenta o teor de carbono. Assim, solos sob mata, com elevado conteúdo de matéria orgânica, apresentam densidade do solo menor que solos sob utilização agrícola. A textura e o tipo de estrutura que o solo apresenta também interferem na densidade do solo, conferindo valores mais altos ou mais baixos (MELLO, 2002).

O prejuízo agrícola ocorre porque a compactação está relacionada com fatores que determinam a capacidade produtiva do solo, principalmente no que diz respeito à dinâmica do ar e da água no solo. CAMARGO e ALLEONI (1997) relataram a complexidade da avaliação da compactação, que muitas vezes age como potencializadora de efeitos sinérgicos negativos que reduzem a produtividade.

O aumento da densidade do solo com o processo de compactação ocorre quando o pisoteio animal se dá sobre o solo com umidade elevada e baixa cobertura (TANNER; MAMARIL, 1959; BETTERIDGE et al. 1999; MELLO et al., 2002 e LIMA et al. 2004).

Esse comportamento foi observado por BALL et al. (1997), em estudo sobre os efeitos da compactação na qualidade estrutural do solo. Esses autores verificaram que os sistemas de manejo que envolve tráfego aumentaram a densidade para todas as profundidades estudadas, sendo que no sistema plantio direto houve redução da densidade em profundidades abaixo de 12 cm. OLIVEIRA et al. (2003) constataram aumento da densidade nos sistemas de manejo com relação à testemunha para todas as profundidades estudadas (0 - 5 e 20 - 30 cm).

No caso dos solos argilosos formados a partir do derrame de basalto, a plasticidade é facilmente atingida (com umidade em torno de 37%). Nesse ponto os solos tornam-se moldáveis e a compressão resultante do pisoteio animal poderá compactá-los. Dados de MORAES e LUSTOSA (1997) apontam ainda que, quanto maior o teor de argila do solo mais severo será este processo.

A taxa de cobertura do solo afeta o grau de compactação. Quanto mais elevada a taxa de cobertura e quanto maior a disponibilidade de forragem menor será o efeito do pisoteio. SILVA, REINERT e REICHERT (2000) avaliaram a densidade de um solo de textura franca submetido a plantio direto e a plantio convencional, após pastejo de inverno, e obtiveram pequeno efeito do pisoteio animal, atribuído à manutenção de resíduo vegetal sobre o solo em torno de 1,0 Mg ha⁻¹ de massa seca. Essa cobertura protegia o solo do impacto direto da pata do animal e favorecia o rebrote e crescimento da pastagem.

ALBUQUERQUE, SANGOI e ENDER (2001), em experimento semelhante, porém com solo de textura argilosa, encontraram a pior situação de densidade nas áreas de plantio direto, com valores de 1,24 g cm⁻³ para a camada de 0 a 5 cm nessas áreas e 1,01 g cm⁻³ para a mesma camada sob plantio convencional, entretanto em solo semelhante sob mata, a densidade do solo desta camada estava em torno de 0,81 g cm⁻³. Os mesmos autores apontam que, na integração lavoura-pecuária, é importante ter cuidado com a umidade do solo no momento de entrada dos animais na área e com o fornecimento de matéria orgânica e manutenção do solo coberto.

O uso e o manejo do solo alteram a sua densidade e, conseqüentemente, a porosidade total e a de aeração. Nesse sentido, TORMENA; ROLOFF; SÁ, (1998), estudando as alterações na porosidade de aeração em plantio direto, observaram que o tráfego de máquinas reduziu seus valores para próximo de zero. Observaram, ainda, que, com o decorrer do tempo e mesmo sem mobilizar o solo, houve aumento da porosidade total e de aeração, fato atribuído por eles à ação do sistema radicular da cultura da aveia preta, plantada na área com a finalidade única da adubação verde.

BERTOL et al. (1998), estudando as propriedades físicas do solo em um solo PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO, sobre pastagem natural, observaram que o aumento da densidade do solo, que resultou na diminuição da porosidade total, ocasionou uma diminuição dos macroporos e um aumento dos microporos nos tratamentos com menor oferta de forragem. Isso refletiu no comportamento da taxa de infiltração de água. Na camada de 3 – 6 cm de profundidade, a diminuição da percentagem de macroporos, em decorrência da diminuição da oferta de forragem e conseqüente aumento da pressão animal, foi mais nítida do que nas camadas de 0 – 3 cm e 10 – 15 cm de profundidade. De acordo com os autores esse fato ocorreu, provavelmente, porque a pressão exercida pelo pisoteio animal foi transmitida da camada superficial (0 – 3 cm) para a camada imediatamente abaixo (3 – 6 cm), não atingindo a camada abaixo dos 6 cm de profundidade.

VEIHMEYER e HENDRICKSON (1961), estudando a densidade do solo acima da qual as raízes das plantas de girassol eram incapazes de penetrar no solo, concluíram que a densidade variou de 1,46 a 1,63 g cm⁻³ em solos de textura argilosa.

Estudando um CAMBISSOLO, MANDAL et al. (2003) obtiveram uma variação na densidade do solo devido à adubação verde de 0,3 a 0,7 g cm⁻³ na camada de 0 - 15 cm e de 0,5 a 0,9 g cm⁻³ na camada de 15 - 30 cm do solo, durante o desenvolvimento de cultura de trigo.

O aumento da densidade do solo também é associado ao aumento da resistência do solo à penetração (MELLO et al. 2002).

GAMERO (1989) verificou, em um experimento realizado em laboratório, que o aumento da densidade do solo de $0,83 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,39 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de 70 a 140 mm de profundidade não influenciou o desenvolvimento das plantas de trigo.

Estudando um LATOSSOLO VERMELHO Escuro, SILVA e ROSOLEM (2001) realizaram um experimento em vasos com o objetivo de avaliar o efeito da compactação subsuperficial do solo no crescimento radicular de seis espécies utilizadas para cobertura em sistemas de plantio direto (aveia preta, guandu, milheto, mucuna preta, sorgo granífero e tremoço azul). Os autores concluíram que densidades do solo de até $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, correspondentes a uma resistência à penetração de 1,22 MPa, não foram suficientes para suprimir o crescimento radicular das espécies utilizadas.

De acordo com BERTRAND e KOHNKE (1957), as raízes de plantas de milho não penetraram num subsolo com densidade do solo de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, mas desenvolveram-se abundantemente em um subsolo que apresentava $1,2 \text{ g cm}^{-3}$.

A redução da densidade do sistema radicular relaciona-se com o aumento da resistência à penetração. Em dados obtidos em vasos, com camadas compactadas artificiais, vários autores relatam a redução do crescimento do sistema radicular e da parte aérea (CARVALHO JÚNIOR; FONTES; COSTA, 1998). O índice crítico da densidade do solo e resistência à penetração varia em função da textura e da umidade do solo.

ALVARENGA et al. (1996), trabalhando com um LATOSSOLO muito argiloso, observaram uma redução do crescimento radicular de várias leguminosas ao atingir a densidade do solo de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$. A partir desse limite, as plantas concentravam o sistema radicular na camada acima da camada compactada.

A redução do sistema radicular é crítica porque as raízes são responsáveis pela sustentação, fazem a absorção dos nutrientes para a planta, a maior parte da absorção da água e a síntese de alguns hormônios e outros compostos orgânicos essenciais para a planta. Além disso, um menor volume de sistema radicular torna a planta mais suscetível a déficit hídrico, prejudica a

sustentação e confina a exploração de nutrientes a um pequeno volume de solo. A densidade do solo é o reflexo da relação entre a fase sólida e os espaços vazios que comportam o ar e a água, ou seja, porosidade do solo (MELLO et al. 2002).

Os efeitos dos sistemas de preparo do solo sobre algumas propriedades físicas e químicas foram avaliados por OLIVEIRA et al. (2001), em um NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico cultivado com mandioca. Na camada de 0 – 10 cm, nos dois anos agrícolas avaliados, valores maiores de densidade foram encontrados no plantio direto e preparo mínimo e os valores menores no preparo convencional. Porém, nas camadas de 10 – 20 cm e 20 - 30 cm os tratamentos utilizados não influenciaram significativamente a densidade do solo.

KLEIN e LIBARDI (2000), estudando a densidade do solo tipo LATOSSOLO ROXO, em três sistemas de manejo: mata (sem manejo), sequeiro (plantio direto intercalado com preparo reduzido) e irrigado (plantio direto intercalado com aração profunda), verificaram que os valores de densidade do solo na mata apresentaram diferença significativa somente na camada de 0 -30 cm, demonstrando a homogeneidade desse solo em profundidade. As áreas de sequeiro e irrigado, em função dos manejos adotados, tiveram a sua estrutura modificada com alterações significativas na densidade até a profundidade de 40 cm. O valor máximo da faixa de umidade menos limitante (FUML) ao crescimento vegetal foi obtido quando sua densidade variou em torno de $1,10 \text{ g cm}^{-3}$.

2.4.2 Resistência do Solo à Penetração

O solo exhibe resistência à compressão volumétrica e à deformação linear de corpos estruturais do solo. Em ambos os modos a resistência de um dado solo, a um dado teor de umidade, geralmente cresce com aumentos na compactação ou densidade do solo (BALASTREIRE, 1987).

A resistência do solo à penetração é uma propriedade física relativamente fácil de ser obtida e, de certa forma, de ser correlacionada à densidade e a macroporosidade. Para um mesmo solo, quanto maior for a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor será a macroporosidade, que é o principal espaço para o crescimento das raízes. Deve ser levado em conta, no entanto, que a resistência do solo é mais afetada pela variação dos teores de umidade do solo no momento das amostragens do que pela densidade. Por essa razão, muitos trabalhos que objetivam caracterizar o efeito da compactação sobre o desenvolvimento radicular e produtividade das culturas, utilizam a densidade do solo como parâmetro de referência (TORRES; SARAIVA, 1999).

Durante as operações de preparo do solo e semeadura são aplicadas forças compactativas que afetam a resistência do solo à penetração (VOORHEES et. al., 1989), o que ocorre devido às modificações das condições físico-químicas e biológicas. A resistência à penetração é resultante de forças oriundas da compactação, definida pela densidade do solo, do teor de água e da granulometria do solo. O tamanho das partículas e o arranjo do solo afetam o crescimento radicular, pois modificam o ângulo de deflexão (BANDARA; FRITTON, 1986).

O fator principal que afeta as relações específicas entre a resistência do solo e a sua densidade é o teor de umidade. Geralmente, os solos a uma dada densidade têm menor resistência com um alto teor de umidade do que com um baixo teor. Todavia, o aumento característico em resistência, com o aumento da compactação, é encontrado com alto e baixo teor de umidade. Outro fator que influencia a relação entre a resistência do solo e a sua compactação é a distribuição do tamanho de partículas no solo. Solos de textura fina (argilosa), principalmente após uma secagem parcial, evidenciam a qualquer teor de umidade um grande crescimento na coesão com um aumento na compactação, entretanto solos com textura grosseira (arenosos) não apresentam essa característica (BALASTREIRE, 1987).

A resistência do solo à penetração é influenciada por vários fatores, sendo a densidade e a umidade do solo os principais. Como a resistência à penetração aumenta com a densidade e diminui com a umidade é fundamental

que ao se estudar a influência de uma, a outra seja controlada (KLEIN; LIBARDI; SILVA, 1998).

Os fatores que afetam diretamente o desenvolvimento das plantas são: a água, o oxigênio, a temperatura e a resistência mecânica do solo à penetração, os quais, somados às disponibilidades químicas do solo determinam o potencial produtivo das culturas. Esses fatores diretos são influenciados pelos indiretos, como a textura, a densidade, o estado de agregação e a distribuição da porosidade do solo. Em razão da resistência do solo à penetração estar relacionada à densidade do solo, ela é facilmente confundida como sendo um fator indireto. Na prática, os fatores indiretos são importantes, em virtude de serem os mais utilizados, pois caracterizam os efeitos dos diferentes sistemas de manejo do solo sobre a produtividade das culturas (LETEY, 1985).

A compactação do solo altera a capacidade de retenção de água no solo, diminuindo a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica, aumentando a resistência à penetração (SHAFIQ; HASSAN; AHMAD, 1994). TORMENA e ROLOFF (1996) verificaram que a resistência à penetração é uma das características do solo que melhor representa as condições de desenvolvimento das raízes das plantas.

Segundo WEIACH et al. (1992), a resistência do solo à penetração das raízes é um dos atributos físicos do solo que influencia diretamente o crescimento das raízes e a parte aérea das plantas.

A resistência real exercida pelo solo à penetração radicular é geralmente menor que a resistência medida pelo penetrógrafo, pois as raízes procuram os espaços de menor resistência ao seu desenvolvimento e crescimento. Há evidências de que o penetrógrafo superestima o valor da resistência de duas a oito vezes, dependendo do tipo do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Conforme REYNOLDS et al. (2002), a resistência à penetração do cone maior que 2 MPa impede substancialmente o desenvolvimento de raízes. Entretanto, para CAMARGO e ALLEONI, (1997), os valores de resistência à penetração acima de 2,5 MPa começam a restringir o crescimento das raízes das plantas e valores entre 1,1 e 2,5 MPa ocasionam poucas limitações. PETTER

(1999), estudando um LATOSSOLO ROXO, concluiu que valores de resistência de 2,8 MPa foram limitantes ao crescimento radicular da cultura da soja.

Estudando o crescimento do sistema radicular do feijoeiro irrigado, WUTKE et al. (2000) concluíram que a rotação de culturas do feijoeiro irrigado, milho e adubos verdes favoreceu a redução da resistência do solo à penetração na camada arável. A profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação com pousio, milho e adubos verdes, em LATOSSOLO ROXO, foi de 35 a 40 cm, onde se encontraram 80% das raízes finas.

Em um estudo sobre resistência à penetração de um PLANOSSOLO submetido a diferentes sistemas de cultivo de arroz, PEDROTTI et al. (2001) concluíram que todos os sistemas de cultivo aumentaram os valores de resistência mecânica do solo à penetração, mais notadamente na camada compreendida entre as profundidades de 10 - 20 cm.

MORAES e BENEZ (1996), avaliando o efeito de cinco sistemas de preparo, concluíram que os sistemas de subsolagem e enxada rotativa, aração e gradagem e enxada rotativa, após o preparo do solo, obtiveram uma maior resistência à penetração a 15 cm de profundidade em relação ao sistema plantio direto e aração/semeadura.

Em experimento realizado com o objetivo de determinar o efeito do tráfego de máquinas agrícolas na compactação de um solo, classificado como LATOSSOLO VERMELHO Escuro, textura média, cultivado por 12 anos com limoeiros, GABRIEL FILHO et al. (1996) observaram diferenças significativas na densidade do solo e na resistência à penetração, quando foram comparadas com as faixas de solo na presença e na ausência de tráfego.

A porosidade de aeração e a resistência à penetração são as propriedades que mais variaram com as mudanças na densidade de um LATOSSOLO ROXO (KLEIN; LIBARDI, 2000). Os mesmos autores estudaram, em um LATOSSOLO ROXO, a influência da umidade e da densidade do solo sobre a resistência do solo à penetração, sob mata e cultivado sob plantio direto em área irrigada e não irrigada, obtendo as seguintes conclusões: a resistência à penetração foi altamente influenciada pela condição de umidade do solo e a sua

determinação, apenas quando o solo se encontra próximo à capacidade de campo, não é recomendável, pois, grandes variações de densidade poderão ser detectadas; o plantio direto aumenta a densidade do solo em relação à mata até a profundidade de 40 cm, com conseqüente aumento da resistência do solo à penetração.

SILVA e ROSOLEM (2001) realizaram um experimento em vasos com terra proveniente de um LATOSSOLO VERMELHO Escuro, com o objetivo de avaliar o efeito da compactação subsuperficial do solo no crescimento radicular de seis espécies utilizadas para cobertura em sistemas de plantio direto (aveia preta, guandu, milho, mucuna preta, sorgo granífero e tremoço azul). Concluíram que densidades do solo até $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, correspondentes a uma resistência à penetração de 1,22 MPa, não foram suficientes para suprir o crescimento radicular das espécies utilizadas.

A resistência à penetração está diretamente relacionada à densidade do solo e à textura e inversamente ao conteúdo de água (BEUTLER et al., 2002).

STRECK et al. (1994) afirmam que nos primeiros 10 cm de profundidade do solo percebe-se maior teor de água nos solos cobertos que em solos desnudos, em razão da menor transferência de energia e da evaporação da água pela presença de cobertura, sendo seus efeitos mais pronunciados nas proximidades da superfície do solo.

Além disso, solos com altos teores de matéria orgânica possuem maior capacidade de armazenar água, porém o aumento da capacidade de retenção de água do solo devido à adição de matéria orgânica é difícil de ser quantificado. Ele depende de muitos fatores, dentre os quais se destacam o tipo de matéria orgânica, seu estado de decomposição, a quantidade adicionada e o tipo de solo. Porém, pode-se generalizar o fato de que a adição de matéria orgânica aumenta a capacidade de retenção de água (KLAUS, 1990).

BORTOLUZZI e ELTZ (2000) trabalhando com o efeito do manejo mecânico dos resíduos de aveia preta, verificaram que em anos com elevada precipitação pluvial, o manejo dos resíduos da aveia preta não ocasionaram variação no teor de água do solo na camada de 0-10 cm de profundidade.

2.4.3 Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade

Porosidade dos solos é a quantidade de espaços vazios, ou seja, a quantidade de solo não preenchido por componentes orgânicos e inorgânicos (KIEHL, 1979; JORGE, 1985; KLAR, 1984; PREVEDELLO, 1996). Tem-se um bom exemplo para verificar isso quando se satura um solo com água, neste caso os poros estão totalmente preenchidos, do contrário, em um solo seco, os poros são ocupados pelo ar. O conhecimento não se deve restringir à porosidade total, é preciso melhor caracterizar a distribuição dos tamanhos dos poros. Baseando-se nesses dados, SCHMUMACHER (1860), citado por KIEHL (1979), classificou a porosidade dos solos nas modalidades macroporosidade e microporosidade.

Segundo JORGE (1985), a porosidade total pode ser desdobrada em microporosidade, também denominada porosidade capilar e macroporosidade ou porosidade não capilar. A macroporosidade é a porosidade do solo em capacidade de campo, os macroporos são os locais em que a água e o ar possuem livre movimentação, enquanto que nos microporos água e ar possuem um movimento caótico, portanto, é muito importante a relação da porosidade com o crescimento das plantas e/ou desenvolvimento radicular.

A porosidade ideal deve obedecer a um intervalo de 25 a 30 %. Segundo KIEHL (1979), o espaço poroso controla as relações entre as fases: sólida, líquida e gasosa dos solos. Com base nesse controle é que se percebe a importância da boa distribuição de macro e microporos em estudos que envolvam o armazenamento e movimentação de água e ar no solo e no desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

O tamanho, a forma e as combinações dos poros variam consideravelmente, pois são resultantes de partículas enormemente variáveis em tamanho, forma e características superficiais (KLAR, 1984). A profundidade do

solo é negativamente correlacionada com os espaços porosos. O cultivo e as culturas também afetam o espaço poroso.

O armazenamento, a disponibilidade e o transporte da solução e do ar no solo não dependem apenas da porosidade total, mas também, e principalmente, de como o espaço poroso total é distribuído por tamanho. Os poros diferem em tamanho e forma, determinados pela forma, tamanho e arranjo das partículas sólidas (PREVEDELLO, 1996).

KIEHL (1979) afirma que, embora as raízes se desenvolvam com porosidade de aeração acima de 10 %, o solo ideal deve apresentar um terço de macroporos e dois terços de microporos. Dessa maneira os solos adquirem aeração, permeabilidade e capacidade satisfatória de reter água, proporcionando a produtividade desejada, ou seja, o solo com tais características consegue manter o equilíbrio entre as propriedades: condutividade hidráulica, aeração, capacidade de reter água e compactação.

Segundo STOLF (1987), nos solos argilosos a ocorrência de macroporos é relativa ou decorrente de sua estrutura, pois as condições físico-químicas e biológicas do solo permitem a agregação das partículas de argila, formando unidades maiores, acarretando formação de poros do tamanho de grãos de areia. Contudo, sob pressão, os agregados sofrem deformações, aproximando-se e unindo-se e, como consequência, reduzindo o tamanho dos poros.

Dos efeitos danosos da degradação do solo pelo pisoteio animal, talvez a mais severa e que traz maiores limitações para o desenvolvimento das pastagens e lavouras subsequentes seja a redução dos macroporos. Quando a macroporosidade diminui, as plantas apresentam diversos sintomas de deficiência, que não condizem com a análise química do solo e da solução do solo. Isso ocorre porque a redução da macroporosidade reduz a respiração do sistema radicular e, por isso, todas as funções do sistema radicular ficam prejudicadas (MELLO et al. 2002).

Assim, de acordo com esse autor, a falta de ar no solo, decorrente da redução dos macroporos, faz com que a planta apresente diversos sintomas de deficiência nutricional, de raquitismo e coloração alterada, devido à falta de

alguns hormônios, que deviam ser produzidos pela raiz. Enfim, a planta apresentará baixo desempenho, mesmo num solo adequado do ponto de vista químico.

SIDIRAS; VIEIRA; ROTH, (1984) e TORMENA et al. (2002), afirmam que o adensamento do solo tem sido verificado através do aumento da densidade do solo e da microporosidade, da diminuição da porosidade total e, sobretudo, da macroporosidade.

Em estudo realizado em um LATOSSOLO VERMELHO Escuro, ALVARENGA e DAVIDE (1999) verificaram que o cultivo anual promoveu a deterioração das características físicas com o aumento da microporosidade e densidade do solo e redução da macroporosidade do solo. Essa deterioração pode dificultar o desenvolvimento do sistema radicular e diminuir a disponibilidade de água para as plantas.

ASARE et al. (2001) verificaram haver diferenças significativas na distribuição de macroporos, numa profundidade que varia de 0 a 40 cm, ocorrendo redução da macroporosidade do solo com o aumento da profundidade.

Segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1990), solos cultivados têm menor porosidade quando comparados com os mesmos solos não cultivados. A perda de porosidade está associada à redução do teor de matéria orgânica, à compactação e ao efeito do impacto das gotas de chuva, fatores estes que, causando uma diminuição no tamanho dos agregados maiores, reduzem, em conseqüência, o tamanho dos poros. A aração, quando praticada no momento em que o solo tem as melhores condições de umidade, melhora a aeração. A manutenção da matéria orgânica com a incorporação de restos culturais melhora a aeração e o suprimento de oxigênio.

Segundo GOSS et al. (1984), as operações de preparo do solo podem alterar a continuidade de macroporos maiores que 50 μm no solo, aumentando-os na superfície e reduzindo o seu número nas camadas subsuperficiais. Esse efeito afeta o desenvolvimento das raízes e a drenagem do solo.

2.4.4 Compactação do Solo em Laboratório

Entende-se por compactação de um solo qualquer redução, mais ou menos rápida, do índice de vazios, por processos mecânicos. Essa redução ocorre em face da expulsão ou compressão do ar dos poros. Difere, portanto, do adensamento, que também é um processo de densificação, mas decorre de uma expulsão lenta da água dos poros do solo (MASSAD, 2003).

Um dos principais problemas relacionados à compactação reside na realização de operações agrícolas com umidade inadequada para tráfego de máquinas. Essa situação acentua-se nas áreas irrigadas, quando a umidade do solo permanece freqüentemente na capacidade de campo e o solo apresenta condições para sofrer máxima compactação. Observando o comportamento diferenciado do solo na presença de água, destaca-se que, quando úmido, ele se comporta como um líquido, quando perde parte de sua água, torna-se plástico e, quando seco, torna-se quebradiço. Esses fatos são constatados pela prática de preparo do solo, quando se classifica o solo como fácil de trabalhar, quando molhado, e duro e impraticável para as operações mecanizadas, quando seco.

Segundo CAPUTO (1996), o comportamento plástico dos materiais fundamenta-se nas características tensão-deformação. Assim, um corpo elástico recupera toda a sua forma original quando cessa o esforço de compressão, enquanto que um corpo plástico deforma-se para qualquer tensão aplicada. Na prática, os materiais apresentam uma fase elástica até uma pressão limitante e outra fase plástica a partir desse limite. No caso dos solos, especialmente os argilosos, a deformação devido à aplicação de cargas também verificada e é influenciada pelo teor de água e pela carga aplicada.

A capacidade do solo à deformação é medida pela sua consistência que, segundo BAVER, GARDNER e GARDNER (1972), é definida como a manifestação das forças de coesão e adesão. Eles afirmam que, no teor de água em que os solos são friáveis, as condições são ótimas para todas as operações de trabalho. Logo, essa faixa de umidade é definida como um índice de

trafegabilidade para as operações agrícolas, sendo determinada pelos limites de plasticidade e de contração. O mesmo autor define como índice de plasticidade a faixa de umidade determinada pelos limites de plasticidade e de liquidez. Observa-se que esse índice pode ser empregado para avaliar o potencial de compactação de um solo, pois, quanto maiores forem esses limites menor será a faixa de umidade útil para as operações agrícolas.

O ensaio de Proctor, segundo PINTO (2000), é a principal ferramenta utilizada na engenharia para avaliar as condições críticas de umidade para a compactação do solo. Consiste na aplicação de uma energia constante, em uma amostra do solo, para diferentes umidades deste solo, medindo-se ou a densidade da amostra ou o índice de vazios. Atualmente, tem-se utilizado esse ensaio para avaliar o potencial de compactação dos solos empregados na produção agrícola.

O desenho de uma curva de compactação consiste na representação da densidade seca (γ_s) em função da umidade. Geralmente, associa-se uma reta aos pontos ascendentes do ramo seco, outra aos pontos descendentes do ramo úmido e unem-se as duas por uma curva parabólica, conforme Figura 1.

Durante a compactação, as quantidades de partículas e de água permanecem constantes. O aumento da densidade corresponde à eliminação do ar dos poros do solo. A saída do ar é facilitada porque, quando a umidade não é muito elevada, o ar se encontra em forma de canálculos intercomunicados. A redução do atrito pela água e dos canálculos de ar permite uma densidade maior quando o teor de umidade é maior. A partir de certo teor, entretanto, a compactação não consegue mais expulsar o ar dos vazios, pois o grau de saturação já é elevado e o ar está ocluso.

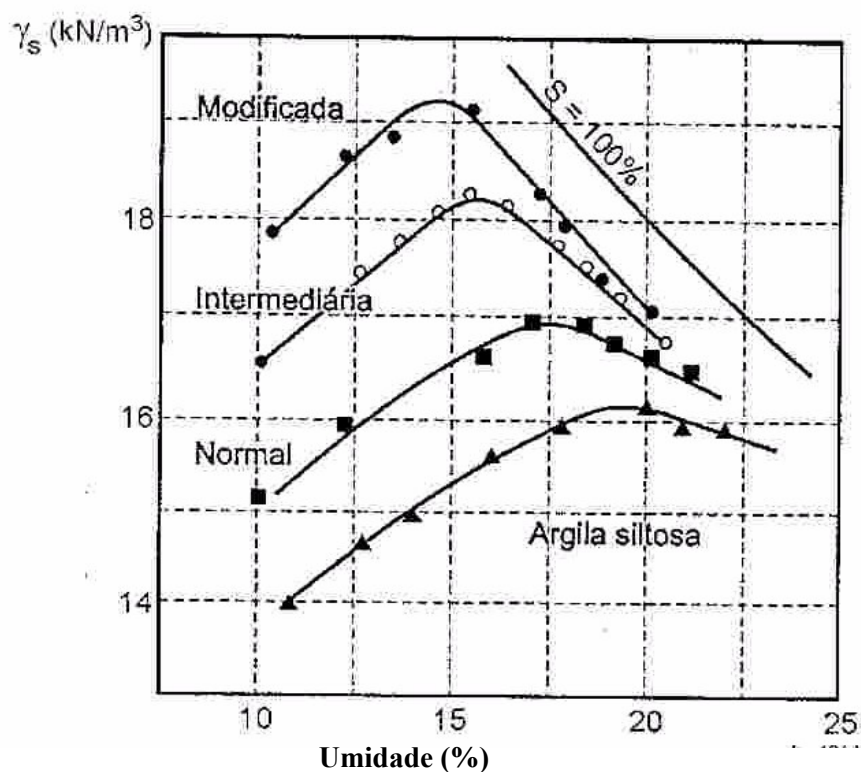


Figura 1 - Curva típica de compactação de solo

Fonte: MASSAD (2003).

Segundo CAPUTO (1996), o comportamento do solo pode ser explicado considerando-se que à medida que cresce o teor de água, até um certo limite máximo, o solo torna-se mais trabalhável, daí resultando densidades maiores e teores de ar menores. Como, porém, não é possível expulsar todo o ar existente nos poros do solo, a curva de compactação real, não alcança a curva de saturação (que é, teoricamente, a curva de porosidade de aeração igual a zero). A curva de compactação apresenta esse comportamento, pois, quando a umidade é baixa, o solo endurece tornando difícil a compactação, ou seja, o atrito entre as partículas

de solo é máximo. À medida que se aumenta a umidade do solo, a água atua como lubrificante entre as partículas, tornando o solo mais trabalhável facilitando a orientação das partículas, durante o processo de compactação, até atingir configuração densa.

DIAS JÚNIOR e ESTANISLAU (1999) comenta que, após atingir a umidade ótima de compactação, à medida que a umidade aumenta, a densidade do solo diminui, devido à baixa compressibilidade da água que ocupa a maioria dos poros para condições próximas da saturação.

Quando aumenta o teor de água até um valor, a carga de compactação requerida para alteração da densidade do solo diminui. O valor crítico de umidade que produz máxima densidade e, portanto, máxima compactação, é definido como umidade ótima para compactação.

FIGUEIREDO (1998), analisando as umidades ótimas de compactação e comparando-as com o limite de plasticidade, observou que a umidade ótima de compactação foi menor do que o limite de plasticidade, fato também observado por outros autores como HOWARD, SINGER e FRANTZ (1981). Como o limite de plasticidade é o limite superior da zona de friabilidade do solo, conforme BAVER, GARDNER e GARDNER (1972), verifica-se que a umidade ótima de compactação está contida na faixa de umidade, na qual o tráfego de máquinas é realizado. A partir dessas confirmações, o autor sugeriu que o tráfego de máquinas não deve ser realizado quando a umidade do solo for aproximadamente igual ao limite de plasticidade, evitando-se maiores riscos de compactação. Esses dados estão de acordo com PEREIRA et al. (1975).

FIGUEIREDO (1998), considerando a complexidade na realização do ensaio de Proctor Normal e procurando otimizar o tempo de obtenção desses parâmetros, sugere que a umidade do solo que prejudica os trabalhos com máquinas está próxima a 90 % do limite de plasticidade. Outro parâmetro físico que pode ser utilizado para estimar a umidade ótima de compactação é a capacidade de campo. O autor observou que a umidade ótima de compactação está próxima à capacidade de campo, concordando estudos de outros autores.

2.5 PLANTIO DIRETO

As preocupações em relação à eficiência dos sistemas de preparo do solo são crescentes em todo o mundo. Com o objetivo de aumentar a eficiência do processo produtivo da agricultura, tem-se buscado alternativas visando minimizar e/ou eliminar as perdas de solo por erosão. Dentre as alternativas destaca-se o plantio direto que tem grande aceitação entre os produtores agrícolas. No entanto, em áreas onde esta técnica está implantada há mais tempo ou onde existe integração lavoura-pecuária, pode ocorrer compactação superficial do solo (MELLO et al. 2002).

O plantio direto, segundo DERPSCH et al. (1991) e SMIDERLE, GIANLUPPI e GIANLUPPI (2003), é a prática de semeadura ou de cultivo de plantas sem preparo físico do solo, mantendo-se a palha da cultura anterior na superfície. É um sistema de exploração agropecuária que envolve a diversificação de espécies, via rotação de culturas, que são estabelecidas mediante mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura.

A técnica do sistema de plantio direto tem sido preconizada como uma alternativa para evitar os efeitos indesejáveis do preparo do solo, realizado de forma inadequada (CORSINI; FERRAUDO, 1999). Dessa forma o plantio direto na palha propicia a antecipação da semeadura por dispensar o tempo para o preparo do solo (DUARTE; DEUBER, 1999). CORSINI e FERRAUDO (1999) citam que os benefícios desse sistema nos valores de macroporosidade e densidade da camada superficial do solo iniciam-se a partir do quarto ano agrícola.

No Brasil, o plantio direto é uma técnica comumente usada no cultivo agrícola. A rotação de culturas, porém, ainda é pouco empregada no país, embora os benefícios desse sistema já tenham sido comprovados em diversas pesquisas.

A rotação de culturas comerciais com espécies para cobertura vegetal do solo sob plantio direto é fundamental para a implantação e a continuidade de sistemas produtivos rentáveis, mediante eficiente reciclagem de nutrientes. Ou seja: os resultados mostram que as espécies vegetais que formam uma cobertura verde no solo podem otimizar a produção agrícola. É possível inferir que essas espécies podem ser utilizadas para evitar o esgotamento do solo, repondo os nutrientes essenciais extraídos pelas culturas comerciais no processo produtivo (BORKERT, 2003).

O plantio direto vem expandindo-se rapidamente no Brasil, como alternativa aos sistemas convencionais de manejo do solo, devido às suas vantagens nos aspectos econômico e ambiental, reduzindo a erosão hídrica, além exigir um menor uso de máquinas e de insumos químicos, após sua adequada implantação (MUZILLI, 1994).

No Paraná, o sistema de plantio direto foi instalado na década de 70, sendo que mais de 2,5 milhões de hectares são cultivados atualmente sob este sistema. O sucesso do plantio direto como sistema de produção agrícola está diretamente relacionado com as alterações observadas na dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais, considerando o revolvimento do solo (FRANCHINI et al. 2000).

Na década de 90, ocorreu grande expansão do plantio direto nas regiões do Paraná com solos argilosos, principalmente pela substituição nas máquinas dos discos duplos desconstruídos pelas hastes, na abertura de sulcos para deposição de fertilizantes. Desse modo, as hastes passaram a romper a camada compactada superficial, comum pela acomodação do solo não mobilizado e agravado pelo tráfego de máquinas, principalmente com o solo úmido (ARAÚJO et al. 1998; CASÃO JÚNIOR et al. 1999).

O sucesso do sistema plantio direto depende de um conjunto de ações fundamentais para o seu estabelecimento e para a sua manutenção. Dentre essas ações, destacam-se: a sistematização da lavoura, a correção da acidez do solo, a descompactação do solo, o planejamento de um sistema de rotação de culturas e

o manejo de restos culturais e de culturas de cobertura do solo (EMBRAPA, 2003).

As vantagens proporcionadas pelo sistema de plantio direto residem no controle da erosão, na eliminação de operações de aração e gradagem, na diminuição do uso de combustíveis, no ganho de tempo pelo menor número de operações, na redução do uso de fertilizantes no longo prazo e na maior rentabilidade e estabilidade. Atualmente, é inegável a importância do plantio direto como sistema de produção para a agricultura brasileira. A cada ano ocorre um considerável aumento em área e também a ampliação do uso dessa técnica para outras culturas: florestais, olerícolas e frutícolas (SMIDERLE, GIANLUPPI e GIANLUPPI, 2003).

O plantio direto destaca-se como um sistema efetivo para controlar perdas de solo e água sob as condições climáticas do Brasil, daí a importância de um preparo conservacionista a fim de que as formações de crostas nas camadas superficiais sejam evitadas, reduzindo perdas de solo e água (MANERING; FENSTER, 1983).

Segundo MIELNICZUK (1996), nos estudos de solo normalmente se determina as características físicas (densidade, porosidade, infiltração e retenção de água, entre outras) para estabelecer parâmetros críticos para o desenvolvimento das raízes no solo. O mesmo autor cita que, em solos sem revolvimento (plantio direto sob a palha) em que há a presença de rachaduras e bioporos, o crescimento radicular é maior do que o esperado com base nas caracterizações usuais, podendo ser observado o desenvolvimento radicular nos locais de menor resistência, portanto dentro desse contexto é necessário estabelecer novos critérios para o estabelecimento de parâmetros de avaliação.

É importante ressaltar que em sistema de plantio direto sob palha a resistência à penetração, além de provocar reflexos negativos sobre o desenvolvimento das plantas, segundo ARAÚJO et al. (1998), também reflete em dificuldades de corte e funcionamento dos elementos sulcadores da semeadora, podendo afetar a uniformidade de emergência das plantas e, assim, afetar indiretamente o rendimento de grãos (MERROTO JÚNIOR et al. 1999).

Entre os fatores que interferem na uniformidade de emergência e população de plantas tem-se o processo de semeadura que, conforme WEIRICH NETO (1999), pode ser decomposto em cinco variáveis causas (inputs) que geram um efeito (output) do processo. Essas causas são: a máquina, o meio, o material, a mão-de-obra e o método. Para a melhor visualização do processo de semeadura tem-se: máquina (trator e semeadora), meio (solo e palha), material (semente e adubo), mão-de-obra (agrônomo e operador) e método (velocidade e regulagens), que constituem individualmente processos que podem ser subdivididos quantas vezes for necessário. Esses processos são responsáveis pela adequada deposição dos fertilizantes e, principalmente, deposição de sementes em condições adequadas para sua germinação e emergência.

Nesse processo, a desuniformidade da lavoura pode ser causada por diversos fatores, como o vigor e a germinação das sementes (item material), profundidade de semeadura (método), a distância do adubo em relação à semente (método), o teor de água do solo (meio), a quantidade de restos vegetais depositados (meio), etc. Além da quantidade de cobertura vegetal, de acordo com WEIRICH NETO (1999), a umidade da palha influencia significativamente a eficiência da semeadura. Os melhores resultados ocorrem quando a palha estiver bem verde ou em estado avançado de decomposição. O mesmo autor verificou que a palha em processo de secagem, representada pela palha de trigo imediatamente após a colheita, dificultou o seu corte pelos elementos de corte da semeadora, resultando na presença de sementes e fertilizantes em superfície. Além do teor de água da palha, a espécie de cobertura vegetal também pode influenciar o desempenho da semeadora.

Entretanto, ao avaliar o desempenho de uma semeadora em dois tipos de solo e três culturas de cobertura vegetal (vegetação espontânea, labe-labe e milho), OLIVEIRA et al. (2000) não verificaram influência significativa das espécies de cobertura sobre a profundidade de semeadura, estande final e distribuição longitudinal de plantas.

A manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo é um dos princípios básicos para o sucesso do plantio direto. O efeito desses restos

culturais sobre a temperatura, umidade e infiltração de água no solo, bem como sobre a supressão de plantas daninhas, demonstram as inúmeras vantagens que essa cobertura do solo apresenta para a conservação do solo e para o desenvolvimento das plantas (KLEIN et al. 2001).

Avaliando o efeito de diferentes condições de precipitação e da porcentagem de cobertura de solo sobre as perdas de água, SILVA et al. (2001) concluíram que houve redução nas perdas de água com o aumento da porcentagem de cobertura.

De acordo com OLIVEIRA e MACHADO (1991), percentuais mais elevados de cobertura de solo são benéficos para o desenvolvimento das culturas por auxiliar no controle das plantas daninhas, diminuir as perdas de água (UNGER, 1978, citado por BERTOL; FISCHER, 1997) e quando semi-incorporados, melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo (LARSON; GILL 1973, citados por BERTOL; FISCHER 1997) comparado a solos com pouca presença de resíduos vegetais na superfície.

Comparando sistemas de manejo de solo, BAUMHARDT e JONES (2002) concluíram que o plantio direto aumentou a armazenagem média de água no solo durante precipitação após o plantio do trigo, comparado com as práticas de subsolagem. Portanto, o manejo de resíduos por plantio direto mostrou-se mais benéfico para a produção de cultura em terra seca do que as práticas de subsolagem.

Um fator importante a ser observado é a semeadora a ser utilizada. Nesse caso, existe também o problema do alto preço de mercado e da elevada exigência de potência em solos de origem basáltica. A alta resistência à penetração dos elementos rompedores nesses solos, associada a sua grande retenção de umidade, tem exigido constantes adaptações dessas máquinas à realidade regional. Como consequência, são freqüentes os problemas com o corte irregular da vegetação, embuchamentos, abertura inapropriada do sulco, aderência de solo nos componentes, profundidade desuniforme de semeadura, cobertura e compactação deficientes do solo sobre as sementes, afetando a uniformidade de emergência das plantas (ARAUJO et al. 1998). Fatores como compactação e encrostamento

do solo, profundidade de semeadura e déficit hídrico podem causar a desuniformidade de emergência de plantas e afetar o rendimento de grãos (MEROTTO JÚNIOR et al. 1999).

Quanto às semeadoras, elas podem apresentar elementos sulcadores de discos ou de hastes, sendo as hastes mais indicadas quando se pretende obter maiores profundidades de trabalho em solos argilosos, os quais têm a característica de apresentar maior resistência à penetração dos elementos sulcadores. Entretanto, esses elementos podem ocasionar problemas como a redução da população de plantas em função do deficiente fechamento de sulco (FARRET et al. 1992; RIGHES et al. 1990), maior volume de solo mobilizado e conseqüentemente maior demanda de energia (COELHO, 1998).

KLEIN e BOLLER (1995), avaliando a cultura do milho e a densidade do solo em diferentes manejos, verificaram que, no tratamento de plantio direto, a produtividade do milho foi afetada positivamente devido à utilização do sulcador do tipo facão, embora a camada superficial do solo (0 a 5 cm) tenha apresentado maior densidade do solo e gerado compactação, fatores que têm levado muitos agricultores a retornarem aos métodos de revolvimento parcial ou total do solo.

BAYER, MIELNICZUK e MARTIN-NETO (2000), comparando sistemas de preparo do solo, verificaram que a utilização do plantio direto reduziu pela metade a taxa de perda de matéria orgânica, comparativamente ao preparo convencional.

SCHICK et al. (2000), em estudos sobre diferentes sistemas de preparo do solo, concluíram que o sistema de plantio direto é o mais eficaz no controle das perdas de solo, reduzindo-as em 68 e 52% em relação à aração com duas gradagens e escarificação com gradagem, respectivamente. As perdas de água comportaram-se de maneira semelhante às perdas de solo, diferenciando-se quanto à magnitude dos seus valores.

Em estudo conduzido na região oeste do Paraná, durante safra agrícola de 1995/1996, em um LATOSSOLO ROXO Eutrófico, com o objetivo de avaliar diferentes sistemas de preparo conservacionista do solo, BERTOL e FISCHER

(1997) compararam o plantio direto com quatro sistemas de preparo reduzido. Os sistemas de preparo reduzido do solo foram: escarificador com rolo destorroador; escarificador; escarificador + grade e grade + escarificador. Sobre os tratamentos foi implantada a cultura da soja e avaliado o rendimento de grãos, margem bruta da produção, custo variável e taxa de retorno. A cobertura do solo foi reduzida significativamente por todos os tratamentos e o plantio direto apresentou média significativamente maior que os demais tratamentos.

ARAÚJO et al. (1998) identificaram que, na região oeste do estado do Paraná, a compactação superficial do solo constitui uma forte restrição para o plantio direto e o uso de sulcadores tipo haste ou facão, nas semeadoras diretas, tem se generalizado como alternativa para rompê-la. As hastes formam o sulco de semeadura com maiores profundidades do que os discos duplos, com conseqüente aumento da mobilização do solo, nos esforços de tração e na exigência de potência de tratores (ARAÚJO et al. (1999); OLIVEIRA et al. 2000).

Deve-se considerar também que a necessidade de tração depende de variáveis do solo (umidade, textura) e, no caso específico das hastes, a profundidade de penetração depende do seu ângulo de inclinação, o que determina a intensidade de força vertical, a qual atua de baixo para cima (CHANG; PORTELLA; KUMAGAI, 1983).

Um dos principais fatores para adotar o sistema de plantio direto em vários países seria o controle da erosão. Portanto, o plantio direto mostrou-se até agora uma tecnologia eficiente no controle da erosão, conseguindo manter os níveis de produtividade quando comparados a outros sistemas de produção (BAKER; SAXTON; RITCHIE, 1996).

2.6 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE IMPORTÂNCIA NA RELAÇÃO SOLO-MÁQUINA

As reações do solo incluem aquelas que resultam da ação de elementos naturais como o vento, a água e outras fontes. As reações dinâmicas do solo, durante tração ou movimentação mecânica do solo, afetam o projeto e o uso das máquinas que o manuseiam.

A tração é definida como a força derivada do solo para puxar uma carga. Essa força é evidentemente exercida sobre o solo por um elemento de tração como uma roda, uma esteira, etc. A resistência dinâmica do solo para prover tração é suprida através de uma interação entre o elemento de tração e o solo (BALASTREIRE, 1987).

Devido a sua estrutura granular e à presença de umidade, o solo se comporta como um material cuja deformação é dependente do tempo e pode, por isso, ser classificado como um material viscoelástico. Uma complicação adicional na representação do solo como material viscoelástico é o fato de que ele não segue um modelo linear e não existe uma teoria unificada para materiais viscoelásticos não-lineares. Dessa forma, a representação das relações tensão-deformação para o solo ainda não se encontra fixada de forma definitiva (BALASTREIRE, 1987).

Resistência do solo é a habilidade ou capacidade de um solo, em uma condição particular, de resistir a uma força aplicada. Desde que a resistência do solo se modifique à medida que as forças são aplicadas e o solo se movimenta, ela é realmente uma propriedade dinâmica (BALASTREIRE, 1987). A resistência do solo à tração é representada pela força necessária para romper o solo em tração.

O único parâmetro requerido para definir a fratura é a tensão de tração à ruptura. Um caso típico de ruptura por tração é o que ocorre após a passagem de ferramentas que abrem o solo e deixam as paredes laterais sem suporte. Quando

elas se partem, o rompimento se deve à tração exercida pelas forças gravitacionais que agem sobre o solo não suportado (BALASTREIRE, 1987).

As semeadoras possuem peso elevado para aprofundar seus componentes de ataque ao solo, em especial os discos de corte e as hastes sulcadoras. Com isso, as máquinas tornam-se mais robustas e caras. O esforço para tracioná-las é elevado, exigindo tratores com potência nem sempre disponível nas propriedades rurais (CASÃO JÚNIOR et al. 1999 e ARAÚJO et al. 1998).

No trabalho realizado por SIQUEIRA et al. (2000), os resultados indicaram que os teores de água no solo não afetaram a velocidade, os esforços, o momento e a potência requerida por uma semeadora e que a maior profundidade do sulco (12,5 cm) resultou em maiores momentos: força vertical e horizontal e potência, bem como seus valores específicos. Verificou-se ainda, que é possível a seleção de hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras de plantio direto que exijam menores esforços e potência.

Segundo SATTLER (1996), a semeadora deve ter: eficiência no rompimento do solo; versatilidade; precisão e uniformidade; servibilidade e qualidade. O mesmo autor afirma que a eficiência no rompimento do solo em uma semeadora para plantio direto está ancorada em três pilares: corte da palha, fluxo da palha, abertura dos sulcos de semeadura e de fertilização. LANDERS (1995) relatam que, quando o solo tem a tendência de compactar, o emprego do facão propicia melhores resultados.

Em estudo de KLEIN e BOLLER (1995), o uso do sulcador tipo haste diminuiu o problema de compactação, embora os tratamentos tenham apresentado produtividades estatisticamente iguais, o uso do facão mostrou tendência de maior produção. O melhor desempenho do facão, provavelmente, deve-se à maior profundidade de trabalho, conseguindo quebrar a camada compactada na superfície.

COLLINS e FOWLER (1996), trabalhando com semeadoras equipadas com sulcadores do tipo disco duplo e facão em solo argiloso, obtiveram valores para a força de tração de 0,2 e de 0,42 a 1,12 kN por linha, respectivamente.

SILVA (2000), variando a velocidade de semeadura de 3,1 a 8,7 km h⁻¹ e utilizando diferentes elementos sulcadores para fertilizantes, verificou que houve influência da velocidade sobre o requerimento de força de tração e potência para a implantação da cultura de soja, sendo que a maior demanda foi detectada na maior velocidade. No entanto, esse efeito não foi verificado na implantação da cultura de milho. SIQUEIRA et al. (2001), avaliando quatro semeadoras-adubadoras na operação de plantio direto de soja, detectaram aumento significativo no requerimento de força de tração e potência média e máxima na barra de tração, quando se aumentou a velocidade de deslocamento de 4,7 para 8,3 km h⁻¹.

Os equipamentos de preparo com hastes, para SUMMERS, KHALILIAN e BATCHELDER (1986), são projetados para operarem a certa faixa de velocidade e profundidade, aliados ao espaçamento entre hastes, às condições do solo e à qualidade desejada do preparo.

De acordo com CHOUDHARY e BAKER (1982), o projeto dos elementos sulcadores para plantio direto deve considerar a capacidade de exploração do suprimento limitado de umidade da subsuperfície, induzindo a máxima difusão de umidade na relação solo-semente, diminuir a área mobilizada na superfície do solo, mantendo o máximo de resíduos vegetais possíveis, fragmentando o solo da subsuperfície para auxiliar o ancoramento e proliferação das raízes, de forma a fechar o sulco para proteção da semente contra a radiação solar direta e manter um micro ambiente do sulco.

A maior retenção de água no solo, ocasionada pelo sistema de plantio direto, pode aumentar a compactação do solo devido ao tráfego de máquinas, com isso, faz-se necessário o uso de hastes sulcadoras em semadoras-adubadoras para romper a camada superficial compactada. As hastes, também conhecidas como facões, são elementos que rompem o solo, exigindo maior esforço de tração e maior consumo de combustível, quando comparado aos discos duplos. VIEIRA, MESQUITA e HERNANI (1998) afirmam que quando o solo estiver úmido, podem ocorrer problemas com o facão devido à aderência do mesmo ao implemento e aos elementos de discos. Para CHANG, PORTELLA e

KUMAGAI (1983) a força na barra de tração depende, entre outras variáveis, do teor de água do solo.

A textura muito argilosa, tanto da TERRA ROXA Estruturada como do LATOSSOLO ROXO, associada às precipitações contínuas, freqüentes na região oeste do Paraná, reduz os dias com umidade adequada para o trabalho com máquinas, sendo assim é comum a deformação do solo pela compactação manifestada no estado de consistência plástica por ocasião da semeadura. Essa compactação foi constatada pelos dados de resistência à penetração em que, na camada de 5 a 15 cm de profundidade, foi freqüente encontrar valores superiores a 2000 kPa, o que indica a possibilidade de haver problemas para o desenvolvimento das culturas (CASÃO JÚNIOR et al. 1999).

LINDWALL e ANDERSON (1977) comprovaram a maior capacidade de penetração das hastes, em relação aos discos duplos, em solos não preparados e com densidade do solo superior a $1,2 \text{ g cm}^{-3}$. CHICHESTER, MORRINSON e GERIK (1985) verificaram que tipos de hastes diferentes mobilizaram o solo de forma diferente, em cada uma das velocidades e profundidades avaliadas, argumentando que essa diferenciação foi causada pelas características de projeto das hastes.

Valores relativamente elevados de densidade do solo têm sido limitantes ao desenvolvimento radicular das culturas anuais em preparos convencionais, mas não possuem o mesmo efeito em preparos que não mobilizam todo o perfil do solo. A melhor agregação e os macroporos estáveis, formados após alguns anos de uso com sistemas conservacionistas, compensam os efeitos negativos do aumento de densidade do solo sobre o movimento de água e o desenvolvimento radicular das plantas (GRIFFITH et al. 1992). AASE e PIKUL (1994) afirmam que, à exceção dos primeiros centímetros superficiais, solos utilizados com plantio direto geralmente apresentam valores de resistência à penetração e de densidade significativamente menores do que aqueles com preparo convencional e, a longo prazo, tem um efeito negativo sobre estas propriedades físicas.

A expansão do plantio direto nas regiões com solos argilosos, no estado do Paraná, tem sido limitada pela compactação na camada superficial,

proporcionada pelo alto teor de argila e alta retenção de água desses solos, bem como pelo tráfego de máquinas sob condições de solo úmido, principalmente na semeadura, pulverização e colheita. Para romper essa camada, as semeadoras diretas comerciais são equipadas com sulcadores do tipo haste, para deposição de fertilizante, os quais apresentam maior capacidade de penetração em relação aos sulcadores tipo disco duplo (LINDWALL; ANDERSON, 1977), embora proporcionem um aumento na demanda de energia, aumento na mobilização do solo do sulco de sementes e adubo (TESSIER et al. 1991) e no risco de acúmulo de material vegetal junto ao sulcador na operação (BAKER; BADGER, 1979).

JOHNSON e BUCHELE (1961) constataram que a compactação da superfície do solo na região da semente altera a umidade, o comportamento térmico, a resistência mecânica do solo à penetração e o comportamento das plantas. ROSENBERG (1964) verificou que uma leve compactação foi benéfica às culturas, quando comparada ao solo extremamente solto e desagregado. Entretanto, em índices mais elevados, a compactação promove efeitos prejudiciais às plantas, tais como: germinação e brotação mais lentas, redução no estande, menor peso e altura por planta e menor produção por área. SILVA, ORTOLANI e DANIEL (1991a) encontraram maiores valores de resistência do solo à penetração nos tratamentos mais compactados.

Segundo COAN (1996), a profundidade de semeadura da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) não interferiu na resistência mecânica do solo à penetração, porém, revelou que a compactação na linha de semeadura aumentou proporcionalmente as cargas aplicadas. SILVA, ORTOLANI e DANIEL (1991b), trabalhando com diferentes cargas sobre a linha de semeadura, constataram que os tratamentos com menor carga de compactação tiveram uma emergência mais rápida.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado na Fazenda Santa Maria, município de Santa Tereza do Oeste – PR, no período de abril de 2003 a abril de 2004. Na Figura 2 é apresentada a área experimental.



Figura 2 - Área experimental

O município de Santa Tereza do Oeste está localizado a 25° 03' 08" de latitude Sul e 53° 37' 59" de longitude Oeste, com altitude de 749 m. A microrregião na qual a área está inserida situa-se no centro do terceiro planalto paranaense, extremo oeste do Estado, com relevo ligeiramente ondulado. Geologicamente a região está inserida na unidade estratigráfica Formação Serra Geral, Grupo São Bento (MINEROPAR, 1998).

3.2 CLIMA

O clima é classificado como Cfa, segundo simbologia de Köeppen, é Subtropical Úmido Mesotérmico, verões quentes e com tendência de concentração das chuvas, temperatura média superior a 22° C, invernos com geadas pouco freqüentes, temperatura média inferior a 18° C, sem estação seca definida, precipitações pluviométricas anuais entre 1300 e 1700 mm e umidade média relativa do ar de 75%.

A Figura 3 apresenta as precipitações pluviométricas mensais, durante o período da condução do experimento, e permite verificar que a maior precipitação ocorreu no mês de dezembro de 2003 com 264 mm.

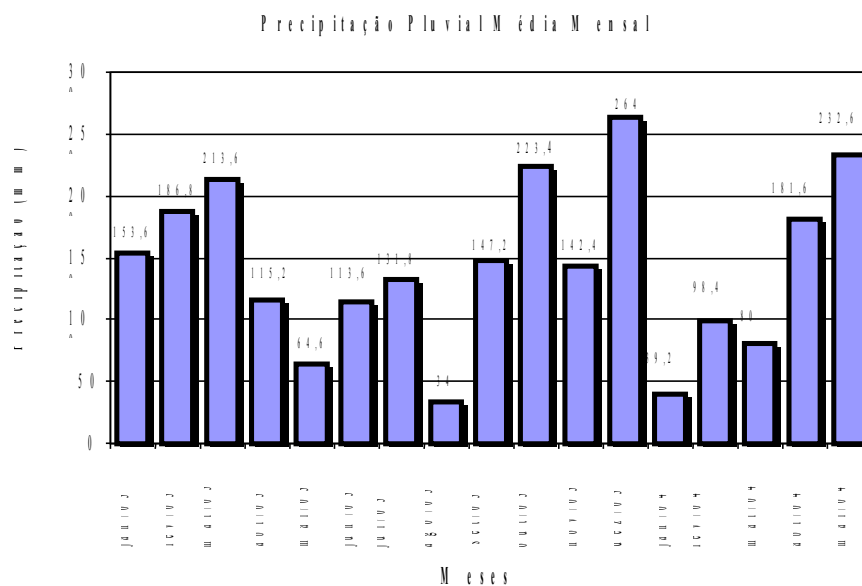


Figura 3 - Precipitações pluviárias mensais (mm), durante a condução do experimento

Fonte: SIMEPAR (2004).

Na Figura 4 são apresentadas as precipitações pluviárias, nos dias em que ocorreram chuva na época da semeadura da soja, o que permite verificar que a maior precipitação ocorreu no dia 12 de dezembro de 2003, com 70,2 mm.

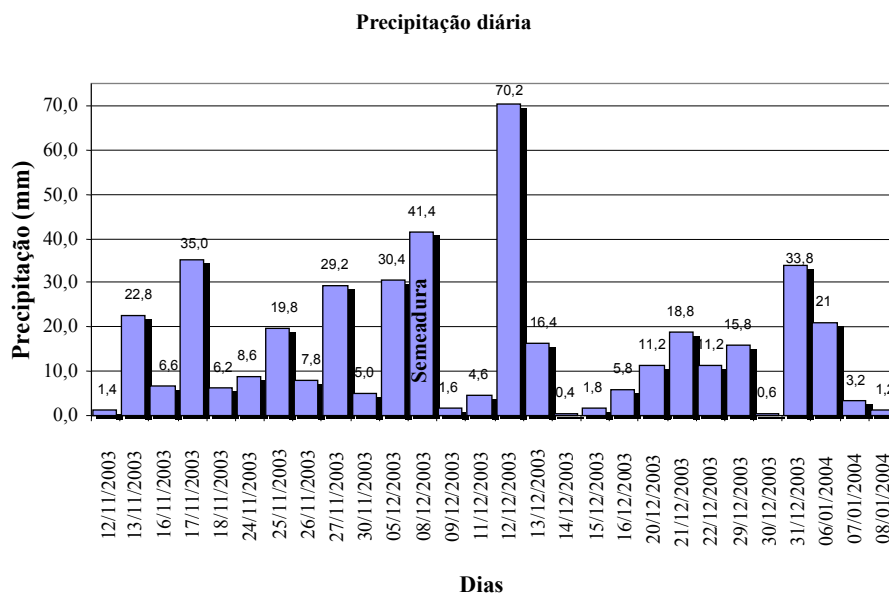


Figura 4 - Precipitações pluviárias diárias (mm), durante o período de semeadura da soja

Fonte: SIMPAR (2004).

Na Figura 5 são apresentadas as temperaturas médias mensais, durante o período da condução do experimento, o que permite verificar que a maior temperatura ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro de 2003, com 23,8° C.

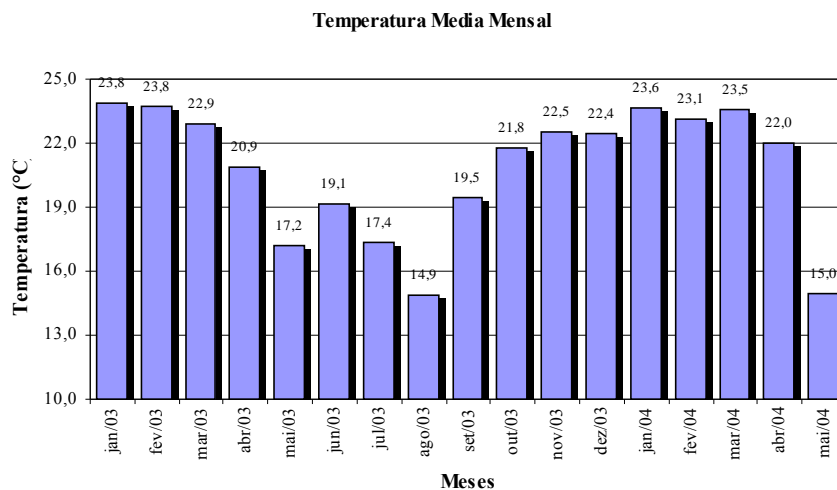


Figura 5 - Temperaturas médias mensais (°C), durante a condução do experimento

Fonte: SIMEPAR (2004).

Na Figura 6 são apresentadas as temperaturas médias diárias, nos dias em que ocorreram chuva na época da semeadura da soja, o que permite verificar que a maior temperatura ocorreu no dia 29 de janeiro de 2003, com 29,1° C.

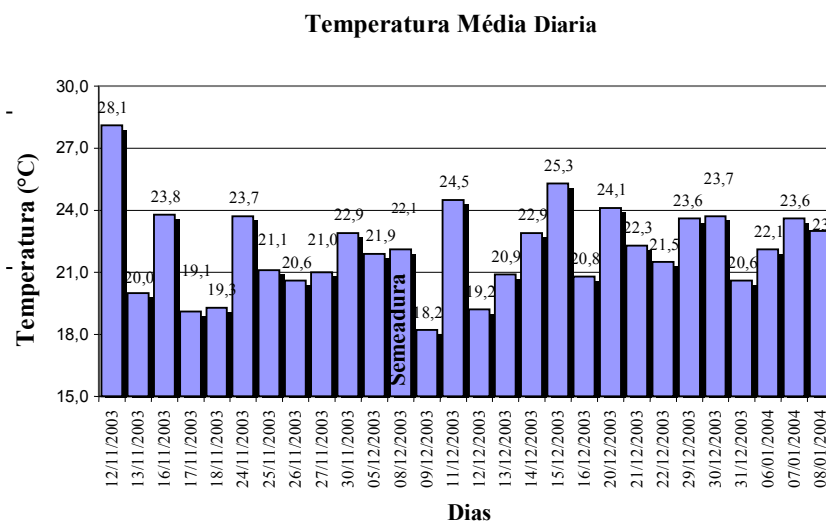


Figura 6 - Temperaturas médias diárias (°C), durante o período de semeadura da soja

Fonte: SIMEPAR (2004).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

3.3.1 Classificação do Solo

O solo da área do experimento foi classificado, conforme EMBRAPA (1999), como LATOSSOLO VERMELHO Eutróférico, textura argilosa, origem basáltica. Os latossolos são solos bastante profundos, friáveis, porosos, coloração indiscriminada da gama vermelha ou amarela de tonalidade bastante variável, fortemente intemperizados e lixiviados, com ínfimas proporções de minerais primários pouco resistentes, assim como de silte, sem muita diferenciação de horizontes, desprovido de horizonte subsuperficial com evidência de significativa acumulação de argila e, exceto as raras exceções, de reação ácida e baixa percentagem de bases trocáveis. A fração argila compreende caulinita, óxidos de ferro e alguns óxidos de alumínio, sendo muito elevada a flocculação dos colóides minerais (IBGE, 1966).

De acordo com análise granulométrica, o solo da área do experimento possui 23 % de areia, 15 % de silte e 62 % de argila, considerado um solo com textura argilosa.

3.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO NA FASE INICIAL

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das propriedades físicas do solo, antes da implantação do experimento.

Tabela 1 – Valores médios das propriedades físicas do solo, antes da implantação do experimento

Frações constituintes	Camada	
	0 – 10 cm	10 – 20 cm
Sem pastejo		
Densidade de partículas (Mg m ⁻³)	2,94	2,94
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,24	1,27
Porosidade total (%)	57,99	56,89
Macroporosidade (%)	11,55	9,08
Microporosidade (%)	46,44	47,81
Umidade (%)	27,35	33,55
Pastejo Solo Seco		
Densidade de partículas (Mg m ⁻³)	2,94	2,94
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,23	1,23
Porosidade total (%)	58,26	58,15
Macroporosidade (%)	13,35	11,57
Microporosidade (%)	44,90	46,58
Umidade (%)	25,01	33,43
Pastejo Solo Úmido		
Densidade de partículas (Mg m ⁻³)	2,94	2,94
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,28	1,28
Porosidade total (%)	56,44	56,45
Macroporosidade (%)	10,38	8,31
Microporosidade (%)	46,06	48,14
Umidade (%)	24,86	30,57

3.4.1 Análise Química

Foi realizada a análise química do solo, antes da implantação da espécie de cobertura (aveia preta), visando identificar a necessidade de calcário e conhecer os teores de nutrientes do solo.

Os resultados da análise química do solo estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise Química do Solo

<i>Análise química do solo</i>															
Níveis de nutrientes presentes															
Profundidade (cm)	(Al ³⁺)	(Al ³⁺ e H ⁺)	pH do solo	Concentração.....							Características químicas		Relações importantes		
	(cmol _c .dm ⁻³).....		pH CaCl ₂	P	K ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺	C	V	M.O	S.B.	CTC	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg
				mg. dm ⁻³cmol _c .dm ⁻³			g.dm ⁻³	(%)	g.dm ⁻³cmol _c .dm ⁻³				
0-20	0,00	5,76	5,20	2,50	0,58	2,28	5,12	23,38	58,08	40,21	7,98	13,74	8,83	3,93	2,25

3.4.2 Densidade de Partícula

A densidade de partícula do solo foi determinada pelos métodos do picnômetro, descrito por KIEHL (1979) e do balão volumétrico preconizado pela EMBRAPA (1997).

3.4.3 Compactação do Solo em Laboratório

A compacidade do solo foi avaliada pelo ensaio de Proctor Normal, padronizado pela NBR 7182, de 1982, conforme DIAS JÚNIOR (1996).

Os ensaios de compactação tiveram por objetivo a determinação da umidade ótima e densidade máxima correspondente do solo. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia da Unioeste – *Campus* de Cascavel.

Para iniciar o ensaio coletou-se, aproximadamente, 32,5 kg de solo, representativo da área. O material foi peneirado, verificado o teor de umidade natural e armazenado hermeticamente. Em seguida, foram divididas em cinco amostras de 2500 g cada, das quais duas foram colocadas para secar a sombra e nas demais se acrescentou quantidades pré-determinadas de água para obter materiais com diferentes e crescentes teores de umidade. Esse procedimento foi desenvolvido para os três tratamentos.

O ensaio consistiu em compactar cada uma das amostras de solo em um cilindro metálico de volume igual a 1000 cm^3 , em três camadas, cada uma com 25 golpes, com um peso de 2500 g precipitado a uma altura de 0,30 m. Após a compactação procedeu-se ao arrasamento e registrou-se a massa de solo para cálculo da densidade. Também foram retiradas três porções pequenas de solo para determinação da umidade média, pela diferença do material úmido e seco em estufa a 105°C por 24 horas. Esse processo foi repetido para as 15 (quinze) amostras, com teores de umidade na faixa de 24 a 36%, formando assim pares de

valores de densidade e umidade com os quais se pode plotar a curva de compactação, em conformidade com a padronização do ensaio normal de compactação constante em VARGAS (1977).

O ensaio foi conduzido com base na variação dos teores de umidade calculados por:

$$w = \frac{M_w}{M_s} 100 \quad (1)$$

Em que:

w = teor de umidade (%);

w = umidade (%);

M_s = massa seca em estufa a 105°C por 24 horas;

M_w = massa de água retirada da amostra.

A densidade (γ), em Mg m⁻³ foi obtida por:

$$\gamma = \frac{M_u}{V} \quad (2)$$

Em que:

M_u = massa do solo em Mg;

V = volume em cm³.

A densidade seca (γ_s) em Mg m⁻³ vem de:

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (3)$$

Para elevar o teor de umidade de um determinado material empregou-se:

$$\Delta M_w = \left(\frac{w_i - w_{nat}}{100} \right) \left(\frac{M_u}{\frac{w_{nat}}{100} + 1} \right) \quad (4)$$

Em que:

ΔM_w = massa de água a acrescentar (Mg);

w_{nat} = teor de umidade já determinado ou natural (%);

w_i = teor de umidade ao qual a amostra foi elevada (%);

M_u = massa úmida de solo à qual acrescentou-se água (Mg).

De posse dos dados, plotou-se a curva de compactação do solo, na energia normal de Proctor, com os pares de valores de densidade seca ($Mg\ m^{-3}$) e umidade (%), para obtenção do ponto de umidade ótima e densidade seca máxima.

A densidade seca máxima é o parâmetro utilizado para avaliação do grau de compactação, calculado como a relação entre a densidade do solo no campo e a densidade seca máxima obtida em laboratório.

3.5 MASSA SECA DA ESPÉCIE DE COBERTURA

A produção média de massa seca por hectare, da cobertura verde (aveia preta), encontrada foi de $6.956\ kg\ ha^{-1}$, em toda a área do experimento, corroborando PEIXOTO, MOURA e FARIA (1992).

3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Foi utilizado o delineamento em parcelas subdivididas inteiramente casualizado, *Split Plot*. Os tratamentos principais foram compostos pelo pastejo com o solo úmido ou molhado (de friável a plástico), pastejo em solo seco (tenaz) e sem pastejo (testemunha), denominados: pastejo solo úmido, pastejo solo seco e sem pastejo. A lotação foi de 26 U.A ha⁻¹ (unidade animal por hectare). Os tratamentos secundários foram compostos pelos elementos sulcadores da semeadora (haste e disco duplo para deposição do adubo). Cada parcela tinha um total de 1600 m² (50 x 32 m) e as subparcelas tinham dimensões de 20 x 8 m, com total de 160 m².

Na Figura 7, está representado o croqui da área experimental, mostrando a distribuição das parcelas e subparcelas, bem como os locais das avaliações em cada subparcela.

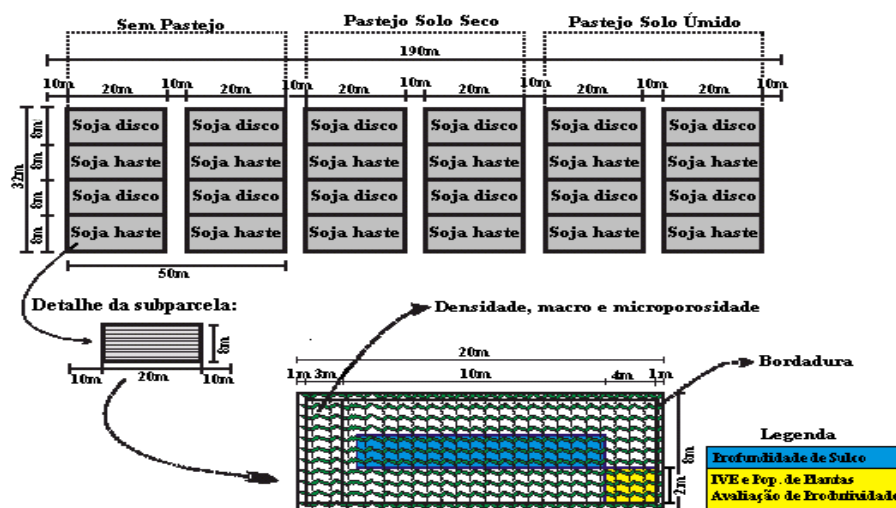


Figura 7 - Croqui da Área do Experimento

3.7 ESPÉCIE DE COBERTURA

Foi utilizado como espécie de forragem para o gado a aveia preta (*Avena strigosa*), semeada no dia 15 de maio de 2003, na quantidade de 60 kg de sementes por hectare.

3.8 MASSA SECA DA ESPÉCIE DE COBERTURA

Para caracterizar a produção de aveia foi determinada a massa seca 90 dias após a sua emergência, realizada segundo a metodologia proposta por BENINCASA (1988). A coleta das amostras foi realizada numa área de 0,25 m², utilizando-se um quadrado de madeira de 50 cm x 50 cm.

3.9 SISTEMA DE PASTEJO

Foram conduzidos 28 animais ao sistema de pastejo rotacionado no dia 21 de julho de 2003. No dia anterior todos os animais foram pesados individualmente e apresentaram uma média de peso de entrada no sistema de 389 kg. Os animais foram retirados do sistema no dia 8 de setembro de 2003, com peso médio de saída de 441 kg, totalizando 24 U.A. ha⁻¹ (unidade animal por hectare) na entrada do pastejo rotacionado e 27,5 U.A. ha⁻¹ (unidade animal por hectare) na saída do pastejo rotacionado. Todos foram marcados e selecionados

para que houvesse um padrão de uniformidade, sendo todos provenientes de cruzamento industrial, entre as raças nelore, aberdeen angus e charolês.

O sistema consistia de vários piquetes, caracterizando-se pela mudança periódica e freqüente dos animais de um piquete para outro, permanecendo em cada um deles em média 1 a 3 dias, considerando o manejo da forragem para que fosse mantido o índice de área foliar suficiente para que a rebrota da aveia fosse possível, verificando a altura ótima de manejo da pastagem, em média, 30 a 50 cm, sem perder a qualidade da forragem e considerando-se a oferta da forragem. A taxa de crescimento das plantas e a disponibilidade de forragem foram consideradas as mais importantes do que um tempo pré-determinado de descanso.

Os animais permaneciam nesse sistema até que houvesse a ocorrência de chuvas, quando eles eram conduzidos para o pastejo na parcela pastejo solo úmido do experimento, permanecendo nesse piquete durante o tempo considerado necessário para que o solo estivesse úmido (estado de sazão) ou molhado; período que variava, em média, de 1 a 3 dias. Na ausência de chuva os animais eram reconduzidos para as parcelas de pastejo solo seco, permanecendo nesse piquete de acordo com o manejo da forragem e, em seguida, conduzidos aos demais piquetes, onde ficavam até a próxima ocorrência de chuvas, quando eram novamente conduzidos para o tratamento de pastejo solo úmido, sendo assim realizado o sistema de pastejo rotacionado.

3.10 A CULTURA DA SOJA

A semeadura da soja foi realizada em 8 de dezembro de 2003 (Figura 8). Foi semeada a cultivar COODETEC 208. Ajustou-se a semeadora para obter 9 linhas de semeadura com espaçamento de 0,45 m entre si. Utilizou-se como

adubo químico a fórmula 02-30-20 (mistura de grânulos – NPK), na dose de 310 kg ha⁻¹. A semeadora foi regulada para obter 14 sementes por metro linear.

Foram utilizados produtos para tratamento de sementes, herbicidas, inseticidas e fungicidas, de acordo com as recomendações agronômicas e com os tratos culturais da soja.

A colheita da soja foi realizada em 6 de abril de 2004.



Figura 8 - Área experimental com a espécie de cobertura (aveia preta), no dia da semeadura da soja.

3.11 MÁQUINAS AGRÍCOLAS

3.11.1 Trator

O conjunto de semeadura (Figura 9) foi composto por um trator *New Holland*, modelo 7630 turbo, com tração dianteira auxiliar (4X2 TDA), potência de 75,8 kW (103 cv) no motor a 2.100 rpm e massa em ordem de embarque de 3.580 kg e 6.196 kg como lastragem máxima.

3.11.2 Semeadora de Precisão

A semeadora de precisão utilizada no experimento foi da marca Semeato, modelo PSM 102, com mecanismo dosador de sementes do tipo disco horizontal e mecanismo dosador de adubo tipo rosca sem-fim. Utilizando duas combinações de elementos de corte de palha e deposição de adubo (Figura 10).



Figura 9 - Conjunto de sementeira

3.11.3 Semeadora de Fluxo Contínuo

Para a sementeira da aveia preta, foi utilizada uma Multisemeadora de arrasto, marca Imasa, de 16 linhas para sementes miúdas, modelo MPS 1600, com mecanismo dosador de sementes do tipo disco horizontal e mecanismo dosador de adubo tipo rosca sem-fim.



Figura 10 - Semeadora de precisão

3.11.4 Pulverizador

Para a aplicação de herbicidas, inseticidas e fungicidas foi utilizado um pulverizador Montana, modelo Eco-Ranger com capacidade de 2000 litros.

3.11.5 Colheita

Após a colheita manual da soja, as plantas foram trilhadas em uma trilhadora estacionária.

3.12 ELEMENTOS SULCADORES

Avaliaram-se os dois elementos sulcadores oferecidos comercialmente para as semeadoras produzidas pela Semeato S/A.

As combinações (corte da palha e sulcador de adubo) dos elementos sulcadores avaliados foram: disco de corte liso, com diâmetro de 432 mm e discos duplos, com diâmetro de 381 mm (Disco) e disco de corte liso, com diâmetro de 432 mm, conforme Figura 11 e haste (Facão), conforme Figura 12.

O conjunto para deposição de sementes foi composto por discos duplos, com diâmetro de 381 mm e, após os discos, rodas calibradoras de profundidade em ambos os lados dos discos e, em seguida, rodas compactadoras em formato de V.



Figura 11 - Elemento sulcador tipo disco



Figura 12 - Elemento sulcador tipo haste

3.13 DESEMPENHO DO SISTEMA MOTOMECANIZADO

Para avaliar a energia gasta na semeadura do solo foram medidos os dados da força de tração requerida para tracionar a máquina e o implemento, velocidade de deslocamento do conjunto de semeadora, a potência requerida na barra de tração e a potência necessária no motor (Figura 13 e Figura 14).



Figura 13 - Célula de carga instalada entre o trator e a semeadora

3.13.1 Velocidade de Semeadura

A velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado foi calculada pela razão da distância (20 m de distância útil e mais 10 m de estabilização e 10 m término de avaliação) e o tempo para percorrê-la (medida com um cronômetro). Em cada parcela, foram realizadas duas repetições da velocidade de semeadura (duas passadas do conjunto).



Figura 14 - Célula de carga instalada entre o trator e a semeadora

3.13.2 Força de Tração

A Força de Tração requerida pela semeadora em todos os tratamentos no momento da semeadura da soja de acordo com GAMERO (1985), SILVA (1992) e GABRIEL FILHO (1998) foi medida por uma célula de carga Sodemex, modelo N-400, com sensibilidade de $2,156 \text{ mv v}^{-1}$ instalada entre o trator e a semeadora. O pino que prende a barra foi retirado de modo que a barra ficasse livre e, toda a força de tração solicitada pela semeadora fosse aplicada à célula de carga.

O armazenamento de dados foi realizado com o auxílio de um sistema de aquisição de dados computadorizado para monitorar e gravar continuamente, modelo Micrologger CR 510 X, da Campbell Scientific, ajustado para uma frequência de 4 (quatro) amostragens por segundo. Os dados armazenados foram posteriormente transferidos, em laboratório, para um microcomputador e foram processados e analisados estatisticamente.

A partir dos dados coletados, obteve-se a força média requerida na barra de tração.

A força de tração média foi determinada pela equação:

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \quad (5)$$

Em que:

F_i = força de tração instantânea (kN);

F_m = força de tração média (kN);

n = número de dados registrados.

3.13.3 Potência Requerida na Barra de Tração

A partir da força média de tração (Equação 5), calculou a potência em quilowatts (kW) na barra de tração pela Equação 6.

$$P_b = F_m \cdot V \quad (6)$$

Em que:

P_b = potência na barra de tração (kW);

F_m = força de tração média (kN);

V = velocidade média de semeadura (m s^{-1}).

3.13.4 Potência Necessária no Motor

A potência necessária no motor foi calculada utilizando a Equação 7, seguindo a norma ASAE D497.4 jan 98 (ASAE, 1999), considerando o fator de correção para trator 4 x 2 com tração dianteira auxiliar ao trabalhar em solo firme.

$$P_m = P_b \cdot c \quad (7)$$

Em que:

P_m = potência no motor do trator (kW);

P_b = potência na barra de tração (kW);

c = fator de correção sugerido por ASAE (1999), para estimar a potência útil na barra de tração do trator, que para solo é $c = 0,639$.

3.14 CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

O conteúdo de água no solo foi determinado pela diferença de peso da amostra do solo úmido e do peso da amostra seca em estufa, a 105°C por 24 horas, proposto por EMBRAPA (1997). A profundidade de amostragem foi de 0-10 cm e de 10-20 cm, com duas repetições por subparcela, em três períodos de observação: antes da semeadura da aveia, anterior a semeadura da soja e após a colheita da soja.

3.15 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme descrito por EMBRAPA (1997) (Figura 15). A profundidade de amostragem foi de 0-10 cm e 10-20 cm, com duas repetições por subparcela, em três períodos de observação: antes da semeadura da aveia (abril de 2003), anterior a semeadura da soja (novembro de 2003) e após a colheita da soja (abril de 2004).



Figura 15 - Amostrador de solo tipo “castelo” utilizado na coleta de amostras indeformadas do solo para o cálculo da densidade do solo e espaço poroso do solo.

3.16 POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE E MICROPOROSIDADE

A porosidade total, macro e microporosidade do solo foram determinadas pelo método da mesa de tensão, conforme descrito por EMBRAPA (1997), que consiste em obter amostras indeformadas de solo saturadas e submetidas a uma tensão de 60 cm de coluna d'água.

3.17 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

A resistência do solo à penetração foi realizada utilizando-se um penetrógrafo SOILCONTROL – PENETROGRAPHER^{PAT} SC-60 (Figura 16), perfurando oito pontos distintos em cada subparcela e lateralmente ao local de determinação da profundidade do sulco para deposição do adubo, a uma distância de 15 a 20 cm do sulco, metodologia adotada por CAMARGO e ALLEONI (1997).

Avaliou-se a resistência do solo à penetração antes e após o pastejo do gado e após a colheita da soja em cada subparcela.



Figura 16 - Penetrógrafo utilizado para determinação da resistência do solo à penetração

3.18 ANÁLISE TENSÃO-DEFORMAÇÃO

O comportamento tensão-deformação foi conduzido a partir dos parâmetros elásticos do solo, obtidos em ensaios triaxiais consolidados não drenados.

Das leituras obtidas no ensaio de cada corpo de prova foram elaboradas planilhas no programa *Microsoft Excel*.

A tensão desvio ($\Delta\sigma$) foi determinada por:

$$\Delta\sigma = \frac{[(2,93686LA) + 0,928619]100}{A_t} \quad (8)$$

Em que:

LA = refere-se à leitura no anel dinamométrico (mm);

A_t = área da seção transversal variável do corpo de prova (cm^2).

A célula de compressão triaxial pode ser observada na Figura 17.



Figura 17 - Célula de compressão triaxial de solos

A tensão axial (σ_1) vem da adição da parcela anterior com a tensão confinante (σ_3)

(9)

Para a determinação do coeficiente de Poisson (ν) foi obtido o valor da deformação específica vertical do corpo de prova, através de:

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (10)$$

Em que:

Δh = variação total da altura do corpo de prova;

h_0 = altura do corpo de prova indeformado;

Do mesmo modo foi obtida a deformação específica transversal (ε_t) do corpo de prova por:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta D}{D_0} \quad (11)$$

Com ΔD representando a variação do diâmetro do corpo de prova e D_0 o diâmetro do corpo de prova indeformado.

Desse modo, calculou-se o Coeficiente de Poisson pela relação:

$$\nu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_v} \quad (12)$$

Conhecida a deformação específica vertical (ε_v) e os respectivos valores de tensão desvio ($\Delta\sigma$), foi plotado um gráfico de tensão *versus* deformação do qual, por meio do valor da tangente à curva na região de proporcionalidade, obteve-se o Módulo de Young (E).

Pela tangente à curva tensão-deformação na região de proporcionalidade obteve-se o módulo de Young: $E = 10,980$ MPa.

A partir da Equação (12) obteve-se o coeficiente de Poisson (ν) de 0,49.

Para verificar a correlação do valor experimental com o teórico, procedeu-se ao cálculo de E. Segundo SCHMERTMANN, HARTMAN e

BROWN (1978), para obter empiricamente valor de E para solos argilosos vale a relação:

$$E = 3,5 q_c \quad (13)$$

Em que:

q_c = resistência à penetração do cone no ensaio CPT (Cone Penetration Test) e na ausência de dados deste, utiliza-se correlação entre CPT e SPT (Standard Penetration Test), conforme CINTRA, AOKI e ALBIERO (2003):

$$q_c = K * N \text{ [MPa]} \quad (14)$$

Sendo N o índice de resistência à penetração no ensaio SPT.

A propagação das tensões de compressão ao longo da profundidade, provocada pelo pisoteio dos animais, foi calculada pela Equação de Love (BUENO; VILAR, 1980).

$$\sigma_z = p * k \quad (15.1)$$

$$k = \cdot \quad (15.2)$$

Em que:

σ_z = tensão de compressão (MPa);

p = pressão da pata do animal, dada pela relação entre o peso do animal e área de apoio das patas (MPa);

r = raio da pata do animal (m), encontrado a partir do perímetro da pata do animal ($U = 2\pi r$);

z = profundidade (m).

3.19 PROFUNDIDADE DO SULCO PARA DEPOSIÇÃO DO ADUBO

A profundidade do sulco para deposição do adubo foi avaliada nas nove linhas de semeadura de cada subparcela, com uma repetição por linha. Para isso, retirou-se o solo do sulco de semeadura até encontrar o adubo no fundo do sulco, mensurando-se com duas réguas graduadas em mm a profundidade de deposição do adubo. Uma régua foi utilizada para ser apoiada sobre a superfície do solo no local do sulco.

3.20 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE)

O Índice de Velocidade de Emergência - IVE foi determinado no campo, nas 4 (quatro) linhas centrais, em uma área útil de 8,0 m² (4,0 x 2,0 m) de cada parcela que foi demarcada com barbantes e, na qual, foi contado diariamente o número de plantas que emergiram à superfície (Figura 18). Essa contagem foi realizada até que os números de plantas se estabilizassem, ou seja, quando cessou a emergência.

Avaliou-se a velocidade de emergência representada pelo índice de velocidade de emergência, conforme a metodologia de NAKAGAWA (1994).

A partir da Equação 16, obteve-se o IVE:

$$\text{IVE} = [(N_1 / D_1) + (N_2 / D_2) + \dots + (N_n / D_n)] \quad (16)$$

Em que:

N_1 = número de plântulas na primeira contagem;

D_1 = número de dias da semeadura até a primeira contagem;

N_2 = número de plântulas emersas entre a primeira e a segunda contagem;

D_2 = número de dias da sementeira até a segunda contagem;

N_n = número de plântulas emersas entre a penúltima e a última contagem;

D_n = número de dias da sementeira até o último dia de contagem.



Figura 18 - Área em que foi avaliado o IVE, população de plantas e produtividade.

3.21 POPULAÇÃO DE PLANTAS

A população de plantas foi determinada na mesma área da avaliação do IVE, pela contagem das plantas emergidas, após o término do estágio de maturação da soja.

3.22 PESO DE MIL GRÃOS

Para realização do peso de mil grãos foram utilizados grãos puros. Ao acaso, formaram-se 8 repetições de 100 grãos e, em seguida, pesou-se cada uma das repetições com o mesmo número de casas decimais. Conforme a metodologia proposta WAQUIM (1992), as Regras para Análise de Sementes (RAS), a contagem e pesagem de 1000 grãos pode ser feita diretamente, desde que o laboratório disponha de contador eletrônico de sementes.

Para o peso obtido com 8 repetições ou subamostras de 100 grãos, calculou-se a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos valores obtidos na pesagem.

3.23 RENDIMENTO DE GRÃOS

O rendimento de grãos da soja foi determinado em duas linhas centrais, em uma área útil de 3,6 m² de cada subparcela, onde as plantas foram colhidas manualmente, trilhadas mecanicamente, os grãos pesados e corrigida a umidade para 13%.

3.24 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos na avaliação foram submetidos à análise de variância e os contrastes entre as médias que diferiram entre si no teste de F, foram comparados pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, segundo sugerem BANZATTO e KRONKA (1995).

A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa *Sisvar* (FERREIRA, 2000).

Os resultados obtidos durante a realização do experimento foram submetidos à análise estatística e são apresentados na forma de Tabela e/ou Figura. São apresentados também, nas tabelas, os valores do coeficiente de variação (CV), os valores médios gerais (MÉDIA) e a diferença mínima significativa (DMS) dos tratamentos. Os detalhes das análises de variância (ANOVA) são apresentados no Apêndice.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

4.1.1 Conteúdo de Água no Solo

Na Tabela 3 e Figura 19 são apresentados os valores médios do conteúdo de água no perfil do solo, nas camadas de 0 - 10 e de 10 - 20 cm, obtidos após a retirada dos animais do sistema pastejo rotacionado e anterior a semeadura da soja, de acordo com os tratamentos.

Observa-se que os valores dos coeficientes de variação encontrados foram 4,52 % e 4,25 %, para as camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm, respectivamente, evidenciando assim a homogeneidade nos dados. De acordo com a análise de variância, ocorreu diferença estatística entre os tratamentos, podendo ser observado na Tabela 3 e Figura 19 que, na camada de 0 - 10 cm, no tratamento com pastejo em solo seco, o conteúdo de água no solo foi maior em relação aos outros tratamentos; enquanto que na camada de 10 - 20 cm, o tratamento pastejo solo úmido foi, estatisticamente, diferente dos demais tratamentos. O conteúdo de água no solo foi menor no tratamento solo úmido, quando comparado com os demais tratamentos.

Tabela 3 - Conteúdos médios de água no solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada (cm)	Tratamentos			Média	CV(%)	DMS
	Sem Pastejo	Pastejo Solo Seco	Pastejo Solo Úmido			
0 – 10	31,31 a	35,38 b	31,70 a	32,80	4,52	1,87
10 – 20	35,70 b	35,38 b	31,70 a	34,32	4,25	1,84

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 4 e Figura 20, no estudo do conteúdo de água do solo, após a colheita da soja, pode ser observado que não ocorreu diferença estatística significativa entre os tratamentos, na camada de 0 - 10 cm, o que pode ser verificado na análise de variância, mostrando que o conteúdo de água no solo não foi influenciado pelos tratamentos, o que corrobora os dados de BORTOLUZZI e ELTZ (2000).

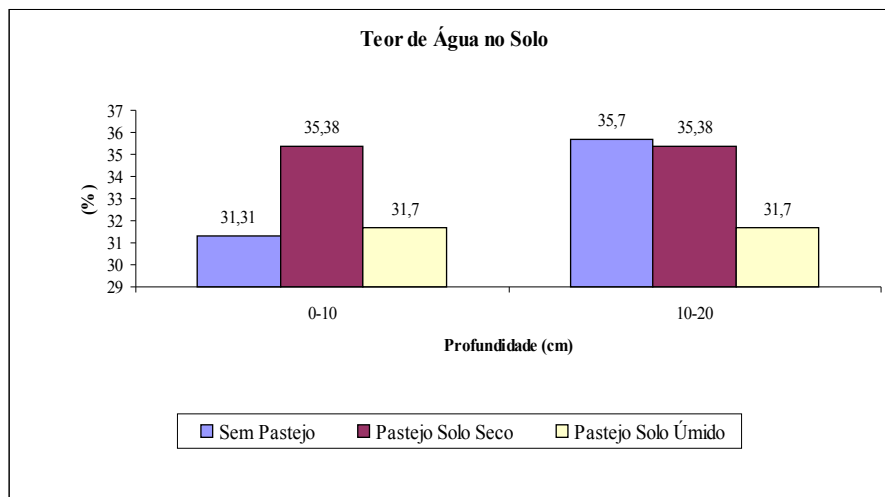


Figura 19 - Conteúdos médios de água no solo (%) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

No entanto, na camada de 10 - 20 cm observa-se diferença estatística significativa entre os elementos sulcadores haste e disco, sendo que, para o elemento sulcador haste o conteúdo de água no solo mostrou-se estatisticamente maior do que para o elemento sulcador disco.

Observa-se que, os valores dos coeficientes de variação encontrados variaram entre 2,05 % e 6,17 %, evidenciando assim a homogeneidade nos dados e indicando baixa dispersão dos dados avaliados, estando de acordo com BANZATTO e KRONKA (1995).

Tabela 4 - Conteúdos médios de água no solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada 0-10 cm			
Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	32,74 Aa	33,27 Aa	33,00 A
Pastejo Solo Seco	33,58 Aa	32,27 Aa	32,92 A
Pastejo Solo Úmido	33,57 Aa	32,21 Aa	32,89 A
Médias	33,29 a	32,59 a	
Camada 10-20 cm			
Sem Pastejo	34,51 Ab	34,04 Ba	34,27 A
Pastejo Solo Seco	34,38 Ab	33,84 ABa	34,11 AB
Pastejo Solo Úmido	32,81 Ab	31,89 Aa	32,35 A
Médias	33,90 b	33,26 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Camada 0-10 cm

Média geral = 32,94; CV 1(%) = 2,84; CV 2 (%) = 6,17; DMS (parcela) = 2,42; DMS (subparcela) = 2,96.

Camada 10-20 cm

Média geral = 33,58; CV 1(%) = 4,11; CV 2 (%) = 2,05; DMS (parcela) = 2,04; DMS (subparcela) = 1,67.

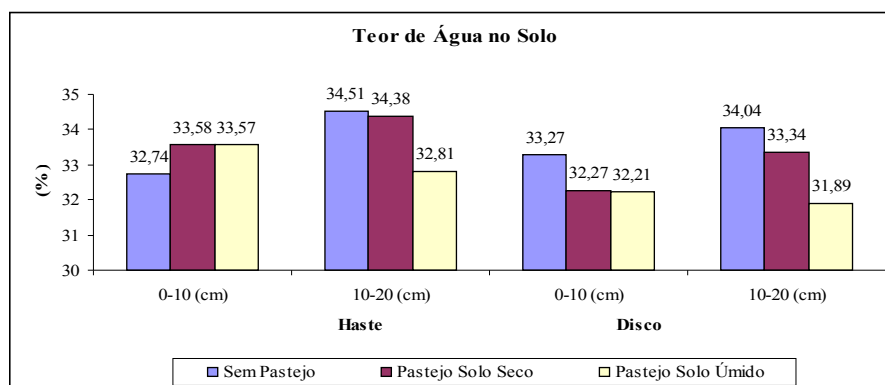


Figura 20 - Conteúdos médios de água no solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

De acordo com HILL e SUMMER (1967), ARCHER e SMITH (1972) e JOHNSON, ERICKSON e VOORHEES (1989), altos valores de conteúdo de água podem ocorrer devido à presença de camada compactada. Os conteúdos de água no solo encontrados estão de acordo com LOPES (2002).

4.1.2 Densidade do Solo

Na Tabela 5 e na Figura 21 são apresentados os valores médios da densidade do solo nas camadas de 0 - 10 e de 10 - 20 cm, obtidos após a retirada dos animais do sistema pastejo rotacionado e anterior a semeadura da soja, de acordo com os tratamentos.

Observa-se que os valores dos coeficientes de variação encontrados foram 4,04 % e 2,94 %, para as camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm, respectivamente, evidenciando assim a homogeneidade nos dados.

Entretanto, na camada de 0 - 10 cm a densidade foi maior no sistema pastejo solo úmido do que nos demais tratamentos, pode-se atribuir o resultado

ao fato de que os maiores efeitos do pisoteio de animais são evidenciados, principalmente, quando o solo encontra-se com umidade elevada, corroborando TANNER e MAMARIL (1959); BETTERIDGE et al. (1999), MELLO et al. (2002) e LIMA et al. (2004).

Na camada de 10 – 20 cm não ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, corroborando TORMENA et al. (2002).

Tabela 5 - Densidade do solo (Mg m^{-3}) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada (cm)	Tratamentos			Média	CV(%)	DMS
	Sem Pastejo	Pastejo Solo Seco	Pastejo Solo Úmido			
0 – 10	1,22 a	1,21 a	1,31 b	1,24	4,04	0,06
10 – 20	1,21 a	1,21 a	1,24 a	1,22	2,94	0,05

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

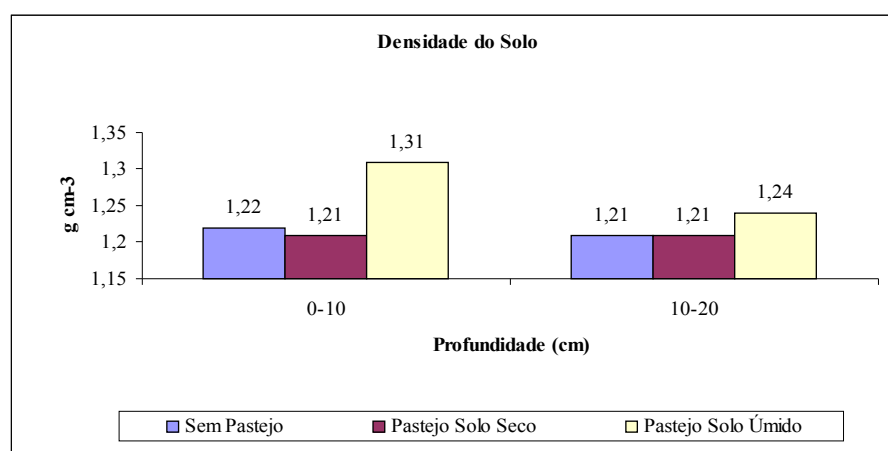


Figura 21 - Densidade do solo (Mg m^{-3}) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

Na Tabela 6 e Figura 22, no estudo da densidade do solo, após a colheita da soja, pode ser observado que não ocorreu diferença estatística significativa entre os tratamentos, na camada de 0 - 10 cm, o que pode ser verificado na análise de variância, mostrando que a densidade do solo não foi influenciada pelos tratamentos.

No entanto, na camada de 10 - 20 cm observa-se diferença estatística significativa entre os sulcadores haste e disco, sendo que para o sulcador disco a densidade do solo foi maior estatisticamente do que para o sulcador haste.

O comportamento exibido na Tabela 6 e Figura 22 destaca o efeito descompactador dos sulcadores de haste devido a maior profundidade de trabalho, conseguindo quebrar a camada compactada na superfície. Sulcos mais profundos podem beneficiar a penetração das raízes no solo a maiores profundidades, principalmente em solos argilosos, em busca de água e nutrientes, conciliando assim com o efeito descompactador das raízes da aveia e da soja, observando-se também uma tendência de retorno às condições iniciais. Nota-se uma diminuição na densidade do solo quando comparada com a densidade do solo após o pisoteio dos animais. Pode-se dizer que esses fatores promoveram uma restituição da estrutura do solo, fato que pode ser melhor visualizado comparando-se com a resistência a penetração. Esse comportamento foi observado por BALL et al. (1997) e OLIVEIRA et al. (2003). Os valores dos coeficientes de variação encontrados estão entre 4,49 % e 5,75 %.

Tabela 6 - Densidade do solo (Mg m^{-3}) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada 0-10 cm			
Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	1,18 Aa	1,16 Aa	1,18 A
Pastejo Solo Seco	1,14 Aa	1,10 Aa	1,17 A
Pastejo Solo Úmido	1,20 Aa	1,20 Aa	1,20 A
Médias	1,17 a	1,15 a	
Camada 10-20 cm			
Sem Pastejo	1,14 Aa	1,22 Ab	1,18 A
Pastejo Solo Seco	1,16 Aa	1,20 Ab	1,18 A
Pastejo Solo Úmido	1,14 Aa	1,21 Ab	1,18 A
Médias	1,15 a	1,21 b	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Camada 0-10 cm

Média geral= 1,16; CV 1 (%) = 5,75; CV 2 (%) = 4,49; DMS (parcela) = 0,09; DMS (subparcela) = 0,05.

Camada 10-20 cm

Média geral= 1,18; CV 1 (%) = 4,68; CV 2 (%) = 4,78; DMS (parcela) = 0,08; DMS (subparcela) = 0,05.

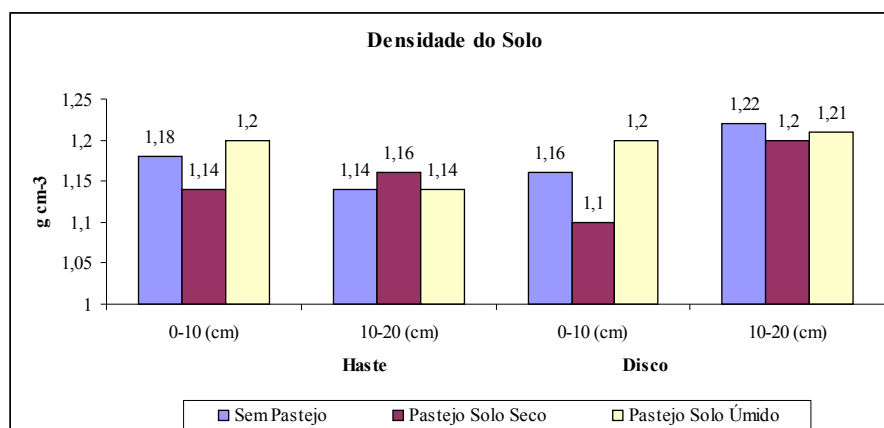


Figura 22 - Densidade do solo (Mg m^{-3}) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

4.1.3 Macroporosidade do Solo

Na Tabela 7 e na Figura 23 são apresentados os valores médios da macroporosidade do solo, nas camadas de 0 - 10 e de 10 - 20 cm, obtidos após a retirada dos animais do sistema pastejo rotacionado e anterior a semeadura da soja, de acordo com os tratamentos.

Observa-se que os valores dos coeficientes de variação encontrados foram 27,73 % e 21,33 %, para as camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm, respectivamente, evidenciando assim a homogeneidade nos dados. De acordo

com a análise de variância, ocorreu diferença estatística na macroporosidade do solo na camada de 0 - 10 cm entre os tratamentos, sendo a menor macroporosidade encontrada no sistema pastejo solo úmido.

Na camada de 10 - 20 cm, de acordo com a análise de variância, não ocorreram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos e não foi constatado efeito dos tratamentos, corroborando TORMENA et al. (2002).

Tabela 7 - Macroporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo.

Camada (cm)	Tratamentos			Média	CV(%)	DMS
	Sem Pastejo	Pastejo Solo Seco	Pastejo Solo Úmido			
0 - 10	5,53 ab	7,13 b	4,83 a	5,83	27,73	2,04
10 - 20	6,67 a	7,00 a	5,84 a	6,50	21,33	1,75

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

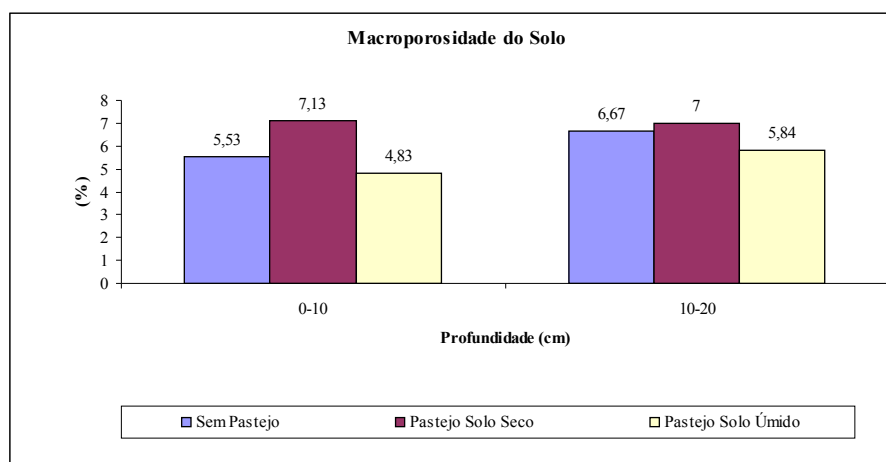


Figura 23 - Macroporosidade do solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

A maior densidade encontrada ocorreu na camada de 0 – 10 cm no tratamento pastejo solo úmido, enquanto que a menor macroporosidade do solo encontrada foi nesta mesma camada e tratamento, corroborando SIDIRAS et al. (1984) e TORMENA et al. (2002).

Na Tabela 8 e Figura 24, no estudo da macroporosidade do solo, após a colheita da soja, pode ser observado que ocorreu diferença estatística significativa entre os tratamentos, na camada de 0 - 10 cm, o que pode ser verificado na análise de variância, evidenciando que a macroporosidade do solo foi influenciada pelos tratamentos. A maior macroporosidade encontrada no pastejo solo seco na camada de 0 – 10 cm, corroborando TORMENA et al. (2002).

No entanto, na camada de 10-20 cm observa-se que não ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos e também entre os elementos sulcadores haste e disco.

Tabela 8 - Macroporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Tratamentos	Camada 0-10 cm		Médias
	Elementos		
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	13,30 Aa	13,71 Aa	13,50 A
Pastejo Solo Seco	23,98 Ba	22,96 Ba	23,47 B
Pastejo Solo Úmido	16,74 Aa	14,95 Aa	15,84 A
Médias	18,01 a	17,21 a	
Camada 10-20 cm			
Sem Pastejo	14,83 Aa	11,91 Aa	13,37 A
Pastejo Solo Seco	14,61 Aa	14,81 Aa	14,71 A
Pastejo Solo Úmido	16,82 Aa	14,32 Aa	15,57 A
Médias	13,68 a	15,42 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Camada 0-10 cm

Média geral=17,61; CV 1(%) = 8,86; CV 2(%) = 16,40; DMS (parcela) = 2,18; DMS (subparcela) = 2,67.

Camada 10-20 cm

Média geral=14,55; CV 1(%) = 17,45; CV 2 (%) = 21,58; DMS (parcela)= 3,55; DMS (subparcela)=2,90.

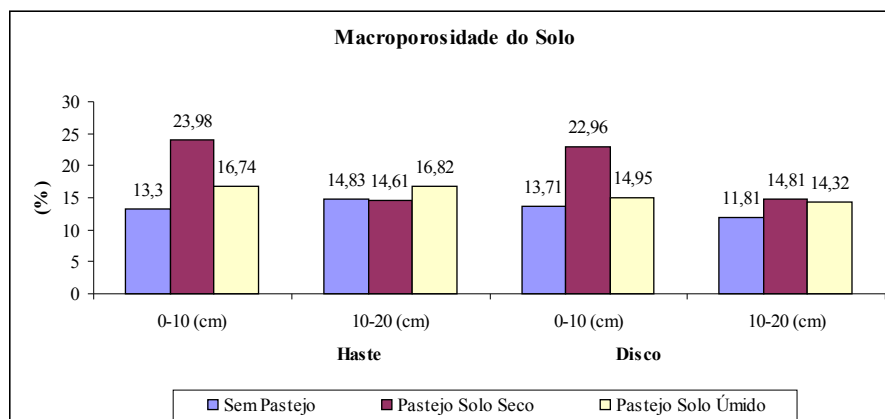


Figura 24 - Macroporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta às três condições de pastejo

4.1.4 Microporosidade do Solo

Na Tabela 9 e na Figura 25 são apresentados os valores médios da microporosidade do solo, nas camadas de 0 - 10 e de 10 - 20 cm, obtidos após a retirada dos animais do sistema pastejo rotacionado e anterior a semeadura da soja, de acordo com os tratamentos.

Observa-se que os valores dos coeficientes de variação encontrados foram 5,34 % e 3,29 %, para as camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm, respectivamente, evidenciando-se assim a homogeneidade nos dados. A análise de variância mostra que não ocorreu diferença estatística na microporosidade do solo entre os tratamentos.

Tabela 9 - Microporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada (cm)	Tratamentos			Média	CV(%)	DMS
	Sem Pastejo	Pastejo Solo Seco	Pastejo Solo Úmido			
0 - 10	53,34 a	50,15 a	51,83 a	51,77	5,34	3,48
10 - 20	52,56 a	52,75 a	51,23 a	52,18	3,29	2,16

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

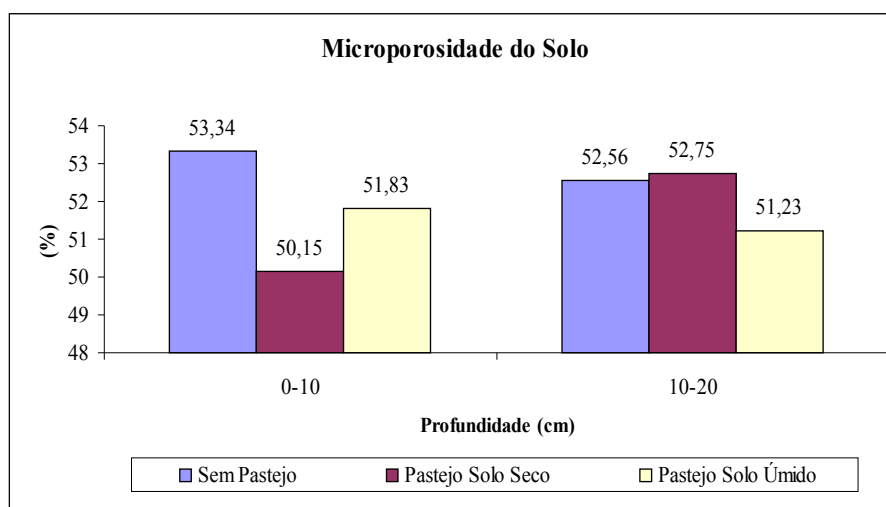


Figura 25 - Microporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo.

Na Tabela 10 e Figura 26, no estudo da microporosidade do solo, após a colheita da soja, pode ser observado que não ocorreu diferença estatística significativa entre os todos os tratamentos, o que pode ser verificado na análise de variância, nas tabelas inseridas no Apêndice A.

Observa-se que os valores dos coeficientes de variação encontrados variaram entre 3,02 % e 6,18 %, evidenciando assim a homogeneidade nos dados e indicando baixa dispersão dos dados avaliados.

Tabela 10 - Microporosidade do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada 0-10 cm			
Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	43,11 Aa	44,38 Aa	43,75 A
Pastejo Solo Seco	41,77 Aa	41,77 Aa	41,77 A
Pastejo Solo Úmido	42,56 Aa	44,36 Aa	43,46 A
Médias	42,48 a	43,50 a	
Camada 10-20 cm			
Sem Pastejo	45,30 Aa	46,56 Aa	45,93 A
Pastejo Solo Seco	45,39 Aa	46,01 Aa	45,70 A
Pastejo Solo Úmido	42,97 Aa	44,65 Aa	43,81 A
Médias	44,56 a	45,74 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Camada 0-10 cm

Média geral= 42,99; CV 1 (%) =6,18; CV 2 (%) = 4,01; DMS (parcela) = 3,71; DMS (subparcela) = 1,59

Camada 10-20 cm

Média geral= 45,15; CV 1(%) = 4,10; CV 2(%) = 3,02; DMS (parcela) = 2,59 ; DMS (subparcela) = 1,26

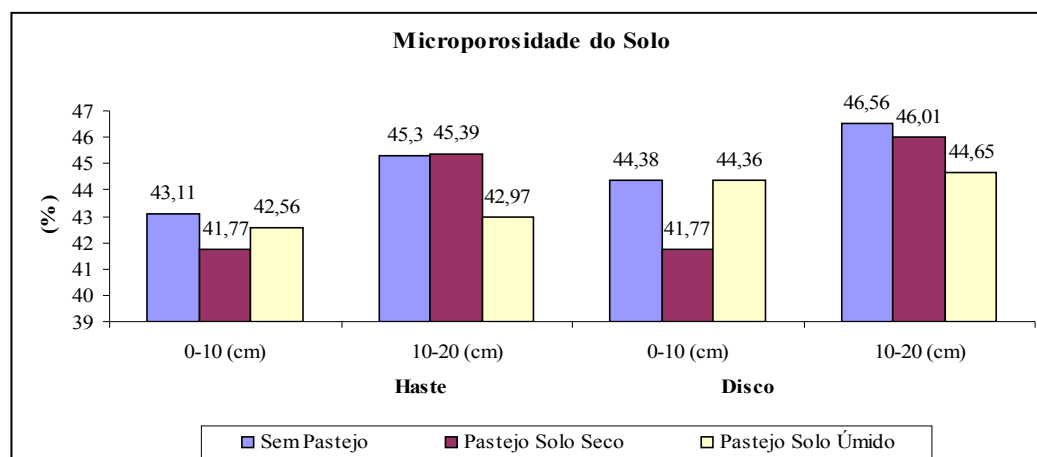


Figura 26 - Microporosidade do solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Observa-se que ocorreu uma redução na microporosidade após a colheita da soja, resultados semelhantes aos obtidos por TORMENA et al. (2004), BERTOL et al. (2004).

4.1.5 Porosidade Total do Solo

Na Tabela 11 e Figura 27 são apresentados os valores médios da porosidade total do solo, nas camadas de 0 - 10 e de 10 - 20 cm, obtidos após a retirada dos animais do sistema pastejo rotacionado e anterior a semeadura da soja, de acordo com os tratamentos.

Observa-se que os valores dos coeficientes de variação encontrados foram 2,90 % e 2,12 %, para as camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm, respectivamente, evidenciando assim a homogeneidade nos dados. De acordo com a análise de variância, ocorreu diferença estatística na porosidade total do solo na camada de 0 - 10 cm entre os tratamentos, sendo a menor porosidade total do solo encontrada no sistema pastejo solo úmido.

Na camada de 10 - 20 cm, de acordo com a análise de variância, não ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os valores nas parcelas.

Tabela 11 - Porosidade Total do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada (cm)	Tratamentos			Média	CV(%)	DMS
	Sem Pastejo	Pastejo Solo Seco	Pastejo Solo Úmido			
0 - 10	58,52 b	59,06 b	55,58 a	57,72	2,90	2,11
10 - 20	58,82 a	58,90 a	57,94 a	58,56	2,12	1,56

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

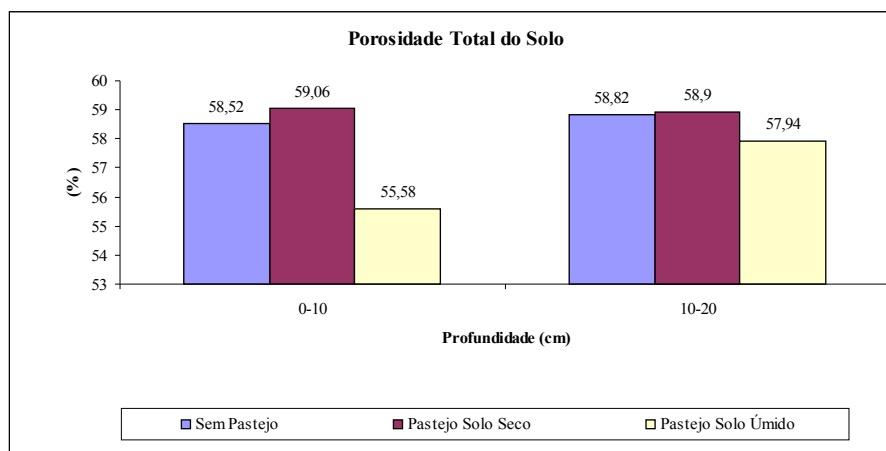


Figura 27 - Porosidade Total do solo (%) na camada de 0 - 10 cm e 10 – 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

Na Tabela 12 e Figura 28, no estudo da porosidade total do solo, após a colheita da soja, pode ser observado que não ocorreu diferença estatística significativa entre os tratamentos, na camada de 0 - 10 cm, o que pode ser verificado na análise de variância. Os valores dos coeficientes de variação encontrados variaram entre 3,01 % e 3,79 %, evidenciando assim a homogeneidade nos dados e indicando baixa dispersão dos dados avaliados.

No entanto, na camada de 10 - 20 cm observa-se que ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os elementos sulcadores haste e disco. No elemento sulcador haste a porosidade total foi maior do que no elemento sulcador disco.

Após a saída dos animais nos tratamentos, observa-se que ocorreu um aumento da densidade, que resultou na diminuição da porosidade total, ocasionando uma diminuição nos macroporos e um aumento dos microporos,

fato ocorrido, provavelmente, porque a pressão exercida pelo pisoteio animal foi transmitida na camada superficial, não atingindo a camada abaixo dos 10 cm, corroborando BERTOL et al. (1998). Esse fato foi observado principalmente no pastejo solo úmido corroborando TANNER e MAMARIL (1959); BETTERIDGE et al. (1999), MELLO et al. (2002) e LIMA et al. (2004).

No que tange aos efeitos do tipo de manejo na distribuição e tamanhos dos poros do solo, a tendência geral foi de que os sulcadores tipo haste, conciliados com a aveia e a soja promoveram descompactação do solo, aumentando a macroporosidade e reduzindo a microporosidade, resultados semelhantes aos obtidos por TORMENA et al. (2004), BERTOL et al. (2004).

Tabela 12 - Porosidade Total do solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada 0-10 cm			
Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	59,92 Aa	60,66 Aa	60,29 A
Pastejo Solo Seco	61,34 Aa	62,49 Aa	61,92 A
Pastejo Solo Úmido	59,29 Aa	59,31 Aa	59,30 A
Médias	60,18 a	60,82 a	
Camada 10-20 cm			
Sem Pastejo	61,37 Ab	58,47 Aa	59,92 A
Pastejo Solo Seco	60,57 Ab	59,33 Aa	59,95 A
Pastejo Solo Úmido	61,07 Ab	58,97 Aa	60,02 A
Médias	61,00 b	58,92 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Camada 0-10 cm

Média geral =60,50; CV 1 (%) = 3,79; CV 2 (%) = 3,01; DMS (parcela) = 3,20; DMS (subparcela) = 1,68.

Camada 10-20 cm

Média geral = 59,96; CV 1 (%) = 3,11; CV 2(%) = 3,15; DMS (parcela) = 2,60; DMS (subparcela) = 1,74.

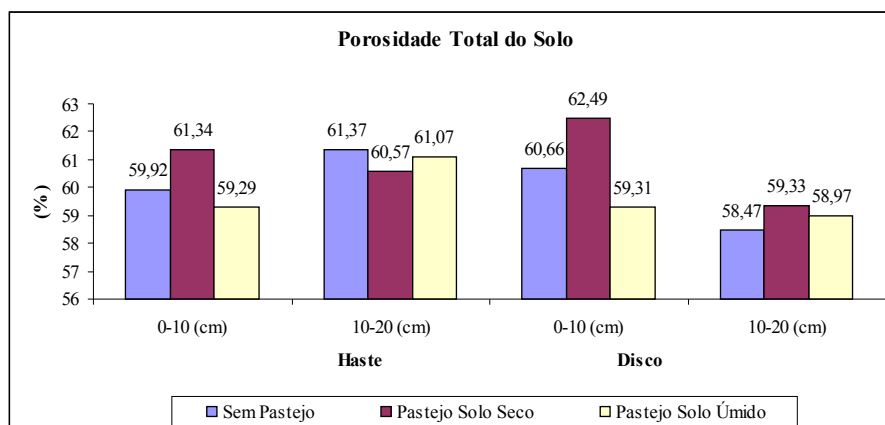


Figura 28 - Porosidade Total do solo (%) na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

4.1.6 Resistência do Solo à Penetração

Nas Figuras 29, 30 e 31 e Tabelas 13 e 14 são apresentados os valores para a resistência do solo à penetração para a primeira, segunda e terceira coletas, respectivamente.

Pode-se observar, na Figura 29, a pequena variação da resistência à penetração nos diferentes tratamentos, por ser esta a condição inicial do solo. Nota-se ainda que a resistência do solo à penetração aumenta até a profundidade de 5 cm, a partir da qual se estabelece uma resistência praticamente constante com a profundidade, o que se estende até a profundidade 30 cm. A profundidades superiores, verifica-se um incremento linear da resistência à penetração.

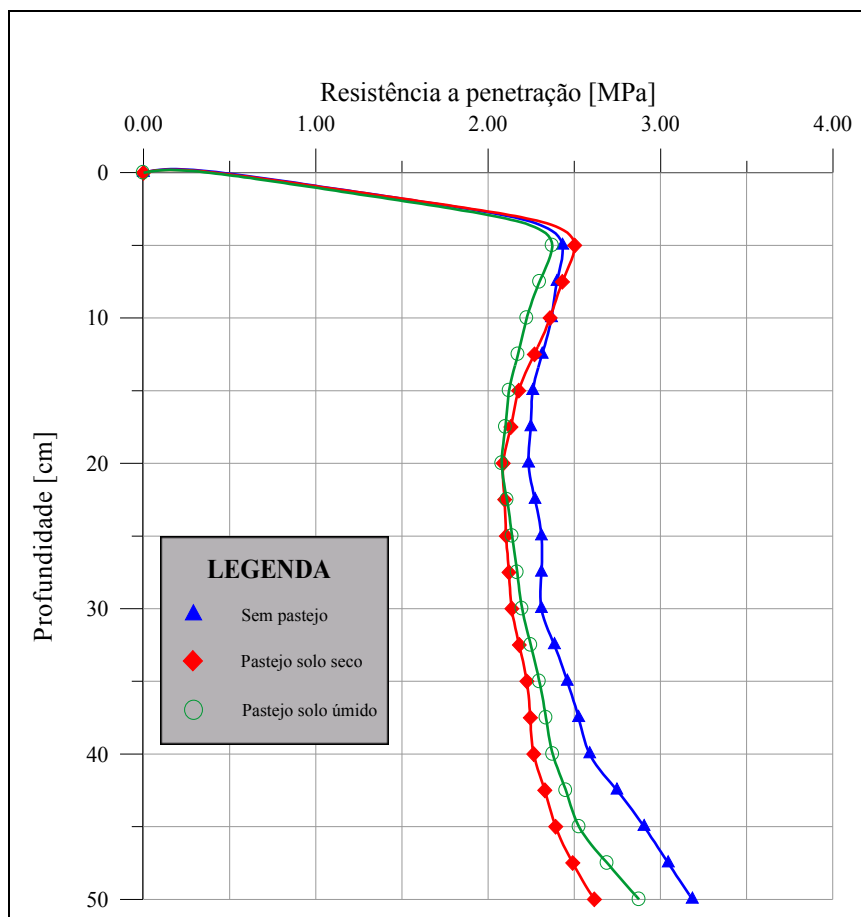


Figura 29 - Resistência Mecânica do Solo à penetração (MPa) na 1ª Fase do experimento, antes da entrada dos animais no sistema

Observa-se na Figura 30 e na Tabela 13 o acentuado efeito do pisoteio do gado na resistência à penetração. Sendo que essa resistência, a 5 cm, torna-se proeminente e nota-se claramente o afastamento entre as curvas, indicando a influência de cada tratamento, até a profundidade de 20 cm. Pode-se dizer que os efeitos dos tratamentos são percebidos de forma sensível pelo solo até essa

profundidade, permitindo assim delimitar a camada compactada aos 20 cm superficiais do solo.

Tabela 13 - Resistência do solo à Penetração (MPa) na camada de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, na 2ª fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada (cm)	Tratamentos			Média	CV(%)	DMS
	Sem Pastejo	Pastejo Solo Seco	Pastejo Solo Úmido			
0 - 10	2,61 a	3,00 ab	3,55 b	3,05	14,35	0,55
10 - 20	2,24 a	2,55 b	2,91 c	2,57	8,25	0,27
20 - 30	2,39 a	2,50 a	2,58 a	2,49	10,53	0,33

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

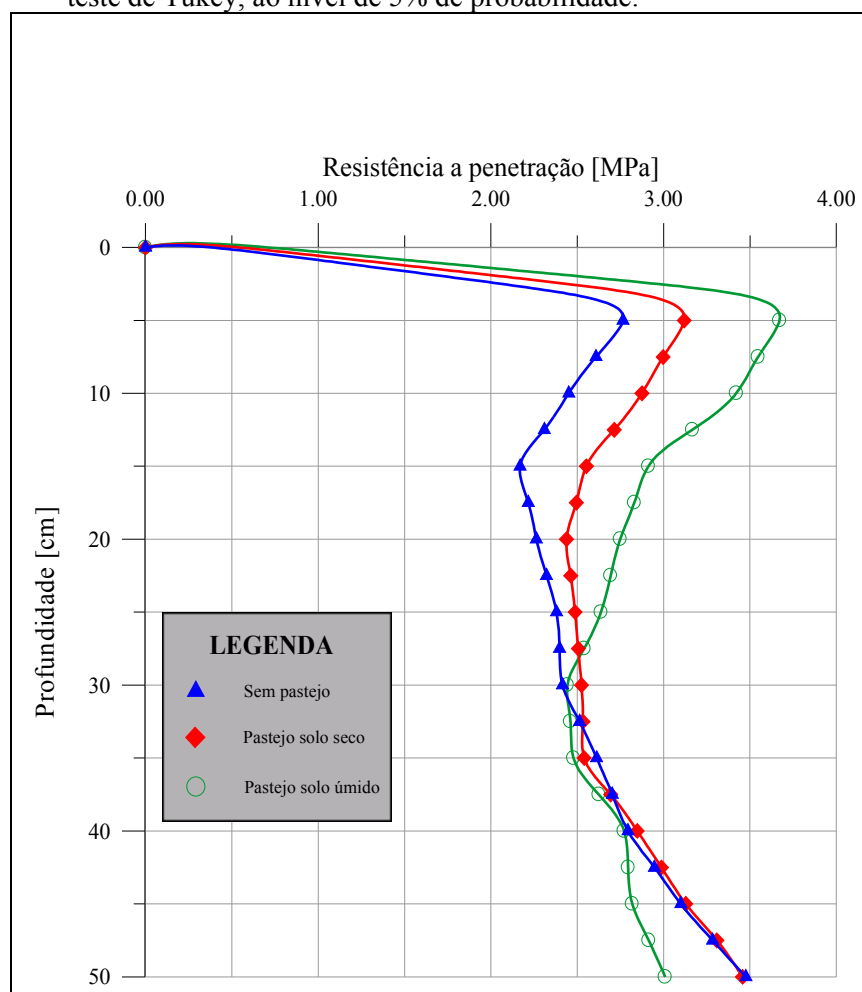


Figura 30 - Resistência Mecânica do Solo à penetração (MPa) na 2ª Fase do experimento (após a retirada dos animais e anterior a semeadura da soja), em resposta as três condições de pastejo

O comportamento exibido na Tabela 14 e Figura 31 destaca o efeito descompactador dos sulcadores haste, pela maior profundidade de trabalho, quebrando a camada compactada na superfície e conciliando com o efeito descompactador das raízes da aveia e da soja. Observa-se também uma tendência de retorno às condições iniciais. Pode-se dizer que esses fatores promoveram uma restituição da estrutura do solo, fato que pode ser melhor visualizado comparando-se a semelhança entre as figuras 29 e 31. O sistema pastejo solo úmido apresentou maior índice de resistência à penetração nos limites da camada compactada, nas condições após pisoteio do gado e após cultivo da soja.

Tabela 14 - Resistência do solo à Penetração (MPa) na camada de 0 - 10, 10 - 20 e 20 - 30 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Camada 0-10 cm			
Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	1,96 Aa	2,14 Aa	2,05 A
Pastejo Solo Seco	1,94 Aa	2,26 AB b	2,10 A
Pastejo Solo Úmido	2,01 Aa	2,50 Bb	2,26 A
Médias	1,97 a	2,30 b	
Camada 10-20 cm			
Sem Pastejo	2,46 Aa	2,76 Aa	2,61 A
Pastejo Solo Seco	2,55 Aa	2,60 Aa	2,57 A
Pastejo Solo Úmido	2,49 Aa	2,46 Aa	2,47 A
Médias	2,50 a	2,61 a	
Camada 20-30 cm			
Sem Pastejo	2,72 Aa	2,88 Aa	2,80 A
Pastejo Solo Seco	2,67 Aa	2,49 Aa	2,58 A
Pastejo Solo Úmido	2,37 Aa	2,43 Aa	2,40 A
Médias	2,59 a	2,60 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Camada 0-10 cm

Média geral=2,13; CV 1 (%) = 9,71 ; CV 2 (%) = 6,27; DMS (parcela) = 0,29; DMS (subparcela) = 0,12.

Camada 10-20 cm

Média geral= 2,55; CV 1(%) = 12,40; CV 2 (%) = 8,27; DMS (parcela) = 0,44; DMS (subparcela) = 0,19.

Camada 20-30 cm

Média geral= 2,59; CV 1(%) = 13,79; CV 2 (%) = 5,56; DMS (parcela) = 0,50; DMS (subparcela) = 0,13.

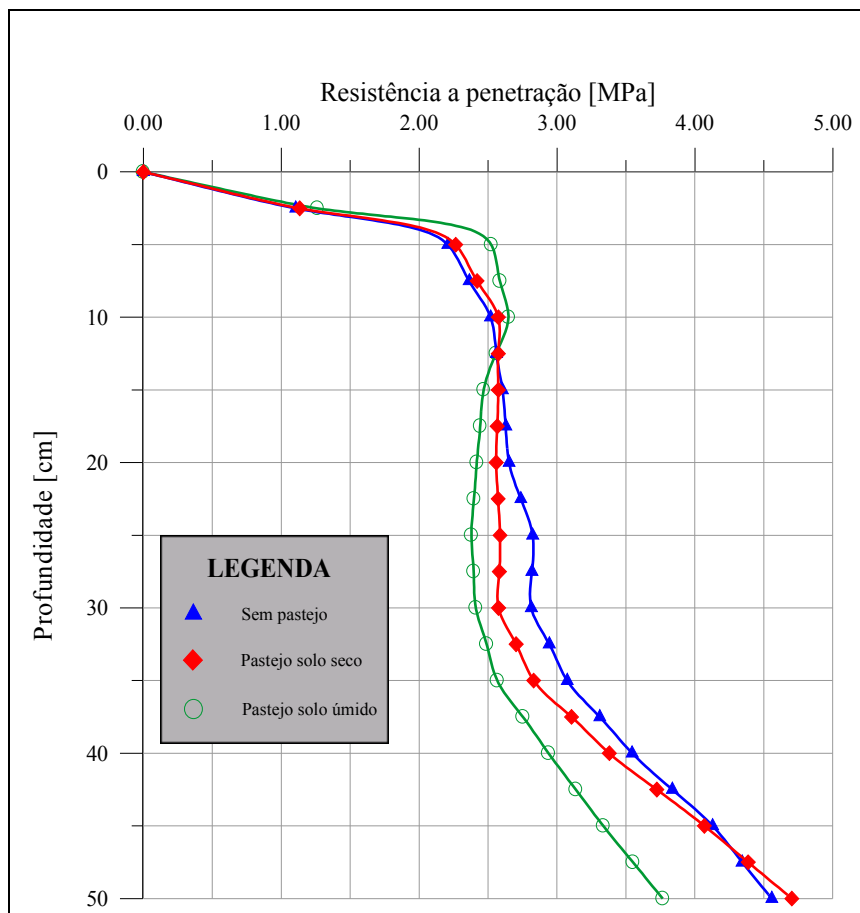


Figura 31 - Resistência Mecânica do Solo à penetração (MPa) , na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Na Tabela 14, observa-se que na camada de 0 - 10 cm ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os elementos sulcadores haste e disco. No elemento sulcador disco a resistência do solo à penetração foi maior, enquanto que no elemento sulcador haste o solo apresentou menor resistência.

Os resultados mostraram que, para todas as profundidades maiores do que 5 cm, foi ultrapassado o nível crítico de resistência à penetração de 2 MPa para a produção de soja, sugerido por BEUTLER e CENTURION (2003). Os dados de FEY (2000) corroboram os resultados ora apresentados. BERTOL et al. (2001), avaliando a resistência à penetração em função do tipo de manejo do solo, obtiveram valores maiores em sistema de pastejo em relação ao manejo convencional. Nessa condição, o solo pode ser considerado compactado, de acordo com REINERT, REICHERT e SILVA (2001). CENTURION, CARDOSO e NATALE (2001) também observaram maior resistência à penetração no solo sob pastagem, em relação aos demais sistemas por eles estudados.

4.1.7 Compactação do Solo em Laboratório

A realização de operações agrícolas em condições de umidade inadequadas é a principal causa da compactação. Por isso, procurou-se relacionar a umidade do solo com o estado de compactação e definir os limites críticos.

O pisoteio dos animais alterou as características do solo tanto nas condições secas quanto nas úmidas e o efeito foi no sentido de que a compactação foi menor no pastejo com solo seco do que no pastejo com solo úmido. O pisoteio alterou a geometria dos agregados e esse efeito foi mais

acentuado na condição úmida do que na seca. Na condição de pastejo com solo seco, o pisoteio provoca esmagamento dos agregados maiores, promovendo uma compactação mais efetiva do que na condição sem pastejo, enquanto que no sistema de pastejo com solo úmido, além do esmagamento dos agregados ocorre alinhamento das partículas, devido ao efeito lubrificante da água, aumentando ainda mais a compactação. Para altos conteúdos de umidade de compactação esse efeito se anula, as curvas convergem para um único ponto, conforme pode ser observado na Figura 32. Em altos conteúdos de umidade os valores de densidade são muito próximos para as três situações (sem pastejo, pastejo com solo seco e pastejo com solo úmido), refletindo a não interferência do pisoteio no solo com alto índice de umidade.

FIGUEIREDO (1998) postula que a umidade próxima ao limite de plasticidade (LP) do solo é prejudicial ao manejo com máquinas, correspondendo ao valor de pico na curva de Proctor, o qual está situado em torno de 30 % no solo estudado (Figura 32). Nesse ponto, ocorre o alinhamento máximo das partículas do solo. O resultado é corroborado pelo critério do limite de plasticidade, como pode ser constatado no trabalho de CARDOSO e MEDEIROS (2003), no qual determinou-se o valor 30 % como o LP do solo da região.

Figura 32 - Curva de compactação no ensaio de Proctor

Na Tabela 15 são apresentados os resultados do efeito do pisoteio animal e da cultura da soja no grau de compactação do solo, podendo-se observar a acentuada compactação provocada pelo pisoteio na condição de pastejo com solo úmido, sobretudo na camada superficial do solo, que apresentou elevação do grau de compactação de 89,0 % no sistema sem pastejo para 95,6 %, na condição pastejo solo úmido. Também se pode notar o efeito descompactador dos sulcadores haste, pela maior profundidade de trabalho, conseguindo quebrar a camada compactada na superfície, conciliando com o efeito descompactador das raízes da aveia e da soja. Observa-se também uma tendência de retorno às

condições iniciais, pela redução do grau de compactação em todos os tratamentos.

BERTOL et al. (1998), avaliando as propriedades físicas do solo sob diferentes condições de pastagem, observaram uma significativa diminuição da porosidade e diâmetro médio dos agregados (esmagamento dos grãos) e aumento da densidade do solo nos tratamentos equivalentes às maiores pressões de pastejo. SPERA et al. (2004) observaram menor densidade do solo em sistemas com pisoteio animal, em relação aos sistemas sem pisoteio.

Tabela 15 - Efeito do pisoteio animal e da cultura de soja no grau de compactação do solo

Tratamentos	Camada (cm)	GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)	
		Antes da Soja	Após a Soja
Sem Pastejo	0-10	89,0	85,3
	10-20	88,3	86,1
Pastejo com Solo Seco	0-10	88,3	81,7
	10-20	88,3	86,1
Pastejo com Solo Úmido	0-10	95,6	87,5
	10-20	90,4	86,1

Os ensaios de Proctor atestam os resultados de resistência à penetração, no que tange ao efeito do pisoteio dos animais em compactar o solo, sendo tal efeito mais pronunciado na condição úmida.

4.1.8 Análise Tensão-Deformação

Neste trabalho foram buscados dados de solo em laboratório, especificamente o módulo de Young e o coeficiente de Poisson, para uma situação que reproduzisse a realidade na qual se verifica o carregamento do solo por pisoteio dos animais. Os parâmetros elásticos foram obtidos de ensaios triaxiais consolidados não drenados, fornecendo os valores da Tabela 16.

Tabela 16 - Parâmetros para análise tensão-deformação

Parâmetros	Unidades
Módulo de Young	6,93 MPa
Coefficiente de Poisson	0,49
Peso médio do animal	0,0041498 MN
Pressão da pata do animal	0,10642 MPa
Perímetro da pata do animal	0,35 m

Na Figura 33 é mostrado o comportamento das tensões no sistema pastejo solo úmido em função do tipo de tratamento. Pode-se observar o acentuado efeito do pisoteio dos animais em promover compactação do solo. Ainda, nota-se um ligeiro efeito descompactador dos sulcadores haste, conciliando com o efeito descompactador das raízes da aveia e da soja, melhor visualizado na Figura 34.

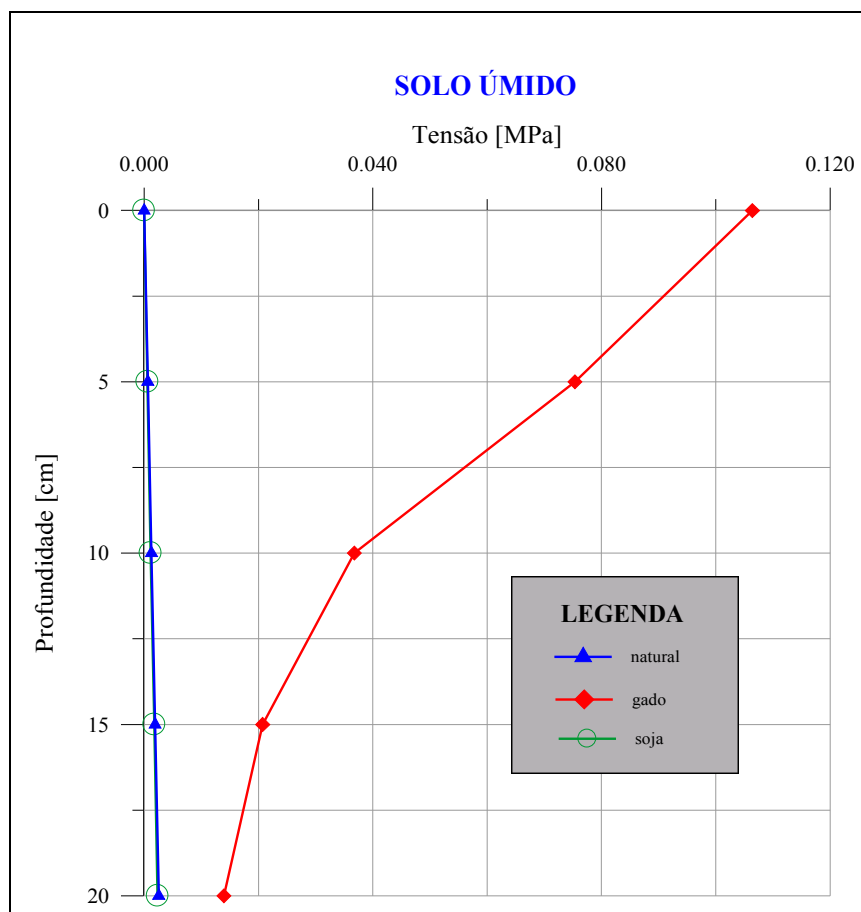


Figura 33 - Propagação das tensões com a profundidade para os tratamentos em pastejo solo úmido

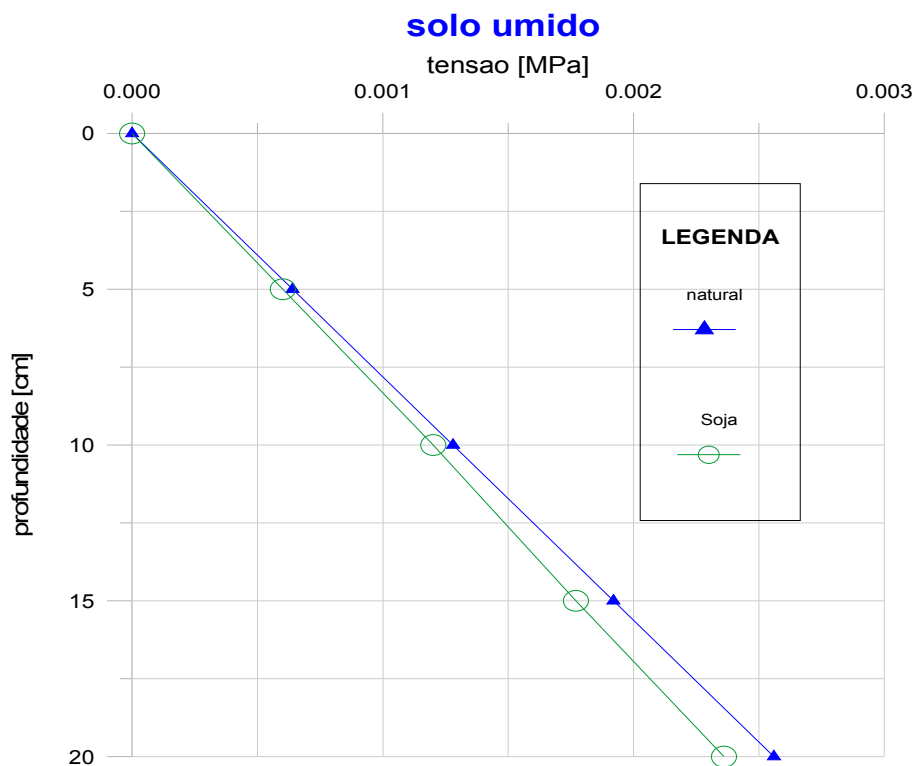


Figura 34 - Propagação das tensões com a profundidade para os tratamentos em pastejo solo úmido

Na Figura 35 é mostrado o comportamento das tensões no solo seco em função do tipo de tratamento. O efeito compactador do pisoteio dos animais é ligeiramente inferior àquele ocorrido no sistema pastejo solo úmido. Novamente, nota-se um ligeiro efeito descompactador dos sulcadores haste, conciliando com

o efeito descompactador das raízes da aveia e da soja, melhor visualizado na Figura 36.

Os resultados estão de acordo com aqueles de compactação, os quais mostraram que as densidades obtidas no ensaio de Proctor foram máximas para pastejo com solo úmido, intermediárias para pastejo com solo seco e mínimas para o tratamento sem pastejo. LIMA et al. (2004) afirmam que as curvas de compressão do solo foram deslocadas para valores superiores de densidade do solo no sistema de pastejo rotacionado intensivo irrigado, atribuído ao fato do gado aplicar elevadas pressões ao solo, podendo superar os valores de pressões aplicadas por máquinas agrícolas convencionais e à ausência de revolvimento na camada superficial do solo cultivado com pastagens, operação que normalmente ocorre no cultivo de culturas anuais.

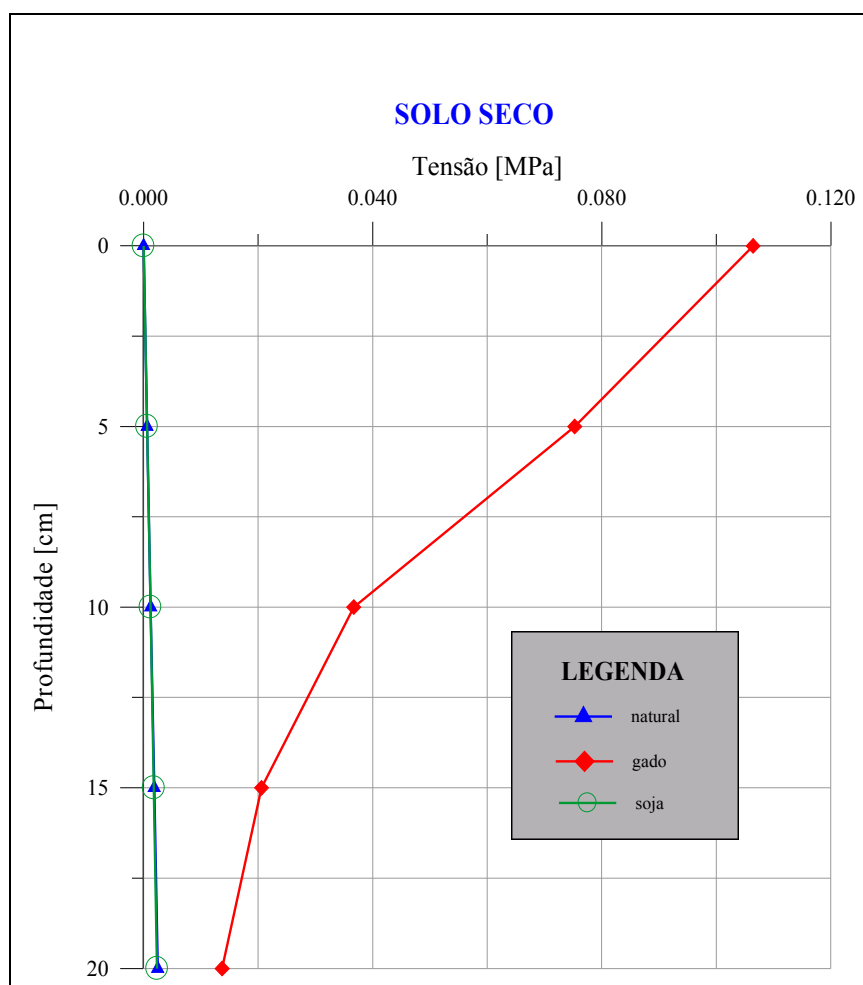


Figura 35 - Propagação das tensões com a profundidade para os tratamentos em pastejo solo seco

Maiores valores de densidade foram observados por LEÃO et al. (2004) em sistema de pastejo com mais alta taxa de lotação. IMHOFF et al. (2000) encontraram correlação positiva entre resistência à penetração e densidade do solo, sendo que a densidade foi influenciada pela idade e tipo de forrageira, pela taxa de lotação animal empregada, pela umidade do solo no momento do pastejo e pela textura do solo. O efeito do pisoteio dos animais foi no sentido de aumentar a densidade do solo e o efeito do sistema radicular das plantas se deu no sentido de promover redução dessa propriedade. Esses resultados correspondem aos efeitos verificados para o pisoteio animal e àqueles observados para a cultura da soja neste trabalho.

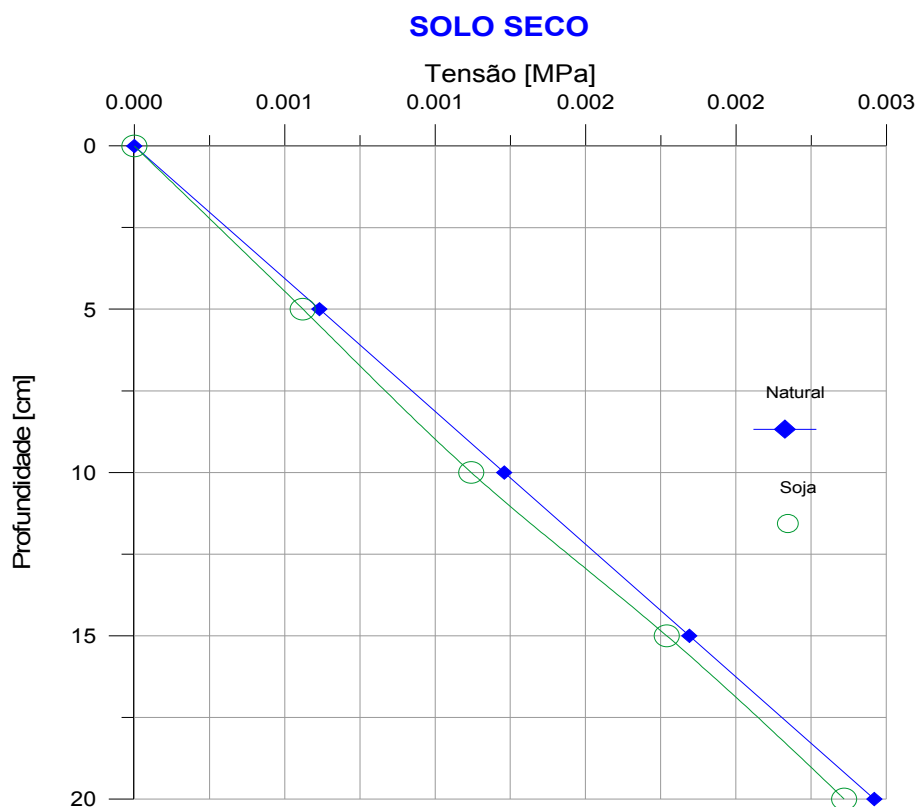


Figura 36 - Propagação das tensões com a profundidade para os tratamentos em pastejo solo seco

Na Figura 37 pode-se observar o comportamento das deformações no perfil do solo, provocadas pelo pisoteio dos animais. Vale destacar a semelhança da curva de deformação com aquelas obtidas para a resistência à penetração, com um pico bem definido à profundidade 5 cm. Portanto, os resultados da análise tensão-deformação corroboram os resultados da resistência à penetração.

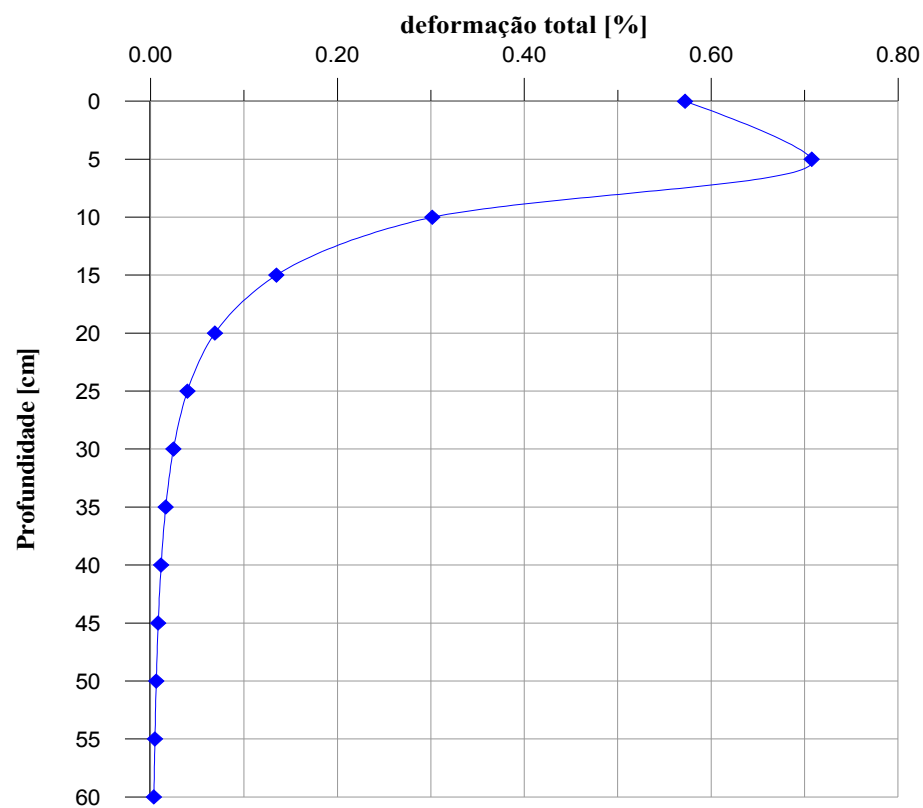


Figura 37 - Comportamento das deformações no perfil do solo

4.2 VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO, FORÇA DE TRAÇÃO, POTÊNCIA REQUERIDA NA BARRA DE TRAÇÃO, POTÊNCIA NECESSÁRIA NO MOTOR

Nas Tabelas 17, 18, 19 e 20 são apresentados os valores médios da velocidade de semeadura, força de tração, potência na barra e potência no motor, respectivamente, obtidos durante a semeadura da soja, de acordo com os sistemas de pastejo e elemento sulcador.

Os Coeficientes de Variação encontrados, mostrados nas Tabelas 17, 18, 19 e 20, apresentaram valores inferiores a 10%, o que evidencia a homogeneidade nos dados.

Tabela 17 - Valores médios de velocidade de semeadura para os tratamentos principais (Pastejos com solo seco, úmido e sem pastejo) e secundários (sulcadores de hastes e discos duplos)

Tratamentos	Velocidade (m s ⁻¹)		Médias
	Elementos		
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	4,18 Aa	4,45 Ab	4,32 A
Pastejo Solo Seco	4,27 Aa	4,55 Ab	4,41 A
Pastejo Solo Úmido	4,27 Aa	4,60 Ab	4,43 A
Médias	4,24 a	4,53 b	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Média geral = 4,38; CV 1 (%) = 1,99; CV 2 (%) = 1,88; DMS (parcela) = 0,12; DMS (subparcela) = 0,08

Tabela 18 - Valores médios de força de tração para os tratamentos principais (Pastejos com solo seco, úmido e sem pastejo) e secundários (sulcadores de hastes e discos duplos)

Tratamentos	Força de Tração (kN)		Médias
	Elementos		
	Haste	Disco	

Sem Pastejo	27,21 Ab	7,01 Aa	17,11 A
Pastejo Solo Seco	26,63 Ab	6,27 Aa	16,45 A
Pastejo Solo Úmido	27,35 Ab	5,38 Aa	16,37 A
Médias	27,06 b	6,22 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Média geral = 16,64; CV 1(%) = 9,98; CV 2(%) = 6,53; DMS(parcela) = 236,62; DMS (subparcela) = 102,27.

Tabela 19 - Valores médios de potência requerida na barra de tração para os tratamentos principais (Pastejos com solo seco, úmido e sem pastejo) e secundários (sulcadores de hastes e discos duplos)

Potência requerida na barra de tração (kW)			
Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	31,56 Ab	9,27 Aa	20,41 A
Pastejo Solo Seco	31,58 Ab	7,92 Aa	19,75 A
Pastejo Solo Úmido	32,34 Ab	6,87 Aa	19,60 A
Médias	31,83 b	8,02 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Média geral = 19,92; CV 1(%) = 9,64; CV 2 (%) = 8,69; DMS (parcela) = 2,68; DMS (subparcela) = 1,60

Tabela 20 - Valores médios de potência necessária no motor para os tratamentos principais (Pastejos com solo seco, úmido e sem pastejo) e secundários (sulcadores de hastes e discos duplos)

Potência necessária no motor (kW)			
Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	49,39Ab	14,51 Aa	31,95 A
Pastejo Solo Seco	49,42Ab	12,39 Aa	30,90 A
Pastejo Solo Úmido	50,62 Ab	10,74 Aa	30,68 A
Médias	49,81 b	12,55 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Média geral = 31,18; CV 1(%) = 9,64; CV 2 (%) = 8,68; DMS (parcela) = 4,20; DMS (subparcela) = 2,50

Nas Tabelas 17, 18, 19 e 20, observa-se, nos sistemas de pastejo, que o tipo de pastejo não alterou significativamente a força de tração, a potência requerida na barra de tração pela semeadora e a potência necessária no motor; mas na Tabela 17, pode-se observar que a velocidade de deslocamento nas áreas

que foram manejadas com o elemento sulcador disco foi maior do que o elemento sulcador haste, sendo estatisticamente diferente.

A maior presença de cobertura vegetal nas áreas sem pastejo pode ter alterado a relação de contato do rodado do trator com o solo aumentando o patinamento e conseqüentemente diminuindo a velocidade, o que está de acordo com GABRIEL FILHO et al. (2002).

Entre os elementos sulcadores, as variáveis: velocidade de semeadura, força de tração, a potência requerida na barra de tração pela semeadora e a potência necessária no motor, apresentaram diferença estatisticamente significativa, entre os elementos sulcadores, o que pode ser observado nas Tabelas 17, 18, 19 e 20.

A semeadora equipada com o sulcador haste necessitou de maior força de tração em relação ao disco duplo, com um aumento de cerca de 4,35 vezes. Mantida a mesma marcha e rotação do motor, ocorreu uma diminuição de 6,4% na velocidade do conjunto com sulcador de haste em relação aquela com disco. A potência requerida na barra de tração foi maior na semeadora com sulcador de haste. Os resultados encontrados, com relação à potência requerida, estão condizentes com os de COELHO (1998) e FEY (2000), em que os elementos sulcadores tipo haste apresentaram maior demanda energética, ocasionada pelo maior volume de solo mobilizado. A profundidade média do sulco atingida pela haste foi de 12 cm e pelo disco 5 cm, conforme se observa na Tabela 21.

4.3 PROFUNDIDADE DO SULCO PARA DEPOSIÇÃO DO ADUBO

Na Tabela 21 e Figura 38 são apresentados os valores médios da profundidade do sulco para deposição do adubo, obtidos após a semeadura da soja, de acordo com os tratamentos e elementos sulcadores. Os valores dos

coeficientes de variação encontrados foram 12,18 % e 16,30 %, para os tratamentos e elemento sulcador, respectivamente.

Observa-se na Tabela 21, que os elementos sulcadores apresentaram diferença estatística significativa entre si. O elemento sulcador haste teve a maior profundidade do sulco do que o elemento disco, corroborando FEY (2000). No entanto, quando comparados os sistemas de manejo, não ocorreram diferenças estatisticamente significativas.

Tabela 21 - Profundidade do Sulco para Deposição do Adubo (cm) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	12,50 Ab	5,25 Aa	8,88 A
Pastejo Solo Seco	12,50 Ab	5,75 Aa	9,13 A
Pastejo Solo Úmido	12,00 Ab	4,25 Aa	8,13 A
Médias	12,33 b	5,08 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Média geral = 8,71; CV 1(%) = 12,18; CV 2 (%) = 16,30; DMS (parcela) = 1,48; DMS (subparcela) = 1,31.

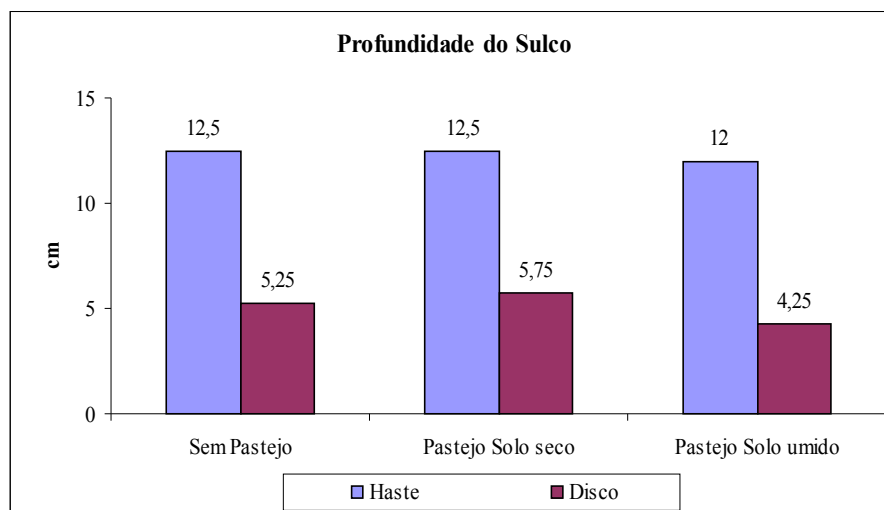


Figura 38 - Profundidade do Sulco para Deposição do Adubo (cm) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

4.4 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE)

Na Tabela 22 e Figura 39 são apresentados os valores médios do índice de velocidade de emergência (IVE), obtidos após a semeadura da soja, de acordo com os tratamentos e elementos sulcadores. Os valores dos coeficientes de variação encontrados foram 3,17 % e 4,56 %, para os tratamentos e elementos sulcadores, respectivamente.

Na Tabela 22, observa-se que não ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos e os elementos, não alterando a velocidade de emergência das plântulas. Esse efeito pode estar relacionado com o fato de, na faixa de solo em que foram depositadas as sementes, ter ocorrido uma uniformização pela ação dos elementos sulcadores e que os fatores compressão do solo e profundidade de semeadura agem independentemente no IVE. Resultados semelhantes foram encontrados, em trabalhos realizados com soja por BORTOLUZZI e.ELTZ (2000) e em trabalho realizado com milho por PRADO et al. (2001).

A distribuição normal das chuvas, durante o período do experimento, foi um fator importante no desenvolvimento das plantas o que provavelmente contribuiu para a uniformidade das plantas cultivadas nas diferentes condições.

Tabela 22 - Índice de Velocidade de Emergência (IVE) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	10,40 Aa	10,36 Aa	10,38 A
Pastejo Solo Seco	10,06 Aa	10,07 Aa	10,06 A
Pastejo Solo Úmido	10,18 Aa	10,20 Aa	10,19 A
Médias	10,21 a	10,21 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Média geral = 10,21; CV 1 (%) = 3,17; CV 2 (%) = 4,56; DMS (parcela) = 0,45; DMS (subparcela) = 0,43.

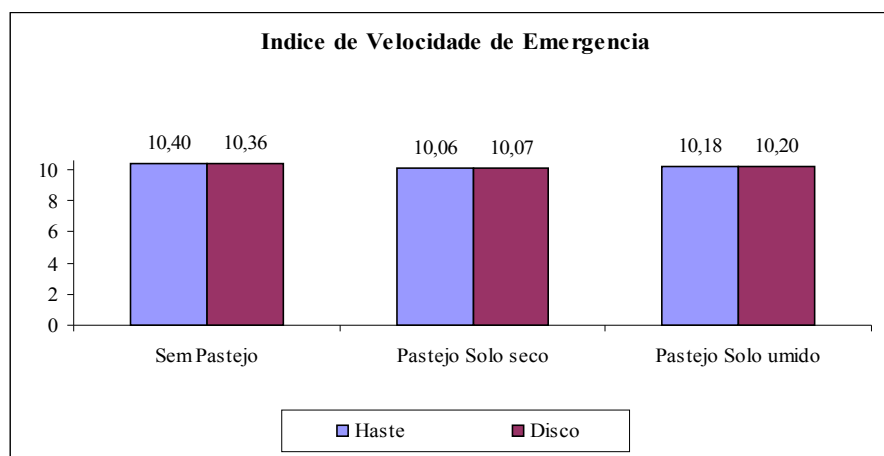


Figura 39 - Índice de Velocidade de Emergência (IVE) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

4.5 POPULAÇÃO DE PLANTAS

Na Tabela 23 e Figura 40 são apresentados os valores médios da população de plantas, obtidos na fase de maturação da soja, de acordo com os tratamentos e elementos sulcadores. Os valores dos coeficientes de variação encontrados foram 3,17 % e 4,11 %, para os tratamentos e elementos sulcadores, respectivamente.

Na Tabela 23 observa-se que os valores médios da população de plantas não mostraram diferenças estatísticas significativas quanto aos elementos sulcadores, no entanto, observa-se que nos sistemas de pastejo ocorreu diferença

estatística entre os tratamentos, sendo que no sistema sem pastejo a população de plantas foi maior que os demais tratamentos, podendo significar que o não pisoteio dos animais e adubação verde com a aveia preta favoreceu o desenvolvimento da soja posteriormente.

Tabela 23 - População de Plantas (plantas ha⁻¹) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja) em resposta a três condições de pastejo

Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	218.056 Ba	216.320 Aa	217.188 B
Pastejo Solo Seco	207.292 Aa	207.986 Aa	207.639 A
Pastejo Solo Úmido	212.500 ABa	209.028 Aa	210.764 AB
Médias	212.616 a	211.112 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Média geral = 211.863,50; CV 1 (%) = 3,17; CV 2 (%) = 4,11; DMS (parcela) = 9392,82; DMS (subparcela) = 8048,60.

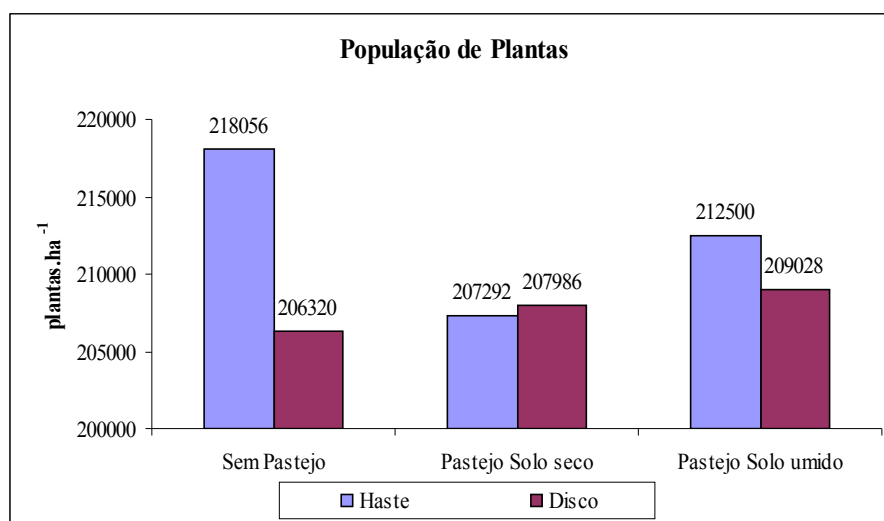


Figura 40 - População de Plantas (plantas ha⁻¹) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

4.6 PESO DE MIL GRÃOS

Na Tabela 24 e Figura 41 são apresentados os valores médios do peso de mil grãos, de acordo com os tratamentos e os elementos sulcadores. Os valores dos coeficientes de variação encontrados foram 14,80 % e 12,05 %, para os tratamentos e os elementos sulcadores, respectivamente.

Na Tabela 24, pode-se observar que não ocorreu diferença estatística significativa entre os tratamentos e os elementos sulcadores, quanto ao peso de mil grãos.

Tabela 24 - Peso de mil Grãos (g) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja) em resposta a três condições de pastejo

Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	146,11 Aa	143,13 Aa	144,17 A
Pastejo Solo Seco	143,96 Aa	144,38 Aa	144,17 A
Pastejo Solo Úmido	139,92 Aa	158,53 Aa	149,22 A
Médias	143,33 a	148,68 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Média geral = 146,00; CV 1(%) = 14,80; CV 2(%) = 12,05; DMS (parcela) = 30,18; DMS (subparcela) = 16,24.

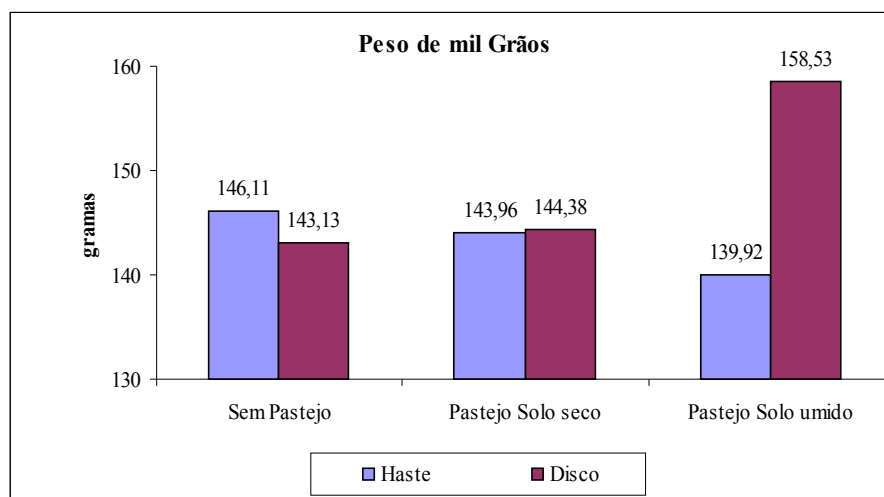


Figura 41 - Peso de mil Grãos (g) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

4.7 RENDIMENTO DE GRÃOS

Na Tabela 25 e Figura 42 são apresentados os valores médios de rendimentos de grãos, de acordo com os tratamentos e os elementos sulcadores.

Observa-se que os valores dos coeficientes de variação encontrados foram 9,64 % e 4,84 %, para os tratamentos e os elementos sulcadores, respectivamente, evidenciando assim a homogeneidade nos dados.

Na Tabela 25, pode ser observado que não ocorreu diferença estatística significativa entre os tratamentos e os elementos sulcadores na produtividade de grãos. No entanto, observa-se que ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os elementos sulcadores haste e disco. A produtividade do elemento haste

foi maior do que a do disco, mostrando que a maior profundidade do sulco, para deposição do adubo no elemento haste, apresentou influência sobre a produção de grãos, pois sulcos mais profundos podem beneficiar a penetração das raízes no solo a maiores profundidades, principalmente em solos argilosos, em busca de água e nutrientes, corroborando SILVEIRA e STONE (2003).

Tabela 25 - Rendimento de Grãos (kg ha^{-1}) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

Tratamentos	Elementos		Médias
	Haste	Disco	
Sem Pastejo	2984,50 Aa	2760,75 Aa	2872,63 A
Pastejo Solo Seco	3251,50 Aa	3025,25 Aa	3138,38 A
Pastejo Solo Úmido	3245,75 Ab	2696,00 Aa	2970,88 A
Médias	3160,58 b	2827,33 a	

Notas: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Média = 2993,96; CV 1 (%) =9,64; CV 2 (%) =4,84; DMS (parcela) =403,39;DMS (subparcela) =133,72

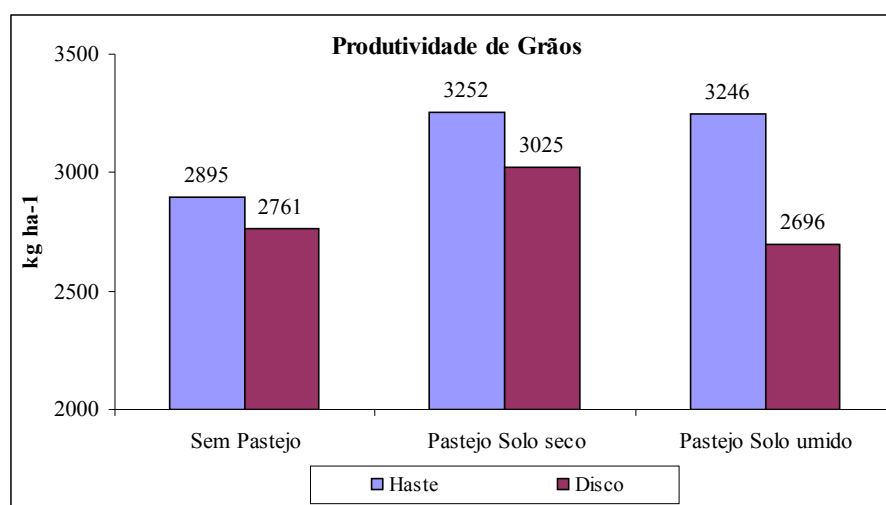


Figura 42 - Rendimento de Grãos (kg ha^{-1}) na 3ª fase do experimento (após colheita da soja), em resposta as três condições de pastejo

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foram realizados os ensaios foi possível concluir que:

- O pastejo em área de integração lavoura-pecuária altera as características físicas do solo. Esse efeito é mais acentuado em condições de pastejo solo em úmido, em que ocorreu redução da porosidade total e macroporosidade e aumento da densidade e da microporosidade.
- Houve o efeito do pisoteio do gado, compactando o solo na camada até os 5 cm iniciais. A análise tensão-deformação corroborou os resultados dos ensaios de compactação em laboratório, assim como a curva de deformação mostrou-se consistente com os perfis de resistência à penetração no campo.
- No que tange aos efeitos do tipo de manejo na distribuição e tamanhos dos poros do solo, a tendência geral foi de que o efeito descompactador dos sulcadores haste, associado ao efeito descompactador das raízes da aveia e da soja, promoveram uma tendência de retorno às condições iniciais, aumentando a macroporosidade e reduzindo a microporosidade.
- A força de tração, a potência requerida na barra de tração pela semeadora e a potência necessária no motor foram maiores quando foi utilizado o elemento sulcador tipo haste, enquanto que a velocidade de deslocamento foi maior quando se utilizou o elemento sulcador de disco.

- A ação do pisoteio do gado sobre o solo alterou as condições de densidade e resistência à penetração, entretanto não foi suficiente para interferir na demanda de potência nas três condições estudadas. As semeadoras com sulcadores de disco de corte exerceram menor força de tração e a velocidade de deslocamento do conjunto foi maior, cerca de 6,4 %, em relação ao sulcador haste.
- Tanto o sistema de pastejo quanto o tipo de elemento sulcador não alteraram a velocidade de emergência das plântulas.
- A população de plantas, no sistema sem pastejo, foi maior que os demais tratamentos.
- A produtividade da soja, quando foi utilizado o elemento haste na semeadora, foi maior do que o tipo disco.

REFERÊNCIAS

AASE , J. K.; PIKUL, J. L. Compactation and bearing strength. In: MOLDENHAUER, W. C.; BLACK, A. L. **Crop residue management to reduce erosion and improve soil quality in Northern Great Plains**. Washington: USDA, 1994. p. 34-5.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração agricultura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25 p. 717-723, 2001.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-942. 1999.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 319-326, 1996.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Agricultural machinery management data**. EUA. ASAE D 497.4, 1999.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JR. R.; RALISCH, R.; SIQUEIRA, R. Mobilização de solo e emergência de plantas no plantio direto de soja (*Glycine max L.*) e milho (*Zea mays L.*) em solos argilosos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 226-37, 1999.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JR., R.; MEDEIROS, G. B.; CASTRO FILHO, C.; DORETTO, M.; BERTÉ, A.; CAVIGLIONE, J. H.; FIGUEIREDO, P. R. A. Identificação das restrições para expansão do plantio direto na região da represa de Itaipu. ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3, 1998, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: Instituto Agrônômico do Paraná, 1998. 1 CD-ROM.

ARCHER, J. R.; SMITH, P. D. The relation between bulk density, available water and air capacity of soils. **Journal Soil Science**, Baltimore, v. 23, p. 475-480, 1972.

ASARE, S. N. et al. Soil macroporosity distribution and trends in a no-till plot using a volume computer tomography scanner. **Journal Agriculture Research. Australian**, v. 78. p. 437-447. 2001.

BAKER, C. J.; BADGER, E. M. Developments with seed drill coulters for direct drilling – II. Wear characteristics of an experimental chisel. **Journal of Experimental Agriculture**, New Zealand, v. 7 p. 185-188, 1979.

BAKER, C. J.; SAXTON, K. E.; RITCHIE, W. R. No-tillage seeding, science and practice. **Cab International**, Wallingford, Oxon, UK, p. 158, 1996.

BALASTREIRE, L. A., **Máquinas agrícolas**, São Paulo: Manole, 1987.

BALL, B. C. et al. Soil structural quality, compaction and land management. **European Journal of Soil Science**. London, v. 48. 593-601p. 1997.

BANDARA, B. W.; FRITTON, D. D. Directional response of corn roots to physical barriers. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 96, p. 359-368, 1986.

BANZATTO, D. A., KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: UNESP, 1995. 247 p.

BARBER, S. A.; MACKEY, A. D.; KUCHENBUCH, R. O.; BARRACLOUGH, S. Effect of soil temperature and water on maize root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 111, p. 267-269, 1988.

BARNES, K. K. et al. **Compaction of agricultural soil**. St. Joseph, Michigan, EUA: American Society of Agricultural Engineers, 1971. 471 p.

BASSANI, H. J. **Propriedades físicas induzidas pelo plantio direto e convencional em área pastejada e não pastejada**. Santa Maria, 1996. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria.

BAUMHARDT, R. L., JONES, O. R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. **Soil and Tillage Research**. Catalunya, v. 68, n. 2. p. 71-82, 2002.

BAVER, L. D., GARDNER, W. H., GARDNER, W. R. **Soil physics**. 4 ed. New York: Wiley. 1972.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.24, n.3, p. 599-607, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas de solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.105-112, 1997.

BENINCASA, M. M. P. **Análise do crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP. 1988. 42 p.

BERTOL, I.; BEUTLER, F. J.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n.3, p. 555-560, jul./set. 2001.

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

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e plantio direto em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p. 155-163. 2004.

BERTOL, O. J.; FISCHER, I. I. Plantio direto versus sistemas de preparo reduzido: efeito na cobertura do solo e no rendimento da cultura da soja. **Revista Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 17, n. 2, p.87-96. 1997.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 1990. 355 p.

BERTRAND, A. R.; KOHNKE, H. Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth corn roots. **Soil Science**. Detroit, v. 21. 135-140 p. 1957.

BETTERIDGE, K.; MACKAY, A. D.; SHEPHERD, T. G.; BARKER, D. J.; BUDDING, P. J.; DEVANTIER, B. P.; COSTALL, D. A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Journal Soil Research**, Austrália, v. 37 p. 743-760, 1999.

BEUTLER, A. N. et al. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em latossolos. **Revista Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. v. 22, n. 2, p.191-199. 2002.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38 n. 7, p. 849-856, jul. 2003.

BICK, T. J.; SIEMENS, J. C. Crop response to wheel traffic soil compaction. Trans. **American Society Agriculture Engineers.**, Michigan, v. 34 p. 909-913, 1991.

BORKERT, C. M. **Adubação verde**. Disponível em: www.notisa.com.br. Acesso em: 15 set. 2003.

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p. 449-457, 2000.

BUENO, B. S.; VILAR, O. M. **Mecânica dos Solos**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1980. 131 p.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargil, 1983. 44 p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ - Departamento de Ciência do Solo, 1997. 132 p.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. Fundamentos. 6 ed. v. 1, Rio de Janeiro, LCT, 1996. 234 p.

CARDOSO, D. L.; MEDEIROS, J. A. Propriedades Geotécnicas do Solo da Região de Cascavel – PR. In: ENCONTRO GEOTÉCNICO DO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE, 1, 2003, Maringá. PR **Anais...** Maringá: UEM. 2003. p. 226-231.

CARVALHO JÚNIOR.; I. A.; FONTES L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas, e ou adensadas em um Latossolo Vermelho Escuro, textura média na região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 22 p. 505-514, 1998.

CASÃO JÚNIOR., R.; ARAÚJO, A. G.; BERTÉ, A.; CASTRO FILHO, C.;CAVIGLIONE, J. H.; DORETTO, M.; FIQGUEIREDO, P. R. A.; MEDEIROS, G. B. Diagnóstico das restrições relativas à mecanização agrícola para a expansão do plantio direto na região da represa Itaipu. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SBEA, 1999. 1 CD-ROM.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

CHANG, C. S.; PORTELLA, J. A.; KUMAGAI, I. Exigência da força nos sistemas que utilizam tração para o plantio direto. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 13, 1983, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro, SBEA. p.130.

CHICHESTER, F. W.; MORRINSON, J. E.; GERIK, T. J. Minimum disturbance fertilizer knifing for no-till. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 1013-18, 1985.

CHOUDHARY, M. A.; BAKER, C. J. Effects of drill coulter design and soil moisture status on emergence of wheat seedings. **Soil and Tillage Research**, Michigan, v. 2, n. 2, p. 131-42, 1982.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.; ALBIERO, J.H. **Tensão admissível em fundações diretas**. São Carlos: RiMa, 2003. 142 p.

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

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

COLLINS, B. A.; FOWLER, D. B. Effects of soil characteristics depth, operating speed, and opener design on draft force during direct seeding. **Soil & Tillage Research**, Michigan, v. 39, p. 199-211, 1996.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos dos sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. IAPAR: Paraná, Brasil, 1991. 270 p.

DIAS JÚNIOR, M. S. **Notas de aula de física do solo**. Lavras, UFL, 1996. 168 p.

DIAS JÚNIOR, M. S.; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e retenção de água de latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p. 45-51, 1999.

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

DUARTE, A. P.; DEUBER, R. Levantamento de plantas infestantes em lavouras de milho safrinha no Estado de São Paulo. **Revista Planta Daninha**. v. 17, n. 2, p. 297-307, 1999.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 259-267, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.
Embrapa Soja. **Plataforma Plantio Direto**. Disponível em:
www.cnpso.embrapa.br. Acesso em: 08 set. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.
Plataforma plantio direto. Disponível em: www.embrapa.br/plantiodireto.htm.
Acesso em 15 out. 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.
Sistema brasileiro de classificação de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de
Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.
Tecnologias de Produção de Soja – Paraná 2005. Londrina: Embrapa Soja,
2004a. 224 p

FARRET, I. S.; FERREIRA, O. O.; PEREIRA, C. F. S.; POZZERA, J.;
SANTOS, P. P.; SCHLOSSER, J. F.; SILVEIRA, D. R. Comparação entre dois
tipos de sulcadores na emergência de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill),
em plantio direto, sobre resteva de azevém (*Lolium multiflorum*) pastejado.
CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa
Maria. **Anais...**, Santa Maria: SBEA/UFSM/DER, 1992. p. 1600-1607.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**.
Lavras: UFLA, 2000. 63 p.

FEY, E. **Desempenho de sulcadores utilizados em semeadora para plantio
direto sob a palha, num solo argiloso com diferentes teores de água**.
Cascavel, 2000. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro
de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

FIGUEIREDO, L. H. A. **Propriedades físicas e mecânicas de um latossolo roxo submetido a diferentes sistemas de manejo.** Lavras, 1998, 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras.

FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **Glossário de ciência do solo.** Viçosa: UFV, 1992. 142 p.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 24, n. 2, p. 459-467. 2000.

GABRIEL FILHO, A. **Avaliação de cinco formas geométricas de corpos de arados no preparo de dois tipos de solo e do comportamento da cultura do milho (*Zea mays* L.).** Botucatu 1998, p. 134, Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista.

GABRIEL FILHO, A.; BOLLER, W.; GAMERO, C. A.; SILVA, M. T. da. Densidade e resistência do solo à penetração em área cultivada com limoeiro (*Citrus limon* Burman). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25. CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2. 1996. **Resumos...** Bauru – SP: SBEA, 1996. p. 310.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. L.; MODOLO A. J.; DYKSTRA M. Desempenho operacional de trator em solo com três tipos de Cobertura vegetal. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002 1 CD-ROM.

GAMERO, C. A. Degradação do solo em diferentes métodos de preparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1989, Recife - PE. **Anais....** Recife – PE: SBEA, v. 1, p. 254-264.

GAMERO, C. A. **Efeito dos tipos de preparo sobre características do solo da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba. 1985. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

GOSS, M. J. et al. Soil effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. **Journal Agriculture Engineers Research**. London, v. 30. p. 131-140, 1984.

GRIFFITH, D. R.; MONCRIEF, J. F.; ECKERT, D. J.; SWAN, J. B.; BREIBACH, D. D. Crop response to tillage systems. **Conservation Tillage systems and management crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till**. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p. 25-33.

HILL, J. N. S.; SUMMER, M. E. Effect of bulk density on moisture characteristics of soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 103, n.4, p. 234-238, 1967.

HOWARD, R. F.; SINGER, J.; FRANTZ, G. A. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 2, p. mar-apr. 1981.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da Curva de Resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul.,2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.
Atlas nacional do Brasil. Solos. Folha II-5. Rio de Janeiro: IBGE, 1966.

JOHNSON, B. S.; ERICKSON, A. E.; VOORHEES, W. B. Physical conditions of a Lake Plain soil as affected by deep tillage and wheel traffic. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.53, p. 1545-1551, 1989.

JOHNSON, W. J.; BUCHELE, W. F. Influence of soil granule size and compactation on rate of soil drying and emergence of corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v. 4, n. 2, 1961.

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera.** São Paulo: Nobel, 1984.

KLAUS, R. **A água em sistemas agrícolas.** 1 ed. São Paulo: Manole, 1990.

KLEIN, V. A.; BARBOSA, R.; ANESI, A. L.; SIOTA, T. A. Retenção de água em restos culturais. **Revista Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola.** Jaboticabal, v.21, n. 3, p.256-261. 2001.

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25. n. 3, p 395-398, 1995.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 959-964, 2000.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 959-964, 2000.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Revista Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.18, n. 2, p. 45-54. 1998.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; BERTON, A. L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2000. 20 p.

KUCHENBUCH, R. D.; BARBER, S. A. Yearly variation of root distribution with depth in relation to nutrient uptake and corn yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 18, n.3, p. 255-263, 1987.

LAFOND, J.; ANGERS, D. A.; VAVERDIÈRE, M. R. Compression characteristics of a clay soil as influenced by crops and sampling dates. **Soil Tillage Research**., Michigan, v. 22 p. 233-241, 1992.

LANDERS, J. N. **Fascículo de experiência de plantio direto no cerrado**. Goiânia: A.P.D.C., 1995. 261 p.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.3, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**. New York, v. 1. p. 277-294, 1985.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, T. P.; LEÃO, T. P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, v.28, n. 6 nov/dez. 2004.

LINDWALL, C. W.; ANDERSON, D. T. Effects of different seeding machines on spring wheat production under various condition of stubble residue and soil compactation in no-till rotataions. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 57, n. 2, p. 81-91, 1977.

LOPES, R. A. P. **Monitoramento de propriedades físicas do solo sob dois sistemas de preparo na sucessão soja-milho no período de três anos**. Cascavel, 2002. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

LUSTOSA, S. V. C. **Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema de plantio direto**. Curitiba, 1998. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1998.

MANDAL, U. K.; SINGH, G.; VICTOR, U. S.; SHARMA, K. L. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice_/wheat cropping system. **European Journal of Agronomy**. London, v. 19, p. 225-237, 2003.

MANERING, J. V.; FENSTER, C. R. What is conservation tillage? **Journal of Soil and Water Conservation**. Ankeny, v.38, nº3, p.141-143. 1983.

MASSAD, F. **Obras de terra**: Curso básico de geotecnia. São Paulo. Oficina de Textos, 2003. 170 p.

MELLO, A. N. Degradação física dos solos sob integração agricultura-pecuária. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1, 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco - PR: CEFET: PR, 2002. p. 43-60.

MELLO, L. M. M. et al. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: Produção de forragem e resíduo de palha após pastejo. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. 2002. Salvador – BA. **Anais...** Salvador: SBEA. CD-ROM. 2002.

MEROTTO JUNIOR, A; SANGOI, L; ENDER, M; GUIDOLIN, A. F.; HAVERROTH, H. S. A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 29, n. 4, 1999, p. 595-601.

MIELNICZUK, J. Desenvolvimento das raízes como método de avaliação das práticas de manejo do solo. Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas. Londrina: IAPAR, 1996, p. 219-224. (Circular Técnica n. 30)

MINERAIS DO PARANÁ S.A. – MINEROPAR. **Mineração na geração de emprego e renda**. Curitiba: SERT, 1998. 25 p.

MORAES, A.; LUSTOSA, S. B. C. Efeito do Pisoteio Animal sobre as Características do Solo e a Produção de Pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, Maringá - PR, 1997, Maringá -PR: Ed. Clóves Cabreira Jobim; Geraldo Tadeu dos Santos; Ulysses Cecato, 1997.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, J.S.; CARVALHO, P.C.F.; CASSOL, L.C. Integração lavoura – Pecuária no Sul do Brasil. ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1. 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco – PR. CEFET-PR, 2002. p. 3-42.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo em algumas propriedades físicas de uma terra roxa estruturada e na produção de milho para um ano de cultivo. **Revista da Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 16, n. 2, p. 42-53, 1996.

MUZILLI, O. Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo In: PARANÁ, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Programa Paraná Rural. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. 2 ed. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1994. p. 158-77.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação de plântulas. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M.(Ed.) **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNESP, 1994. p. 49-86.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; RESCK, D. V. S. Compressibilidade de um latossolo vermelho argiloso de acordo com a tensão de água nos solo, uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 27, p. 773-781, 2003.

OLIVEIRA, J. O. A. P. et. al. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, n. 4, p. 443-450, 2001.

OLIVEIRA, M. F. B.; SIQUEIRA, R.; RALISCH, R.; ARAÚJO, A. G.; CASÃO JR., R. Mobilização do solo por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras de plantio direto. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. CONBEA, 29, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBEA.

OLIVEIRA, V. F.; MACHADO, N. F. Controle de plantas daninhas com palha e herbicida em milho sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 28, 1991, Brasília – DF. **Resumo**. Brasília: UNB, p. 83.

PEDROTTI, A. et al. Resistência mecânica à penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, p. 521-529, 2001.

PEDROTTI, A.; VAHL, L. C.; PAULETTO, E. A. Níveis de compactação do planossolo e o desenvolvimento radicular de algumas culturas. REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 22, 1998, Fortaleza – CE. **Resumos expandidos...** Fortaleza – Ceará: SBCS, 1998, p. 89-90.

PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. **Curso de alimentação de bovinos**. Piracicaba : FEALQ, 1992. 513 p.

PEREIRA, V. P.; ANDRÉ, R. G. B.; ALMEIDA, A. de, VILELA; A. C. P.; FERREIRA, C. A. A. Estudo da provável faixa de umidades adequadas, para a realização dos trabalhos agrícolas, em solos pertencentes a quatro grandes grupos distintos. **Científica**, v. 4, n. 3, p. 261-273, 1975.

PETTER, R. L. **Desenvolvimento radicular da soja em função da compactação do solo, conteúdo de água e fertilidade em Latossolo**. Santa Maria, 1999. 144 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria.

PINTO, C. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247 p.

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

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: UFPR, 1996. 446 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 550 p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R. PETRY, M. T., ROSA, G. M. CERETTA, C.A. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Palloti, 2001. p. 114-133, v. 1.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**. USA, v. 110, p. 131-146, 2002.

RIGHES, A. A.; CENTENO, A. S.; DALLMEYER, A. U.; SILVEIRA, D. R.; FARRET, I. S.; POZZERA, J.; FERREIRA, O. O.; CASTRO, P. E.; SILVEIRA, T. C. Comparação entre diferentes elementos sulcadores. **Plantio direto**, São Paulo: NSI/MA-Cintec-IPT-CEBRAE, 1990.

ROSENBERG, N. J. Response of plants to the physical effects of soil compaction. **Adv. Agron.**, New York, n. 16, p. 181-96, 1964.

ROSOLEM, C.A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1995, 53 p.

SAIBRO, J. C.; SILVA, J. L. S. Integração sustentável do sistema arroz *x* pastagens utilizando misturas forrageiras de estação fria no litoral norte do Rio Grande do Sul. In: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS DE CORTE, 4, 1999, Canoas. **Anais...** Canoas: ULBRA, 1999. p. 27-55.

SATTLER, A. Escolha de semeadoras e a importância dos elementos rompedores em plantio direto. CONFERÊNCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 1, 1996, Passo Fundo - RS. **Resumos...** Passo Fundo – RS: UPF, 1996, p. 13-6.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 24, n. 2. p. 427-436, 2000.

SCHMERTMANN, J. H.; HARTMAN, J. P.; BROWN, P. R. Improved Strains Influence Factor Diagrams, **Journal of Geotechnical Engineering Division**, ASCE, 104 (GT8), p. 1131-1135, 1978.

SHAFIQ, M.; HASSAN, A.; AHMAD, S. Soil physical properties as influenced by induced compaction under laboratory and field conditions. **Soil and Tillage Research**. Michigan, v. 29, p. 13-22, 1994.

SHIERLAW, J.; ALSTON, A. M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 77, p. 15-28, 1984.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 8, p. 265-268, 1984.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ - SIMEPAR. **Dados de Chuva Simepar**. Mensagem recebida de <info@simepar.br> em: 24 de junho de 2004.

SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM R. S. S. Escoamento superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num podzólico vermelho-amarelo com preparo e cultivo em contornos. **Revista da Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 12-22, 2001.

SILVA, F. M.; ORTOLANI, A. F.; DANIEL, L. A. Rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras – I Influência no condicionamento físico do solo na região da semeadura. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 20, 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 1991a. p. 1126-45. v. 2.

SILVA, F. M.; ORTOLANI, A. F.; DANIEL, L. A. Rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras – I Influência no desenvolvimento das plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 20, 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 1991b. p. 1146-65. v. 2.

SILVA, J. G. **Ordens de gradagem e sistema de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu, 1992. 227 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular das espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 253-260, 2001.

SILVA, S. L. Avaliação de semeadoras para plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento. Botucatu, 2000. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

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

SILVEIRA, P. M.; STONE, F. L. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 7, n. 2, p. 240-244, 2003.

SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; RALISCH, R. Desempenho de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine Max L.*). CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, R.; OLIVEIRA, M. F. B.; CASÃO JR., R.; RALISCH, R.; ARAÚJO, A. G. Demanda energética do solo por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras de plantio. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, SBEA, 2000. 1 CD-ROM.

SMIDERLE, O. J.; GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V. **O plantio direto como sistema de produção.** Disponível em: <http://www.fazendeiro.com.br/Cietec/Artigos>. Acesso em: 15 set. 2003.

SMUCKER, A. J. M.; ERICKSON, A. E. Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C., Mechanics and related processes in structured agricultural soils. **NATO applied sciences**. Dordrecht, Kluwer Academic, v. 172. p.205-221, 1989.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de Sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 533-542, 2004.

STOLF, R. A compactação do solo e a perspectiva da subsolagem em citrus. **Naranja**, São Paulo, v. 2. p. 283-308, 1987.

STRECK, N. A. et al. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, São Paulo, v. 2, p. 131-142, 1994.

SUMMERS, J. D.; KHALILIAN, A.; BATCHELDER, D.G. Draft relationships for primary tillage in Oklahoma soils. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 29, n. 1, p. 37-39, 1986.

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

TAYLOR, H. M. et al. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**. Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1996.

TESSIER, S.; HYDE, G. M.; PAPENDYCK, R. Y.; SAXTON, K. E. No-till seeders effects on seed zone properties and wheat emergence. **Transactions of the ASAE**, San Joseph, v. 34, n. 3, p. 733-39, 1991.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 333-339, 1996.

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, 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n.4, p.795-801, out/dez, 2002.

TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; ARAÚJO, M. A.; PINTO, J. C. Influência de diferentes tipos de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p.

UNGER, P. W. Soil bulkdensity, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. **Soil Tillage Research**, Michigan, v. 37 p. 67-75, 1996.

VAN DEN AKKER, J. J. H. Construction of a wheel-load bearing capacity map of the Netherlands. In: BIBLIOTECA FRAGMENTA AGRONOMICA – ISTRO CONFERENCE, 14., Pulawy, 1997. **Proceedings**. Pulawy, Polish Society of Agrotechnical Sciences, 1997. p. 15-18.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil; Universidade de São Paulo, 1977.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Soil density and root penetration. **Soil Science**. Baltimore, v. 91, p. 208-217, 1961.

VIEIRA, C. P.; MESQUITA, C. M.; HERNANI, L. C. **Mecanização**. Sistema plantio direto. O produtor pergunta, a EMBRAPA responde. Brasília: EMBRAPA – SPI; Dourados: EMBRAPA – CPAO, 1998. cap. 13, p. 151.

VOORHESS, W. B.; JOHNSON, J. F.; RANDALL, G. W.; NELSON, W. W. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 294-303, 1989.

WAQUIM, S. J. (Coord.). **Regras para análises de sementes**. Brasília, 1992. 365 p.

WEAICH, K. et. al. Preemergent shott growth of maize under different drying conditions. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v. 56, p. 1272-1278, 1992.

WEIRICH NETO, P. H. Máquinas Agrícolas em Sistema de Semeadura sob a Palha (plantio direto): atualização. In: PAULETTI, V., SEGANFREDO, R. **Plantio direto: atualização tecnológica**. Campinas: Fundação Cargill; Fundação ABC, 1999. 171 p.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 24, n. 3, p. 621-633, 2000.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; EUCLIDES, V. B. P. Sistemas integrados de producción agropastoril. In: GUIMARÃES, E.; SANZ, J. I., RAO, I. M.; MEZQUITA. E. A. **Sistemas agropastoriles en Sabanas Tropicales de América Latina**. Peru: Publicación CIAT n. 313. 1999. p. 245-283.

APÊNDICE

APÊNDICE A - ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

Tabela 1A – Análise de Variância para o conteúdo de água no solo (%) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	80.57	40.28	18.31	0.0000*
erro	21	46.21	2.20		
Total corrigido	23	126.78			

Tabela 2A – Análise de Variância para o conteúdo de água no solo (%) na profundidade de 10-20 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	83.99	41.50	19.52	0.0000
erro	21	44.64	2.13		
Total corrigido	23	127.64			

Tabela 3A – Análise de Variância para o conteúdo de água no solo (%) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.06	0.03	0.03	0.97
erro 1	9	7.90	0.88		
Elemento	1	3.00	3.00	0.73	0.42
Tratamento*Elemento	2	4.62	2.31	0.56	0.59
erro 2	9	37.15	4.13		
Total corrigido	23	52.73			

Tabela 4A – Análise de Variância para o conteúdo de água no solo (%) na profundidade de 10 a 20 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	18.30	9.15	4.80	0.04
erro 1	9	17.18	1.91		
Elemento	1	2.44	2.44	5.138	0.05
Tratamento* Elemento	2	0.25	0.12	0.259	0.77
erro 2	9	4.28	0.48		
Total corrigido	23	42.45			

DENSIDADE DO SOLO

Tabela 5A – Análise de Variância para densidade do solo (Mg m^{-3}) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.06	0.02	9.33	0.001
erro	21	0.05	0.003		
Total corrigido	23	0.11			

Tabela 6A – Análise de Variância para densidade do solo (Mg m^{-3}) na profundidade de 10 a 20 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.004	0.002	1.43	0.26
erro	21	0.027	0.001		
Total corrigido	23	0.031			

Tabela 7A – Análise de Variância para densidade (Mg m^{-3}) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.03	0.01	2.84	0.11
erro 1	9	0.04	0.004		
Elemento	1	0.002	0.002	0.88	0.37
Tratamento*Elemento	2	0.001	0.001	0.20	0.82
erro 2	9	0.02	0.003		
Total corrigido	23	0.09			

Tabela 8A – Análise de Variância para densidade (Mg m^{-3}) na profundidade de 10 a 20 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.00009	0.00004	0.01	0.99
erro 1	9	0.03	0.003		
Elemento	1	0.02	0.02	7.20	0.03
Tratamento*Elemento	2	0.002	0.001	0.33	0.73
erro 2	9	0.03	0.003		
Total corrigido	23	0.08			

MACROPOROSIDADE DO SOLO

Tabela 9A – Análise de Variância para Macroporosidade (%) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	22.13	11.07	4.23	0.029
erro	21	54.90	2.61		
Total corrigido	23	77.03			

Tabela 10A – Análise de Variância para Macroporosidade (%) na profundidade de 10 a 20 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ªfase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	5.79	2.90	1.51	0.24
erro	21	40.40	1.92		
Total corrigido	23	46.20			

Tabela 11A – Análise de Variância para Macroporosidade (%) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após a colheita da soja (3ªfase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	434.72	217.36	89.34	0.00
erro 1	9	21.90	2.43		
Elemento	1	3.86	3.86	0.46	0.51
Tratamento*Elemento	2	4.93	2.47	0.30	0.75
erro 2	9	74.99	8.33		
Total corrigido	23	540.39			

Tabela 12A – Análise de Variância para Macroporosidade (%) na profundidade de 10 a 20 cm realizado após a colheita da soja (3ªfase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	19.69	9.85	1.53	0.27
erro 1	9	58.02	6.45		
Elemento	1	18.18	18.18	1.84	0.21
Tratamento*Elemento	2	11.54	5.77	0.59	0.58
erro 2	9	88.74	9.86		
Total corrigido	23	196.18			

MICROPOROSIDADE DO SOLO

Tabela 13A – Análise de Variância para Microporosidade (%) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	40.88	20.44	2.68	0.09
erro	21	160.42	7.64		
Total corrigido	23	201.29			

Tabela 14A – Análise de Variância para Microporosidade (%) na profundidade de 10 a 20 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	10.93	5.46	1.86	0.18
erro	21	61.72	2.94		
Total corrigido	23	72.65			

Tabela 15A – Análise de Variância para Microporosidade (%) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	18.30	9.15	1.30	0.3199
erro 1	9	63.51	7.06		
Elemento	1	6.29	6.29	2.11	0.1800
Tratamento*Elemento	2	3.47	1.73	0.582	0.5785
erro 2	9	26.80	2.98		
Total corrigido	23	118.38			

Tabela 16A – Análise de Variância para Microporosidade (%) na profundidade de 10 a 20 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	21.71	10.85	3.16	0.09
erro 1	9	30.88	3.43		
Elemento	1	8.39	8.39	4.51	0.06
Tratamento*Elemento	2	1.13	0.56	0.30	0.75
erro 2	9	16.75	1.86		
Total corrigido	23	78.86			

POROSIDADE DO SOLO

Tabela 17A – Análise de Variância para Porosidade (%) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	56.06	28.03	9.99	0.0009
erro	21	58.87	2.80		
Total corrigido	23	114.93			

Tabela 18A – Análise de Variância para Porosidade (%) na profundidade de 10 a 20 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	4.55	2.28	1.48	0.25
erro	21	32.26	1.54		
Total corrigido	23	36.81			

Tabela 19A – Análise de Variância para Porosidade (%) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	27.87	13.94	2.66	0.12
erro 1	9	47.22	5.25		
Elemento	1	2.44	2.44	0.74	0.41
Tratamento*Elemento	2	1.30	0.65	0.20	0.83
erro 2	9	29.87	3.32		
Total corrigido	23	108.71			

Tabela 20A – Análise de Variância para Porosidade (%) na profundidade de 10 a 20 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.042	0.02	0.01	0.99
erro 1	9	31.26	3.47		
Elemento	1	26.00	26.00	7.28	0.02
Tratamento*Elemento	2	2.72	1.36	0.38	0.69
erro 2	9	32.13	3.57		
Total corrigido	23	92.15			

RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO

Tabela 21A – Análise de Variância para Resistência do solo a penetração (MPa) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	3.55	1.78	9.26	0.001
erro	21	4.03	0.19		
Total corrigido	23	7.58			

Tabela 22A – Análise de Variância para Resistência do solo a penetração (MPa) na profundidade de 12,5-20 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	1.83	0.92	20.42	0.00
erro	21	0.94	0.045		
Total corrigido	23	2.78			

Tabela 23A – Análise de Variância para Resistência do solo a penetração (MPa) na profundidade de 22,5-30 cm realizado após o sistema de pastejo rotacionado (2ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.16	0.08	1.19	0.32
erro	21	1.44	0.07		
Total corrigido	23	1.60			

Tabela 24A – Análise de Variância para Resistência do solo a penetração (MPa) na profundidade de 0 a 10 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.19	0.09	2.17	0.17
erro 1	9	0.39	0.043		
Elemento	1	0.65	0.65	36.32	0.0002
Tratamento*Elemento	2	0.10	0.05	2.82	0.112
erro 2	9	0.16	0.02		
Total corrigido	23	1.49			

Tabela 25A – Análise de Variância para Resistência do solo a penetração (MPa) na profundidade de 12,5-20 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.08	0.04	0.40	0.68
erro 1	9	0.90	0.10		
Elemento	1	0.07	0.07	1.58	0.24
Tratamento*Elemento	2	0.12	0.06	1.34	0.31
erro 2	9	0.40	0.04		
Total corrigido	23	1.57			

Tabela 26A – Análise de Variância para Resistência do solo a penetração (MPa) na profundidade de 22,5-30 cm realizado após a colheita da soja (3ª fase)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.65	0.33	2.55	0.13
erro 1	9	1.15	0.13		
Elemento	1	0.001	0.001	0.05	0.84
Tratamento*Elemento	2	0.13	0.07	3.11	0.09
erro 2	9	0.19	0.02		
Total corrigido	23	2.12			

VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO

Tabela 27A – Análise de Variância para Velocidade de deslocamento ($m s^{-1}$) realizado durante a semeadura da soja

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.06	0.03	3.86	0.062
erro 1	9	0.07	0.01		
Elemento	1	0.51	0.51	75.46	0.0000
Tratamento*Elemento	2	0.004	0.002	0.29	0.76
erro 2	9	0.06	0.007		
Total corrigido	23	0.70			

FORÇA DE TRAÇÃO

Tabela 28A – Análise de Variância para Força de Tração (kN), realizado durante a semeadura da soja

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	27173.92	13586.96	0.47	0.64
erro 1	9	258148.41	28683.15		
Elemento	1	27088926.46	27088926.46	2209.16	0.00
Tratamento*Elemento	2	39836.34	19918.17	1.62	0.25
erro 2	9	110358.76	12262.08		
Total corrigido	23	27524443.89			

POTÊNCIA REQUERIDA NA BARRA DE TRAÇÃO

Tabela 29A – Análise de Variância para Potência requerida na barra de tração (kW) realizado durante a semeadura da soja

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	2.99	1.50	0.41	0.68
erro 1	9	33.18	3.69		
Elemento	1	3400.78	3400.78	1135.98	0.00
Tratamento*Elemento	2	10.24	5.12	1.71	0.23
erro 2	9	26.94	2.99		
Total corrigido	23	3474.14			

POTÊNCIA NECESSÁRIA NO MOTOR

Tabela 30A – Análise de Variância para Potência necessária no motor (kW) realizado durante a semeadura da soja

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	7.39	3.69	0.41	0.68
erro 1	9	81.24	9.03		
Elemento	1	8330.22	8330.22	1136.562	0.00
Tratamento*Elemento	2	25.14	12.57	1.72	0.23
erro 2	9	65.96	7.33		
Total corrigido	23	8509.96			

PROFUNDIDADE DE SULCO

Tabela 31A – Análise de Variância para Profundidade de Sulco (cm) realizado após a semeadura da soja

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	4.33	2.17	1.93	0.20
erro 1	9	10.13	1.13		
Elemento	1	315.38	315.38	156.60	0.00
Tratamento*Elemento	2	1.00	0.50	0.25	0.79
erro 2	9	18.13	2.014		
Total corrigido	23	348.96			

ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE)

Tabela 32A – Análise de Variância para Índice de velocidade de emergência (Ive)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0.41	0.21	1.97	0.20
erro 1	9	0.94	0.1047		
Elemento	1	0.00	0.0001	0.000	0.98
Tratamento*Elemento	2	0.004	0.002	0.010	0.99
erro 2	9	1.95	0.22		
Total corrigido	23	3.31			

POPULAÇÃO DE PLANTAS

Tabela 33A – Análise de Variância para população de plantas (plantas ha⁻¹)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	379221309.25	189610654.63	4.195	0.05
erro 1	9	406780980.75	45197886.75		
Elemento	1	13584130.67	13584130.67	0.18	0.68
Tratamento*Elemento	2	17518531.58	8759265.79	0.12	0.89
erro 2	9	683577431.75	75953047.97		
Total corrigido	23	1.500682384E+0009			

PESO MIL GRÃOS

Tabela 34A – Análise de Variância para Peso mil grãos (g)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	125.06	62.53	0.13	0.88
erro 1	9	4200.64	466.74		
Elemento	1	171.59	171.59	0.555	0.48
Tratamento*Elemento	2	539.19	269.59	0.872	0.45
erro 2	9	2783.80	309.31		
Total corrigido	23	7820.27			

RENDIMENTO DE GRÃOS

Tabela 35A – Análise de Variância para Rendimento de grãos (kg ha⁻¹)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	288886.33	144443.17	1.73	0.23
erro 1	9	750283.13	83364.79		
Elemento	1	666333.38	666333.38	31.79	0.0003
Tratamento*Elemento	2	140623.00	70311.50	3.35	0.082
erro 2	9	188673.13	20963.68		
Total corrigido	23	2034798.96			