EFEITOS DOS TIPOS DE PREPARO SOBRE CARACTERÍSTICAS DO SOLO E DA
CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.)

CARLOS ANTONIO GAMERO

Orientador: Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz",
da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia - Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas

PIRACICABA
Estado de São Paulo-Brasil
junho, 1985

À memória de meu pai
HOMENAGEM

À minha mãe
AGRADECIMENTO

À Marcia, minha esposa,
à Alessandra e à Ana
Paula, minhas filhas.
DEDICO

A G R A D E C I M E N T O S

- À *Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu - UNESP*, que possibilitou a realização do Curso de Pós-Graduação.
- Ao Dr. *Paulo Leonel Libardi*, pela orientação.
- Aos Professores: *Sérgio Hugo Benez, José Armando Furlani Júnior, João Nakagawa, Wolmar Aparecida Carvalho e Leonardo Theodoro Bull*, pela amizade e preciosa colaboração.
- Ao Eng^o Agr^o *Ângelo Cataneo*, pelas análises estatísticas efetuadas no Centro de Computação e Informática da UNESP.
- Ao *Centro Nacional de Engenharia Agrícola - CENEA*, pelo empréstimo do penetrôgrafo.
- Aos Técnicos: *Maurý Torres da Silva, Vicente José de Vasconcelos, Maria de Lourdes Conte e Mário de Oliveira Munhoz*, pelo auxílio nos trabalhos de campo e de laboratório.
- A Srt^a *Eneisa Dalanezi* pelos trabalhos de datilografia.
- Ao Sr. *José Eduardo Soares Candeias*, pelos serviços de desenho.
- A todos àqueles que de uma forma ou de outra permitiram a execução deste trabalho.

Os meus mais sinceros agradecimentos, pois sem os quais jamais poderia ter concluído este trabalho.

ÍNDICE

	"Página"
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Material	20
3.1.1. Campo experimental	20
3.1.2. Solo	21
3.1.3. Insumos básicos	23
3.1.4. Máquinas e implementos	25
3.1.5. Penetrômetro de anel	26
3.1.6. Penetrômetro	27
3.1.7. Outros materiais	28
3.2. Métodos	29
3.2.1. Delineamento experimental	29
3.2.2. Tratamentos de preparo do solo	29
3.2.3. Instalação, condução e estádios específicos do desenvolvimento da cultura do milho	34
3.2.4. Análise granulométrica do solo	34
3.2.5. Determinação da densidade dos sólidos do solo....	34
3.2.6. Ensaio de compactação do solo	36
3.2.7. Determinação dos limites de consistência do solo	36
3.2.8. Determinação do teor de água do solo	36
3.2.9. Determinação da densidade global do solo da soleira	37
3.2.10. Determinação do índice de vazios e da porosi- dade total do solo da soleira	37
3.2.11. Determinação da resistência do solo da solei- ra à penetração	37
3.2.12. Determinação da resistência do solo à penetra- ção na camada de 0-35 cm de profundidade.....	38

	"Página"
3.2.13. Peneiramento a seco do solo	39
3.2.14. Determinação da massa de raízes secas	40
3.2.15. Determinação do diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga e altura da planta	42
3.2.16. Determinação da percentagem de tombamen- to e da produção de grãos	42
3.2.17. Análise das sementes	44
3.2.18. Balanço hídrico	44
3.2.19. Análise estatística	44
4. RESULTADOS	47
5. DISCUSSÃO	58
5.1. Parâmetros determinados na soleira	58
5.2. Resistência do solo à penetração	59
5.3. Estabilidade dos agregados	60
5.4. Massa de raízes secas	64
5.5. Diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga, altura da planta, percentagem de tomba- mento e população de plantas	68
5.6. Produção de grãos	72
5.7. Análise das sementes	76
6. CONCLUSÕES	78
7. LITERATURA CITADA	80
APÊNDICE	94

LISTA DE TABELAS

Tabela	"Página"
1. Classificação dos separados de cada horizonte do perfil do solo, segundo USDA.....	22
2. Propriedades e características físicas da camada do solo de 0-20 cm de profundidade	23
3. Análise química do calcário e do solo (0-20 cm de profundidade)	24
4. Sequência de eventos para a instalação e condução da cultura e estádios específicos do desenvolvimento das plantas de milho	35
5. Valores médios, para cada tratamento, dos parâmetros determinados na soleira produzida pelos equipamentos de preparo e da resistência à penetração nas camadas de 0-20, 25-35 e 0-35 cm de profundidade do solo	49
6. Valores médios, para cada tratamento, da resistência à penetração (N/cm^2) nas camadas de 0-20, 25-35 e 0-35 cm de profundidade do solo, na linha e na entrelinha de semeadura, em 18/09/84	50
7. Valores da percentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm), da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco	51
8. Valores da percentagem acumulada de agregados em peneira número 10 (2,00 mm), da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco	52

Tabela

"Página"

9. Valores do módulo de finura dos agregados da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco	53
10. Valores médios, para cada tratamento, da massa de raízes adventícias secas e nas camadas de 0-20, 20-35 e 0-35 cm de profundidade do solo (g)	54
11. Valores médios, para cada tratamento, do diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga, altura da planta, percentagem de tombamento, população, produção (kg/ha) e produção (g/planta)	55
12. Valores médios, para cada tratamento, da percentagem de sementes retidas nas peneiras 16 x 3/4" e 14 x 3/4" de crivos oblongos e 24", 22", 20", 18" e 16" de crivos circulares e massa de 100 sementes após eliminação do fundo e das sementes retidas em peneira 16 x 3/4"	56
13. Correlações significativas ao nível de 5% de probabilidade entre os diferentes parâmetros analisados	57

LISTA DE FIGURAS

Figura	"Página"
1. Distribuição das lâminas no rotor da enxada rotativa	26
2. Constituição do penetrógrafo utilizado para as determinações da resistência do solo à penetração na camada de 0-35 cm de profundidade.....	28
3. Esquema do delineamento experimental	30
4. Ilustração do perfil do solo mobilizado nos tratamentos com arado e grade (AG), enxada rotativa (ER) e cultivo mínimo (CM)	31
5. Aspecto da superfície do terreno no tratamento CM, por ocasião da emergência das plântulas de milho	32
6. Aspecto da superfície do terreno no tratamento PC, por ocasião da emergência das plântulas de milho	33
7. Aspecto da superfície do terreno nos tratamentos R1H1 (à esquerda) e R3H2 (à direita), por ocasião da emergência das plântulas de milho	33
8. Delineamento de uma parcela mostrando as posições das linhas de plantas para as diversas observações relativas à cultura	40
9. Esquema do método utilizado para a coleta de raízes	41
10. Locais das medidas efetuadas nas plantas de milho. Diâmetro do colo (A), altura de inserção da primeira espiga (B) e altura da planta (C)	43

Figura

"Página"

11. Balanço hídrico e estádios específicos do desenvolvimento da cultura do milho	45
12. Resistência do solo à penetração (N/cm^2) na instalação do ensaio (—) e em 18/09/84 na linha (---) e na entrelinha (-·-·-) de <u>se</u> meadura, na camada de 0-35 cm de profundida <u>de</u> , nos tratamentos R1H1, R1H2, R2H1 e R2H2.....	61
13. Resistência do solo à penetração (N/cm^2) na instalação do ensaio (—) e em 18/09/84 na linha (---) e na entrelinha (-·-·-) de <u>seme</u> adura, na camada de 0-35 cm de profundidade, nos tratamentos R3H1, R3H2, PC e CM	62
14. Distribuição da massa de raízes secas, para cada tratamento, na camada de 0-35 cm de profundidade do solo	65
15. Distribuição percentual de raízes, para cada tratamento, na camada de 0-35 cm de profundidade do solo	66
16. Comparação do desenvolvimento das plantas de milho, que se desenvolveram sob <u>trata</u> mentos de preparo do solo com enxada <u>rotati</u> va (à esquerda) e de cultivo <u>mínimo</u> (à <u>di</u> reita), aos 26 dias após a <u>semeadura</u>	72
17. Efeito da deficiência hídrica sobre o desenvolvimento das plantas de milho, em um tratamento de cultivo mínimo, aos 26 dias após a operação de semeadura	73
18. Produção média de grãos, em cada <u>tratamen</u> to, corrigida a 12% de umidade	74

Figura

"Página"

19. Produção média de grãos por planta, em cada tratamento, corrigida a 12% de umidade.....	75
--	----

EFEITOS DOS TIPOS DE PREPARO SOBRE CARACTERÍSTICAS DO SOLO E
DA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.)

CARLOS ANTONIO GAMERO

Paulo Leonel Libardi

- Orientador -

RESUMO

Objetivou-se no presente trabalho, estudar os efeitos do cultivo mínimo, preparo convencional (aração e gradagens) e preparos com enxada rotativa sobre algumas características físicas de um solo classificado como Terra Roxa Estruturada, e sobre o desenvolvimento e a produção da cultura do milho. Os tratamentos de preparo com enxada rotativa constituíram-se de combinações de três rotações do rotor (121,50; 171,53 e 216,00 rpm) e duas alturas do anteparo traseiro (totalmente levantado e totalmente abaixado) do equipamento. Os tratamentos foram delineados em blocos casualizados, com 4 repetições e parcelas de 200 m².

Os resultados obtidos permitiram verificar que não ocorreram diferenças de compactação do solo da soleira ao comparar-se os tratamentos de preparo com enxada rotativa e convencional. Constatou-se porém, que estes tratamentos provocaram uma diminuição da resistência do solo à penetração, quando confrontados com o tratamento de cultivo mínimo, embora este efeito tenha sido temporário. Os tratamentos de cultivo mínimo, de preparo convencional e o que incluiu rotação mínima do rotor da enxada rotativa, associada com o anteparo traseiro totalmente levantado, mos

traram-se iguais quando se analisou a estabilidade dos agregados menores que 4 mm.

Todos os parâmetros relativos à cultura do milho, não mostraram diferenças significativas, ao serem confrontados os tratamentos de preparo com enxada rotativa e convencional, embora estes tratamentos tenham apresentado maior diâmetro do colo e maior produção de grãos por planta, quando foram comparados com o tratamento de cultivo mínimo. Por outro lado, os parâmetros referentes ao tombamento, diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga, altura da planta, produção por planta e por hectare e massa de raízes adventícias secas, correlacionaram-se positivamente entre si e, negativamente com a resistência à penetração do solo na camada de 0-35 cm de profundidade. Verificou-se ainda que, a massa de raízes secas, na camada de 0-35 cm de profundidade do solo, correlacionou-se negativamente com a resistência à penetração nessa camada e, positivamente com a massa de raízes adventícias secas, diâmetro do colo e produção de grãos por planta.

Sementes de maior massa foram obtidas nos tratamentos de preparo convencional e o que incluiu rotação mínima do rotor da enxada rotativa associada com o anteparo traseiro totalmente levantado. Constatou-se, ainda, que a massa de 100 sementes correlacionou-se positivamente com o diâmetro do colo, altura da planta e produção por planta e por hectare.

EFFECTS OF SOIL PREPARATION TYPES ON SOIL AND CORN (*Zea mays* L.)
CROP CHARACTERISTICS

CARLOS ANTONIO GAMERO

Paulo Leonel Libardi

- Adviser -

SUMMARY

The objective of present work was to study the effects of minimum tillage, conventional preparation (plowing and diskings) and preparation with revolving hoe on some physical characteristics of a soil classified as "Terra Roxa Estruturada", and on the growth and production of a corn crop.

The treatments with revolving hoe were combination of three speeds of the rotor (121,50; 171,53 and 216,00 rpm) and two height of the rear shield (totally up and totally down) of the equipment. The treatments were designed in random blocks, with four replications and plots of 200 m².

According to the results, it was possible to note that there was no difference in soil compaction between revolving hoe and conventional treatments. However, these treatments caused a decrease in soil resistance to penetration, as compared with the minimum tillage treatment, even though this effect was temporary. The minimum tillage, the conventional and the revolving hoe (with minimum rotor speed and rear shield totally up) treatments showed no difference in soil ped (smaller

than 4 mm) stability.

All the parameters related to the corn crop did not show significant difference when the revolving hoe and the conventional treatments were compared, even though these treatments showed greater culm base diameter and greater grain production per plant as compared with the minimum tillage treatment. On the other hand, the parameters related to lodging, culm base diameter, height of the first ear, plant height, grain production per plant and per hectare, and dry adventitious roots mass had positive correlation among themselves and negative correlation with the soil resistance to penetration at the 0-35 cm soil layer. Furthermore, the dry root mass at the 0-35 cm soil layer correlated (i) negatively with the resistance to penetration at this layer and (ii) positively with the dry adventitious root mass, the culm base diameter and the grain production per plant.

Seeds of greater mass were obtained both with conventional and revolving hoe (with minimum rotor speed and rear shield totally up) treatments. Furthermore, the mass of 100 seeds were correlated positively with culm base diameter, plant height and production per plant and per hectare.

1. INTRODUÇÃO

Em qualquer sistema de produção agrícola, a etapa referente ao preparo do solo e instalação das culturas é uma das mais importantes, devido não somente ao seu elevado custo operacional em relação ao custo total do empreendimento, como também porque, sendo a inicial, refletirá no desenvolvimento e na produção das culturas.

Cada tipo de solo ou grupo de solos similares apresentam diferentes respostas a um mesmo sistema de preparo, uma vez que, decisivamente, esta operação altera algumas de suas características físicas, tais como, porosidade, densidade global, resistência à penetração, dentre outras. Essa etapa deve portanto, ser adaptada para uma determinada cultura, em uma distinta sequência de produção, procurando-se, contudo, preservar o solo como um recurso natural sujeito a degradações de ordem física, química e biológica.

Um equipamento de preparo do solo, utilizado em vários países e que vem sendo gradativamente introduzido no Brasil, é a enxada rotativa, que apresenta como uma de suas principais características, a de preparar o solo para a semeadura em uma única operação. A sua utilização,

todavia, tem sido muito discutida, em consequência do grande distúrbio que provoca na camada de solo mobilizada. Por outro lado, este equipamento apresenta inúmeras condições de regulagens, devendo existir para cada tipo de solo, cultura e clima, um conjunto delas que melhor se adapta a cada situação.

Outra técnica introduzida há pouco tempo em nossa agricultura, é a do cultivo mínimo, que corresponde a mínima mobilização possível do solo, para um satisfatório desenvolvimento e produção das culturas. Esta técnica apresenta como objetivo central a eliminação ou redução da severidade de algumas operações, assim como a diminuição do tráfego do trator sobre o solo.

O emprego da enxada rotativa, do cultivo mínimo e das demais técnicas de preparo do solo utilizadas nos diferentes sistemas de produção agrícola, apresentam, como toda técnica, vantagens e desvantagens, mas a literatura tem mostrado até o momento, resultados conflitantes. Com base nestes fatos, procurou-se no presente trabalho, estudar os efeitos do cultivo mínimo, preparo convencional (aração e gradagens) e preparos com enxada rotativa utilizando-se diferentes regulagens, sobre algumas características físicas de um solo classificado como Terra Roxa Estruturada, e sobre o desenvolvimento e a produção da cultura do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O preparo do solo representa uma operação básica na agricultura, caracterizado por objetivos complexos, grande número de métodos e grande diversidade de opiniões, sendo que, em muitos casos as práticas de preparo são influenciadas mais pela tradição e intuição do que por uma análise racional (ARNDT e ROSE, 1966).

McKYES *et alii* (1979) procurando saber qual seria a melhor prática de preparo para cada tipo de solo, clima e cultura, afirmam que isto é muito difícil de se obter devido à complexidade do sistema solo-água-planta, sem mencionar a variabilidade de solo e clima em todo o mundo.

Segundo OUWERKERK e BOONE (1970) a operação de preparo do solo é tida como uma técnica a qual permite eficiente produção das culturas na agricultura mecanizada. Entretanto, esta tem que ser adaptada para uma cultura específica em uma distinta sequência de produção. O preparo do solo pode influenciar o desenvolvimento das plantas, uma vez que ele altera decisivamente as condições físicas do solo, as quais indicam se para uma certa cultura, o solo deve ser preparado, em que intensidade e

a que profundidade.

BAEUMER (1970) acrescenta que os solos são preparados para estabelecer condições favoráveis não somente para um ótimo desenvolvimento das plantas, mas também para outras operações de campo, como a semeadura e a colheita. Para se conseguir isto, a aração, onde o solo é desagregado e invertido, é considerada como sendo a principal operação básica, facilitando o controle de ervas, o enterrio de restos de cultura e o preparo do terreno para a semeadura. Mas, segundo o autor, torna-se necessária uma alternativa para este tradicional sistema de preparo, devido ao tempo consumido nas operações, o baixo desempenho e a alta necessidade de energia.

Deve ser dada ao agricultor uma maior liberdade para realizar a escolha do melhor sistema de preparo do solo, sendo a incumbência da pesquisa agrícola a de provê-lo com informações de maneira que ele tome a decisão mais correta (BOONE e KUIPERS, 1970).

HENRY e McKIBBEN (1967) relatam que o tipo e a intensidade de preparo, podem logicamente afetar as condições físicas do solo e segundo BATEMAN (1963), numa avaliação das respostas das culturas quando afetadas pelas operações mecanizadas, os quatro principais fatores físicos do solo que necessitam ser considerados são: teor de água, temperatura, aeração e impedância mecânica. A compactação do solo pode influenciar todos estes fatores, afetando as plantas durante alguma parte de seu ciclo de desenvolvimento. SCHUMACHER e SMUCKER (1981) afirmam que baixas concentrações de oxigênio e alta impedância mecânica, são dois componentes da compactação do solo frequentemente implicados na redução das produções das culturas.

A manipulação do solo pelos homens é geralmente acompanhada de aplicação de forças, sendo a compactação uma das deformações resultantes dessa manipulação (VANDEN BERG, 1966). A compactação pode ser definida como sendo "o aumento da densidade global do solo, devido à redução de sua porosidade" (COOPER e NICHOLS, 1959, VOMOCIL e FLOCKER, 1961, GILL, 1961 e CHANCELLOR *et alli*, 1962), ou como sendo "a ação de movimentação das partículas do solo em resposta à aplicação de forças externas" (RANEY e EDMISTER, 1961).

RAGHAVAN e McKYES (1978) e VEEN (1982) relatam que o aumento do uso da maquinaria nos campos agrícolas, intensificou o problema da compactação do solo, sendo que, segundo AMIR *et alii* (1976), entre os fatores que afetam a compactação, os mais importantes são o teor de água no solo e a pressão aplicada pela maquinaria. Para MARSHALL e RANEY (1960) a compactação é muito aumentada, quando se utiliza equipamentos que exercem alta pressão sobre o solo, seja devido ao peso excessivo ou a baixa área de contato entre o equipamento e o solo.

A compactação artificial do solo resulta num aumento da sua densidade global com conseqüente diminuição da porosidade não capilar e permeabilidade a água (MEREDITH e PATRICK, 1961), sendo estas variações, segundo RAGHAVAN *et alii* (1977), mais freqüentes em solos de textura argilosa.

A determinação da densidade global dos horizontes de um perfil, permite avaliar propriedades dos solos tais como: drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e a água, capacidade de saturação, etc. (KIEHL, 1979). SOANE (1968) considera a densidade global como uma importante propriedade, a qual apresenta uma grande variação nos solos cultivados, sendo capaz de fornecer importantes informações sobre processos de compactação e de desagregação que ocorrem durante as práticas de manejo do solo.

VANDEN BERG (1966) considera que a densidade global representa uma medida do estado de compactação do solo, e segundo LARSON (1962) também é uma medida da impedância mecânica, podendo ser utilizada satisfatoriamente, para um dado tipo de solo, com uma estreita variação de textura e a um dado teor de água.

Sempre que o solo é desagregado durante o preparo para a semeadura, ocorre uma redução da sua densidade global completamente transitória, uma vez que tende a se recompor após a primeira chuva, podendo aproximar-se do mesmo valor que o solo apresentava antes da operação de aração (RANEY e EDMISTER, 1961). Isto sugere que há uma densidade global ou grau de compactação característico para cada tipo de solo.

SHEAR e MOSCHLER (1969) estudando durante seis anos a cul

tura do milho, conduzida sob tratamentos de preparo convencional e de semeadura direta, em solo de textura média, não encontraram diferenças significativas, quanto a densidade global, entre o solo mobilizado e o não mobilizado. Efeito semelhante foi verificado por BENEZ (1980), quando detectou em Terra Roxa Estruturada, nos tratamentos mobilizados, uma redução na densidade global após a operação de preparo, a qual aumentou a seguir, até a época da colheita do milho, atingindo valores próximos aos do solo antes do preparo. Resultados semelhantes foram obtidos por THREADGILL (1982) estudando diferentes sistemas de preparo do solo, todos realizados após a operação de subsolagem, em um solo de textura barro-arenosa. O autor verificou através de valores de índice de cone, que a recompactação do solo ocorreu tanto nas parcelas com semeadura direta, como no solo mobilizado com arado de aiveca, dois anos após a instalação do experimento.

BAVER *et alii* (1973) relata que a densidade global de um solo, para um dado esforço constante de compactação, aumenta progressivamente com o aumento do teor de água, até atingir um máximo, a partir da qual diminui com o aumento desse teor. Além disso, o conteúdo de água para atingir este máximo, diminui à medida que a força de compactação aumenta. Este efeito foi obtido por SAINÉ *et alii* (1984) trabalhando com sete solos diferentes, para determinar o teor de água no qual ocorria a máxima compactação.

WEAVER (1950) e BOURGET *et alii* (1961) pesquisaram a compactação provocada pelo tráfego da maquinaria agrícola e verificaram que a máxima compactação ocorria, para um teor de água no solo considerado ótimo para a operação de aração, sendo que NICHOLS e REAVES (1955) mostraram que este teor de água encontrava-se próximo ao limite de plasticidade do solo.

Segundo LARSON e ALLMARAS (1971) muitas evidências mostram que o desenvolvimento das raízes das plantas é restringido pela elevada resistência do solo associada com a compactação. Este fato já havia sido comprovado por VEIHMEYER e HENDRICKSON (1948), quando estudaram a densidade global, acima da qual as raízes de plantas de girassol, eram incapazes de penetrar no solo. Verificaram que variava de

1,46 a 1,63 g/cm³ em solos de textura argilosa, enquanto que BERTRAND e KOHNKE (1957) observaram que as raízes de plantas de milho não penetraram num subsolo com densidade global de 1,5 g/cm³, mas desenvolveram-se profusamente em um subsolo que apresentava 1,2 g/cm³. Nesta mesma linha de pesquisa ZIMMERMAN e KARDOS (1961) observaram os efeitos de várias densidades globais do solo, sobre o desenvolvimento das raízes de soja e sorgo forrageiro. Os autores verificaram que houve uma correlação negativa altamente significativa entre a densidade e a massa de raiz. TROUSE e HUMBERT (1961) verificaram que a elevação da densidade global do solo, provocou diminuição no desenvolvimento das raízes de cana-de-açúcar. Efeito semelhante foi observado para o milho por HENRY e McKIBBEN (1967).

PHILLIPS e KIRKMAN (1962) estudando o desenvolvimento do sistema radicular de plântulas de milho, em condições de laboratório, verificaram que a taxa de elongação das raízes diminuiu linearmente quando a densidade global do solo aumentou de 0,94 para 1,30 g/cm³. Para o arroz, GHOHMANN e QUEIROZ NETO (1966), observaram que a densidade global do solo restritiva ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas era superior a 1,42 g/cm³ em Latossol Roxo e 1,38 g/cm³ em Podzólico Vermelho Amarelo orto.

BAKERMANS e WIT (1970) relataram algumas observações sobre o desenvolvimento do sistema radicular de plantas de centeio, cultivadas em duas condições de solo: naturalmente compactado e mobilizado. Segundo os autores, no solo mobilizado, a camada arada de cerca de 20 cm de profundidade, era refletida distintamente pela densidade de raízes que apresentava, enquanto que no solo compactado, a maior densidade de raízes mostrou-se restrita à camada superficial de 8 cm do solo.

Estudando o efeito de diferentes tipos de preparo do solo sobre o comportamento do sistema radicular da cultura da soja, em Latossol Vermelho Escuro fase arenosa e Terra Roxa Estruturada, BENEZ *et alii* (1979) observaram que o sistema radicular foi mais desenvolvido, em massa seca, no solo de textura arenosa e mais superficial no solo de textura argilosa. Os tratamentos que proporcionaram maiores massas secas de raízes, em ordem decrescente, foram: enxada rotativa; uma aração e

duas gradagens; duas gradagens; e semeadura direta, no solo de textura arenosa. No solo de textura argilosa foram: uma aração e duas gradagens; enxada rotativa; semeadura direta; e duas gradagens.

BAR-YOSEF e LAMBERT (1981) trabalhando em condições controladas de laboratório, verificaram que a taxa de alongação das raízes de milho, diminuiu quando a impedância mecânica do solo de textura barro-arenosa atingiu valores superiores a $130,04 \text{ N/cm}^2$. Efeito semelhante foi encontrado por GERARD *et alii* (1972) para raízes de ervilha e de algodão, para resistências superiores a $100,03 \text{ N/cm}^2$.

Segundo SAINI e CHOW (1982), o solo, como um meio para o crescimento das plantas, não afeta somente o desenvolvimento e a atividade das raízes, mas também afeta o crescimento e a produção da parte aérea. Sob algumas circunstâncias BAUDER *et alii* (1981) consideram que o desenvolvimento da parte aérea e a produção estão positivamente correlacionadas com o crescimento das raízes. Conforme relatos de DWYER (1983), a excessiva compactação do solo pode ter um efeito direto no crescimento das plantas, impedindo o desenvolvimento das raízes, e um efeito indireto pela restrição à passagem do ar e da água.

ROO (1960) verificou que a produção de raízes de fumo, aumentou com a maior profundidade de preparo em um solo de textura barro-arenosa, com concomitante aumento da produção de folhas e da concentração de nitrato e de nicotina nas folhas. ADAMS *et alii* (1960) observaram que a compactação da superfície de um solo de textura barro-siltosa, diminuiu a produção do milho em 7,5% e a compactação da superfície e da subsuperfície reduziu em 14,5%, o que foi comprovado por PHILLIPS e KIRKHAM (1962), quando estudaram os efeitos de 3 níveis de compactação (normal, moderada e severa), em condições de campo, em um solo de textura argilosa, sobre o desenvolvimento e a produção da cultura do milho. Os autores verificaram que a compactação reduziu a produção de grãos e que esta estava diretamente correlacionada com a produção de raízes, quer em solo compactado ou não.

RHAGAVAN *et alii* (1978) pesquisando os efeitos de diferentes níveis de compactação, de um solo de textura argilosa, sobre o desenvolvimento do milho para silagem, observaram uma redução na produ-

ção da ordem de 50% nas parcelas altamente compactadas comparadas com os tratamentos que não sofreram compactação. Conduzindo trabalho semelhante, McKYES *et alii* (1979) concluíram que a variação da densidade global do solo de $0,10 \text{ g/cm}^3$, acima ou abaixo do valor ótimo (cerca de $1,20 \text{ g/cm}^3$), reduziu a produção de milho para silagem em cerca de 30%, em solo também de textura argilosa.

ORTOLANI *et alii* (1982) estudaram o comportamento da cultura da soja em um Latossol Vermelho Escuro fase arenosa submetido a 10 intensidades de compactação crescente, com resistências à penetração variando de 36,28 a $398,15 \text{ N/cm}^2$. Os resultados mostraram que a medida que a resistência aumentou de 44,13 para $146,12 \text{ N/cm}^2$, a produção de grãos diminuiu de 10,2 para 5,2 g/planta. O tratamento que apresentou menor produção, foi aquele que sofreu maior compactação, $398,15 \text{ N/cm}^2$, com 5,1 g/planta, observando-se também que, o aumento da compactação diminuiu a altura média das plantas.

Segundo VOMOCIL e FLOCKER (1961) examinando-se as características físicas do solo, tais como macroporosidade, permeabilidade ao ar e à água e taxa de infiltração, pode-se detectar a compactação após o tráfego da maquinaria no campo. BATEMAN (1963) acrescenta que a desagregação, pulverização e pressão aplicada no solo por várias máquinas causam variação no tamanho, continuidade e quantidade de espaços de aeração, sendo que, segundo VOMOCIL e FLOCKER (1961), o espaço de aeração no qual o desenvolvimento das plantas de milho e a produção sofrem apreciável redução varia de 5,4 a 11%. WILLIAMSON (1964) estudando o efeito da aeração do solo sobre o desenvolvimento das plantas concluiu que o sorgo granífero é muito mais adaptável às condições adversas de aeração do que o milho.

FEKETE *et alii* (1975) mediram as variações da densidade global de solos de texturas barro-arenosa e barro-siltosa, provocadas pelas passagens dos pneus dos tratores, sob diferentes condições de umidade. Os resultados mostraram que os solos compactados apresentavam uma porosidade máxima a cada umidade estudada e que este máximo dependia da porosidade inicial. Os dados indicaram ainda, que a porosidade do solo compactado era maior quanto menor fosse seu teor de água. HAMBLIM e

TENNANT (1981) pesquisaram a influência do preparo convencional, cultivo mínimo e semeadura direta, para a cultura do trigo, sobre a distribuição de poros por tamanho, em um solo de textura barro-arenosa. Os valores de porosidade total, medidos nos primeiros quatro meses após a implantação da cultura, foram maiores para o tratamento convencional, o qual ainda apresentava uma grande proporção de poros de drenagem.

Outro problema muito comum nos solos agrícolas é a formação de camadas adensadas imediatamente abaixo da superfície de ação dos órgãos ativos dos equipamentos de preparo (ROO, 1960 e GAULTNEY *et alii*, 1982), as quais, segundo RANEY e ZINGG (1957), são similares em textura e propriedades químicas, ao material abaixo e acima delas. Estas camadas impedem o normal crescimento das raízes e o eficiente suprimento de água e nutrientes para o desenvolvimento das plantas (MECH *et alii*, 1967 e STIBBE e ARIEL, 1970).

Segundo STITT *et alii* (1982), muitas variáveis desempenham um complexo papel, no desenvolvimento de camadas compactadas induzidas pelos equipamentos de preparo assim como na susceptibilidade dos solos em formá-las. BAVER *et alii* (1973) afirmam que esta ação de compactação é nitidamente aumentada quando a profundidade de preparo do solo é mantida constante por muitos anos.

BAUDER *et alii* (1981), relatam um experimento, conduzido durante dez anos, para avaliar os efeitos de quatro sistemas de preparo sobre a impedância mecânica e propriedades físicas de um solo de textura barro-argilosa. Os sistemas de preparo utilizados foram: aração com arado de aiveca; aração com arado escarificador; gradagem; e semeadura direta. Os autores verificaram a ocorrência de camadas compactadas devido ao tráfego e ao preparo do solo em todos os tratamentos exceto onde se utilizou o arado escarificador. CASSEL e NELSON (1979), verificaram que a intensidade dessa camada compactada, quando detectada pelo penetômetro de cone, pode variar de zero a mais de $1.804,42 \text{ N/cm}^2$, em condições de campo.

As variações da resistência do solo, em condições de campo, geralmente têm sido determinadas utilizando-se penetômetros, os quais fornecem valores de resistência rapidamente (GILL, 1968, BRADFORD,

1980 e SOANE e STAFFORD, 1983). Além deste aspecto, VOORHEES (1983) considera que a resistência ao penetrômetro é provavelmente um indicador mais sensível das condições do solo do que a densidade global, devido esta última ser sensível principalmente ao volume de poros e relativamente insensível aos planos de fratura ou de ruptura do solo. Estas afirmações são reforçadas por MULQUEEN *et alii* (1977) ao relatarem que o índice de cone, determinado pelo penetrômetro, é um parâmetro composto que envolve componentes de cisalhamento, resistência à compressão e à tensão e ao atrito solo-metal. BAVER *et alii* (1973) afirmam que a resistên-cia de um solo à penetração de um instrumento é um índice integrado pelo estado de compactação, conteúdo de água, textura e tipo de mineral de argila. Em outras palavras, é um índice de resistência do solo nas condições da medida.

O índice de cone é uma medida extremamente dependente da umidade do solo (HENRY e McKIBBEN, 1967, FREITAG, 1968, CHANCELLOR, 1971, EAVIS, 1972, MULQUEEN *et alii*, 1977, BYRD e CASSEL, 1980 e AYERS e PERUMPRAL, 1982). Por esta razão, os penetrômetros devem ser utilizados exclusivamente para testes de variações de resistências em solo específicos a um particular teor de água, sendo que OUWERKERK e BOONE (1970) re-latam que a resistência ao penetrômetro, aumenta proporcional-mente com a diminuição do teor de água e é visivelmente maior em parcelas onde o solo não foi mobilizado. AYERS e PERUNPRAL (1982) estudaram os efeitos da densidade global e do teor de água, de cinco diferentes tipos de solos, sobre o índice de cone. Os autores concluíram que o teor de água específico para o máximo índice de cone depende do tipo de solo e aumenta quando a percentagem de argila do solo aumenta.

Os penetrômetros são instrumentos utilizados frequente-mente para medir a resistência do solo à penetração das raízes das plantas (WHITELEY e DEXTER, 1981). Segundo BARLEY e GREACEM (1967), embora existam óbvias diferenças entre uma sonda metálica e as raízes das plantas, o teste de resistência à penetração, é o meio mais simples de se detectar zonas de impedimento às raízes. Este fato foi comprovado por PHILLIPS e KIRKHAN (1962) que verificaram a existência de correlação entre o aumento da resistência à penetração e a correspondente redução da

penetração das raízes das plantas de milho em profundidade. Efeito semelhante também é relatado por OUWERKERK e BOONE (1970), CANNEL (1977) e VINE e LAL (1981). Todavia STOLZY e BARLEY (1968) mediram diretamente a força exercida pela radícula de ervilha, em um solo de textura argilosa e verificaram que a resistência do solo ao penetrômetro foi maior que a força exercida pela raiz. Uma das possíveis explicações para esse fato pode ser a propriedade diferencial que as raízes apresentam de mudar sua direção de crescimento.

STIBBE e ARIEL (1970) pesquisaram o desenvolvimento do sistema radicular de plantas de algodão e de sorgo, sob diferentes sistemas e profundidades de preparo do solo. Os autores observaram que a elevada densidade global e resistência mecânica do tratamento não mobilizado, limitaram o desenvolvimento das raízes das plantas. Relataram ainda que o crescimento da raiz principal do algodoeiro sofreu um desvio lateral no momento em que encontrou o solo não mobilizado. Este efeito da impedância mecânica sobre a raiz principal do algodoeiro também é relatado por GERARD *et alii* (1972), e é considerado por CASSEL *et alii* (1978) como uma característica dinâmica das raízes das plantas. Resultados semelhantes foram obtidos por BACCHI (1976), quando estudou o efeito da compactação do solo sobre o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, verificando que as raízes ao encontrarem a superfície compactada, a 40 cm de profundidade, a uma densidade global de $1,5 \text{ g/cm}^3$, passaram a ter um desenvolvimento lateral.

O manejo inadequado do solo pode levar a formação de camadas compactadas, as quais impedem o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, e com um sistema radicular superficial, as plantas tornam-se mais susceptíveis aos verânicos e exploram muito pouco a fertilidade natural dos solos (SEGUY *et alii*, 1984). Estudando os efeitos da severa deficiência de água no solo sobre o desenvolvimento e a produção da cultura do milho, ROBINS e DOMINGO (1953) verificaram que a diminuição do teor de água, em certos estádios do desenvolvimento fisiológico do milho, reduziu marcadamente a produção de grãos. Tal deficit, para períodos de um a dois dias durante o período de florescimento, resultou em 22% de redução na produção, e, em períodos de seis a oito dias,

ocasionou redução de cerca de 50%. Trabalho semelhante foi desenvolvido por DENMEAD e SHAW (1960), quando estudaram os efeitos da deficiência de água sobre o desenvolvimento e a produção da cultura do milho. Os autores observaram que a deficiência de água antes do florescimento reduziu a produção de grãos em 25%, no florescimento reduziu 50% e após o florescimento reduziu 21%. Estes trabalhos confirmam as observações de AMEMIYA (1968), de que as respostas da cultura do milho dependem da água disponível durante a estação de crescimento, especialmente durante o estágio de florescimento.

Mais recentemente, GAULTNEY *et alii* (1982), estudaram os efeitos da compactação do subsolo e da deficiência de água, sobre a produção da cultura do milho. Os autores verificaram uma redução superior a 50% na produção nas parcelas compactadas, embora o verão tivesse sido relativamente úmido. A compactação moderada do solo reduziu a produção em 25%. A deficiência de água durante o período de florescimento diminuiu a produção em 35% nas parcelas não compactadas, quando comparadas com as outras parcelas não compactadas sem deficiência.

O dano físico ao solo pode ser definido, segundo SPOOR (1982), como sendo alguma variação no solo a qual é prejudicial ao desenvolvimento e produção das culturas, mas salienta que, "dano" é um termo relativo e pode somente ser considerado no contexto de condições ótimas do solo, necessárias para a produção das culturas. O autor afirma que uma estrutura adequada é necessária para todos os solos, provendo um número suficiente de grandes poros, exigidos para o desenvolvimento das raízes e movimentação do ar e da água, sendo que, qualquer destruição da estrutura pode reduzir o número desses poros. O processo de compactação do solo indica uma deterioração da sua estrutura (MARSHALL e RANEY, 1960 e DONAHUE *et alii*, 1977), sendo importante, segundo BROWNING (1950), tentar-se manter o máximo possível, uma estrutura favorável no solo, melhorando sua condição física para a obtenção de altas produções das culturas. MOODY *et alii* (1961) acrescentam que o preparo inadequado ou excessivo do solo pode causar uma degradação da sua estrutura, efeito este também observado por MACHADO (1976), BEZERRA (1978) e KEMPER e DERPSCH (1981).

GHOHMANN e ARRUDA (1961) estudaram o efeito de diferentes tipos de preparo do solo sobre a estrutura de uma Terra Roxa Legítima. Os autores verificaram que a estrutura se apresentava melhor, quando no seu preparo se fazia apenas uma aração ao invés de duas, recomendando, assim, um revolvimento moderado, para manter esse tipo de solo em boas condições e bem preparado.

Segundo COOK e PEIKERT (1950) uma das grandes atrações pelo preparo do solo com enxada rotativa, era a possibilidade de se preparar o leito de semeadura em uma única operação, o que representava economia de tempo e de custos. Mas, HENDRICK e GILL (1971a) relatam que as enxadas rotativas representaram um invento que inspirou tanto entusiasmo como controvérsias desde seu desenvolvimento em 1840. Uma das principais críticas às enxadas rotativas, quando utilizadas em operações de preparo do solo, estava relacionada com a excessiva pulverização, instabilidade estrutural e outros problemas que causava no solo (SOANE e PIDGEON, 1975). Todavia MIALHE (1969) afirma que, no uso das enxadas rotativas é importante observar-se que, para cada condição de solo, elas oferecem uma infinidade de condições de regulagem, existindo sempre um conjunto delas que melhor se adapta ao caso em questão. Trabalhos mais conclusivos foram desenvolvidos por HENDRICK e GILL (1971b), onde observaram serem as condições do solo, a relação entre rotação do rotor e velocidade de deslocamento, a configuração das lâminas, a posição e o formato da placa de impacto, os principais fatores a influenciar o grau de desagregação do solo, sendo estes mais importantes que a profundidade de operação. Já ADAMS e FURLONG (1959) apontaram a alta rotação do rotor, como uma das principais causas da redução do diâmetro médio dos torrões do solo.

A criação de uma condição de solo, ou distribuição por tamanho dos torrões desejada, é o principal objetivo do preparo do solo com enxadas rotativas, embora inúmeros fatores possam influenciar significativamente o preparo final obtido (HENDRICK e GILL, 1971c). Segundo COOPER (1971), as enxadas rotativas apresentam, como vantagem sobre os demais equipamentos de preparo do solo, a possibilidade de variação da relação entre a rotação do rotor e a velocidade de deslocamento, poden

do assim, controlar o grau de desagregação do solo. Dessa forma, segundo o autor, utilizando-se as enxadas rotativas com regulagens e operação adequadas, o grau de desagregação do solo não será necessariamente maior do que aquele obtido com outros equipamentos de preparo.

BROWNING (1950) considerava que a desagregação de solos argilosos pesados pela enxada rotativa poderia ser benéfica para a obtenção de altas produções das culturas e GREENE (1946) indagava se o fator compactação do solo era menor no solo mobilizado com enxada rotativa do que naquele preparado por outros meios. HENDRICK (1980) relata que uma das vantagens das enxadas rotativas é que com a diminuição do tráfego dos equipamentos de preparo e a permissão de utilização de tratores mais leves, ocorreria uma redução da compactação do solo.

ZABASHTANSKIY e BRAZILEVSKIY (1975) estudaram os efeitos do preparo do solo com enxada rotativa e arado de aiveca. Os autores concluíram que a intensa desagregação do solo de textura barro-siltosa pela enxada rotativa teve um efeito negativo sobre suas propriedades físicas, devido a pulverização de sua estrutura, o que resultou em elevada compactação. Resultados semelhantes foram obtidos por HUGHES e BAKER (1977), quando compararam os sistemas de preparo com arado, enxada rotativa e semeadura direta em um solo de textura barro-siltosa. Os autores verificaram, através do peneiramento dos agregados a seco e em água, que a deterioração da estrutura do solo tornou-se mais pronunciada nas parcelas mobilizadas com enxada rotativa. Ratificando estes resultados, GAMERO (1982) verificou que, a elevada rotação do rotor associada com a baixa altura do anteparo traseiro da enxada rotativa influenciou negativamente a estabilidade dos agregados de uma Terra Roxa Estruturada, de terminada pelo peneiramento a seco do solo.

Pesquisando o desempenho das enxadas rotativas em solos de textura barro-argilosa, barro-siltosa e barro-argilo-siltosa, CHAMEM *et alii* (1979) verificaram que as leituras efetuadas com penetrômetro de cone indicaram pouca evidência de desenvolvimento de camada compactada no solo, imediatamente abaixo da superfície de ação das lâminas do ro tor, e que as determinações relativas à estrutura do solo, mostraram que as diferenças entre os preparos com enxada rotativa e arado foram peque

nas e variáveis, sendo que evidências estatísticas não foram detectadas. Por outro lado, GAMERO (1982) verificou a ocorrência de um aumento da densidade global do solo, imediatamente abaixo da superfície de ação dos órgãos ativos do rotor da enxada rotativa, em uma Terra Roxa Estruturada.

Vários trabalhos foram desenvolvidos procurando identificar relações entre a máquina, o solo e a planta nos seus mais diferentes aspectos. ORTOLANI (1977) desenvolveu estudos na cultura do milho, utilizando cinco tipos de preparo em um Latossol Vermelho Escuro fase arenosa, com arado e grade convencionais, subsolador e grade pesada, grade pesada, enxada rotativa, e semeadura direta. O autor verificou que não ocorreram contrastes entre as produções obtidas, sendo que a produção mínima de 4.951 kg/ha e a máxima de 5.896 kg/ha ocorreram para os tratamentos com semeadura direta e preparo com enxada rotativa, respectivamente. O autor observou que a altura de inserção da primeira espiga, mostrou correlação linear negativa com o condicionamento físico do solo, obtido pelo tipo de preparo e caracterizado em termos de densidade global por ocasião da semeadura; e que o tombamento de plantas na cultura, por ocasião da colheita, estava diretamente correlacionado com a altura da espiga mais baixa, sendo a semeadura direta o tratamento que apresentou menor percentual de tombamento.

GAMERO *et alii* (1979) estudaram a influência na produção da cultura da soja dos seguintes tipos de preparo: uma aração e duas gradagens, duas gradagens, enxada rotativa, e semeadura direta, em Terra Roxa Estruturada e Latossol Vermelho Escuro fase arenosa. Os autores observaram que não houve influência significativa dos tipos de preparo do solo nas produções da cultura, nos dois solos estudados. Resultados semelhantes são relatados por COAN *et alii* (1982), os quais obtiveram produção de grãos por hectare máxima de 2.257 kg para o tratamento com enxada rotativa e mínima de 2001 kg para o tratamento convencional, embora não se detectassem diferenças significativas entre os mesmos.

Pesquisando os efeitos, na cultura do milho, de diferentes tipos de preparo do solo, da semeadura no sulco compactado pela roda do trator e da semeadura convencional em um Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras, BENEZ (1972) concluiu que a altura final das plantas de

milho sofreu influência dos preparos de solo e dos sistemas de semeadura, havendo correlação positiva entre a altura final e a produção de grãos no tratamento de semeadura convencional.

BERTONI *et alii* (1976) pesquisaram os efeitos dos sistemas de preparo, utilizando dois tipos de arados e duas profundidades de aração, sobre as produções de diversas culturas. Os autores observaram que, para a cultura do milho, a aração efetuada a 30 cm de profundidade foi superior a aração realizada a 10 cm, tanto em Latossol Roxo como em Podzólico Vermelho Amarelo.

Estudando os efeitos do preparo convencional e da semeadura direta em um solo de textura barro-siltosa, sobre o desenvolvimento do sistema radicular e produção da cultura do milho, BARBER (1971) verificou que as plantas que se desenvolveram no tratamento com preparo convencional, produziram mais raízes em profundidade e estas eram mais longas e finas na camada de 0-10 cm de profundidade do solo. Contrariamente, as plantas que se desenvolveram no tratamento com semeadura direta apresentaram menor quantidade de raízes e estas eram mais grossas. O autor observou ainda que o tratamento onde o solo não foi mobilizado, apresentou uma menor produção de grãos. Por outro lado, VEIGA (1975) estudou a influência do cultivo convencional, semeadura direta e combinações de cultivos com palha na superfície, incorporada e semi-incorporada, em um Podzólico Vermelho Amarelo, sobre a distribuição de raízes, desenvolvimento e produtividade da soja. O autor verificou que houve correlação entre a densidade global do solo e a produção de raízes com a massa da parte aérea das plantas, embora nenhum desses parâmetros influenciassem a produção de grãos.

BAUDER *et alii* (1981), pesquisaram durante 10 anos, os efeitos de quatro sistemas de preparo de um solo de textura barro-argilosa, sobre algumas de suas características físicas e na cultura do milho. Os autores verificaram que a máxima penetração das raízes, na camada de 0-30 cm de profundidade, ocorreu para os tratamentos que utilizaram arado de aiveca e arado escarificador, enquanto que a mínima penetração de raízes ocorreu nos tratamentos com gradagem superficial e com semeadura direta. Com base neste estudo, os autores assumem que operações contí

nuas de preparos reduzidos, tais como a semeadura direta ou a gradagem superficial, em sistemas para a produção de milho, podem ser responsáveis pelo desenvolvimento de camadas no solo potencialmente restritivas às raízes. Segundo SOANE e PIDGEON (1975), no sistema de semeadura direta, estas zonas compactadas freqüentemente ocorrem a uma profundidade de cerca de 12 cm de profundidade, apresentando elevada densidade global, baixa porosidade de aeração e alto índice de cone. DICKEY *et alii* (1983) acrescentam ainda que o uso contínuo do sistema de semeadura direta pode resultar em uma redução da produção, especialmente em solos de textura fina e de drenagem pobre, e que a relação entre o índice de cone e a produção de milho indica uma tendência favorável à baixa produção quando este índice é elevado.

DANIEL (1981) desenvolveu estudos sobre o comportamento do milho e da soja, com e sem rotação, cultivados através dos sistemas de semeadura direta e convencional, em duas épocas do ano, com e sem irrigação, em um Latossol Roxo. O autor observou que, no sistema convencional, a densidade global sempre apresentou valores inferiores a condição de solo natural, e que as diferenças observadas, em todos os tratamentos, foram maiores do que aquelas encontradas quando se utilizou o sistema de semeadura direta, o qual chegou a apresentar valores superiores às condições naturais.

As propriedades dos solos são tão variáveis e o efeito produzido por qualquer equipamento de preparo pode diferir com as condições da época em que for utilizado, que se tornam perigosas as generalizações relativas aos méritos dos diferentes equipamentos de preparo do solo (PAGE *et alii*, 1946). As pesquisas relativas ao manejo do solo devem ser acompanhadas para um melhor entendimento e conhecimento das condições do microambiente requerido pelas culturas para a germinação, o desenvolvimento e por último, a produção. Cada prática de preparo, que muda as condições físicas do solo, afeta diferentemente a cultura durante o seu estágio de desenvolvimento e de reprodução (HADAS *et alii*, 1978).

Segundo CASSEL *et alii* (1978), o maior problema encontrado pelos pesquisadores de solos e engenheiros agrícolas, é a dificuldade de quantificar adequadamente as propriedades físicas do solo em con

dições de campo e as relações destas com o desenvolvimento das plantas. Os autores acrescentam que, não somente as medidas de uma dada propriedade física consome tempo e custos, mas também a interpretação dos valores medidos são sempre muito difíceis, devido à faixa de amplitude e à dispersão destes valores.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Campo experimental

O ensaio foi instalado e conduzido na Fazenda Experimental "Presidente Emílio Garrastazu Médici", Campus de Botucatu - UNESP, Estado de São Paulo. O campo experimental foi definido pelas coordenadas geográficas 22°48'33" Latitude Sul, 48°25'43" Longitude Oeste (de Greenwich) e altitude média de 751 m, com exposição face Oeste.

A área vinha sendo cultivada com a cultura do milho até o ano de 1979, sendo que após esta data não houve qualquer mobilização ou limpeza do terreno até a instalação do experimento.

Em 20 e 21/09/83 efetuou-se uma passada com roçadeira mecânica sobre a área e em 22 e 23/09/83 promoveu-se o enleiramento do material vegetal utilizando um ancinho mecânico rotativo. O material en

leirado foi removido para a parte externa da área experimental por um trator de esteiras equipado com ancinho frontal.

3.1.2. Solo

O solo do local foi classificado por CARVALHO *et alii* (1983) como Terra Roxa Estruturada Unidade Lageado, apresentando relevo ondulado e boa drenagem.

A descrição morfológica dos horizontes do perfil do solo é apresentada a seguir.

- A₁ 0-5cm; bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, seco), bruno avermelhado escuro (2,5 YR 2,5/4, úmido); argila; moderada pequena a muito pequena granular; solto, muito plástico e pegajoso; raízes finas e poucas; transição abrupta.
- B₁ 5-25 cm; vermelho escuro (2,5 YR 3/6, seco), bruno avermelhado escuro (2,5 YR 2,5/4, úmido); argila pesada; composta moderada pequena a média blocos subangulares; friável, ligeiramente duro, muito plástico e muito pegajoso; raízes finas e poucas; transição gradual.
- B₂₁ 25-46 cm; bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, seco), bruno avermelhado escuro (2,5 YR 2,5/4, úmido); argila pesada; forte pequena a média blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; firme, duro, muito plástico e muito pegajoso; raízes finas e raras; transição gradual.
- B₂₂ 46-91 cm; bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, seco), bruno avermelhado escuro (2,5 YR 2,5/4, úmido); argila pesada; forte média a grande blocos subangulares; cerosidade moderada e abundante; muito firme, duro, muito plástico e muito pegajoso; raízes finas e raras; transição difusa.

B₃ 91-126 cm⁺; bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, seco), bruno avermelhado escuro (2,5 YR 2,5/4, úmido); argila pesada; maciça que se desfaz em moderada média a grande blocos subangulares; friável, ligeiramente duro, ligeiramente plástico e pegajoso; raízes ausentes.

A classificação dos separados de cada horizonte do perfil do solo, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), é apresentada na Tabela 1. A Tabela 2 contém outras propriedades e características físicas do solo, determinadas para a camada de 0-20 cm de profundidade.

Tabela 1. Classificação dos separados de cada horizonte do perfil do solo, segundo USDA.

Separados	Horizontes				
	A ₁	B ₁	B ₂₁	B ₂₂	B ₃
Areia muito grossa (2-1 mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Areia grossa (1-0,5 mm)	0,3	0,4	0,0	0,2	0,2
Areia média (0,5-0,25 mm)	2,2	1,9	1,0	1,3	0,9
Areia fina (0,25-0,10 mm)	8,0	6,8	4,4	5,6	4,3
Areia muito fina (0,10-0,05 mm)	4,4	4,5	3,4	3,6	3,3
Areia total	14,9	13,6	8,8	10,7	8,7
Silte (0,05-0,002 mm)	29,1	23,6	22,0	25,6	27,3
Argila (< 0,002 mm)	56,0	62,8	69,2	63,6	64,0

Tabela 2. Propriedades e características físicas da camada do solo de 0-20 cm de profundidade.

Ensaio de Proctor	
Umidade ótima (% em massa)	28,86
Densidade global máxima (g/cm^3)	1,53
Índice de vazios	0,98
Limites de consistência (%)	
Limite de liquidez (LL)	44,40
Limite de plasticidade (LP)	28,86
Índice de plasticidade (IP)	15,54
Densidade dos sólidos (g/cm^3)	3,03

3.1.3. Insumos básicos

- a. Calcário e adubo - A análise química do solo da camada de 0-20 cm de profundidade, obtida de uma amostra composta a partir de 30 amostras simples, cujos resultados encontram-se na Tabela 3, indicaram a necessidade de uma dosagem de calcário de 2500 kg/ha e de uma dosagem de adubo de 400 kg/ha de fórmula 8:28:16 na semeadura e de 150 kg/ha de nitrocálcio em cobertura.
- b. Sementes - Utilizou-se sementes de milho híbrido Agrocere (AG-401), com 85% de poder germinativo, determinado antes da operação de semeadura.

- c. Herbicida - O herbicida aplicado em pré-emergência em relação a cultura do milho foi o Primextra 500 FW (Metolachlor e Atrazine), suspensão concentrada, na dosagem de 8 l/ha.
- d. Defensivo - Houve a necessidade de uma aplicação de Decis CE 2,5 (Deltamethrine), inseticida piretroide, na dosagem de 0,3 l/ha, para o controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*)

Tabela 3. Análise química do calcário e do solo (0-20 cm de profundidade).

Calcário (%)	
CaO	25,0
MgO	12,0
PRNT	55,5
Solo (0-20 cm)	
pH	5,40
Matéria orgânica (%)	3,31
H ⁺ (meq/100 g)	5,44
Al ³⁺ (meq/100 g)	1,12
K ⁺ (meq/100 g)	0,32
PO ₄ ³⁻ (meq/100 g)	0,07
Ca ²⁺ (meq/100 g)	3,00
Mg ²⁺ (meq/100 g)	1,15
CTC (meq/100 g)	11,03
V (%)	40,53

3.1.4. Máquinas e implementos

Para instalação e condução do ensaio foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Aplicador de calcário com sistema de distribuição de filetes contínuos.
- Enxada rotativa tipo "rotavator" E-60, linha Ford Blue Line, com 183 cm de largura total, pesando 475 kg, acoplada ao engate de três pontos de um trator Massey-Ferguson 178, acionada pela tomada de potência a uma rotação de 540 rpm, determinada com tacômetro, marca Jaquet, modelo 620, portátil, com escalas de leitura de 30 a 12000 rpm. O rotor da enxada rotativa constituído por 7 flanges, apresentava em cada uma 4 lâminas universais, opostas duas a duas, exceto nas extremidades, onde cada flange continha apenas duas lâminas, como mostra a Figura 1.
- Arado com 3 discos lisos de 71,12 cm (28") de diâmetro, com 90 cm de largura de trabalho efetiva, acoplado ao engate de três pontos de um trator Massey-Ferguson 178.
- Grade de dupla ação, constituída de 2 secções dianteiras com discos recortados e duas secções traseiras com discos lisos, somando um total de 32 discos de 45,72 cm (18") de diâmetro, acoplada ao engate de três pontos de um trator Valmet 85.
- Equipamento para a operação de cultivo mínimo, constituído de um sulcador de dupla aiveca, conjugado com uma linha para sementeira e adubação simultânea à abertura do sulco, acoplado ao engate de três pontos de um trator Massey-Ferguson 50 X.
- Semeadora-adubadora de 4 linhas individuais, marca Jumil, modelo PA-4, acoplada ao engate de três pontos de um trator Valmet 85.
- Pulverizador da marca Hatsuta, modelo H-420, com barra provida de 7 bicos 8002, espaçados de 40 cm entre si e a 50 cm de altura da superfície do solo.
- Pulverizador costal manual, de bombeamento contínuo, marca Jacto, com capacidade de 20 l, provido de bico cônico.
- Trilhadora estacionária marca Eda, modelo TR-Parcela.

Figura 1. Distribuição das lâminas no rotor da enxada rotativa.

3.1.5. Penetrômetro de anel

Para medir a resistência à penetração, da camada do solo imediatamente abaixo da superfície de ação dos órgãos ativos dos equipamentos de preparo, a qual será denominada doravante de soleira, utilizou-se um penetrômetro de anel, modelo CN-970, produzido pela Soiltest. Este aparelho é constituído de uma haste de penetração de 45,72 cm, um anel com capacidade de suporte de 1112,07 N, um indicador da força aplicada, e uma ponta removível na extremidade inferior da haste, cuja área da base e do cone apresentaram as dimensões de 6,34 e

2

24,69 cm , respectivamente.

3.1.6. Penetrógrafo

Para determinar a resistência do solo à penetração, na camada de 0 a 35 cm de profundidade, foi utilizado um penetrógrafo tipo Stiboka, produzido pela Eijkelkamp.

O penetrógrafo (Figura 2) é constituído de uma haste de pressão (2), apresentando em sua extremidade superior duas manoplas desmontáveis (1) onde a força é aplicada. A haste pressiona uma mola (3) que é mantida por dois suportes (4), sendo que na extremidade inferior desta haste encontramos um suporte ajustável, contendo uma pena registradora (5). Esta pena registra a resistência à penetração em N/cm^2 sobre cartões de óxido de zinco. Durante a introdução da haste-sonda (6), o cilindro (7) assume um movimento de rotação provocado por uma haste helicoidal (8). Este movimento transporta o cartão através de um guia (9) ao longo da pena registradora. A haste helicoidal, juntamente com outra haste de secção quadrada (10), estão conectadas a uma placa suporte (11), a qual permanece apoiada na superfície do solo, provocando o movimento de rotação do cilindro ao longo da haste helicoidal, num movimento descendente. A haste-sonda encontra-se rosqueada sob a caixa registradora, apresentando em sua extremidade inferior um cone de penetração (12). O cone utilizado no ensaio apresentava base de $1,0\text{ cm}^2$ e um ângulo na ponta de 60° .

Figura 2. Constituição do penetrômetro utilizado para as determinações da resistência do solo à penetração na camada de 0-35 cm de profundidade.

3.1.7. Outros materiais

No decorrer dos trabalhos de campo e de laboratório, foram utilizados, além dos já citados, os seguintes materiais: molde cilíndrico, soquete e extrator de corpos de prova para a realização do ensaio normal de compactação (ensaio de Proctor); aparelho de Casagrande para a obtenção do limite de liquidez; peneirador automático e jogo de peneiras empregadas na análise granulométrica e para a determinação do módulo de finura, percentagem de agregados acumulada em peneira nº 60 e

em peneira nº 10; jogo de peneiras para a classificação das sementes; bomba de vácuo; picnômetros; termômetros; estufas; balanças, aquecedor de banho-maria elétrico com termostato; vidraria e cronômetro.

3.2. Métodos

3.2.1. Delineamento experimental

O experimento foi constituído de 8 tratamentos de preparo do solo, delineados em blocos casualizados, com 4 repetições, resultando um total de 32 parcelas, conforme pode ser observado na Figura 3.

Cada parcela de preparo constituiu-se de uma área de 200 m² (10x20 m), separadas por carregadores de 5 e 6 m de largura, respectivamente nos sentidos longitudinal e transversal da área experimental.

3.2.2. Tratamentos de preparo do solo

Os tratamentos de preparo do solo foram denominados de R1H1, R1H2, R2H1, R2H2, R3H1, R3H2, PC e CM, onde:

R1 = rotação mínima do rotor (121,50 rpm)

R2 = rotação média do rotor (171,53 rpm)

R3 = rotação máxima do rotor (216,00 rpm)

H1 = anteparo traseiro totalmente levantado (135°)

H2 = anteparo traseiro totalmente abaixado (37°)

PC = preparo convencional (uma aração e duas gradagens)

CM = cultivo mínimo

O anteparo traseiro da enxada rotativa totalmente le-

Figura 3. Esquema do delineamento experimental.

vantado formava um ângulo de 135° com a normal a superfície do terreno, e de 37° quando totalmente abaixado.

A rotação do rotor foi determinada através da seguinte fórmula:

$$V_r = V_t \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot 0,3$$

onde: V_r = rotação do rotor (rpm)

V_t = rotação da tomada de potência do trator (rpm)

E_1 = número de dentes da engrenagem motora

E_2 = número de dentes da engrenagem movida

0,3 = fator de correção (relação de transmissão)

Em todas as parcelas mobilizadas com enxada rotativa, foi utilizada a mesma velocidade de deslocamento de 2,25 km/h em 2ª marcha reduzida, e mesma profundidade de preparo do solo de cerca de 15 cm.

Considerando a velocidade de translação do rotor e a de rotação das lâminas, assim como a distância do gume ao centro do eixo do rotor, foi calculada a dimensão do solo cortada pelas lâminas da enxada rotativa individualmente, segundo MIALHE (1969). Os valores obtidos foram 15,42 cm, 10,93 cm e 9,68 cm, para R1, R2 e R3 respectivamente.

No sistema de preparo convencional a velocidade de deslocamento para a operação de aração foi de 4,17 km/h, mobilizando o solo a uma profundidade média de 20 cm, enquanto que as gradagens foram efetuadas a uma velocidade de 6,88 km/h, com profundidade de operação de cerca de 10 cm.

Nos tratamentos de cultivo mínimo o sulcador de dupla aiveca mobilizou uma secção de solo de 205 cm^2 em média, a uma profundidade de cerca de 12,5 cm. A velocidade de deslocamento do equipamento foi de 3,8 km/h.

A ilustração do perfil do solo mobilizado, nos diferentes tratamentos, é mostrada na Figura 4. Considerando as profundidades de preparo de cada equipamento, o volume do solo mobilizado por hectare pela enxada rotativa, arado e no tratamento de cultivo mínimo foram respectivamente 1500 m^3 , 2000 m^3 e 205 m^3 .

Figura 4. Ilustração do perfil do solo mobilizado nos tratamentos com arado e grade (AG), enxada rotativa (ER) e cultivo mínimo (CM).

Todas as parcelas foram mobilizadas quando o solo apresentava um teor de água de 30,46% em massa, valor este que correspondeu a uma média de 3 determinações por parcela, num total de 96 repetições.

O aspecto da superfície do terreno por ocasião da emergência das plântulas de milho, é mostrado na Figura 5 para o tratamento CM, na Figura 6 para o tratamento PC e na Figura 7 para os tratamentos R1H1 e R3H2.

Figura 5. Aspecto da superfície do terreno no tratamento CM, por ocasião da emergência das plântulas de milho.

Figura 6. Aspecto da superfície do terreno no tratamento PC, por ocasião da emergência das plântulas de milho.

Figura 7. Aspecto da superfície do terreno nos tratamentos R1H1 (à esquerda) e R3H2 (à direita), por ocasião da emergência das plântulas de milho.

3.2.3. Instalação, condução e estádios específicos do desenvolvimento da cultura do milho

A sequência de eventos para a instalação e condução da cultura e os estádios específicos do desenvolvimento das plantas de milho, encontram-se resumidas na Tabela 4.

O espaçamento adotado para a cultura do milho foi de 100 cm entre as linhas, sendo que as semeadoras foram reguladas para liberar de 8 a 9 sementes por metro linear, a uma profundidade de cerca de 12 cm.

Em 24/11/1983 foi efetuado o desbaste, com objetivo de eliminar o excesso de plantas por unidade de área. Nesta operação procurou-se manter cerca de 5 plantas por metro linear.

3.2.4. Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método de sedimentação e peneiramento, conforme o Método Brasileiro MB-32, padronizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.2.5. Determinação da densidade dos sólidos do solo

Para a determinação desta característica física do solo, o procedimento utilizado foi aquele descrito por NOGUEIRA (1973) para solos coesivos, onde primeiramente se calibrou os picnômetros com água destilada a diferentes temperaturas e posteriormente se determinou o volume de sólidos de uma amostra que passou em peneira nº 10 (2,0 mm).

Tabela 4. Seqüência de eventos para a instalação e condução da cultura e estádios específicos do desenvolvimento das plantas de milho.

Datas	Eventos para instalação e condução da cultura e estádios específicos do desenvolvimento
05/10/83	Aplicação e incorporação do calcário (exceto nos tratamentos de cultivo mínimo onde o calcário não foi incorporado)
07/11/83	Preparo do solo nos tratamentos com enxada rotativa e convencional
08/11/83	Semeadura e adubação nos tratamentos com enxada rotativa e convencional
09/11/83	Abertura dos sulcos, semeadura e adubação nos tratamentos de cultivo mínimo
10/11/83	Aplicação do herbicida em pré-emergência
14/11/83	Início da emergência
23/11/83	Aplicação de defensivo para controle da lagarta do cartucho
13/12/83	Adubação manual em cobertura
27/12/83	Primeira inflorescência
11/01/84	Florescimento generalizado
06 e 09/04/84	Colheita manual
13 e 14/04/84	Trilha
16 e 17/04/84	Limpeza final dos grãos por abanação

3.2.6. Ensaio de compactação do solo

A curva de compactação do solo foi determinada através do ensaio de Proctor normal, padronizado pela ABNT, como Método Brasileiro MB-33. Dessa curva obteve-se o valor da densidade global máxima e da umidade correspondente, denominada de umidade ótima, calculando-se a seguir o valor do índice de vazios.

3.2.7. Determinação dos limites de consistência do solo

Para a determinação do limite de liquidez (LL) e do limite de plasticidade (LP) do solo foram utilizados respectivamente os métodos MB-30 e MB-31, padronizados pela ABNT.

O valor do índice de plasticidade (IP) foi obtido através da equação: $IP = LL - LP$

3.2.8. Determinação do teor de água do solo

Em cada parcela do experimento foram coletadas imediatamente após a passagem dos equipamentos de preparo, 3 amostras da camada superficial de 0-20 cm para a determinação do teor de água do solo. Estas amostras foram coletadas na lateral do solo não mobilizado, tendo sido adotado um procedimento idêntico nas parcelas que receberiam os tratamentos de cultivo mínimo. Optou-se pelo método de determinação gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105-110°C até massa constante.

3.2.9. Determinação da densidade global do solo da soleira

Para a determinação da densidade global do solo da soleira produzida pelos equipamentos de preparo, foram coletadas 3 amostras em cada parcela, a uma profundidade de 2 a 3 cm na soleira, sendo que o método utilizado foi o do torrão impermeabilizado com parafina.

Nos tratamentos de cultivo mínimo as amostras foram coletadas a uma profundidade de 15 cm da superfície do solo.

3.2.10. Determinação do índice de vazios e da porosidade total do solo da soleira

Uma vez obtidos os valores da densidade global do solo da soleira (ρ_g) e da densidade dos sólidos (ρ_s), foram calculados os valores do índice de vazios (e) e da porosidade total (n) através de fórmulas desenvolvidas na teoria de mecânica dos solos, como segue:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_g} - 1, \quad n = \frac{\rho_s - \rho_g}{\rho_s} \cdot 100$$

3.2.11. Determinação da resistência do solo da soleira à penetração

Para a determinação da resistência do solo da soleira à penetração foi utilizado um penetrômetro de anel, sendo efetuadas de 5 a 10 leituras de resistência para cada parcela. Estas leituras foram rea

lizadas após a aplicação de força manual, até que toda a ponta cônica do aparelho penetrasse na soleira. Os valores assim obtidos foram levados ao gráfico de calibração do aparelho obtendo-se a resistência do solo à penetração em libras por polegada quadrada, unidade esta que foi convertida para Newton por centímetro quadrado. As leituras efetuadas nos tratamentos de cultivo mínimo foram realizadas a 15 cm de profundidade.

3.2.12. Determinação da resistência do solo à penetração na camada de 0-35 cm de profundidade

Para a determinação da resistência do solo à penetração na camada de 0-35 cm de profundidade foi utilizado um penetrôgrafo tipo Stiboka, o qual traça um gráfico que fornece, ponto a ponto, a resistência do solo à penetração em Newton por centímetro quadrado. Em todas as parcelas, mobilizadas e não mobilizadas, foram efetuados três gráficos em pontos aleatórios.

Calculou-se a resistência média do solo à penetração nas seguintes profundidades: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 cm. Somando-se as resistências nos pontos 0, 5, 10, 15 e 20 cm e dividindo-se por 5 obteve-se a resistência média do solo à penetração na camada de 0-20 cm. Procedimento semelhante foi adotado para determinar a resistência à penetração nas camadas de 25-35 e 0-35 cm de profundidade.

Esta metodologia foi utilizada tanto na fase de instalação do experimento, em 07/11/83, como em 18/09/84, quando se efetuaram 2 leituras por parcela nas linhas, e 2 entre as linhas de plantas, com o objetivo de verificar o comportamento do solo sob os diferentes tratamentos de preparo, por um tempo mais longo do que aquele correspondente ao ciclo da cultura.

Na fase de instalação do experimento o solo apresentou um teor de água (% em massa) de 30,46% e em 18/09/84 de 28,89%, sendo que cada um destes valores correspondeu a uma média de 96 amostragens (3 por parcela).

3.2.13. Peneiramento a seco do solo

O peneiramento a seco foi realizado para determinar a distribuição por tamanho e a estabilidade mecânica dos agregados do solo, método este preconizado por CHEPIL (1962), que afirma que o estado e a estabilidade mecânica dos agregados secos representa um melhor índice da estrutura de campo do que o estado dos agregados primários determinado pelo peneiramento em água. A resistência dos agregados do solo à demolição mecânica pode ser verificada através dos valores da percentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm), que segundo Tiulin, citado por BAVER (1966), é a fração responsável pela estabilidade estrutural do solo e, pelo método de finura, o qual possibilita uma avaliação e comparação do efeito dos tratamentos sobre a agregação.

Em cada parcela do ensaio foi coletada uma amostra de solo de aproximadamente 1,5 kg, a qual, em laboratório, foi seca ao ar e passada em peneira nº 4 (4,76 mm). Deste solo, assim preparado, foram tomadas três subamostras para a determinação do teor de água pelo método gravimétrico padrão e, uma subamostra de 200 g, que foi passada num jogo de peneiras, cujas malhas variaram na seguinte ordem decrescente: 2,00 mm, 1,00 mm, 0,50 mm, 0,25 mm, 0,105 mm e 0,053 mm, respectivamente, peneiras nºs 10, 18, 35, 60, 140 e 270. Durante 10 minutos foi realizado o peneiramento em peneirador automático, regulado para 50 vibrações por minuto. Findo esse tempo, o solo retido em cada peneira foi pesado acumulativamente, eliminando-se a fração que passou através da peneira nº 270 (0,053mm).

Após a recomposição da amostra, efetuou-se o segundo peneiramento, seguindo-se a mesma metodologia anteriormente descrita. Mais uma vez recompos-se a amostra realizando-se o terceiro peneiramento.

O módulo de finura foi obtido somando-se todas as percentagens acumuladas de agregados nas peneiras e dividindo-se por 100, enquanto que a percentagem acumulada de agregados, em peneira nº 60 (0,25 mm) e peneira nº 10 (2,00), foi obtida diretamente das fichas de laboratório.

3.2.14. Determinação da massa de raízes secas

Para a determinação da massa de raízes secas, na fase de maturação da cultura, a primeira condição imposta foi a de encontrar na área 1 da Figura 8, três plantas eqüidistantes 20 cm uma da outra, com ausência de ervas daninhas nas proximidades. Satisfeita esta condição, as plantas foram seccionadas a 30 cm de altura do solo e posteriormente seccionadas rente ao solo, juntamente com suas raízes adventícias, sendo esta parte acondicionada em saco plástico, para posterior separação destas raízes em laboratório.

Linhas 1 e 10 - Bordaduras

Áreas 1, 2 e 3 - Área útil da parcela

Área 1 - Utilizada para determinação da massa de raízes secas

Área 2 - Utilizada para determinação do diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga e altura da planta

Áreas 2 e 3 - Utilizada para determinação da produção de grãos

Figura 8. Delineamento de uma parcela mostrando as posições das linhas de plantas para as diversas observações relativas à cultura.

O esquema utilizado para a coleta das raízes é apresentado na Figura 9, onde um bloco de solo com dimensões de 100 x 20 x 35 cm, correspondentes respectivamente ao comprimento, largura e altura, foi seccionado em camadas de 5 em 5 cm, com uma pá reta, sendo o solo mais raízes de cada camada também acondicionados em sacos plásticos, e transportados para o laboratório.

No laboratório as raízes foram separadas manualmente e secas em estufa, regulada para uma temperatura de 70°C, durante 48 horas. A seguir foram pesadas, obtendo-se assim a massa de raízes adventícias secas e nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 e 30-35 cm de profundidade do solo. Para a análise estatística foram consideradas as massas de raízes secas nas camadas de 0-20, 20-35 e 0-35 cm de profundidade.

Figura 9. Esquema do método utilizado para a coleta de raízes.

3.2.15. Determinação do diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga e altura da planta

Na fase de pré-colheita foi determinado o diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga e altura de 50 plantas na área 2 da Figura 8.

O diâmetro do colo foi medido com paquímetro de precisão de 0,1 mm, na região mediana de maior diâmetro do primeiro meritilo acima das últimas raízes adventícias (Figura 10).

A altura de inserção da primeira espiga foi obtida medindo-se a distância do nível do solo até o internódio gerador da espiga mais baixa, e a altura da planta correspondeu à distância do nível do solo até o ponto mais alto da panícula (Figura 10).

3.2.16. Determinação da percentagem de tombamento e da produção de grãos

A colheita do milho foi realizada manualmente nas áreas 2 e 3 da Figura 8, correspondente a 100 m lineares de cada parcela. Antes de iniciar a operação de colheita, contou-se o número de plantas eretas e caídas, o que possibilitou o cálculo da percentagem de tombamento para cada tratamento.

Após a operação de trilha, o milho em grãos foi pesado e imediatamente foram retiradas 3 amostras para a padronização do teor de água a 12%, o que proporcionou os valores de produção por hectare corrigidos para 12% de teor de água, segundo JOHNSON e TAYLOR (1960). Dividindo-se a produção por hectare pela população de plantas por hectare, obteve-se a produção por planta em gramas.

Figura 10. Locais das medidas efetuadas nas plantas de milho. Diâmetro do colo (A), altura de inserção da primeira espiga (B) e altura da planta (C).

3.2.17. Análise das sementes

Para a análise das sementes, foi tomada uma amostra de cada tratamento e repetições, de aproximadamente 2,0 kg. As sementes de cada amostra foram classificadas através de peneiras de crivos oblongos e circulares, a saber: 16 x 3/4" (6,35 x 19,05 mm) e 14 x 3/4" (5,56 x 19,05 mm) de crivos oblongos e 24" (9,53 mm), 22" (8,73 mm), 20" (7,94 mm), 18" (7,14 mm) e 16" (6,35 mm) de crivos circulares. Com a massa das sementes retidas em cada peneira, calcularam-se as percentagens correspondentes.

A massa de 100 sementes foi obtida desprezando-se as sementes retidas na peneira 16 x 3/4" e aquelas que atravessaram a peneira 16" (fundo). Para cada parcela de cada tratamento, foram tomadas 8 amostras de 100 sementes para a determinação da massa, de acordo com as regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1976).

3.2.18. Balanço hídrico

O balanço hídrico, pelo método de THORNTHWAITE e MATHER (1955), foi elaborado a partir dos dados coletados no posto meteorológico da Fazenda Experimental "Presidente Emílio Garrastazu Médici". Foram considerados períodos de 10 dias para todos os cálculos, sendo o balanço hídrico apresentado na Figura 11, juntamente com alguns estádios específicos do desenvolvimento da cultura.

3.2.19. Análise estatística

Foi realizada análise de variância para todos os dados obtidos, exceto para a percentagem acumulada de agregados em peneira nº 60 (0,25 mm) e nº 10 (2,00 mm) e módulo de finura, aplicando-se o teste de Tukey para comparar os resultados entre tratamentos. Os valores da

Figura 11. Balanço hídrico e estádios específicos do desenvolvimento da cultura do milho.

massa de raízes secas da parcela R3H2 do Bloco I foram considerados como parcela perdida, devido a natureza dos valores obtidos, sendo calculados segundo GOMES (1982) para a realização da análise.

Em virtude da natureza dos dados de percentagem acumulada de agregados em peneira nº 60 e nº 10 e do módulo de finura, aplicou-se aos mesmos uma análise estatística não paramétrica (teste de Friedman) segundo CAMPOS (1976). No Apêndice 1 encontram-se os níveis mínimos de significância estatística aplicados aos três parâmetros.

As correlações simples entre os diferentes parâmetros analisados foram calculadas pelo método de Pearson, segundo SNEDECOR e COCHRAN (1978), sendo tabuladas apenas aquelas significativas a 5% de probabilidade, ou seja, iguais ou superiores a $|0,3493|$.

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas tabelas com as médias dos valores obtidos e estimados para cada tratamento, juntamente com os parâmetros que possibilitaram as análises estatísticas. Os valores originais, determinados em cada parcela do experimento, encontram-se nos Apêndices.

Os resultados e suas discussões, serão apresentados, tanto quanto possível, seguindo a ordem cronológica dos eventos.

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios dos parâmetros determinados na soleira produzida pelos equipamentos de preparo e da resistência à penetração nas camadas de 0-20, 25-35 e 0-35 cm de profundidade do solo. Os valores da resistência à penetração nas camadas de 0-20, 25-35 e 0-35 cm de profundidade do solo, na linha e na entrelinha de semeadura, determinados em 18/09/84, estão contidos na Tabela 6.

Nas Tabelas 7, 8 e 9 são apresentados, respectivamente, os valores da percentagem acumulada de agregados em peneira nº 60 (0,25 mm), em peneira nº 10 (2,00 mm) e do módulo de finura dos agrega-

dos obtidos através do peneiramento a seco do solo.

A Tabela 10 mostra os valores médios da massa de raízes adventícias secas e nas camadas de 0-20, 20-35 e 0-35 cm de profundidade do solo, obtidos para cada tratamento.

Os valores médios do diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga, altura da planta, percentagem de tombamento, população, produção por hectare e produção por planta, encontram-se na Tabela 11.

Os valores determinados por ocasião da análise das sementes, estão contidos na Tabela 12.

A Tabela 13 apresenta as correlações significativas, ao nível de 5% de probabilidade, entre os diferentes parâmetros analisados, onde "C" corresponde às correlações simples entre dois parâmetros e "r" aos coeficientes de correlação determinados pelo método de Pearson.

Tabela 5. Valores médios, para cada tratamento, dos parâmetros determinados na soleira produzida pelos equipamentos de preparo e da resistência à penetração nas camadas de 0-20, 25-35 e 0-35 cm de profundidade do solo.

Determinações	Tratamentos										Análise de variância		
	R1H1	R1H2	R2H1	R2H2	R3H1	R3H2	PC	CM	F Trat.	T.5%	C.V.		
Resistência à penetração na soleira (N/cm ²)	101,17 ab	95,62 ab	112,88 a	106,72 ab	108,62 ab	115,07 a	97,55 ab	79,05 b	2,67*	33,62	13,92		
Densidade global na soleira(g/cm ³)	1,44 a	1,40 a	1,39 a	1,38 a	1,40 a	1,38 a	1,38 a	1,37 a	1,92	0,08	2,34		
Porosidade total na soleira (%)	52,39 a	53,80 a	54,21 a	54,54 a	53,72 a	54,29 a	54,38 a	54,71 a	1,85	2,57	2,02		
Índice de vazios na soleira	1,10 a	1,16 a	1,18 a	1,20 a	1,16 a	1,19 a	1,19 a	1,21 a	1,90	0,12	4,13		
Resistência à penetração (0-20 cm) (N/cm ²)	80,47 b	74,60 b	54,02 b	59,17 b	62,97 b	80,67 b	89,15 b	241,95 a	35,33*	48,88	22,25		
Resistência à penetração (25-35cm) (N/cm ²)	228,30 a	256,52 a	270,80 a	262,63 a	232,85 a	265,40 a	250,10 a	234,55 a	2,59*	48,18	8,14		
Resistência à penetração (0-35cm) (N/cm ²)	135,88 b	142,80 b	135,30 b	135,45 b	126,67 b	149,95 b	149,50 b	239,17 a	25,50*	33,86	9,43		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 6. Valores médios, para cada tratamento, da resistência à penetração (N/cm^2) nas camadas de 0-20, 25-35 e 0-35 cm de profundidade do solo, na linha e na entrelinha de semeadura, em 18/09/84.

Determinações	Tratamentos										Análise de variância		
	R1H1	R1H2	R2H1	R2H2	R3H1	R3H2	PC	CM	F Trat.	T.5%	C.V.		
0-20 cm linha	429,13 a	375,02 a	406,13 a	368,13 a	406,05 a	414,97 a	350,13 a	389,15 a	1,54	100,98	10,88		
25-35 cm linha	371,25 a	431,97 a	409,00 a	374,47 a	413,02 a	372,82 a	392,52 a	361,35 a	1,27	104,73	11,33		
0-35 cm linha	407,42 a	396,40 a	407,20 a	370,52 a	408,70 a	399,17 a	366,05 a	378,70 a	1,08	79,36	8,57		
0-20 cm entrelinha	367,10 a	381,32 a	350,57 a	351,13 a	421,38 a	348,68 a	326,57 a	425,92 a	2,36	110,26	12,55		
25-35cm entrelinha	401,25 a	426,30 a	393,13 a	396,97 a	411,45 a	370,42 a	391,63 a	408,38 a	0,92	81,26	8,59		
0-35 cm entrelinha	379,90 a	398,25 a	366,52 a	368,32 a	417,65 a	356,82 a	351,05 a	419,35 a	2,65*	77,39	8,56		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 7. Valores da percentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm), da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco.

Tratamentos	Peneiramento	Blocos			
		1	2	3	4
R1H1	A	89,35	89,36	87,74	87,80
	B	88,68	89,10	87,77	87,55
	C	88,58	88,61	87,12	87,40
R1H2	A	88,64	79,61	76,89	89,86
	B	88,41	78,75	76,83	89,31
	C	88,13	77,75	77,04	88,73
R2H1	A	84,50	82,20	83,47	84,31
	B	83,88	82,21	82,94	84,57
	C	83,73	81,70	82,18	84,44
R2H2	A	87,22	83,00	78,90	83,61
	B	86,90	82,69	78,24	83,18
	C	86,05	82,40	77,44	82,73
R3H1	A	82,30	80,76	70,23	79,69
	B	82,19	80,79	70,49	79,80
	C	81,81	80,83	70,27	79,70
R3H2	A	77,94	72,06	84,75	82,06
	B	77,95	72,29	84,30	82,16
	C	77,62	72,41	84,31	81,76
PC	A	87,55	86,24	93,60	82,30
	B	86,83	85,35	93,12	82,39
	C	86,56	85,41	92,67	81,37
CM	A	90,11	93,11	89,75	87,50
	B	89,68	92,55	89,45	87,33
	C	89,50	91,93	89,47	86,83

A - Primeiro peneiramento da amostra

B - Segundo peneiramento após recomposição da amostra

C - Terceiro peneiramento após nova recomposição da amostra

Tabela 8. Valores da percentagem acumulada de agregados em peneira número 10 (2,00 mm), da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco.

Tratamentos	Peneiramento	Blocos			
		1	2	3	4
R1H1	A	28,00	21,10	23,16	17,09
	B	26,26	20,19	22,52	16,52
	C	25,40	20,05	21,67	15,73
R1H2	A	29,39	9,64	8,23	18,88
	B	27,77	9,02	7,93	18,25
	C	26,90	8,56	7,36	17,40
R2H1	A	18,81	17,24	15,80	12,71
	B	17,99	15,77	14,91	12,18
	C	17,15	15,08	14,29	11,79
R2H2	A	19,80	14,45	11,49	20,47
	B	18,46	13,47	10,67	19,35
	C	17,65	12,96	10,27	18,96
R3H1	A	21,71	15,80	7,21	11,57
	B	20,94	15,16	6,94	11,07
	C	20,16	14,74	6,45	10,98
R3H2	A	12,30	12,39	18,39	17,56
	B	11,29	11,49	17,45	16,84
	C	10,79	11,12	17,16	16,06
PC	A	26,66	20,16	25,55	9,95
	B	25,18	18,93	24,61	9,56
	C	24,38	18,56	23,90	9,00
CM	A	28,80	15,70	19,07	20,79
	B	27,10	14,76	18,18	19,82
	C	26,15	14,00	17,96	19,23

A - Primeiro peneiramento da amostra

B - Segundo peneiramento após recomposição da amostra

C - Terceiro peneiramento após nova recomposição da amostra

Tabela 9. Valores do módulo de finura dos agregados da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco.

Tratamentos	Peneiramento	Blocos			
		1	2	3	4
R1H1	A	4,37	4,24	4,26	4,11
	B	4,33	4,21	4,24	4,09
	C	4,30	4,20	4,21	4,07
R1H2	A	4,41	3,65	3,54	4,23
	B	4,38	3,62	3,54	4,20
	C	4,36	3,60	3,53	4,17
R2H1	A	4,01	3,92	3,92	3,90
	B	3,99	3,89	3,89	3,90
	C	3,96	3,86	3,85	3,89
R2H2	A	4,13	3,87	3,68	4,04
	B	4,09	3,85	3,64	4,01
	C	4,05	3,82	3,62	3,98
R3H1	A	4,01	3,85	3,34	3,75
	B	4,01	3,85	3,34	3,74
	C	3,99	3,83	3,34	3,73
R3H2	A	3,69	3,50	4,02	3,92
	B	3,67	3,50	3,99	3,92
	C	3,65	3,50	3,99	3,89
PC	A	4,26	4,08	4,48	3,76
	B	4,22	4,04	4,44	3,76
	C	4,19	4,03	4,42	3,73
CM	A	4,44	4,24	4,21	4,20
	B	4,39	4,20	4,19	4,18
	C	4,36	4,17	4,19	4,15

A - Primeiro peneiramento da amostra

B - Segundo peneiramento após recomposição da amostra

C - Terceiro peneiramento após nova recomposição da amostra

Tabela 10. Valores médios, para cada tratamento, da massa de raízes adventícias secas e nas camadas de 0-20, 20-35 e 0-35 cm de profundidade do solo (g).

Determinações	Tratamentos								Análise de variância		
	R1H1	R1H2	R2H1	R2H2	R3H1	R3H2	PC	CM	F Trat.	T.5%	C.V.
Adventícias	3,38 ab	3,22 ab	2,28 ab	3,48 ab	4,93 a	1,65 ab	2,75 ab	0,93 b	2,30	3,87	57,35
0-20 cm	19,80 ab	25,08 a	21,00 ab	21,56 ab	22,38 ab	22,22 ab	23,76 a	13,00 b	3,33*	9,55	18,97
20-35 cm	1,86 a	1,29 a	1,49 a	1,38 a	1,46 a	1,42 a	2,07 a	0,99 a	0,94	1,64	45,85
0-35 cm	21,67 ab	26,38 a	22,49 ab	22,94 ab	23,85 ab	23,64 ab	25,83 a	13,99 b	3,31*	10,03	18,60

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

Tabela.11. Valores médios, para cada tratamento, do diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga, altura da planta, percentagem de tombamento, população, produção (kg/ha) e produção (g/planta).

Determinações	Tratamentos								Análise variância		
	R1H1	R1H2	R2H1	R2H2	R3H1	R3H2	PC	CM	F Trat.	T.5%	C.V.
Diâmetro do colo (cm)	2,38 a	2,42 a	2,39 a	2,41 a	2,36 a	2,32 a	2,49 a	1,91 b	20,43*	0,19	3,36
Altura inserção 1ª espiga (m)	1,53 a	1,51 a	1,45 ab	1,52 a	1,45 ab	1,44 ab	1,46 ab	1,25 b	3,78*	0,22	6,36
Altura da planta (m)	2,75 a	2,74 a	2,67 a	2,76 a	2,68 a	2,60 ab	2,63 a	2,31 b	4,64*	0,32	5,12
Tombamento (%)	10,0 ab	9,5 ab	8,0 ab	13,5 a	8,0 ab	9,5 ab	7,0 ab	2,5 b	3,63*	7,74	38,51
População (plantas/ha)	46950 a	48525 a	47300 a	49225 a	48000 a	47575 a	48575 a	51700 a	1,96	5067,2	4,42
Produção (kg/ha)	4914,3 a	4934,8 a	4664,2 ab	4902,2 a	4658,0 ab	4633,2 ab	4360,3 ab	3740,4 b	3,14*	1063,0	9,77
Produção (g/pl.)	103,89 a	101,58 a	98,56 a	99,31 a	97,12 a	97,46 a	89,84 a	72,42 b	11,11*	14,19	6,32

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 12. Valores médios, para cada tratamento, da percentagem de sementes retidas nas peneiras 16x3/4" e 14x3/4" de crivos oblongos e 24", 22", 20", 18" e 16" de crivos circulares e massa de 100 sementes após eliminação do fundo e das sementes retidas em peneira 16x3/4".

Determinações	Tratamentos										Análise de variância		
	R1H1	R1H2	R2H1	R2H2	R3H1	R3H2	PC	CM	F	T.5%	C.V.	Trat.	C.V.
Peneira 16x3/4"	5,41 a	6,00 a	5,91 a	5,65 a	5,69 a	5,35 a	6,93 a	4,93 a	0,36	4,64	34,20		
Peneira 14x3/4"	11,28 a	10,83 a	10,90 a	10,69 a	10,59 a	9,94 a	11,99 a	10,41 a	0,47	4,21	16,44		
Peneira 24"	4,63 a	4,81 a	5,23 a	4,52 a	3,95 a	3,42 a	4,24 a	3,16 a	1,64	2,59	25,81		
Peneira 22"	19,97 a	18,69 a	20,13 a	20,31 a	20,54 a	16,46 a	19,39 a	15,63 a	2,56*	5,51	12,34		
Peneira 20"	32,46 a	31,69 a	32,11 a	33,07 a	31,56 a	33,49 a	31,29 a	30,91 a	0,93	4,38	5,77		
Peneira 18"	19,83 a	20,79 a	19,61 a	19,59 a	21,03 a	23,14 a	19,90 a	25,45 a	2,38	6,42	12,82		
Peneira 16"	4,62 b	5,09 ab	4,44 b	4,43 b	4,77 b	5,82 ab	4,11 b	7,32 a	4,37*	2,36	19,68		
Massa de 100 sementes	29,12 a	28,44 ab	28,98 ab	28,72 ab	28,22 ab	27,26 ab	29,19 a	26,65 b	3,17*	2,45	3,65		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 13. Correlações significativas ao nível de 5% de probabilidade entre os diferentes parâmetros analisados

01. Tombamento	08. Massa de raízes (0-20 cm)
02. Diâmetro do colo	09. Massa de raízes (20-35 cm)
03. Altura da primeira espiga	10. Massa de raízes (0-35 cm)
04. Altura da planta	11. Resistência à penetração (0-20 cm)
05. Produção por planta	12. Resistência à penetração (25-35 cm)
06. Produção por hectare	13. Resistência à penetração (0-35 cm)
07. Massa de raízes adventícias	14. Massa de 100 sementes

C	r	C	r	C	r	C	r	C	r
01 x 02 =	0,4687	02 x 05 =	0,6754	03 x 06 =	0,6925	05 x 07 =	0,4781	07 x 08 =	0,5421
01 x 03 =	0,4740	02 x 06 =	0,5116	03 x 07 =	0,4257	05 x 08 =	0,4621	07 x 10 =	0,5450
01 x 04 =	0,4553	02 x 07 =	0,4902	03 x 11 =	-0,7592	05 x 10 =	0,4726	07 x 11 =	-0,4109
01 x 05 =	0,5289	02 x 08 =	0,6771	03 x 13 =	-0,7375	05 x 11 =	-0,6830	07 x 13 =	-0,4629
01 x 06 =	0,3731	02 x 10 =	0,6914	04 x 05 =	0,7291	05 x 13 =	-0,6585	08 x 10 =	0,9923
01 x 07 =	0,4253	02 x 11 =	-0,7781	04 x 06 =	0,7960	05 x 14 =	0,5483	08 x 11 =	-0,4352
01 x 11 =	-0,5702	02 x 13 =	-0,7659	04 x 07 =	0,4785	06 x 07 =	0,4155	08 x 13 =	-0,4221
01 x 13 =	-0,5658	02 x 14 =	0,5416	04 x 11 =	-0,7767	06 x 11 =	-0,5601	10 x 11 =	-0,4522
02 x 03 =	0,6091	03 x 04 =	0,9490	04 x 13 =	-0,7504	06 x 13 =	-0,4963	10 x 13 =	-0,4416
02 x 04 =	0,6972	03 x 05 =	0,6097	04 x 14 =	0,3537	06 x 14 =	0,4531	11 x 13 =	0,9723
				05 x 06 =	0,8524				

5. DISCUSSÃO

5.1. Parâmetros determinados na soleira

Comparando-se, pelo teste de Tukey, os valores contidos na Tabela 5, referentes à resistência do solo à penetração, na soleira produzida pelos equipamentos de preparo, constatou-se que os tratamentos R2H1 e R3H2 diferiram significativamente do tratamento CM, embora todos os outros valores obtidos para os tratamentos com enxada rotativa e preparo convencional tenham se mostrado superiores ao valor referente ao tratamento CM. Verificou-se ainda que não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos com enxada rotativa e entre estes e o de preparo convencional.

Os valores de densidade global, porosidade total e índice de vazios, apresentados na Tabela 5, não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos analisados. Observou-se porém, que o tratamento CM apresentou um valor médio de densidade global do solo ligeiramente inferior dos demais tratamentos. Este efeito também pôde ser ob

servado analisando-se os resultados de porosidade total e de índice de vazios, cujos valores foram sempre superiores para o tratamento CM, em relação aos demais tratamentos.

A análise estatística aplicada a todos os parâmetros determinados no solo da soleira, mostrou diferenças significativas apenas para os valores referentes à resistência à penetração, quando foram confrontados os tratamentos R2H1 e R3H2 com o tratamento CM. Observou-se entretanto, que todos os tratamentos de preparo com enxada rotativa e convencional, mostraram valores que indicaram a ocorrência de um pequeno processo de compactação na camada do solo imediatamente abaixo da camada mobilizada, quando comparados com o tratamento não mobilizado (CM). A indução destas camadas compactadas, ou soleiras, produzidas pelos equipamentos de preparo do solo, foram preconizadas por RANEY e ZINGG (1957), ROO (1960), MECH *et alii* (1967), STIBBE e ARIEL (1970), BAVER *et alii* (1973), CASSEL e NELSON (1979), GAULTNEY *et alii* (1982) e STITT *et alii* (1982), sendo verificada por BAUDER *et alii* (1981) e GAMERO (1982).

5.2. Resistência do solo à penetração

Os resultados da resistência do solo à penetração nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade, determinados por ocasião da instalação do ensaio e apresentados na Tabela 5, mostraram diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, quando foram confrontados os tratamentos de preparo com enxada rotativa e convencional, com o tratamento não mobilizado (CM). Comparando-se as médias de todos os tratamentos, obtidas na camada de 25-35 cm de profundidade, também contidas na Tabela 5, não foram detectadas diferenças estatísticas.

Analisando-se os valores contidos na Tabela 6, referentes à resistência do solo à penetração, nas camadas de 0-20, 0-35 e 25-35 cm de profundidade, determinados na linha e na entrelinha de semeadura em 18/09/84, verificou-se que não ocorreu nenhum contraste estatísti-

co significativo entre os tratamentos.

Este fato permite afirmar que a desagregação promovida pelas operações de preparo, provocaram uma diminuição temporária da resistência do solo à penetração na camada mobilizada, uma vez que, decorrido um certo espaço de tempo, ocorreu uma recompactação do solo, atingindo este, valores de resistência à penetração, semelhantes ao do solo não mobilizado, conforme pode ser observado nas Figuras 12 e 13, que mostram as curvas de resistência média, para cada tratamento, na camada de 0-35 cm de profundidade. Este comportamento da camada do solo mobilizada também foi verificado por SHEAR e MOSCHLER (1969), BENEZ (1980) e THREADGILL (1982).

5.3. Estabilidade dos agregados

Aplicando-se o teste de Friedman aos valores contidos nas Tabelas 7, 8 e 9, referentes respectivamente, à percentagem acumulada de agregados em peneira nº 60, peneira nº 10 e ao módulo de finura, observou-se comportamentos semelhantes quando se comparou todos os tratamentos.

Analisando-se os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa, verificou-se que aqueles que incluíram rotação máxima de rotor (R3), associada com o anteparo traseiro totalmente levantado (H1) e totalmente abaixado (H2), evidenciaram decréscimos nos três parâmetros analisados, a níveis estatisticamente diferentes daqueles obtidos para o tratamento que incluiu rotação mínima do rotor (R1) associada com o anteparo traseiro totalmente levantado (H1). Este efeito evidenciou que a maior rotação do rotor da enxada rotativa, provocou uma diminuição da estabilidade dos agregados naturais do solo, que passaram em peneira nº 4, quando foram comparados com o tratamento de menor rotação do rotor.

Observações idênticas foram constatadas quando se comparou os dois tratamentos que incluíram rotação máxima do rotor da enxada

Figura 12. Resistência do solo à penetração (N/cm^2) na instalação do ensaio (—) e em 18/09/84 na linha (---) e na entrelinha (-.-.-) de semeadura, na camada de 0-35 cm de profundidade, nos tratamentos R1H1, R1H2, R2H1 e R2H2.

Figura 13. Resistência do solo à penetração (N/cm^2) na instalação do ensaio (—) e em 18/09/84 na linha (---) e na entrelinha (-.-.-) de semeadura, na camada de 0-35 cm de profundidade, nos tratamentos R3H1, R3H2, PC e CM.

rotativa com os tratamentos de preparo convencional e de cultivo mínimo (solo não mobilizado).

Os valores referentes à percentagem acumulada de agregados em peneira nº 60 e ao módulo de finura, também evidenciaram diferenças estatísticas significativas, quando foram confrontados os tratamentos que incluíram rotação média do rotor, independentemente das alturas do anteparo traseiro da enxada rotativa, com o tratamento de cultivo mínimo, verificando-se para estes parâmetros, que a rotação média do rotor promoveu uma diminuição da estabilidade dos agregados do solo, quando comparada com o tratamento não mobilizado. Este efeito não foi detectado quando se comparou os tratamentos com rotação média do rotor da enxada rotativa, com os tratamentos de preparo convencional e os que incluíram rotação mínima do rotor.

Esta análise permitiu constatar que, em termos de estabilidade dos agregados do solo e nas condições do ensaio, não ocorreram diferenças entre os tratamentos que incluíram rotações mínimas do rotor da enxada rotativa, sistema de preparo convencional e de cultivo mínimo, evidenciando que a rotação máxima do rotor da enxada rotativa não deve ser indicada para operações de preparo periódico do solo utilizado neste ensaio, nas condições em que foi desenvolvido. Por outro lado, considerando que a estrutura natural do solo, em condições de campo e de não mobilização periódica, é aquela que o resguarda da deterioração de suas características físicas, não deve ser recomendada, neste caso, a rotação média do rotor do equipamento.

Estes fatos tornam evidentes os efeitos dos tratamentos que realizaram um trabalho mais enérgico na camada do solo mobilizada e estão de acordo com MOODY *et alii* (1961), SOANE e PIDGEON (1975), ZABASHTANSKIY e BRAZILEVESKIY (1975), HUGHES e BAKER (1977) e GAMERO (1982), sendo corroborados por MACHADO (1976), BEZERRA (1978) e KEMPER e DERPSCH (1981). Confirma-se, portanto, a observação de MIALHE (1969) de que, por ocasião da utilização das enxadas rotativas é importante observar-se que, para cada condição de solo, elas oferecem uma infinidade de condições de regulagens, existindo sempre um conjunto delas que melhor se adapta ao caso em questão, sendo que, segundo COOPER (1971),

com regulagens e operação adequadas, o grau de desagregação do solo pelas enxadas rotativas, não será necessariamente maior do que aquele obtido com outros equipamentos de preparo.

5.4. Massa de raízes secas

Os valores médios referentes à massa de raízes secas para cada tratamento, juntamente com os parâmetros que permitiram a análise estatística, são encontrados na Tabela 10.

Observa-se que a massa de raízes adventícias secas, mostrou diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, apenas quando foram confrontados os tratamentos R3H1 e CM, verificando-se que o coeficiente de variação da análise de variância foi muito elevado para um experimento de campo (57,35%) segundo GOMES (1982). Por outro lado, uma análise global dos valores de massa de raízes adventícias secas, obtidos para cada tratamento, permite observar que foram sensivelmente superiores nos tratamentos de preparo com enxada rotativa e convencional, quando comparados com o tratamento de cultivo mínimo.

Analisando-se os resultados obtidos para a massa de raízes secas nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo, constata-se que apenas os tratamentos RLH2 e PC diferiram significativamente do tratamento CM. Verifica-se, entretanto, que todos os demais valores obtidos para os tratamentos de preparo com enxada rotativa, foram visivelmente superiores àqueles obtidos para o tratamento CM.

Na camada de 20-35 cm de profundidade do solo, não foram evidenciadas diferenças estatísticas entre nenhum dos tratamentos, observando-se que a análise de variância apresentou, também neste caso, um coeficiente de variação bastante elevado (45,85%).

Na Figura 14 pode-se observar a distribuição de raízes, em massa de matéria seca, na camada de 0-35 cm de profundidade do solo e na Figura 15 a distribuição percentual nesta mesma camada. A Figura

Figura 14. Distribuição da massa de raízes secas, para cada tratamento, na camada de 0-35 cm de profundidade do solo.

Figura 15. Distribuição percentual de raízes secas, para cada tratamento, na camada de 0-35 cm de profundidade do solo.

14, evidencia que os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa e convencional, proporcionaram maiores massas de raízes secas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade, quando comparados com o tratamento CM. Confrontando-se os valores representados nas Figuras 14 e 15 para o tratamento CM, observa-se que na camada de 0-35 cm de profundidade, a distribuição percentual de raízes, com base na massa de matéria seca total, foi sensivelmente maior nas camadas superficiais do solo, evidenciando que tal tratamento, além de mostrar uma menor produção de raízes, estas se concentraram em maior percentagem nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram observados para plantas de centeio por BAKERMANS e WIT (1970).

Este fato deve estar relacionado com a maior resistência à penetração na camada de 0-20 cm de profundidade do solo, apresentada pelo tratamento CM por ocasião da instalação do ensaio, quando comparado com os demais tratamentos, conforme pode ser verificado na Tabela 5. Observa-se ainda na Tabela 13, a ocorrência de correlações negativas, significativas ao nível de 5% de probabilidade, entre os valores da resistência à penetração nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo e as massas de raízes secas nestas mesmas camadas, o que também foi verificado por PHILLIPS e KIRKHAN (1962) e é relatado por OUWERKERK e BOONE (1970), CANNEL (1977) e VINE e LAL (1981).

O efeito negativo da maior resistência do solo sobre o desenvolvimento do sistema radicular das plantas é relatado por LARSON e ALLMARAS (1971) e foi observado por BERTRAND e KOHNKE (1957), HENRY e McKIBBEN (1967), BARBER (1971) e BAR-YOSEF e LAMBERT (1981) para plantas de milho, e por VEIHMEYER e HENDRICKSON (1948), TROUSE e HUMBERT (1961), ZIMMERMAN e KARDOS (1961), GHOHMANN e QUEIROZ NETO (1966), STIBBE e ARIEL (1970), GERARD *et alii* (1972), BACCHI (1976) e BENEZ *et alii* (1979) para outras espécies de plantas.

Observa-se, também na Tabela 13, que os valores referentes à massa de raízes adventícias secas, correlacionaram-se positivamente com os referentes à massa de raízes secas nas camadas 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo e negativamente com as resistências à penetração nestas camadas.

5.5. Diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga, altura da planta, percentagem de tombamento e população de plantas

Os valores médios dos parâmetros que serão discutidos neste item, assim como um resumo da análise estatística, são apresentados na Tabela 11. Na Tabela 13 estão contidos os coeficientes das correlações simples.

A análise estatística dos valores obtidos para o diâmetro do colo das plantas de milho, não mostraram a ocorrência de diferenças significativas pelo teste de Tukey, quando foram comparados os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa e convencional. Mas, quando estes tratamentos foram confrontados com o tratamento de cultivo mínimo, evidenciou-se diferenças estatísticas entre eles, demonstrando que as plantas que se desenvolveram em condições de solo mobilizado, apresentaram um diâmetro do colo maior do que aquelas cultivadas sob o sistema de cultivo mínimo.

Foram encontradas correlações positivas, significativas ao nível de 5% de probabilidade, entre os resultados obtidos para o diâmetro do colo e aquelas referentes à massa das raízes adventícias secas e das raízes secas nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo, indicando que quanto maior a produção de raízes pelas plantas de milho, maior deverá ser o diâmetro do colo apresentado. Também foram encontradas correlações negativas significativas, entre as resistências à penetração nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo e os valores de diâmetro do colo, o que permite inferir que o aumento da resistência à penetração e conseqüente redução da produção de raízes, induz a um menor diâmetro do colo das plantas.

Os valores referentes à altura de inserção da primeira espiga, não apresentaram diferenças estatísticas, quando foram confrontados os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa e convencional. Verificou-se entretanto, que os tratamentos R1H1, R1H2 e R2H2 diferiram

significativamente do tratamento CM e que os tratamentos R2H1, R3H1, R3H2 e PC apresentaram valores sempre superiores àquele obtido para o tratamento de cultivo mínimo, tangenciando o nível mínimo de significância estatística. Este fato permite observar que o condicionamento físico do solo, por ocasião da operação de semeadura, influenciou na altura de inserção das primeiras espigas, sendo que as plantas que se desenvolveram em condições de solo mobilizado apresentaram espigas mais altas.

Foram obtidas correlações positivas significativas entre os valores de altura de inserção da primeira espiga e aqueles referentes a massa de raízes adventícias secas, e negativas com os resultados de resistência à penetração nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo, evidenciando que a produção de raízes adventícias e a resistência do solo à penetração se relacionaram com a maior ou menor altura de inserção da primeira espiga, o que concorda com ORTOLANI (1977) que verificou que o condicionamento físico do solo, por ocasião da operação de semeadura, influenciou os resultados obtidos para a altura de inserção das espigas mais baixas.

Analisando-se os valores referentes às alturas das plantas, verificou-se que entre os tratamentos mobilizados com enxada rotativa e convencional não ocorreram diferenças estatísticas significativas quando foi aplicado o teste de Tukey. Observou-se porém, que o tratamento de cultivo mínimo foi inferior, estatisticamente, aos tratamentos mobilizados, exceto quando comparado ao tratamento R3H2, embora este apresente-se valor de altura da planta superior ao do tratamento CM, o que evidencia que os tratamentos que sofreram operações de preparo do solo, propiciaram melhores condições para o desenvolvimento das plantas em altura.

Na Tabela 13 pode ser verificado que a altura das plantas se correlacionou positivamente com a produção de raízes adventícias, e negativamente com as resistências à penetração nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo, mostrando que, neste caso, quanto maior a resistência do solo à penetração e menor a produção de raízes adventícias, haverá tendência de redução na altura das plantas.

Os resultados obtidos para a percentagem de tombamento das plantas não apresentaram diferenças significativas, quando foram confrontados

tados os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa e convencional. Mas quando estes foram comparados com o tratamento de cultivo mínimo, observou-se diferença significativa somente em relação ao tratamento R2H2, embora os demais tratamentos mobilizados apresentassem valores sensivelmente superiores àquele obtido para o tratamento CM.

Verifica-se na Tabela 13, a existência de correlação positiva significativa entre a produção de raízes adventícias e a percentagem de tombamento das plantas de milho, constatando-se ainda que esta percentagem se correlacionou negativamente com as resistências à penetração nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo. Este efeito deve estar relacionado com o fato de que, o solo apresentando menor resistência à penetração, fornece melhores condições para o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente, acarreta em maior produção de raízes adventícias. Portanto, estas plantas de maior porte estão mais sujeitas ao processo de tombamento.

Todos os parâmetros já analisados, relativos ao diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga, altura da planta e percentagem de tombamento, evidenciaram a ocorrência de correlações positivas significativas com a massa de raízes adventícias secas, sendo que apenas os valores referentes ao diâmetro do colo se correlacionaram positivamente com a massa de raízes secas nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo. Por outro lado, verifica-se que os quatro parâmetros analisados neste ítem, se correlacionaram negativamente com as resistências à penetração nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade, o que permite inferir que quanto maior o índice de cone apresentado pelo solo, menor deverá ser o desenvolvimento global das plantas de milho, proporcionando uma menor percentagem de tombamento na cultura, em condições de campo. Esta relação entre o menor desenvolvimento das plantas e conseqüente diminuição da percentagem de tombamento, pode ser melhor compreendida analisando-se as correlações positivas encontradas entre a percentagem de plantas caídas no experimento e os valores de diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga e altura das plantas de milho. Evidentemente, quanto menor o porte das plantas, menor deverá ser a percentagem de tombamento, sendo que este efeito também foi observado

por ORTOLANI (1977). Observou-se, ainda, que os valores referentes ao diâmetro do colo se correlacionaram positivamente com a altura de inserção da primeira espiga e com a altura das plantas, sendo que estes dois últimos parâmetros também se mostraram correlacionados.

Verifica-se portanto, que o condicionamento físico do solo, após as operações de preparo, influenciou o desenvolvimento das plantas de milho, sendo que vários aspectos discutidos neste item, estão de acordo com VEIGA (1975), BAUDER *et alii* (1981), SAINI e CHOW (1982) e DWYER (1983).

Na Figura 16 podem ser observadas as diferenças no desenvolvimento vegetativo das plantas de milho, aos 26 dias após a semeadura, entre um tratamento de preparo do solo com enxada rotativa e outro de cultivo mínimo. O menor porte das plantas no tratamento de cultivo mínimo, ocorreu provavelmente, devido à maior resistência à penetração encontrada pelas raízes no solo não mobilizado. Este fato deve ter induzido a um menor e mais superficial desenvolvimento do sistema radicular das plantas que, aliado às deficiências hídricas ocorridas durante o ciclo da cultura, conforme mostra a Figura 11, acarretaram em menor desenvolvimento da parte aérea. Na Figura 17 podem ser observados os efeitos da deficiência hídrica, sobre o desenvolvimento das plantas de milho, aos 26 dias após a semeadura, em um tratamento de cultivo mínimo. ROBINS e DOMINGO (1953), DENMEAD e SHAW (1960), AMEMIYA (1968) e GAULTNEY *et alii* (1982) relatam que as respostas da cultura do milho são muito dependentes da disponibilidade de água no solo, durante o seu ciclo de desenvolvimento.

O teste de Tukey, aplicado aos valores obtidos para a população de plantas por hectare, não evidenciou nenhum contraste significativo entre os tratamentos, verificando-se que a análise de variância apresentou um baixo coeficiente de variação (4,42%), mostrando que a população de plantas por unidade de área, em todos os tratamentos, foi uniforme para um experimento de campo.

Figura 16. Comparação do desenvolvimento das plantas de milho, que se desenvolveram sob tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa (à esquerda) e de cultivo mínimo (à direita), aos 26 dias após a semeadura.

5.6. Produção de grãos

A análise dos valores apresentados na Tabela 11 e na Figura 18, referentes à produção de grãos por hectare, não detectou variações estatísticas significativas pelo teste de Tukey, quando foram comparados os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa e convencional. Verificou-se porém, que os tratamentos R1H1, R1H2 e R2H2, apresentaram produções estatisticamente maiores, quando foram comparados com o trata-

Figura 17. Efeito da deficiência hídrica sobre o desenvolvimento das plantas de milho, em um tratamento de cultivo mínimo, aos 26 dias após a operação de semeadura.

mento CM, observando-se que os demais tratamentos (R2H1, R3H1, R3H2 e PC) apresentaram valores de produção de grãos por hectare sensivelmente superiores àquele obtido para o tratamento de cultivo mínimo, mas sem alcançarem o nível mínimo de significância estatística. Verifica-se, na Tabela 11, que os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa, convencional e cultivo mínimo, foram os que, em ordem decrescente, apresentaram as maiores produções de grãos.

Os valores determinados para a produção de grãos por planta, também contidos na Tabela 11 e na Figura 19, não mostraram diferenças estatísticas significativas, quando foram comparados os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa e convencional, mas estes diferiram, pelo teste de Tukey, quando foram confrontados com o tratamento CM,

Figura 18. Produção média de grãos, em cada tratamento, corrigida a 12% de umidade.

verificando-se que as plantas que se desenvolveram em condições de solo não mobilizado apresentaram menor produção de grãos individualmente, confirmando resultados obtidos por BARBER (1971).

Na Tabela 13 constata-se que as produções de grãos, por hectare e por planta, se correlacionaram positivamente com os seguintes parâmetros já analisados: massa de raízes adventícias secas, percentagem de tombamento, diâmetro do colo, altura de inserção da primeira espiga e altura das plantas. BENEZ (1972) também verificou a existência de correlação positiva significativa entre a altura final das plantas e a produção de grãos de milho. Verifica-se ainda que ocorreram correlações nega

Figura 19. Produção média de grãos por planta, em cada tratamento, corrigida a 12% de umidade.

tivas significativas, entre as produções estudadas e as resistências do solo à penetração nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade, corroborando com as observações de DICKY *et alii* (1983) e os resultados obtidos para a cultura do milho por RAGHAVAN *et alii* (1978), MCKYES *et alii* (1979) e GAULTNEY *et alii* (1982) e para a cultura de soja por ORTOLANI *et alii* (1982). Observa-se, ainda, que os valores referentes à produção de grãos por planta, apresentaram correlações positivas significativas com os resultados obtidos para a massa de raízes secas nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo, sendo que efeito semelhante foi

observado por PHILLIPS e KIRKHAM (1962).

Os resultados apresentados na Tabela 13 permitem constatar, de uma maneira generalizada, que quanto maior o desenvolvimento das plantas e menor a resistência do solo à penetração, maiores serão as produções de grãos obtidas para a cultura do milho.

5.7. Análise das sementes

As análises estatísticas dos valores contidos na Tabela 12, referentes às percentagens de sementes retidas nas peneiras 16x3/4" e 14x3/4" de crivos oblongos e 24", 22", 20", 18" e 16" de crivos circulares, não acusaram a ocorrência de diferenças significativas quando foram comparados todos os tratamentos do ensaio, exceto quando se confrontaram os valores obtidos para a percentagem de sementes retidas em peneira 16", onde os tratamentos R1H1, R2H1, R2H2, R3H1 e PC, diferiram significativamente do tratamento CM.

Embora não tenham sido encontrados contrastes significativos, entre os valores referentes a percentagem de sementes retidas em peneira 24", observa-se que os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa e convencional, sempre apresentaram valores superiores àquele encontrado para o tratamento CM, sugerindo que os tratamentos mobilizados proporcionaram um percentual mais elevado de sementes maiores do que aquele encontrado para o tratamento CM. Por outro lado, observando-se os valores obtidos para a percentagem de sementes retidas em peneira 16", verifica-se que o tratamento CM apresentou um valor significativamente superior àqueles obtidos para os tratamentos R1H1, R2H1, R2H2, R3H1 e PC, sendo que os tratamentos R1H2 e R3H2 também apresentaram valores inferiores ao do tratamento de cultivo mínimo, embora não significativos, o que permite inferir que as plantas que se desenvolveram em condições de solo não mobilizado produziram maior quantidade de sementes pequenas.

Comparando-se os valores contidos na Tabela 12, relativos

a massa de 100 sementes de milho, verifica-se que não ocorreram contrastes significativos pelo teste de Tukey entre os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa e convencional. Contudo, observa-se que os tratamentos R1H1 e PC diferiram significativamente do tratamento CM, quando foram confrontados todos os tratamentos, permitindo afirmar que os tratamentos R1H1 e PC produziram sementes mais pesadas que o tratamento CM.

Analisando-se a Tabela 13, verifica-se que os valores obtidos para a massa de 100 sementes de milho se correlacionaram positivamente com os seguintes parâmetros já discutidos: diâmetro do colo, altura da planta e produção de grãos por planta e por hectare. Este fato permite observar que plantas com maior diâmetro do colo e maior altura produzem sementes mais pesadas, contribuindo conseqüentemente, para maiores produções por planta e por hectare.

6. CONCLUSÕES

Nas condições do ensaio, a análise dos resultados obtidos levou às seguintes conclusões:

- Entre os tratamentos de preparo com a enxada rotativa e o convencional não foram detectadas diferenças significativas de compactação do solo da soleira produzida pelos equipamentos.
- A desagregação, provocada pelos equipamentos de preparo (enxada rotativa, arado e grade), diminuiu temporariamente a resistência do solo à penetração na camada mobilizada. Decorrido certo espaço de tempo, este parâmetro atingiu valores semelhantes ao do solo não mobilizado.
- Independentemente das alturas do anteparo traseiro, os tratamentos que incluíram rotação máxima do rotor da enxada rotativa, provocaram diminuição na estabilidade dos agregados do solo da camada mobilizada, quando comparados com os tratamentos de preparo convencional, cultivo mínimo

mo e o que incluiu rotação mínima do rotor da enxada rotativa e anteparo traseiro totalmente levantado.

- Independentemente das alturas do anteparo traseiro, os tratamentos que incluíram rotação média do rotor da enxada rotativa mostraram diminuição na estabilidade dos agregados do solo da camada mobilizada, quando comparados com o tratamento de cultivo mínimo. Este efeito não foi detectado quando se comparou os mesmos com os tratamentos de preparo convencional e os que incluíram rotação mínima do rotor da enxada rotativa.
- Todos os parâmetros relativos à cultura do milho não mostraram diferenças significativas, quando foram confrontados os tratamentos de preparo do solo com enxada rotativa e convencional. Todavia, estes tratamentos apresentaram maiores diâmetros do colo e produções de grãos por planta, quando foram comparados com o tratamento de cultivo mínimo.
- Os parâmetros tombamento, diâmetro do colo, altura da primeira espiga, altura da planta, produção por planta e por hectare e massa de raízes adventícias secas correlacionaram-se positivamente entre si e negativamente com as resistências à penetração nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundidade do solo.
- Sementes de maior massa foram obtidas no tratamento de preparo convencional e o que incluiu rotação mínima do rotor da enxada rotativa, associada com o anteparo traseiro totalmente levantado. A massa de 100 sementes correlacionou-se positivamente com o diâmetro do colo, altura da planta e produção por planta e por hectare.
- As massas das raízes secas nas camadas de 0-20 e 0-35 cm de profundade do solo, correlacionaram-se negativamente com as resistências à penetração nestas mesmas camadas, e positivamente com a massa de raízes adventícias secas, diâmetro do colo e produção de grãos por planta.

6. LITERATURA CITADA

- ADAMS, E.P., G.R. BLAKE, W.P. MARTIN e D.H. BOELTER, 1960. Influences of soil compaction on crop growth and development. Trans. 7th Intern. Congress of Soil Sci. Madison, 1:607-615.
- ADAMS JÚNIOR, W.J. e D.B. FURLONG, 1959. Rotary tiller in soil preparation. Agric. Engng. St. Joseph, 40:600-603 e 607.
- AMEMIYA, M., 1968. Tillage soil water relation of corn as influenced by weather. Agron. J. Madison, 60:534-537.
- AMIR, I., G.S.V. RAGHAVAN, E. MCKYES e R.S. BROUGHTON, 1976. Soil compaction as a function of contact pressure and soil moisture content. Can. Agric. Eng. Ottawa, 18:54-57.
- ARNDT, W. e C.W. ROSE, 1966. Traffic compaction of soil and tillage requirements. J. agric. Engng Res. Londres, 11:170-187.

- AYERS, P.D. e J.V. PERUMPRAL, 1982. Moisture and density effect on cone index. Tras. ASAE. St. Joseph, 25:1169-1172.
- BACCHI, O.O.S., 1976. Efeitos da Compactação sobre o Sistema Solo-Planta em Cultura de Cana-de-Açúcar (Saccharum spp.). Piracicaba, ESALQ/USP, 67p. (Dissertação de Mestrado).
- BAEUMER, K., 1970. First experiences with direct drilling in Germany. Neth. J. agric. Sci. Wageningen, 18:283-292.
- BAKERMANS, W.A.P. e C.T. WIT, 1970. Crop husbandry on naturally compacted scils. Neth. J. agric. Sci. Wageningen, 18:225-246.
- BARBER, S.A., 1971. Effect of tillage practice on corn (Zea mays L.) root distribution and morphology. Agron. J. Madison, 63:724-726.
- BARLEY, K.P. e E.L. GREACEM, 1967. Mechanical resistance as a factor influencing the growth of roots and underground shoots. Adv. Agron. New York, 19:1-40.
- BATEMAN, H.P., 1963. Effect of field machine compaction on soil physical properties and crop response. Trans. ASAE. St. Joseph, 6:19-25.
- BAR-YOSEF, B. e J.R. LAMBERT, 1981. Corn and cotton root growth in response to soil impedance and water potential. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, 45:930-935.
- BAUDER, J.W., G.W. RANDALL e J.B. SWANN, 1981. Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of a clay loam soil. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, 45:802-806.
- BAVER, L.D., 1966. Soil Physics. 3^a ed. New York, John Wiley and Sons Inc. 489p.

- BAVER, L.D., W.H. GARDNER, e W.R. GARDNER, 1973. Física del suelos. Mexico, Tipografia Editorial Hispano Americana. 529p.
- BENEZ, S.H., 1972. Estudo do Cultivo Mínimo, na Cultura do Milho (Zea mays L.) em Solo Podzólico Vermelho Amarelo Var. Laras. Piracicaba, ESALQ/USP, 108p. (Tese de Doutorado).
- BENEZ, S.H., C.A. GAMERO e C. PIEDADE JÚNIOR, 1979. Influência do preparo do solo no desenvolvimento do sistema radicular da soja (Glycine max (L.) Merrill). In: Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campina Grande, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1:334-341.
- BENEZ, S.H., 1980. Efeito dos Tipos de Preparo do Solo, Cultivo e Calagem na Cultura do Milho (Zea mays L.). Botucatu, F.C.A./UNESP, 130p. (Tese de Livre Docência).
- BERTONI, J., R. BENATTI JUNIOR e F. LOMBARDI NETO, 1976. Efeito de sistemas de preparo do solo - intensidade, profundidade e equipamento - na produção de culturas. In: Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 541-546.
- BERTRAND, A.R. e H. KOHNKE, 1957. Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth corn roots. Soil Sci Soc. Proc. Detroit, 21:135-140.
- BEZERRA, J.E.S., 1978. Influência de Sistemas de Manejo do Solo sobre Algumas Propriedades Físicas e Químicas de um Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico Distrófico, Fase Terraço, e sobre a Produção de Milho. Viçosa, UFV, 61p. (Tese de "Magister Scientiae").
- BOONE, F.R. e H. KUIPERS, 1970. Remarks on soil structure in relation to zero-tillage. Neth. J. agric. Sci. Wageningen, 18:262-269.

- BOURGET, S.J., J.G. KEMP e B.K. DOW, 1961. Effect of tractor traffic on crop yields and soil density. Agric. Engng. St. Joseph, 42:554.
- BRADFORD, J.M., 1980. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, 44:601-606.
- BRASIL, M.A., 1976. Regras para Análise de Sementes. Brasília, Deptº Nacional de Produção Vegetal, Divisão de Sementes e Mudas. 188p.
- BROWNING, G.M., 1950. Principles of soil physics in relation to tillage. Agric. Engng. St. Joseph, 34:341-345.
- BYRD, C.W. e D.K. CASSEL, 1980. The effect of sand content upon cone index and selected physical properties. Soil Sci. Baltimore, 129:197-204.
- CAMPOS, H., 1976. Estatística Experimental não Paramétrica. 2ª ed. Piracicaba, ESALQ/USP, 332p.
- CANNELL, R.Q., 1977. Soil aeration and compaction in the relation to root growth and soil management. In: COAKER, T.H., Ed. Applied Biology. Londres, Academic Press, p.1-86.
- CARVALHO, W.A., C.R. ESPÍNDOLA e A.A. PACCOLA, 1983. Levantamento de Solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici". Botucatu, F.C.A./UNESP, 95p.
- CASSEL, D.K., H.D. BOWEN e L.A. NELSON, 1978. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Norfolk sandy loam. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, 42:116-120.
- CASSEL, D.K. e L.A. NELSON, 1979. Variability of mechanical impedance in a tilled one hectare field of Norfolk sandy loam. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, 43:450-455.

- CHAMEN, W.C.T., R.E. COPE e D.E. PATTERSON, 1979. Development and performance of a high output rotary digger. J. agric. Engng. Res. Londres, 24:301-318.
- CHANCELLOR, W.J., R.H. SCHMIDT e W.H. SOANE, 1962. Laboratory measurement of soil compaction and plastic flow. Trans. ASAE. St. Joseph, 5:235-239.
- CHANCELLOR, W.J., 1971. Effects of compaction on soil strength. In: BARNES, K.K., W.M. CARLETON, H.M. TAYLOR, R.I. THROCKMORTON e G.E. VANDEN BERG, Ed. Compaction of Agricultural Soils. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, p.190-212.
- CHEPIL, W.S., 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Detroit, 26:4-6.
- COAN, O., A.F. ORTOLANI e D.A. BANZATTO, 1982. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo na produção da soja (Glycine max (L.) Merrill). Engenharia Agrícola. Botucatu, 6:7-13.
- COOK, R.L. e F.W. PEIKERT, 1950. A comparison of tillage implements. Agric. Engng. St. Joseph, 31:211-214.
- COOPER, A.W. e M.L. NICHOLS, 1959. Some observations on soil compaction tests. Agric. Engng. St. Joseph 40:264-267.
- COOPER, A.W., 1971. Effects of tillage on soil compaction. In: BARNES, K.K., W.M. CARLETON, H.M. TAYLOR, R.I. THROCKMORTON e G.E. VANDEN BERG, Ed. Compaction of Agricultural Soils. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, p. 315-364.
- DANIEL, L.A., 1981. Análise do Comportamento da Cultura do Milho (Zea mays L.) em Rotação com Soja (Glycine max (L) Merrill) Cultivadas A-

través dos Sistemas de "Plantio Direto" e "Convencional" em Diferentes Épocas do Ano, com e sem Irrigação. Jaboticabal, FCAV/UNESP, 111p. (Dissertação de Mestrado).

DENMEAD, O.T. e R.H. SHAW, 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agron. J. Madison, 52:272-274.

DICKEY, E.C., T.R. PETERSON, J.R. GILLEY e L.N. MIELKE, 1983. Yield comparison between continuous no-till and tillage rotations. Trans. ASAE. St. Joseph, 26:1682-1686.

DONAHUE, R.L., R.W. MILLER, e J.C. SHICKLUNA, 1977. Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth. 4^a ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc. 626p.

DWYER, M.J., 1983. Soil dynamics and the problems of traction and compaction. Agric. Eng. St. Joseph, 38:62-68.

EAVIS, B.W. 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth I - Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. Plant and Soil. The Hague, 36:613-622.

FEKETE, A., K. BAGANS e W. HELBIG, 1975. Some observations on soil compaction under a tire. J. Terramech. Hanover, 12:217-223.

FREITAG, D.R., 1968. Penetration tests for soil measurements. Trans. ASAE. St. Joseph, 11:750-753.

GAMERO, C.A., S.H. BENEZ e P.C. MATTOS, 1979. Influência do preparo do solo na produção da soja (Glycine max (L) Merrill). In: Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campina Grande, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1:328-333.

- GAMERO, C.A., 1982. Efeito da Mobilização do Solo, com Enxada Rotativa, sobre Algumas de suas Características Físicas. Piracicaba, ESALQ/USP, 69p. (Dissertação de Mestrado).
- GAULTNEY, L. G.W. KRUTZ, G.C. STEINHARDT e J.B.LILJEDAHN, 1982. Effects of subsoil compaction on corn yields. Trans. ASAE. St. Joseph, 25: 563-569 e 575.
- GERARD, C.J., H.C. MEHTA e E. HINOJOSA, 1972. Root growth in a clay soil. Soil Sci. Baltimore, 114:37-49.
- GHOHMANN, F. e H.V. ARRUDA, 1961. Influência do preparo do solo sobre a estrutura de uma Terra Roxa Legítima. Bragantia. Campinas, 20:1203-1209.
- GHOHMANN, F. e J.P. QUEIROZ NETO, 1966. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. Bragantia. Campinas, 25:419-431.
- GILL, W.R., 1961. Mechanical impedance of plants by compact soils. Trans. ASAE. St. Joseph, 4:238-242.
- GILL, W.R., 1968. Influence of compaction hardening of soil penetration resistance. Trans. ASAE. St. Joseph, 11:741-745.
- GOMES, F.P., 1982. Curso de Estatística Experimental. 10^a ed. São Paulo, Livraria Nobel, 430p.
- GREENE, J.M., 1946. Some rotary tillage applications. Agric. Engng.St. Joseph, 27:175-176.
- HADAS, A., D. WOLF e I. MEIRSON, 1978. Tillage implements - Soil structure relationships and their effects on crop stands. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, 42:632-637.

- HAMBLIM, A.P. e D. TENNANT, 1981. The influence of tillage on soil water behavior. Soil Sci. Baltimore, 132:233-239.
- HENDRICK, J.G. e W.R. GILL, 1971a. Rotary tiller design parameters part I - Direction of rotation. Trans. ASAE. St. Joseph, 14:669-674 e 683.
- HENDRICK, J.G. e W.R. GILL, 1971b. Rotary tiller design parameters part II - Depth of tillage. Trans. ASAE. St. Joseph, 14:675-678.
- HENDRICK, J.G. e W.R. GILL, 1971c. Rotary tiller design parameters part III - Ratio of peripheral and forward velocities. Trans. ASAE. St. Joseph, 14:679-683.
- HENDRICK, J.G., 1980. A powered rotary chisel. Trans. ASAE. St. Joseph, 23:1349-1352.
- HENRY, J.E. e J.S. MCKIBBEN, 1967. Effect of soil strength on corn root penetration. Trans. ASAE. St. Joseph 10:281-283 e 288.
- HUGHES, K.A. e C.J. BAKER, 1977. The effects of tillage and zero-tillage systems on soil aggregates in a silt loam. J. agric. Engng Res. Londres, 22:291-301.
- JOHNSON, W.H. e G.S. TAYLOR, 1960. Tillage treatments of corn on clay soils. Trans. ASAE. St. Joseph, 3:4-7.
- KEMPER, B. e R. DERPSCH, 1981. Soil compaction and root growth in Paraná, In: RUSSEL, R.S., K. IGUE e Y.R. MEHTA, Ed. The Soil/Root System in Relation Brazilian Agriculture. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, p.81-101.
- KIEHL, E.J., 1979. Manual de Edafologia. São Paulo, Editora Agronômica Ceres. 264p.

- LARSON, W.E., 1962. Tillage requirements for corn. J. Soil Water conserv. Askemy-ia, 17:3-7.
- LARSON, W.E. e R.R. ALLMARAS, 1971. Management factors and natural forces as related compaction. In: BARNES, K. K., W.M. CARLETON, H. M. TAYLOR, R.I. THROCKMORTON e G.E. VANDEN BERG, Ed. Compaction of Agricultural Soils. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, p.367-427.
- MACHADO, J.A., 1976. Efeito dos Sistemas de Cultivo Reduzido e Convencional nas Alterações de Algumas Propriedades Físicas e Químicas do Solo. Santa Maria, UFSM, 129p. (Tese de Livre-Docência).
- MARSHALL, R.M. e W.A. RANEY, 1960. Modifying soil profiles. Yearbook of Agriculture. Washington, p.123-128.
- McKYES, E., S. NEGI, E. DOUGLAS, F. TAYLOR e V. RAGHAVAN, 1979. The effect of machinery traffic and tillage operation on the physical properties of a clay and on yield silage corn. J. agric. Engng Res. Londres, 24:143-148.
- MECH, S.J., G.M. HORNER, L.M. COX e E.E. CARY, 1967. Soil profile modification by bockhoe mixing and deep plowing. Trans. ASAE. St. Joseph, 10:775-779.
- MEREDITH, H.L. e W.H. PATRICK JUNIOR, 1961. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. Agron. J. Madison, 53:163-167.
- MIALHE, L.G., 1969. A b c das enxada rotativas. O Dirigente Rural. São Paulo, 8:29-44.
- MOODY, J.E., G.M. SHEAR e J.N. JONES JUNIOR, 1961. Growing corn without tillage. Soil Sci Soc. Proc. 25:516-517.

- MULQUEEN, J., J.V. STAFFORD e D.W. TANNER, 1977. Evaluation of penetrometers for measuring soil strength. J. Terramech. Hanover, 14:137-151.
- NICHOLS, M.L. e C.A. REAVES, 1955. Soil structure and consistency in tillage implement design. Agric. Engng. St. Joseph, 36:517-520 e 522.
- NOGUEIRA, J.B., 1973. Mecânica dos Solos: ensaios de laboratório. São Carlos, EESC/USP, 150p.
- ORTOLANI, A.F., 1977. Efeito de Diferentes Tipos de Preparo do Solo sobre o Comportamento do Sistema Solo-Cultura de Milho (Zea mays L.). Jaboticabal, FCAV/UNESP, 100p. (Tese de Livre-Docência).
- ORTOLANI, A.F., O. COAN e H.C. SALLES, 1982. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja (Glycine max (L) Merrill). Engenharia Agrícola. Botucatu, 6:35-42.
- OUWERKERK, C. e F.R. BOONE, 1970. Soil-physical aspects of zero-tillage experiments. Neth. J. agric. Sci. Wageningen, 18:247-261.
- PAGE, J.B., C.J. WILLARD e G.W. McCUEN, 1946. Progress report on tillage methods in preparing land for corn. Soil Sci. Soc. Proc. Detroit, 11:77-80.
- PHILLIPS, R.E. e D. KIRKHAM, 1962. Mechanical impedance and corn seedling root growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Detroit, 26:319-321.
- PHILLIPS, R.E. e D. KIRKHAM, 1962. Soil compaction in the field and corn growth. Agron. J. Madison, 54:29-34.
- RAGHAVAN, G.S.V., E. McKYES, E. STEMSHORN, A. GRAY e B. BEAULIEU, 1977. Vehicle compaction patterns in clay soil. Trans. ASAE. St. Joseph, 20:218-220 e 225.

- RAGHAVAN, G.S.V. e E. McKYES, 1978. Statistical models for predicting compaction generated by off-road vehicular traffic in different soil types. J. Terramech. Hanover, 15:1-14.
- RAGHAVAN, J.S.V., E. McKYES, G. GENDRON, B. BORGLUM e H.H. LE, 1978. Effects of soil compaction in development and yield of corn (maize). Can. J. Plant. Sci. Ontario, 58:435-443.
- RANEY, W.A. e A.W. ZINGG, 1957. Principles of tillage. Yearbook of Agriculture. Washington, p.277-281.
- RANEY, W.A. e T.W. EDMINSTER, 1961. Approaches to soil compaction research. Trans. ASAE. St. Joseph, 4:246-248.
- ROBINS, J.S. e C.E. DOMINGO, 1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. Agron. J. Madison, 45: 618-621.
- ROO, H.C., 1960. Root development in coarse textured soils as related to tillage practices and soil compaction. Trans. 7th Intern. Congress of Soil Sci. Madison, p.622-628.
- SAINI, G.R. e T.L. CHOW, 1982. Effect of compact subsoil and water stress on shoot and root activity of corn (Zea mays L.) and alfafa (Medicago sativa L.) in a growth chamber. Plant and Soil. The Hague, 66:291-298.
- SAINI, G.R., T.L. CHOW e I. GHANEM, 1984. Compactibility indexes of some agricultural soils of New Brunswick. Can. J. Soil Sci. Ottawa, 137:33-38.
- SCHUMACHER, T.E. e A.J.M. SMUCKER, 1981. Mechanical impedance effects on oxygen uptake and porosity of drybean roots. Agron. J. Madison, 73:51-55.

- SEGUY, L., J. SLUTHCOUSKI, J.G. SILVA, F.N. BLUMENSCHIEIN e F.M. DALL'ACQUA, 1984. Técnicas de preparo do solo: efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação da água. EMBRAPA/CNPAP. Goiânia, 17:26p.
- SHEAR, G.M. e W.W. MOSCHLER, 1969. Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage methods: a six-year comparison. Agron. J. Madison, 61:524-526.
- SNEDECOR, G.W. e W.G. COCHRAN, 1978. Estatistical Methods. 6^a ed. Iowa, State University Press, 593p.
- SOANE, B.D., 1968. A gamma-ray transmission method for the measurement of soil density in field tillage studies. J. agric. Engng Res. Londres, 13:340-349.
- SOANE, B.D. e J.D. PIDGEON, 1975. Tillage requirement in relation to soil physical properties. Soil Sci. Baltimore, 119:376-384.
- SOANE, B.D. e J.V. STAFFORD, 1983. Tillage developments round the world. Span. Foston, 26:103-105.
- SPOOR, G., 1982. The causes and nature of soil damage. Agric. Eng. St. Joseph, 37:4-7.
- STIBBE, E. e D. ARIEL, 1970. No-tillage as compared to tillage practices in dry-land farming of a semi-arid climate. Neth. J. agric. Sci. Wageningen, 18:293-307.
- STITT, R.E., D.K. CASSEL, S.B. WEED e L.A. NELSON, 1982. Mechanical impedance of tillage pans in Atlantic Coastal Plains soils and relationships with soil physical, chemical, and mineralogical properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Detroit, 46:100-106.

- STOLZY, L.H. e K.P. BARLEY, 1968. Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. Soil Sci. Baltimore, 105:297-301.
- THORNTHWAITE, C.W. e J.R. MATHER, 1955. The water balance. Laboratory of climatology Publications. Centerton, 8:234-240.
- TROUSE JUNIOR, A.C. e R.P. HUMBERT, 1961. Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots. Soil Sci. Baltimore, 91:208-217.
- THREADGILL, E.D., 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. Trans. ASAE. St. Joseph, 25:859-863.
- VANDEN BERG, G.E. 1966. Triaxial measurements of shear strain and compaction in unsaturated soil. Trans. ASAE. St. Joseph, 9:460-467.
- VEEN, B.W., 1982. The influence of mechanical impedance on the growth of maize roots. Plant and Soil. The Hague, 66:101-109.
- VEIGA, C.L., 1975. Influência de Diversos Tipos de Manejo do Solo no Desenvolvimento e Distribuição de Raízes e na Produtividade da Soja (Glycine max Merrill) em Solo da Unidade São Pedro - RS Podzólico Vermelho Amarelo. Santa Maria, UFSM, 78p. (Tese de Mestrado).
- VEIHMEYER, F.J. e A.H. HENDRICKSON, 1948. Soil density and root penetration. Soil Sci. Baltimore, 65:487-493.
- VINE, P.N. e R. LAL, 1981. The influence of sands and gravels on root growth of maize seedlings. Soil Sci. Baltimore, 131:124-129.
- VOMOCIL, J.A. e W.J. FLOCKER, 1961. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. Trans. ASAE. St. Joseph, 4:242-246.

- VOORHEES, W.B., 1983. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel - induced soil compaction. Soil Sci.Soc. Am. J. Madison, 47:129-133.
- ZABASHTANSKIY, S.A. e V. YU. BRAZILEVSKIY, 1975. Effect of rotary tillage on the agrochemical properties of the soil and crop yield. Sov. Soil Sci. Silver Spring, 7:605-612.
- ZIMMERMAN, R.P. e L.T. KARDOS, 1961. Effect of bulk density on root growth. Soil Sci. Baltimore, 95:280-288.
- WEAVER, H.A., 1950. Tractor use effects on volume weight of Davidson loam. Agric. Engng. St. Joseph, 31:182-183.
- WHITELEY, G.M. e A.R. DEXTER, 1981. The dependence of soil penetrometer pressure on penetrometer size. J. agric. Engng Res. Londres, 26:467-476.
- WILLIAMSON, R.E., 1964. The effect of root aeration on plant growth. Soil Sci. Soc. Proc. Detroit, 28:86-90.

A P Ê N D I C E

Apêndice 1. Níveis mínimos de significância estatística, do teste de Friedman, aplicados aos dados referentes a percentagem acumulada de agregados em peneira nº 60 (0,25 mm), peneira nº 10 (2,00 mm) e ao módulo de finura.

a - Teste para cada tratamento ($K = 3$, $n = 4$)

$$x_0^2 (4,2\%) = 6,50 \quad x_0^2 (0,5\%) = 8,00$$

a_1 - Comparações múltiplas

$$\Delta_1 (4,2\%) = 7 \quad \Delta_1 (0,5\%) = 8$$

b - Teste para confronto de todos tratamentos ($K = 8$, $n = 12$)

$$x_0^2 (5,0\%) = 14,07 \quad x_0^2 (1,0\%) = 18,48$$

b_1 - Comparações múltiplas

$$\Delta_1 (4,2\%) = 37 \quad \Delta_1 (2,6\%) = 39 \quad \Delta_1 (1,0\%) = 42$$

b_2 - Bilateral: tratamentos x CM e tratamentos x PC

$$dms (5,0\%) = 31,32 \quad dms (1,0\%) = 37,80$$

c - Teste para tratamentos ($K = 8$, $n = 3$)

$$x_0^2 (5,0\%) = 14,07 \quad x_0^2 (1,0\%) = 18,48$$

c_1 - Comparações entre as médias dos tratamentos

$$\Delta_1 (6,7\%) = 17 \quad \Delta_1 (2,7\%) = 18 \quad \Delta_1 (0,9\%) = 19$$

c_2 - Bilateral: tratamentos x CM e tratamentos x PC

$$dms (5,0\%) = 15,66 \quad dms (1,0\%) = 18,90$$

d - Teste para peneiramentos ($K = 3$, $n = 8$)

$$x_0^2 (5,0\%) = 5,99 \quad x_0^2 (1,0\%) = 9,21$$

d_1 - Comparações múltiplas

$$\Delta_1 (3,9\%) = 10 \quad \Delta_1 (1,8\%) = 11 \quad \Delta_1 (0,7\%) = 12$$

Apêndice 2 . Valores dos parâmetros determinados na soleira: resistência a penetração (N/cm^2), densidade global (g/cm^3), porosidade total (%) e índice de vazios.

Blocos	Tratamentos	Resistência a penetração	Densidade global	Porosidade total	Índice de vazios
1	R1H1	119,6	1,56	48,51	0,94
	R1H2	122,0	1,40	53,80	1,16
	R2H1	112,7	1,37	54,79	1,21
	R2H2	118,6	1,39	54,13	1,18
	R3H1	111,5	1,40	53,80	1,16
	R3H2	109,6	1,41	53,47	1,15
	PC	97,2	1,38	54,46	1,20
	CM	93,8	1,37	54,79	1,21
2	R1H1	99,2	1,43	52,81	1,12
	R1H2	104,1	1,39	54,13	1,18
	R2H1	118,2	1,40	53,80	1,16
	R2H2	122,9	1,38	54,46	1,20
	R3H1	103,0	1,41	53,47	1,15
	R3H2	122,7	1,35	55,45	1,24
	PC	130,3	1,38	54,46	1,20
	CM	90,3	1,38	54,46	1,20
3	R1H1	100,1	1,42	53,14	1,13
	R1H2	55,1	1,42	53,14	1,13
	R2H1	105,1	1,38	54,46	1,20
	R2H2	95,8	1,38	54,46	1,20
	R3H1	111,7	1,38	54,46	1,20
	R3H2	119,9	1,40	53,80	1,16
	PC	84,1	1,40	53,80	1,16
	CM	50,7	1,38	54,46	1,20
4	R1H1	85,8	1,36	55,12	1,23
	R1H2	101,3	1,39	54,13	1,18
	R2H1	115,5	1,40	53,80	1,16
	R2H2	89,6	1,36	55,12	1,23
	R3H1	108,3	1,42	53,14	1,13
	R3H2	108,1	1,38	54,46	1,20
	PC	78,6	1,37	54,79	1,21
	CM	81,4	1,36	55,12	1,23

Apêndice 3 . Valores da resistência a penetração (N/cm^2) na camada de 0-35 cm de profundidade do solo, por ocasião da instalação do ensaio (07/11/83).

Blo	Trata- cos mentos	Profundidade (cm)							
		0	5	10	15	20	25	30	35
1	R1H1	0,00	0,00	0,00	196,67	240,00	236,67	217,50	215,00
	R1H2	0,00	0,00	13,33	168,33	263,33	230,00	208,33	206,67
	R2H1	0,00	0,00	21,67	153,33	223,33	276,67	256,67	236,67
	R2H2	0,00	0,00	8,33	163,33	280,00	266,67	230,00	200,00
	R3H1	0,00	0,00	6,67	160,00	270,00	266,67	213,33	198,33
	R3H2	0,00	0,00	0,00	30,00	270,00	308,33	273,33	256,67
	PC	0,00	60,00	200,00	200,00	215,00	205,00	230,00	230,00
	CM	276,67	340,00	328,33	328,33	283,33	265,00	241,67	245,00
2	R1H1	0,00	0,00	0,00	160,00	236,67	263,33	280,00	240,00
	R1H2	0,00	0,00	0,00	231,67	271,67	291,67	270,00	251,67
	R2H1	0,00	0,00	0,00	30,00	193,33	308,33	289,00	259,00
	R2H2	0,00	0,00	0,00	38,33	200,00	297,33	276,67	250,00
	R3H1	0,00	0,00	0,00	103,33	170,00	255,00	236,67	230,67
	R3H2	0,00	0,00	13,33	176,67	303,33	276,67	286,67	250,00
	PC	0,00	48,33	103,33	131,67	166,67	226,67	300,00	290,00
	CM	150,00	226,67	230,00	273,33	256,67	236,67	212,33	207,00
3	R1H1	0,00	0,00	43,33	160,00	163,33	220,00	237,50	220,00
	R1H2	0,00	0,00	0,00	103,33	210,00	240,00	243,33	246,67
	R2H1	0,00	0,00	0,00	0,00	175,00	271,67	278,33	295,00
	R2H2	0,00	0,00	13,33	16,67	223,33	305,00	286,67	241,67
	R3H1	0,00	0,00	0,00	43,33	227,50	246,67	220,00	255,00
	R3H2	0,00	0,00	41,67	88,33	223,33	280,00	270,00	253,33
	PC	0,00	0,00	40,00	96,67	125,00	183,33	266,67	269,00
	CM	136,67	250,00	228,33	243,33	255,00	250,67	238,33	265,00
4	R1H1	0,00	0,00	0,00	170,00	240,00	224,67	206,67	178,33
	R1H2	0,00	0,00	0,00	0,00	230,00	253,33	315,00	321,67
	R2H1	0,00	0,00	16,67	16,67	250,00	275,00	253,33	250,00
	R2H2	0,00	0,00	0,00	20,00	220,00	255,67	293,33	248,33
	R3H1	0,00	0,00	0,00	33,33	245,00	223,33	235,00	213,33
	R3H2	0,00	0,00	20,00	173,33	273,33	276,67	248,33	205,00
	PC	0,00	26,67	93,33	120,00	156,67	251,00	272,67	276,67
	CM	120,00	241,67	250,00	220,00	201,00	229,33	213,33	210,00

Apêndice 4. Valores da resistência a penetração (N/cm^2) na camada de 0-35 cm de profundidade do solo, na linha de semeadura, em 18/09/84.

Blo cos	Trata mentos	Profundidade (cm)							
		0	5	10	15	20	25	30	35
1	R1H1	250,00	275,00	400,00	425,00	400,00	375,00	327,50	292,50
	R1H2	200,00	357,50	475,00	480,00	470,00	460,00	440,00	395,00
	R2H1	250,00	385,00	397,50	400,00	387,50	342,50	317,50	285,00
	R2H2	90,00	270,00	392,50	420,00	410,00	322,50	262,50	253,00
	R3H1	150,00	385,00	490,00	485,00	470,00	430,00	365,00	340,00
	R3H2	0,00	225,00	370,00	417,50	410,00	385,00	367,50	335,00
	PC	0,00	210,00	335,00	335,00	375,00	405,00	372,50	342,50
	CM	0,00	445,00	400,00	410,00	400,00	350,00	310,00	305,00
2	R1H1	400,00	470,00	470,00	465,00	465,00	440,00	395,00	370,00
	R1H2	0,00	300,00	450,00	455,00	427,50	385,00	356,00	338,50
	R2H1	240,00	360,00	425,00	430,00	440,00	435,00	370,00	322,50
	R2H2	250,00	395,00	410,00	495,00	465,00	415,00	367,50	337,50
	R3H1	220,00	415,00	472,50	500,00	500,00	490,00	470,00	465,00
	R3H2	400,00	485,00	445,00	445,00	425,00	360,00	300,00	295,00
	PC	250,00	397,50	400,00	415,00	442,50	412,50	335,00	380,00
	CM	350,00	437,50	430,00	420,00	435,00	400,00	370,00	340,00
3	R1H1	400,00	490,00	490,00	475,00	420,00	400,00	370,00	372,50
	R1H2	300,00	450,00	443,00	465,00	475,00	465,00	460,00	460,00
	R2H1	220,00	385,00	462,50	475,00	465,00	470,00	475,00	470,00
	R2H2	350,00	452,50	415,00	412,50	385,00	380,00	397,50	387,50
	R3H1	300,00	375,00	422,50	430,00	415,00	415,00	395,00	377,50
	R3H2	430,00	500,00	500,00	500,00	480,00	445,00	408,50	377,50
	PC	350,00	480,00	467,50	438,00	412,50	425,00	405,00	400,00
	CM	350,00	410,00	445,00	456,00	457,00	460,00	430,00	427,50
4	R1H1	400,00	480,00	490,00	472,00	445,50	404,00	388,50	320,00
	R1H2	0,00	395,00	430,00	442,50	485,00	480,00	465,00	479,00
	R2H1	400,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	475,00	445,50
	R2H2	150,00	300,00	405,00	417,50	477,50	480,00	448,00	443,00
	R3H1	300,00	410,00	444,00	469,00	468,00	434,00	400,00	375,00
	R3H2	300,00	500,00	500,00	492,00	475,00	432,50	396,00	372,00
	PC	100,00	412,50	407,00	385,00	390,00	405,00	412,00	416,00
	CM	200,00	432,50	465,00	445,00	395,00	331,00	290,00	322,50

Apêndice 5 . Valores da resistência a penetração (N/cm^2) na camada de 0-35 cm de profundidade do solo, na entrelinha de semeadura , em 18/09/84.

Blo cos	Trata mentos	Profundidade (cm)							
		0	5	10	15	20	25	30	35
1	R1H1	0,00	171,50	340,00	470,00	450,00	392,50	392,50	385,00
	R1H2	50,00	125,00	375,00	470,00	470,00	452,00	415,00	395,00
	R2H1	135,00	230,00	365,00	469,00	400,00	380,00	350,00	330,00
	R2H2	120,00	345,00	440,00	467,50	465,00	362,50	300,00	295,00
	R3H1	175,00	435,00	450,00	480,00	475,00	437,50	405,00	360,00
	R3H2	150,00	325,00	440,00	470,00	425,00	377,50	357,50	342,50
	PC	0,00	350,00	320,00	262,50	327,50	367,50	297,50	281,00
	CM	0,00	282,50	485,00	495,00	485,00	445,00	357,50	345,00
2	R1H1	250,00	310,00	395,00	450,00	420,00	370,00	363,00	352,50
	R1H2	350,00	420,00	435,00	500,00	495,00	465,00	428,00	385,50
	R2H1	230,00	287,50	325,00	425,00	440,00	400,00	335,00	312,50
	R2H2	240,00	400,00	460,00	500,00	480,00	440,00	397,50	340,00
	R3H1	270,00	462,50	490,00	500,00	490,00	465,00	400,00	410,00
	R3H2	100,00	260,00	430,00	435,00	385,00	342,50	285,00	260,00
	PC	150,00	235,00	340,00	382,50	470,00	450,00	425,00	407,50
	CM	350,00	485,00	490,00	465,00	475,00	450,00	400,00	350,00
3	R1H1	250,00	470,00	500,00	500,00	500,00	500,00	430,00	410,00
	R1H2	150,00	485,00	500,00	500,00	500,00	468,00	440,00	415,00
	R2H1	150,00	300,00	355,00	415,00	435,00	435,00	440,00	417,50
	R2H2	250,00	307,50	370,00	410,00	427,50	415,00	415,00	406,50
	R3H1	400,00	485,00	500,00	500,00	490,00	455,00	439,00	422,50
	R3H2	200,00	333,00	365,00	480,00	482,50	457,50	449,00	450,00
	PC	350,00	477,50	460,00	465,00	450,00	450,00	432,00	404,00
	CM	460,00	500,00	500,00	500,00	500,00	456,00	435,00	436,00
4	R1H1	150,00	332,50	410,00	495,00	478,00	427,50	398,00	394,00
	R1H2	0,00	400,00	410,00	500,00	493,00	470,00	417,00	365,00
	R2H1	200,00	407,50	472,50	500,00	470,00	457,50	435,00	425,00
	R2H2	150,00	190,00	185,00	335,00	480,00	466,00	460,00	466,00
	R3H1	250,00	310,00	315,00	485,00	465,00	433,50	368,00	342,00
	R3H2	0,00	335,00	440,00	468,00	450,00	406,00	370,00	347,50
	PC	150,00	270,00	342,50	360,00	371,00	400,00	390,00	395,00
	CM	200,00	371,00	475,00	500,00	500,00	460,00	395,00	371,00

Apêndice 6. Valores da massa de raízes adventícias secas e na camada de 0-35 cm de profundidade do solo (g).

Blo cos	Trata- mentos	Raízes adventícias	Profundidade (cm)						
			0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
1	R1H1	4,22	10,40	5,84	3,58	1,09	0,74	0,24	0,30
	R1H2	3,87	19,01	6,19	2,20	0,98	0,49	0,33	0,20
	R2H1	4,19	18,60	6,21	2,48	0,92	0,48	0,33	0,38
	R2H2	4,60	15,85	4,68	2,57	1,07	0,45	0,31	0,84
	R3H1	1,29	10,88	4,43	3,21	1,73	0,71	0,56	0,43
	R3H2	1,71	14,76	6,89	2,85	0,57	0,50	0,57	0,30
	PC	2,99	13,55	8,67	2,32	1,59	1,14	0,47	0,30
	CM	0,22	12,00	4,60	1,41	0,49	0,35	0,37	0,27
2	R1H1	5,97	8,52	6,09	3,59	2,10	1,36	1,28	0,57
	R1H2	3,50	17,28	5,98	2,43	0,78	0,28	0,13	0,11
	R2H1	1,57	7,11	5,73	3,08	0,48	0,66	0,19	0,27
	R2H2	3,56	6,42	7,21	6,10	1,60	0,30	0,41	0,22
	R3H1	6,18	11,80	4,01	5,10	2,38	0,59	0,63	0,58
	R3H2	0,91	11,86	4,40	2,78	0,48	0,21	0,30	0,14
	PC	3,90	14,64	5,82	2,59	1,39	0,69	0,21	0,20
	CM	0,32	3,42	3,72	1,34	0,24	0,22	0,14	0,22
3	R1H1	1,70	7,90	5,59	3,35	0,78	0,69	0,57	0,49
	R1H2	3,42	9,19	8,20	3,74	1,70	1,14	0,75	0,51
	R2H1	0,91	7,10	3,67	3,28	2,23	0,61	0,28	0,35
	R2H2	1,83	6,96	4,50	4,93	2,00	0,49	0,37	0,30
	R3H1	7,35	19,20	6,24	1,88	0,79	0,33	0,31	0,24
	R3H2	3,00	10,95	9,73	5,59	1,09	0,88	0,88	0,35
	PC	2,50	5,36	6,34	3,49	1,50	0,99	0,48	0,41
	CM	0,72	6,01	2,30	0,50	0,80	0,35	0,23	0,30
4	R1H1	1,61	10,97	5,48	2,12	1,82	0,56	0,40	0,25
	R1H2	2,09	10,50	9,39	1,99	0,78	0,60	0,35	0,28
	R2H1	2,47	9,86	6,46	4,79	1,99	0,96	0,75	0,71
	R2H2	3,95	9,25	7,06	4,52	1,52	1,01	0,50	0,31
	R3H1	4,89	6,66	7,51	2,72	1,00	0,59	0,66	0,21
	R3H2	0,97	6,71	7,04	2,29	0,89	0,63	0,61	0,32
	PC	1,60	11,61	9,59	4,53	2,05	1,52	1,18	0,68
	CM	2,45	7,69	4,52	2,04	0,91	0,61	0,53	0,38

Apêndice 7 . Valores do diâmetro do colo (cm), altura da inserção da 1ª espiga (m), altura da planta (m), tombamento (%), população (plantas/ha), produção (kg/ha) e produção (g/planta).

Blocos	Tratamentos	Diâmetro do colo	Altura da 1ª espiga	Altura da planta	Tombamento	População	Produção (kg/ha)	Produção (g/pl.)
1	R1H1	2,33	1,42	2,61	10	42000	4168,49	99,25
	R1H2	2,54	1,43	2,69	10	46000	4733,04	102,89
	R2H1	2,47	1,36	2,59	8	40300	4057,70	100,69
	R2H2	2,43	1,42	2,69	14	47500	4745,92	99,91
	R3H1	2,37	1,31	2,48	6	44000	4365,40	99,21
	R3H2	2,32	1,52	2,76	12	47100	5198,78	110,38
	PC	2,49	1,33	2,43	4	43200	4020,56	93,07
	CM	1,87	1,01	2,09	2	47300	3519,03	74,40
2	R1H1	2,45	1,70	3,00	12	52600	6566,87	124,85
	R1H2	2,47	1,50	2,80	10	51000	5586,94	109,55
	R2H1	2,35	1,44	2,71	8	52800	5479,58	103,78
	R2H2	2,43	1,58	2,91	10	54100	5682,05	105,03
	R3H1	2,41	1,50	2,73	10	48800	4925,43	100,93
	R3H2	2,23	1,39	2,49	8	46300	4432,11	95,73
	PC	2,50	1,39	2,54	8	51700	4667,04	90,27
	CM	1,85	1,23	2,24	2	54400	3758,27	69,09
3	R1H1	2,54	1,60	2,89	10	48200	4618,85	95,83
	R1H2	2,37	1,66	2,86	10	49100	5048,38	102,82
	R2H1	2,41	1,56	2,79	6	49200	4671,28	94,94
	R2H2	2,41	1,56	2,84	6	50500	5013,80	99,28
	R3H1	2,49	1,48	2,72	8	49900	4584,80	91,88
	R3H2	2,41	1,49	2,65	6	49000	4524,68	92,34
	PC	2,48	1,59	2,83	10	50300	4619,61	91,84
	CM	2,00	1,33	2,43	2	52900	3925,02	74,20
4	R1H1	2,20	1,40	2,51	8	45000	4302,99	95,62
	R1H2	2,30	1,45	2,61	8	48000	4370,82	91,06
	R2H1	2,31	1,46	2,61	10	46900	4448,36	94,85
	R2H2	2,38	1,52	2,61	24	44800	4166,96	93,01
	R3H1	2,19	1,53	2,79	8	49300	4756,43	96,48
	R3H2	2,31	1,35	2,52	12	47900	4377,29	91,38
	PC	2,49	1,54	2,73	6	49100	4133,95	84,19
	CM	1,94	1,42	2,49	4	52200	3759,14	72,01

Apêndice 8 . Valores da percentagem de sementes retidas nas peneiras de cri-
vos 16x3/4" e 14x3/4" oblongos e 24", 22", 20", 18" e 16" cir-
culares e massa de 100 sementes após eliminação do fundo e das
sementes retidas em peneira 16x3/4".

Blo- cos	Trata- mentos	Peneiras							Massa de 100 sementes
		16x3/4"	14x3/4"	24"	22"	20"	18"	16"	
1	R1H1	6,37	11,85	5,75	22,34	32,00	16,57	3,56	29,56
	R1H2	10,60	14,27	6,39	20,80	28,31	14,63	3,58	30,45
	R2H1	10,51	14,56	5,02	20,45	28,70	15,57	3,40	30,71
	R2H2	7,37	11,03	5,13	23,33	32,87	16,42	3,26	29,53
	R3H1	10,15	13,69	6,49	20,52	28,94	15,92	3,10	29,03
	R3H2	5,40	9,61	4,41	20,32	34,02	20,09	4,63	28,44
	PC	9,27	14,45	5,15	18,95	28,35	18,10	3,86	29,53
	CM	5,89	11,23	3,99	18,43	30,83	21,62	5,60	27,46
2	R1H1	4,40	10,50	5,90	23,56	31,60	17,62	4,34	30,44
	R1H2	3,74	8,50	6,51	22,25	33,69	19,87	3,50	29,12
	R2H1	5,04	10,46	8,33	23,96	32,33	15,70	3,32	30,20
	R2H2	5,91	11,16	5,25	23,72	31,69	17,71	3,29	29,89
	R3H1	6,29	11,44	4,19	23,88	31,11	17,34	3,74	29,06
	R3H2	9,05	13,29	4,97	18,87	29,77	17,77	4,06	28,96
	PC	10,57	14,42	7,44	21,99	26,97	13,80	3,05	31,82
	CM	4,59	10,20	3,77	15,45	29,51	26,39	8,30	25,95
3	R1H1	6,84	11,71	5,16	19,74	31,88	18,59	4,38	30,01
	R1H2	5,92	11,25	5,48	22,31	32,56	17,47	3,66	29,31
	R2H1	5,35	10,52	6,13	22,42	32,94	17,25	3,65	29,37
	R2H2	4,31	9,28	4,61	18,54	33,99	21,09	5,09	27,74
	R3H1	3,66	10,25	2,67	17,42	32,14	25,88	6,00	27,36
	R3H2	3,06	7,95	3,25	16,18	36,17	25,50	5,93	26,38
	PC	4,42	9,95	3,26	20,98	34,78	19,59	4,13	28,31
	CM	6,28	12,08	2,96	15,82	30,28	23,00	6,56	27,95
4	R1H1	4,05	11,07	1,71	14,25	34,36	26,54	6,19	26,46
	R1H2	3,76	9,29	0,85	9,42	32,19	31,18	9,64	24,89
	R2H1	2,73	8,06	1,45	13,71	34,49	29,92	7,39	25,64
	R2H2	5,02	11,28	3,10	15,66	33,73	23,14	6,10	27,71
	R3H1	2,65	7,00	2,47	20,36	34,04	24,99	6,24	27,42
	R3H2	3,90	8,90	1,05	10,48	34,01	29,19	8,67	25,25
	PC	3,47	9,16	1,10	15,64	35,06	28,10	5,39	27,09
	CM	2,97	8,15	1,93	12,82	33,02	30,78	8,81	25,25