EFEITOS DA COMPACTAÇÃO EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO
SOLO E NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS
DE SOJA (*Glycine max* (L.) MERRILL)

MARIA HELENA MORAES
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

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

PIRACICABA
ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL
FEVEREIRO, 1988

EFEITOS DA COMPACTAÇÃO EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SO
LO E NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS DE
SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)

MARIA HELENA MORAES

Aprovada em: 04/04/88

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi	ESALQ/USP
Prof. Dr. Geraldo Victorino França	ESALQ/USP
Profa Dra Wolmar Aparecida Carvalho	FCA/UNESP

Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

Orientador

AOS MEUS PAIS

HENRIQUE (in memoriam)

e

YALŪ

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas e à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" pela oportunidade de participar no Curso de Pós-Graduação.

Ao Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi, pela orientação desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez, pelas sugestões apresentadas.

À Profa Dra Wolmar Aparecida Carvalho, pelo constante incentivo.

Ao Engº Agrº Angelo Catâneo, pela colaboração nas análises estatísticas.

À todos os colegas do Departamento de Ciências do Solo.

Ao Sr. Noel Batista, pelo auxílio na instalação dos ensaios.

Ao Sr. Roberto Prado, pelos trabalhos de desenho.

Ao Convênio CAPES/PICD-UNESP, pela concessão de bolsa de estudo.

A TODOS os que, de algum modo contribuíram para viabilizar esta pesquisa.

INDEX

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. Material	21
3.1.1. Solos	21
3.1.2. Amostragem e preparo da terra	22
3.1.3. Sementes	22
3.1.4. Aparelho de proctor	24
3.1.5. Compactador	24
3.1.6. Colunas para compactação dos solos	24
3.1.7. Penetrômetro	26
3.1.8. Outros materiais	26
3.2. Métodos	27
3.2.1. Ensaio em casa-de-vegetação	27
3.2.1.1. Ensaio 1	27
3.2.1.1.1. Delineamento experimental	27
3.2.1.1.2. Delineamento estatístico	28
3.2.1.1.3. Curva da densidade do solo versus teor de água	29

3.2.1.1.4.	Compactação das amostras de solo	29
3.2.1.1.5.	Determinação da densidade global do <u>so</u> <u>lo</u>	30
3.2.1.1.6.	Determinação do índice de vazios e da porosidade <u>to</u> <u>tal</u> do solo	31
3.2.1.1.7.	Determinação da resistên- cia do solo à penetração	31
3.2.1.1.8.	Semeadura e condução do ensaio	32
3.2.1.1.9.	Colheita das plantas	32
3.2.1.1.10.	Determinação da massa das raízes secas	33
3.2.1.2.	Ensaio 2	33
3.2.1.2.1.	Delineamento experimental	33
3.2.1.2.2.	Delineamento estatístico	34
3.2.1.2.3.	Compactação das amostras de solo	35
3.2.1.2.4.	Semeadura, condução do ensaio e <u>co</u> <u>lheita</u> das plantas	36

3.2.1.2.5. Determinação da massa das raízes secas	36
3.2.1.3. Ensaio 3	37
3.2.1.3.1. Delineamento experimental	37
3.2.1.3.2. Delineamento estatístico	38
3.2.1.3.3. Compactação das amostras de solo.....	38
3.2.1.3.4. Semeadura, condução do ensaio e co- lheita das plantas	39
3.2.1.3.5. Determinação da massa das raízes secas.....	40
4. RESULTADOS	41
5. DISCUSSÃO	57
5.1. Ensaio 1	57
5.1.1. Curvas da densidade global do solo versus teor de água	57
5.1.2. Densidade global do solo	60
5.1.3. Porosidade total e índice de vazios	63
5.1.4. Resistência do solo à penetra ção	65
5.1.5. Massa das raízes secas	67

	Página
5.2. Ensaio 2	78
5.2.1. Massa das raízes secas	78
5.3. Ensaio 3	82
5.3.1. Massa das raízes secas	82
6. CONCLUSÕES	90
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
8. LITERATURA CITADA	95
APÊNDICES	106

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Principais características do horizonte superficial das classes de solo estudadas	23
2	Valores médios dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação para a Terra Roxa Estruturada: densidade global (g/cm^3), porosidade total (%), índice de vazios, resistência à penetração (kg/cm^2) e massa das raízes secas	43
3	Valores médios dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação para o Latossolo Roxo: densidade global (g/cm^3), porosidade total(%), índice de vazios, resistência à penetração (kg/cm^2) e massa das raízes secas	44
4	Valores médios, para cada tratamento, da densidade global (g/cm^3), nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1)	45
5	Valores médios, para cada tratamento, da porosidade total (%), nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1)	46
6	Valores médios, para cada tratamento, do índice de vazios, nos vários níveis de	

Tabela

Página

	compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1)	47
7	Valores médios, para cada tratamento, da resistência à penetração (kg/cm^2) nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo <u>R</u> oxo	48
8	Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1)	49
9	Correlações significativas ao nível de 1% de probabilidade entre os diferentes parâmetros analisados para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1)	50
10	Equações de regressão entre a massa das raízes secas e os parâmetros: nível de compactação, densidade global, resistência à penetração, porosidade total e índice de vazios, para a Terra Roxa <u>E</u> struturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1)	51
11	Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g) nas camadas de 0-14; 14-17,5; 17,5-28 e 0-28 cm de profundidade, para a Terra Roxa <u>E</u> struturada (Ensaio 2)	52

Tabela

Página

12	Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), nas camadas de 0-14; 14-17,5; 17,5-28 e 0-28 cm de profundidade, para o Latossolo Roxo (Ensaio 2)	53
13	Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), nas camadas de 0-14; 14-17,5; 17,5-28 e 0-28 cm de profundidade, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 2)	54
14	Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 3)	55
15	Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 3)	56

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Esquema do aparelho compactador de amostras de solo	25
2	Esquema do delineamento experimental do ensaio 1	28
3	Esquema do delineamento experimental do ensaio 2	35
4	Esquema do delineamento experimental do ensaio 3	38
5	Curvas de compactação da Terra Roxa Estruturada e do Latossolo Roxo	58
6	Densidade global (g/cm^3) nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo	61
7	Porosidade total (%) nos vários <u>n</u> íveis de compactação, para a Terra <u>R</u> oxa Estruturada e o Latossolo Roxo	64
8	Índice de vazios nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo	64
9	Resistência à penetração (kg/cm^2) nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo	66

Figura		Página
10	Massa das raízes secas (g) nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada	69
11	Massa das raízes secas (g) nos vários níveis de compactação, para o Latossolo Roxo	69
12	Aspecto do desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja, no tratamento C, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1)	71
13	Relação entre o nível de compactação e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo	73
14	Relação entre a densidade global (g/cm ³) e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo	74
15	Relação entre a porosidade total e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo	75
16	Relação entre o índice de vazios e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo	76

Figura		Página
17	Relação entre a resistência à penetração (kg/cm ²) e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo	77
18	Massa das raízes secas (g), nos vários tratamentos, nas camadas de 0-14; 14-17,5 e 17,5-28 cm de profundidade, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 2)	80
19	Massa das raízes secas (g) nos vários tratamentos, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 3)	84
20	Aspecto do sistema radicular das plantas de soja, nos tratamentos com níveis <u>uni</u> formes de compactação (B e C), para a Terra Roxa Estruturada (Ensaio 3)	86
21	Aspecto do sistema radicular das plantas de soja, nos tratamentos com níveis <u>uni</u> formes de compactação (D e E), para a Terra Roxa Estruturada (Ensaio 3)	87
22	Aspecto do sistema radicular das plantas de soja, nos tratamentos com níveis <u>uni</u> formes de compactação (B e C), para o Latossolo Roxo (Ensaio 3)	88
23	Aspecto do sistema radicular das plantas de soja, nos tratamentos com níveis <u>uni</u> formes de compactação (D e E), para o Latossolo Roxo (Ensaio 3)	89

EFEITOS DA COMPACTAÇÃO EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO
SOLO E NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS
DE SOJA (*Glycine max* (L.) MERRILL)

MARIA HELENA MORAES

PAULO LEONEL LIBARDI
ORIENTADOR

RESUMO

O presente trabalho teve como finalidade o estudo dos efeitos da compactação em algumas propriedades físicas de duas classes de solo (Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo) e, no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), controlando-se os níveis de compactação e o teor de água, através de simulação de condições de campo.

Os ensaios foram realizados em colunas de PVC, em casa-de-vegetação. No ensaio 1 determinou-se o nível de compactação que impede o desenvolvimento das raízes da so

ja; o efeito de uma camada de impedimento localizada a 14 cm de profundidade foi avaliada no ensaio 2; no ensaio 3 simulou-se perfis de solo com compactação uniforme.

A interpretação dos dados foi realizada após um mês de desenvolvimento das plantas, separando-se as raízes do solo por lavagem.

A análise e discussão dos resultados obtidos possibilitaram as seguintes conclusões:

- A Terra Roxa Estruturada apresentou valores de densidade global superiores aos do Latossolo Roxo, quando os solos foram submetidos à um mesmo nível de compactação.
- A umidade ótima de compactação foi mais elevada para o Latossolo Roxo.
- O incremento do nível de compactação resultou para os dois solos, em aumento da resistência mecânica à penetração e, diminuição da porosidade total e índice de vazios.
- A elevação do nível de compactação resultou em menor desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja, para os dois solos, sendo mais prejudicial para o Latossolo Roxo.
- A penetração e o desenvolvimento do sistema radicular das

plantas de soja ficaram impedidos quando a densidade global atingiu valores de 1,30 e 1,23 g/cm³, respectivamente, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

- Para os dois solos, os parâmetros nível de compactação, densidade global e resistência à penetração correlacionaram-se positivamente entre si e, negativamente com a porosidade total, índice de vazios e massa das raízes secas.
- A presença de camada compactada, a 14 cm de profundidade, acarretou uma redução máxima no desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja de 50,65% para a Terra Roxa Estruturada ($d_g = 1,30 \text{ g/cm}^3$) e de 59,98% para o Latossolo Roxo ($d_g = 1,23 \text{ g/cm}^3$).
- A compactação uniforme dos perfis resultou numa diminuição máxima no desenvolvimento das raízes das plantas de soja de 78,34% para a Terra Roxa Estruturada ($d_g = 1,29 \text{ g/cm}^3$) e de 67,25% para o Latossolo Roxo ($d_g = 1,21 \text{ g/cm}^3$).
- Os parâmetros densidade global, porosidade total, índice de vazios e massa das raízes secas diferenciaram a Terra Roxa Estruturada do Latossolo Roxo.

EFFECTS OF SOIL COMPACTION ON SOME SOIL PHYSICAL PROPERTIES
AND ON THE DEVELOPMENT OF THE ROOT SYSTEM OF SOYBEAN (*Glycine*
max (L.) MERRILL)

MARIA HELENA MORAES

PAULO LEONEL LIBARDI
ADVISER

SUMMARY

The objective of the present work was to study the effects of soil compaction on some physical properties of two soils (Terra Roxa Estruturada and Latossolo Roxo), and on the development of the root system of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), with the level of compaction and water content being controlled, through the simulation of the field conditions.

The experiments were conducted using PVC columns, in the green-house. In the experiment 1 determined the level of compaction that obstruct the root development of the soybean; the effect of compacted layer at 14 cm depth

was evaluated in the experiment 2; in the experiment 3 simulated throughout compacted profile.

The interpretation of the study was done after one month of the plants development, separating the roots from the soil for washing.

The study and discussion from the acquired results led to the following conclusions:

- The "Terra Roxa Estruturada", showed higher total density values than the "Latossolo Roxo", when the soils were subjected to the same compaction level.
- The optimum water content of compaction was higher for "Latossolo Roxo".
- The increase of the compaction level resulted (on the both soils) in an increase of mechanical impedance of the penetration and, decrease of total porosity and voids ratio.
- The increase of the compaction level resulted in a smaller development of the soybean root system for the both soils, being more harmful to "Latossolo Roxo".
- The penetration and the development of the soybean root system were restrained when the bulk density reached

values from 1.30 to 1.23 g/cm³ to "Terra Roxa Estruturada" and "Latossolo Roxo", respectively.

- To the both soils, the parameters compaction level, bulk density and resistance to penetration co-related positively together and, negatively with the total porosity, voids ratio and the dry root mass.
- The presence of compacted layer 14 cm depth, caused a maximum reduction on the development of soybean root sistem: 50.65% "Terra Roxa Estruturada" ($d_g = 1.30 \text{ g/cm}^3$) and 59.98% "Latossolo Roxo" ($d_g = 1.23 \text{ g/cm}^3$).
- The standard compaction from the profiles resulted in a maximum development decrease of the soybean roots: 78.34% "Terra Roxa Estruturada" ($d_g = 1.29 \text{ g/cm}^3$) and 67.25% "Latossolo Roxo" ($d_g = 1.21 \text{ g/cm}^3$).
- The parameters bulk density, total porosity, voids ratio and dry roots mass, distinguished "Terra Roxa Estruturada" from "Latossolo Roxo".

1. INTRODUÇÃO

A mecanização da agricultura introduziu, juntamente com seus benefícios, uma série de fatores desfavoráveis ao bom desenvolvimento das plantas, tais como a desagregação do solo, a erosão e a compactação resultante do tráfego de tratores e da ação das máquinas e implementos agrícolas.

Atualmente, grande ênfase tem sido dada à subsolagem na agricultura brasileira, com o objetivo de eliminar a camada compactada que impede o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, fazendo com que se desenvolva superficialmente. Essa camada reduz a infiltração de água, aumentando, conseqüentemente, a erosão. A redução do volume de solo explorado pelas raízes aumenta os riscos de deficiências hídrica e nutricional das plantas.

No Brasil são escassos os trabalhos de pesqui

sa que relacionam os diferentes níveis de compactação dos solos com o desenvolvimento do sistema radicular das culturas de importância agrícola. Consequentemente, a prática da subsolagem normalmente é recomendada através de observações empíricas e, na maioria dos casos, realizada em solos onde a camada compactada não atingiu o nível de bloqueio à penetração das raízes.

Portanto, o objetivo desta pesquisa é o estudo dos efeitos da compactação em algumas propriedades físicas de duas classes de solo, provenientes de mesmo material de origem e no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), controlando-se os níveis de compactação e o teor de água do solo, através de simulação de condições de campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Dos fatores ambientais que influenciam o crescimento e produção das culturas, aqueles que afetam o ambiente radicular, são de singular importância em condições de campo. Desse modo, a estrutura física, porosidade, densidade do solo e outros, interferem na capacidade das raízes de penetrarem e se ramificarem no solo e, consequentemente, no aproveitamento da água e nutrientes disponíveis.

Sob este aspecto, a compactação do solo agrícola é de grande importância, pois, vai provocar alterações em seu interior, modificando sem dúvida, boa parte do ambiente físico no qual se desenvolve a cultura (ORTOLANI et alii, 1982).

VANDENBERG (1966) e CHANCELLOR (1971) caracterizam a compactação como uma deformação física resultante do manejo dos solos.

GILL (1961), RANEY & EDMINSTER (1961), BODMAN & CONSTANTIN (1965) e DUNLAP & WEBER (1971) definem a compactação do solo como sendo uma compressão de suas partículas sólidas, por forças externas tornando-o mais denso.

Para BAVER (1966) e LINDEMANN et alii (1982) a compactação é um aumento da densidade global do solo pela aplicação de cargas e pressões. COOPER & NICHOLS (1959) e SOANE (1970) enfatizam que este incremento na densidade global é resultante da diminuição do espaço poroso.

HARRIS (1971) comenta que quando um solo é submetido à ação de uma carga suficiente para causar uma alteração no volume, existem quatro possíveis fatores aos quais a alteração poderia ser atribuída: uma compressão das partículas sólidas; uma compressão das substâncias líquidas e gasosas dentro dos poros; uma alteração dos teores de líquidos e gases nos espaços porosos; um rearranjo das partículas sólidas. Esse rearranjo das partículas influencia muitas propriedades do solo. A distribuição dos poros é alterada, a porosidade total é diminuída e ocorrem mudanças no movimento e teor de água, ar, calor e nutrientes no solo. O restrito crescimento das raízes comumente observado em solos compactados tem sido atribuído a todas essas propriedades e à elevada resistência mecânica manifestada por estes solos, conforme afirmam GILL (1961), BODMAN & CONSTANTIN (1965), VANDENBERG (1966), GRABLE & SIEMER (1968), RANEY (1971), CHAUDHARI & PRIHAR

(1974), VOORHEES et alii (1975), O'NEIL & CARROW (1983), SHIERLAW & ALSTON (1984) e AGNEW & CARROW (1985).

SAINI & CHOW (1984) enfatizam que a compactação do solo resulta num aumento da densidade global, sendo esta função do teor de água e da força utilizada na compactação.

Quando se promove a compactação, a densidade global do solo aumenta com o teor de água até um valor máximo. Acréscimos posteriores no teor de água promovem uma redução nos valores de densidade global. Este é um fato que parece ser geral e tem sido comentado por vários autores, dentre eles, BODMAN & CONSTANTIN (1965), HARRIS (1971), RAGHAVAN et alii (1976), RAGHAVAN et alii (1977), HILLEL (1982) e LINDEMANN et alii (1977).

A água exerce, portanto, um papel importante no processo, conforme descreve SOANE (1970). Segundo o autor, para um determinado tipo de solo e uma certa energia, o grau de compactação obtido é muito dependente do teor de água. Este efeito está associado à ação da água como lubrificante, permitindo uma aproximação das partículas. Uma densidade global máxima ocorre a um teor ótimo de água, o qual está relacionado com a distribuição por tamanho e forma das partículas do solo.

HILLEL(1982) e Baver et alii (1972) citado por SILVA (1984) informam que com o aumento do teor de água, as películas ao redor das partículas ficam mais espessas promovendo um efeito lubrificante entre elas , permitindo que se orientem e deslizem umas sobre as outras, formando uma massa mais densa. Altos teores de água promovem uma redução da densidade devido ao efeito da diluição sobre as partículas por unidade de volume.

De acordo com KIEHL (1979), o aumento da superfície específica, de maneira geral, também aumenta a porcentagem de água retida. A elevada absorção de água pela matéria orgânica evita a formação de películas espessas em volta das partículas do solo.

O teor de matéria orgânica e o conteúdo de argila são alguns fatores do solo que, segundo SAINI & CHOW (1984), determinam os índices de compactação. Teores elevados de argila e reduzidos de matéria orgânica resultam em níveis elevados de compactação do solo.

A participação da matéria orgânica na compac-
tabilidade de um solo é relatada por SOANE (1970). Maiores teores de matéria orgânica resultam em densidades globais mais baixas e teores ótimos de água mais elevados. Segundo o autor, uma deterioração no nível de matéria orgânica dos solos pode ter uma importante influência na sua resposta à aplicação de uma força. Free et alii (1947) citados por

SOANE (1970) mostraram que uma redução no teor de matéria orgânica promoveu um acréscimo da densidade global máxima de 1,4 para 1,61 g/cm³ e um decréscimo do teor ótimo de água de 26 para 22%. A manutenção de um nível adequado de matéria orgânica nos solos cultivados é, portanto, desejável para reduzir a intensidade de compactação.

Além desses fatores já comentados, o tipo de mineral de argila também exerce alguma influência sobre a susceptibilidade do solo à compactação. Dois solos argilosos que possuam a mesma granulometria podem apresentar grandes diferenças nas propriedades coloidais, em função do tipo de mineral de argila presente em cada um.

MONIZ (1972) relata que a intensidade do intemperismo determina a natureza dos materiais constituintes do solo, isto é, o tipo dos minerais secundários. De acordo com esse autor a fração argila da Terra Roxa Estruturada é constituída principalmente pela caulinita, enquanto que no Latossolo Roxo há um predomínio de óxidos.

ACHÁ (1976) explica que a caulinita apresenta uma microestrutura laminar, com um arrançamento orientado que permite uma aproximação mais uniforme das unidades estruturais com a elevação do teor de água, resultando em uma maior compactação deste solo, fato que não ocorre com o Latossolo Roxo, em função do predomínio de óxidos, os quais apresentam uma estrutura amorfa.

A compactação do solo acarreta um aumento da densidade global (CANNELL, 1977), resultando em um impedimento ao crescimento das raízes, redução da aeração e da infiltração de água e, frequentemente, como consequência, redução da produção das culturas (SAINI, 1979 e PRIMAVESI, 1982).

MARSHALL & RANEY (1960) comentam que a compactação do solo pode levá-lo a comportar-se de uma forma completamente diferente daquela em condições adequadas. Os autores observaram que o aumento da densidade global provoca uma redução da infiltração de água e do conteúdo de oxigênio e uma obstrução ao desenvolvimento das raízes.

A redução no crescimento das raízes é a resposta mais comum das plantas à compactação do solo, conforme relatam MORGAN et alii (1966), THURMAN & POKORNY (1975), VOORHEES et alii (1975), CARROW (1980) e Trowse (1971) citado por HALLMARK & BARBER (1981).

O efeito da compactação no sistema radicular das plantas tem sido estudado por vários autores.

PHILLIPS & KIRKHAM (1962a) verificaram, em condições de laboratório, que a taxa de elongação das raízes de plântulas de milho diminuiu linearmente quando a densidade global do solo aumentou de 0,94 para 1,30 g/cm³. GROHMANN & QUEIROZ NETO (1966) observaram que não houve de

envolvimento radicular de arroz quando a densidade do solo era 1,42 (LR) e 1,38 PVA) g/cm^3 , assinalando a rigidez dos poros como fator responsável. SHARMA & SINGH (1969) encontraram a densidade global de 1,8 g/cm^3 como impedimento máximo para milho. VOORHEES et alii (1971) obtiveram resultados semelhantes para cevada. KAR & VARADE (1972) e HEMSATH & MAZURAK (1974) encontraram redução no comprimento das raízes com densidade acima de 1,6 e 1,8 g/cm^3 , respectivamente.

TACKETT & PEARSON (1964), trabalhando com um solo barro arenoso, verificaram que a profundidade de penetração das raízes de plantas de algodão diminuiu à medida que a densidade global aumentou. Valores em torno de 1,5 g/cm^3 foram essencialmente críticos para a penetração das raízes.

MEREDITH & PATRICK (1961) conduziram um experimento em laboratório e em casa-de-vegetação, com um solo de textura média. Os autores observaram que a compactação artificial do solo resultou em aumento da densidade global e diminuição da porosidade não capilar, da permeabilidade à água e da penetração radicular. Resultados semelhantes foram obtidos por TROUSE & HUMBERT (1961), KULKARNI & SAVANT (1977), O'NEIL & CARROW (1983), SAINI & CHOW (1984), AGNEW & CARROW (1985) e MARTIN et alii (1985).

As modificações estruturais decorrentes da compactação são responsáveis por várias alterações nas pro

priedades do solo e no desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

KIEHL (1979) cita a estrutura do solo como propriedade que atua como importante fator na aeração, garantindo um fluxo de oxigênio capaz de contrabalancear o excesso de gás carbônico do ar do solo, eliminado pelas raízes e microrganismos.

Para CHANCELLOR (1971) a porosidade total e o tamanho dos poros são parâmetros importantes utilizados para medir o estado de compactação de um solo.

HARRIS (1971) relata que o aumento da compactação resulta em um decréscimo na porosidade total. O mais importante é a alteração no tamanho dos poros com a variação da intensidade de compactação. Em geral, quando o solo é compactado, a porosidade tende para uma proporção menor de macroporos (GILL, 1961; CANNELL, 1977; JANSSEN & VAN DER WEERT, 1977).

ACHÁ (1976) e VIEIRA & VIEIRA (1983) afirmam que as porosidades totais da Terra Roxa Estruturada e do Latossolo Roxo são elevadas, entretanto, há uma diferença no tamanho dos poros. Na Terra Roxa Estruturada há uma maior quantidade de macroporos, os quais são mais susceptíveis à compactação, enquanto que no Latossolo Roxo há um predomínio de microporos.

WARKENTIN (1971) comenta que a compactação promove alterações no arrançamento das partículas e dos poros do solo. De acordo com o autor, a variação no tamanho dos poros é o fator mais importante que afeta as práticas agronômicas.

Segundo RAGHAVAN et alii (1977) a compactação altera a permeabilidade do solo, pois, causa uma grande diminuição da porosidade, o que pode impedir a penetração das raízes das plantas. Estes problemas geralmente ocorrem em solos argilosos devido ao uso de implementos pesados que exercem elevadas pressões sobre o solo.

O uso intensivo de máquinas agrícolas pesadas, juntamente com um decréscimo no cultivo do solo, pode resultar em uma elevada compactação.

Segundo VEEN (1982), os solos geralmente apresentam condições sub-ótimas para o crescimento das raízes, sendo a resistência mecânica um importante fator limitando o seu crescimento.

Resistência mecânica é um termo utilizado para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo. Esta resistência aumenta com a compactação do solo (BRADFORD et alii, 1971, CHANCELLOR, 1971; WARKENTIN, 1971; CANNELL, 1977; JANSSEN &

VAN DER WEERT, 1977; VOORHEES, 1977; HEWITT & DEXTER 1979), o que é indesejável para o crescimento das plantas, pois, o desenvolvimento do sistema radicular torna-se reduzido (BARLEY & GREACEN, 1967; TAYLOR, 1971; RUSSELL, 1977).

HARRIS (1971) e BAVER et alii (1973) afirmam que a resistência de um solo à penetração de um instrumento é um índice integrado pelo estado de compactação, conteúdo de água, textura e mineralogia da fração argila.

BAVER (1966) e CHANCELLOR (1971) comentam que o penetrômetro é um instrumento bastante útil para a obtenção de informações sobre a resistência e compactação do solo. De acordo com PHILLIPS & KIRKHAM (1962a), TAYLOR & GARDNER (1963), BARLEY et alii (1965), TAYLOR et alii (1966), COCKROFT et alii (1969), TAYLOR & RATLIFF (1969), TAYLOR (1971), VOORHEES et alii (1975), WHITELEY & DEXTER (1981) e MISRA et alii (1986) a habilidade de penetração das raízes das plantas tem sido avaliada pela resistência a um penetrômetro, cuja sonda é rígida e aguda. Entretanto, a resistência do solo à penetração de uma sonda é muito maior do que a encontrada pelas raízes das plantas (STOLZY & BARLEY, 1968; EAVIS & PAYNE, 1969). Um argumento frequentemente encontrado na literatura sobre a diferença de resistência encontrada pelos penetrômetros e pelas raízes diz respeito à natureza flexível das raízes, devido à qual elas são capazes de aproveitar planos de fraqueza no solo. Em

contraste, as sondas de metal, sendo rígidas, necessitam se guir um caminho reto (AUBERTIN & KARDOS, 1965 e STOLZY & BARLEY, 1968).

AUBERTIN & KARDOS (1965) e SHIERLAW & ALSTON (1984) verificaram que as raízes geralmente não crescem através dos poros existentes, mas sim, devido à capacidade de deslocar as partículas sólidas e criar seu próprio caminho através do solo.

Em um meio rígido, raízes são capazes de penetrar somente se os poros possuírem diâmetros maiores que o das mesmas e, embora a ponta da raiz seja plástica, ela não pode atravessar um poro estreito (WIERSUM, 1957 e SHIERLAW & ALSTON, 1984).

WIERSUM (1957) e MILLER & MAZURAK (1958) concluíram que a rigidez do poro é um fator que governa a penetração radicular e, enquanto as raízes puderem deslocar as partículas do solo, elas serão capazes de crescer e forçar a passagem através dos poros, se o poro original for menor do que o diâmetro das mesmas.

SCHUMACKER & SMUCKER (1981) determinaram a influência do impedimento mecânico no desenvolvimento de raízes de feijão. Os autores verificaram que o impedimento mecânico reduziu a massa seca, o volume e o comprimento das raízes. Resultados semelhantes foram obtidos por CANNELL

(1977).

TAYLOR (1971) observou que a massa seca das raízes que crescem em solos não compactados é mais elevada do que a das que se desenvolvem em solos com altos valores de resistência do solo à penetração.

MISRA et alii (1986) comentam que a resistência mecânica do solo afeta a penetração e o crescimento das raízes das plantas em todos os solos, não somente naqueles onde ela é elevada.

VOORHEES et alii (1975) e SAINI (1979) citam a resistência física do solo e a aeração como importantes fatores que afetam o crescimento das raízes no solo.

Muitos pesquisadores (BARLEY, 1962; TACKETT & PEARSON, 1964 e HOPKINS & PATRICK, 1969) têm demonstrado que ocorre uma redução maior no crescimento das plantas quando impedimento mecânico e baixas concentrações de oxigênio ocorrem juntos.

GRIMES et alii (1975) conduziram um estudo em dois solos, um de textura barro argilosa e outro barro arenosa, para determinar a influência da elevada resistência do solo à penetração no desenvolvimento radicular de plantas de algodão e milho. Os autores concluíram que à medida que aumentou a resistência do solo houve uma diminuição no crescimento, na profundidade de penetração e na den

sidade de raízes. Resultados semelhantes foram obtidos por BENNIE & BURGER (1983) quando estudaram o desenvolvimento do sistema radicular de plantas de milho, trigo e algodão em solos arenosos. JANSSEN & VAN DER WEERT (1977) também observaram uma redução na profundidade de desenvolvimento das raízes com o aumento da compactação do solo.

VOORHEES et alii (1975), estudando os efeitos da resistência física de dois solos, um argiloso e outro de textura média, no crescimento radicular de plantas de ervilha notaram que, à medida que aumenta a resistência física do solo, a raiz principal torna-se mais tortuosa.

GERARD et alii (1972), avaliando o crescimento de raízes de ervilha e algodão em solo argiloso, encontraram diferenças morfológicas nas raízes como resposta à resistência física do solo. Verificaram que, quando as raízes encontram resistência física à penetração, elas se desenvolvem lateralmente ou alteram a direção do crescimento.

SILVA (1984), analisando a influência da compactação do solo no desenvolvimento de plantas de algodão, verificou que níveis elevados de compactação ocasionaram danos ao sistema radicular das plantas, como tortuosidade e alteração na direção de crescimento.

A relação entre a resistência do solo e a penetração das raízes tem sido pesquisada por vários autores.

Em experimentos de laboratório, TAYLOR & GARDNER (1963) obtiveram para um solo barro arenoso que, em torno de 30 bars de resistência, não houve penetração de raízes de algodão. TAYLOR & BURNETT (1964) verificaram que raízes de algodão não penetraram em camadas de solo com resistências maiores do que 25 bars, obtidas na capacidade de campo.

TAYLOR et alii (1966) mediram a resistência da camada superior do solo com penetrômetro e consideraram que o valor crítico para o desenvolvimento de uma cultura está entre 20 e 31 kg/cm², apesar de existirem diferenças consideráveis entre espécies e variedades de plantas.

TAYLOR & RATLIFF (1969) concluíram para um solo de textura areia barrenta que, quando a resistência ao penetrômetro atingiu 7,2 bars, a taxa de elongação de raízes de algodão diminuiu em 50%, enquanto que, para ocorrer a mesma redução para raízes de amendoim foi necessária uma resistência de 19,1 bars.

KAR & VARADE (1972) notaram que o crescimento máximo de raízes de plantas de arroz ocorreu quando a resistência à penetração atingiu 36 kg/cm².

GERARD et alii (1982) utilizaram dois solos, um barro arenoso e outro barro argiloso, para estudar os fatores físicos que influenciam a resistência do solo à pene

tração e o crescimento de raízes de algodão. Os autores verificaram que a resistência à penetração para os dois solos foi influenciada pela densidade global, porosidade e conteúdo de argila, enquanto que o crescimento das raízes foi significativamente influenciado pela resistência à penetração, teor de água, porosidade e conteúdo de argila. A resistência crítica que impede a penetração radicular foi de 25 bars para o solo barro argiloso e de 60 a 70 bars para o barro arenoso.

A elevada resistência do solo à penetração pode ser amenizada por uma operação básica na agricultura: o preparo do solo. Entretanto, alguns pontos merecem atenção, como o teor de água do solo e a profundidade de preparo.

MARSHALL & RANEY (1960), BOURGET et alii (1961) e BAVER (1966) comentam que a máxima compactação do solo ocorre quando este contém um teor de água que representa uma condição ótima para a maioria das operações de preparo.

Quando o solo é preparado sempre à mesma profundidade, está sujeito a desenvolver uma camada compactada (WARKENTIN, 1971; DONAHUE et alii, 1977 e SHIERLAW & ALSTON 1984), a qual foi denominada de "soleira" por HENIN et alii (1976).

TAYLOR (1971) relata que, quando as raízes de

uma planta crescem em uma camada de solo cultivada e encontram outra compactada, três tipos de desenvolvimento podem ser observados: crescimento horizontal sobre a camada compactada; crescimento através da camada compactada, por uma curta distância, e então, paralização da elongação; crescimento muito lento através da camada compactada.

SAINI & SHOW (1982) citam que o impedimento mecânico causado por camadas compactadas no subsolo pode alterar o enraizamento normal das plantas. Geralmente, o sistema radicular das plantas desenvolve-se bem na camada arada, mas quando as raízes penetram abaixo desta camada, elas têm seu crescimento restringido pelas condições desfavoráveis do subsolo.

Muitos estudos de campo sobre compactação indicam que camadas de solo compactadas podem ser desfavoráveis para o crescimento das raízes, devido à falta de umidade ou oxigênio, e/ou devido ao impedimento mecânico para a penetração radicular (PHILLIPS & KIRKHAM, 1962b).

FOTH (1978) verificou que frequentemente ocorre compactação no fundo do sulco do arado, observando uma inibição do desenvolvimento do sistema radicular das plantas de algodão quando a densidade global excedeu a $1,6 \text{ g/cm}^3$.

GRIMES et alii (1982) estudaram o crescimento de raízes de ameixa, em condições de campo a vários ní

veis de resistência física do solo. Observaram que o cre
scimento das raízes foi reduzido em camadas compactadas, in
diferentemente do fato de resultarem do uso de equipamento
ou serem de origem genética. Verificaram também que medi
das de 16 bars na capacidade de campo, obtidas com penetrô-
metro, foram suficientes para diminuir a densidade das rai
zes em 50%.

SHIERLAW & ALSTON (1984) avaliaram o efeito
da compactação de um solo de textura média no desenvolvimento
do sistema radicular de plantas de milho. As plantas
cresceram em vasos contendo três camadas de solo, sendo que
a superior e a inferior apresentavam uma densidade global
de 1,20 g/cm³, enquanto que a central foi compactada a valores
de 1,20 a 1,75 g/cm³. Os autores notaram que a distri
buição das raízes ficou bastante alterada. A compactação
diminuiu o crescimento das raízes na camada compactada, sen
do que a penetração radicular deixou de ocorrer quando a
densidade global atingiu valores de 1,55 g/cm³.

BACCHI (1976), analisando os efeitos da compacta
ção em um Latossolo Roxo, concluiu que as camadas compacta
das de subsuperfície são mais prejudiciais ao desenvolvimento
do sistema radicular das plantas de cana-de-açúcar do
que perfis homogêneos, com elevada densidade global.

AUBERTIN & KARDOS (1965) relatam que o cresci
mento das raízes em certos solos tem sido frequentemente ob

servado como alterado ou totalmente impedido pela presença de uma estrutura desfavorável. Esta estrutura desfavorável tem sido considerada por muitos investigadores como sendo manifestada na forma de elevada resistência do solo, a qual oferece impedimento mecânico à penetração das raízes.

HOPKINS & PATRICK (1969), pesquisando os efeitos da compactação de três solos de textura média, observaram que em altos níveis de compactação é pequena a penetração radicular. Resultados semelhantes foram obtidos por PHILLIPS & KIRKHAM (1962b), em condições de campo, para um solo de textura argilosa e plantas de milho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Solos

Serviram de base para o presente estudo duas classes de solo de expressão geográfica, ocorrentes em área da Fazenda Experimental Lageado, de propriedade da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) - "Campus" de Botucatu.

Estas duas classes de solo são provenientes da decomposição de rochas eruptivas básicas, da Formação Serra Geral, e foram escolhidas por apresentarem diferenças quanto à gênese e, conseqüentemente, no tocante ao comportamento físico-químico. Os solos foram classificados por CARVALHO et alii (1983) como Série Lageado e Série Túnel, os quais pertencem, respectivamente, às seguintes classes de

solo: Terra Roxa Estruturada distrófica A moderado textura muito argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo ondulado e Latossolo Roxo distrófico A moderado textura muito argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo suave ondulado.

Na Tabela 1 estão descritas de forma sucinta as principais características físicas e químicas do horizonte superficial dos solos estudados.

3.1.2. Amostragem e preparo da terra

Foram utilizadas amostras de solo, com estrutura deformada, do horizonte superficial das duas classes de solo estudadas. As amostras foram secas ao ar para posterior tamizagem a 4,76 mm (peneira nº 4 da Granutest) e obtenção da terra a partir da qual foram efetuados os diversos ensaios de compactação.

3.1.3. Sementes

Para os diversos ensaios foram utilizadas sementes de soja da variedade IAS-5, com 90% de poder germinativo.

Tabela 1 - Principais características do horizonte superficial das classes de solo estudadas (*).

Características	Terra Roxa Estruturada distrófica (TRd)	Latossolo Roxo distrófico (LRd)
FÍSICAS:		
Teor de areia (%)	10	20
Teor de silte (%)	15	13
Teor de argila (%)	75	67
Classe textural (SBCS)	muito argilosa	muito argilosa
Densidade dos sólidos (g/cm ³)	2,96	2,93
QUÍMICAS:		
pH em água (1:25)	4,80	5,00
Carbono orgânico (%)	1,20	1,99
H ⁺ (meq/100g)	5,50	6,50
Al ³⁺ (meq/100g)	1,00	0,00
P (ppm)	5,00	2,00
K ⁺ (meq/100g)	0,19	0,17
Ca ²⁺ (meq/100g)	3,50	3,80
Mg ²⁺ (meq/100g)	0,80	1,60
S (meq/100g)	4,70	5,80
CTC (meq/100g)	11,20	12,30
V (%)	42,00	47,00

(*) Determinações feitas segundo o SNLCS/EMBRAPA, Manual de Métodos de Análise de Solo, 1979.

3.1.4. Aparélho de Proctor

Para a realização do ensaio normal de compactação foi utilizado o aparelho de Proctor, da Solotest, o qual é constituído por um molde cilíndrico, um soquete e um extrator de corpos de prova.

3.1.5. Compactador

O esquema do aparelho compactador utilizado (GROHMANN & QUEIROZ NETO, 1966) consta da Figura 1.

3.1.6. Colunas para compactação dos solos

Foram utilizados dois tipos de coluna para os diferentes ensaios. Para os ensaios 1 e 2 as colunas eram constituídas de 8 anéis cilíndricos de PVC, superpostos, apresentando cada anel as seguintes dimensões: 99,0 mm de diâmetro interno, 101,5 mm de diâmetro externo, 35,0 mm de altura e 269,42 cm³ de volume.

No ensaio 3 as colunas foram formadas por dois anéis, possuindo cada um 14 cm de altura, sendo as demais dimensões idênticas às descritas para os anéis utilizados nos ensaios 1 e 2.

Figura 1 - Esquema do aparelho compactador de amostras de solo: (a) base do porta-amostras; (b) porta-amostras desmontável; (c) cilindro compactador; (d) haste com guia para a queda do peso.

As colunas foram colocadas no interior de protetores de concreto, com formato de "meia cana", para reduzir os efeitos da temperatura e aumentar suas resistências mecânicas.

3.1.7. Penetrômetro

Para medir a resistência do solo à penetração foi empregado o penetrômetro de bolso, modelo CL-700, da Soil-test, com leituras em quilograma por centímetro quadrado.

3.1.8. Outros materiais

No decorrer dos trabalhos de laboratório foram utilizados, além dos já citados, os seguintes materiais: balanças Mettler H 80 e Mettler PC 2200, respectivamente para a obtenção das massas das raízes e parte aérea das plantas e dos anéis; estufas Fanem modelo 320-SE e Yamato modelo DS-62, respectivamente para secagem das raízes e parte aérea das plantas e das amostras de terra; bomba de vácuo Ulvac tipo G-20D; vidraria em geral.

3.2. Métodos

3.2.1. Ensaio em casa-de-vegetação

3.2.1.1. Ensaio 1

3.2.1.1.1. Delineamento experimental

O ensaio 1 foi realizado com a finalidade de determinar o nível de compactação que impede o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja, sendo constituído de 3 tratamentos e 5 repetições para os dois solos estudados, conforme descrição abaixo e esquema da Figura 2.

Tratamento A: 8 anéis superpostos, sem compactação (testemunha).

Tratamento B: 8 anéis superpostos com nível de compactação aumentando de 1 a 7 golpes.

Tratamento C: 8 anéis superpostos com nível de compactação aumentando de 8 a 14 golpes.

NC = nível de compactação

T = tratamento

Figura 2 - Esquema do delineamento experimental do ensaio 1

3.2.1.1.2. Delineamento estatístico

As análises estatísticas foram feitas de acordo com GOMES (1973), obtendo-se regressões simples para comparar os dados de massa das raízes secas com os de nível de compactação, densidade global, resistência à penetração, porosidade total e índice de vazios.

Aplicou-se o teste "t" para comparação das médias, dos vários tratamentos, entre os solos estudados.

3.2.1.1.3. Curvas de densidade glo bal do solo versus teor de água

As curvas de densidade global do solo versus teor de água foram obtidas pelo ensaio de Proctor normal, compactando-se os solos a diversos valores de umidade, sempre com a mesma intensidade (20 golpes), de acordo com o Método Brasileiro MB-33 padronizado pela ABNT. Dessas curvas obteve-se, para cada solo, o valor da densidade global máxima e do teor de água correspondente, denominado teor ótimo de água.

3.2.1.1.4. Compactação das amos tras de solo

As amostras de solo foram umedecidas até atingirem os teores ótimos de água determinados pelo ensaio de Proctor normal. A seguir foram acondicionadas em recipientes fechados para homogeneização e manutenção do teor de água das quais foram obtidas subamostras para preenchimento dos anéis.

Para efetuar a compactação das amostras nos anéis colocava-se a base do cilindro compactador sobre as mesmas, tomando-se o cuidado de mantê-lo em posição vertical. Em seguida deixava-se cair uma carga de 2 kg de uma

altura de 40 cm, variando-se a intensidade de compactação das amostras pelo número de golpes. O processo foi repetido duas vezes para cada anel, pois, a primeira compactação era realizada para determinar o peso do anel, a sua resistência à penetração e para confirmar o teor de água, enquanto que com a segunda compactação obtinha-se o anel que seria utilizado na coluna. Os anéis assim compactados foram unidos com fita veda rosca e fita crepe, sendo que no tratamento B foram reunidos em escala crescente os anéis com nível de compactação de 1 a 7 golpes, enquanto que no tratamento C foram agrupados os anéis com 8 a 14 golpes. O anel superior era sempre preenchido com solo sem compactação, no qual era efetuada a semeadura da soja. Para estudo comparativo utilizaram-se colunas com solo sem compactação, conforme está ilustrado na Figura 2.

3.2.1.1.5. Determinação da densidade de global do solo

Para a determinação da densidade global do solo, foram coletadas duas amostras de solo após a primeira compactação de cada anel, as quais eram colocadas na estufa a 105-110°C até a obtenção de massa constante.

Com os dados de massa do solo e volume total da amostra, a densidade global foi calculada a partir da fórmula:

$$\rho_g = \frac{M_s}{V_t}$$

onde: ρ_g = densidade global do solo (g/cm^3)

M_s = massa do solo seco em estufa (g)

V_t = volume total da amostra (cm^3)

3.2.1.1.6. Determinação do índice de vazios e da porosidade de total do solo

Uma vez obtidos os valores da densidade global do solo (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:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_g} - 1$$

$$n = \frac{\rho_s - \rho_g}{\rho_s} \cdot 100$$

3.2.1.1.7. Determinação da resis- tência do solo à pene- tração

A resistência do solo à penetração foi deter-
minada com um penetrômetro de bolso, sendo efetuadas de 5 a

7 leituras para cada anel. Essas leituras foram obtidas diretamente em quilograma por centímetro quadrado, pressionando-se o penetrômetro sobre a superfície dos anéis, contendo as amostras de solo, até a marca de referência localizada a 0,635 cm de sua extremidade. Um anel indicador apontava automaticamente a leitura da máxima carga aplicada relativa à penetração, até a marca de calibração.

3.2.1.1.8. Semeadura e condução do ensaio

As colunas de solo foram colocadas dentro de uma bandeja sobre uma camada de areia fina. A manutenção de um teor de água adequado, para o bom desenvolvimento das plantas de soja, foi obtida através da adição frequente de água sobre a camada de areia que a transmitia, por capilaridade, às colunas de solo. Nestas condições semearam-se três sementes de soja por coluna e, dez dias após a germinação realizou-se o desbaste, mantendo-se apenas uma planta por coluna.

3.2.1.1.9. Colheita das plantas

Após um mês de desenvolvimento as plantas foram seccionadas rente ao solo, as colunas retiradas dos protetores de concreto e o sistema radicular examinado para ve

rificar a existência de impedimento físico em relação ao seu crescimento e desenvolvimento.

3.2.1.1.10. Determinação da massa das raízes secas

Para a determinação da massa das raízes secas, os anéis que constituíam as colunas foram separados com lâmina cortante, extraíndo as raízes do solo por lavagem em água corrente e, posteriormente, em água destilada.

As raízes assim obtidas foram secas em estufa, regulada para uma temperatura de 70°C , durante 48 horas. A seguir, procedeu-se à pesagem, determinando-se a massa das raízes secas.

A massa total das raízes secas foi obtida somando-se os valores de massa de cada anel.

3.2.1.2. Ensaio 2

3.2.1.2.1. Delineamento experimental

Este ensaio foi conduzido procurando-se simular um solo constantemente trabalhado à mesma profundidade

(14 cm), apresentando uma camada compactada logo abaixo do raio de ação dos implementos (soleira). Foi constituído de 4 tratamentos com 5 repetições, cujos níveis de compactação foram determinados no ensaio 1, para os dois solos estudados, conforme descrição abaixo e esquema da Figura 3.

Tratamento A: 8 anéis superpostos, sem compactação (testemunha).

Tratamento B: 5º anel (14 cm de profundidade) com nível de compactação de 5 golpes.

Tratamento C: 5º anel (14 cm de profundidade) com nível de compactação de 6 golpes.

Tratamento D: 5º anel (14 cm de profundidade) com nível de compactação de 7 golpes.

3.2.1.2.2. Delineamento estatístico

As análises estatísticas foram feitas segundo GOMES (1973) aplicando-se o teste de Tukey para comparar os resultados entre tratamentos, em cada solo e o teste "t" para comparar as médias entre os dois solos estudados.

NC = nível de compactação

T = tratamento

Figura 3 - Esquema do delineamento experimental do ensaio 2

3.2.1.2.3. Compactação das amostras de solo

O procedimento utilizado para compactação das amostras de solo foi idêntico ao descrito para o ensaio 1.

Os três anéis inferiores eram compactados com nível de compactação de 5 golpes. Acima destes anéis colocava-se o anel compactado com nível de compactação variando de 5, 6 e 7 golpes, respectivamente para os tratamentos B, C e D. Os quatro anéis superiores eram preenchidos com solo sem compactação, sendo a semeadura da soja realizada no primeiro anel. Para estudo comparativo utilizaram-se co

lunas com solo sem compactação, conforme está ilustrado na Figura 3.

3.2.1.2.4. Semeadura, condução do ensaio e colheita das plantas

As práticas de semeadura da soja, condução do ensaio e colheita das plantas foram realizadas de maneira idêntica às já descritas para o ensaio 1.

3.2.1.2.5. Determinação da massa das raízes secas

Para a determinação da massa das raízes secas, os anéis que correspondiam às camadas compactadas (14 cm de profundidade) foram separados dos superiores e inferiores com lâmina cortante. Posteriormente, as raízes foram isoladas do solo por lavagem em água corrente e, em seguida, em água destilada.

Neste ensaio obteve-se a massa das raízes nas camadas de 0-14, 14-17,5 e 17,5-28 cm de profundidade, as quais foram secas em estufa, regulada para uma temperatura de 70°C, durante 48 horas. A seguir procedeu-se à pesagem, obtendo-se a massa das raízes secas.

3.2.1.3. Ensaio 3

3.2.1.3.1. Delineamento experimen tal

Este ensaio foi realizado procurando-se repre
sentar um perfil homogêneo, sem preparo do solo, onde se
realiza o plantio direto. Foi constituído de 5 tratamentos
e 5 repetições, cujos níveis de compactação foram determinada
dos no ensaio 1, para os dois solos estudados, conforme
descrição abaixo e esquema da Figura 4.

Tratamento A: colunas sem compactação (testemunha).

Tratamento B: colunas com nível de compactação de 3
golpes.

Tratamento C: colunas com nível de compactação de 4
golpes.

Tratamento D: colunas com nível de compactação de 5
golpes.

Tratamento E: colunas com nível de compactação de 6
golpes.

NC = nível de compactação

T = tratamento

Figura 4 - Esquema do delineamento experimental do ensaio 3

3.2.1.3.2. Delineamento estatístico

As análises estatísticas foram realizadas segundo GOMES (1973), empregando-se o teste Tukey para comparar os resultados entre tratamentos, em cada solo e o teste "t" para comparar as médias entre os dois solos estudados.

3.2.1.3.3. Compactação das colunas

As amostras de solo foram umedecidas até atingirem os teores ótimos de água determinados pelo ensaio de Proctor normal. A seguir, foram acondicionadas em recipientes

fechados, para homogeneização e manutenção do teor de água, das quais foram obtidas subamostras para preenchimento das colunas.

Para promover a compactação uniforme das colunas, colocava-se dentro delas um volume de solo correspondente ao suficiente para preencher um anel de 269,42 cm³ e, efetuava-se a compactação. Em seguida, revolvia-se a superfície com uma espátula e colocava-se novo volume de solo. O processo era repetido 8 vezes até o preenchimento completo das colunas. Finalmente, utilizava-se uma lâmina cortante para uniformizar a superfície das mesmas.

Para estudo comparativo utilizaram-se colunas de solo sem compactação, conforme pode ser observado na Figura 4.

3.2.1.3.4. Semeadura, condução do ensaio e colheita das plantas

As práticas de semeadura da soja, condução do ensaio e colheita das plantas foram realizadas de maneira idêntica às já descritas para o ensaio 1.

3.2.1.3.5. Determinação da massa das raízes secas

Para a determinação da massa das raízes secas, os dois anéis que constituíam as colunas foram cortados longitudinalmente e, as colunas de solo com as raízes, colocadas em bandejas plásticas com água, para diminuir a resistência do solo e evitar um rompimento do sistema radicular. Quando o solo estava totalmente saturado, as raízes foram isoladas, lavadas em água corrente e, em seguida, em água destilada. Posteriormente, as raízes foram colocadas em estufa, regulada para uma temperatura de 70°C , durante 48 horas. À seguir, procedia-se à pesagem, obtendo-se a massa das raízes secas.

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas tabelas com as médias dos valores obtidos e estimados para cada nível de compactação, juntamente com os parâmetros que permitiram as análises estatísticas. Os valores originais, determinados em cada ensaio encontram-se nos Apêndices.

As Tabelas 2 e 3 mostram os valores médios dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação, respectivamente, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 encontram-se, respectivamente, os valores médios dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação: densidade global, porosidade total, índice de vazios e resistência à penetração, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Os valores médios da massa das raízes secas, obtidos para os dois solos, são apresentados na Tabela 8 (Ensaio 1).

A Tabela 9 apresenta as correlações significativas ao nível de 1% de probabilidade entre os diferentes parâmetros analisados, onde "c" corresponde às correlações simples entre dois parâmetros e "r" aos coeficientes de correlação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

As equações de regressão obtidas para os dois solos estão relacionadas na Tabela 10.

Os valores médios da massa das raízes secas, obtidos para cada tratamento do ensaio 2, estão contidos nas Tabelas 11 e 12, respectivamente, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

Na Tabela 13, os valores médios da massa das raízes secas, determinados no ensaio 2, são apresentados conjuntamente para os dois solos.

As Tabelas 14 e 15 mostram os valores médios da massa das raízes secas, nos vários tratamentos do ensaio 3, para os dois solos estudados.

Tabela 2 - Valores médios dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação para a Terra Roxa Estruturada: densidade global (g/cm^3), porosidade total (%), índice de vazios, resistência à penetração (kg/cm^2) e massa das raízes secas (g)

Nível de Compactação	Densidade global (g/cm^3)	Porosidade total (%)	Índice de vazios	Resistência à penetração (kg/cm^2)	Massa das raízes secas (g)
Tratamento A					
0	0,90	69,60	2,29	0	0,1228
0	0,90	69,60	2,29	0	0,1010
0	0,90	69,60	2,29	0	0,0924
0	0,90	69,60	2,29	0	0,0883
0	0,90	69,60	2,29	0	0,0814
0	0,90	69,60	2,29	0	0,0834
0	0,90	69,60	2,29	0	0,0883
0	0,90	69,60	2,29	0	0,0915
Tratamento B					
0	0,90	69,60	2,29	0	0,1460
1	0,98	67,03	2,03	0,82	0,1246
2	1,08	63,58	1,75	1,58	0,0605
3	1,17	60,54	1,53	2,09	0,0448
4	1,22	58,72	1,43	2,55	0,0335
5	1,26	57,43	1,35	2,84	0,0250
6	1,29	56,28	1,29	3,06	0,0224
7	1,30	56,08	1,28	3,21	-
Tratamento C					
0	0,90	69,60	2,29	0	0,0913
8	1,30	56,08	1,28	3,24	-
9	1,31	55,61	1,25	3,24	-
10	1,33	55,07	1,23	3,43	-
11	1,34	54,59	1,20	3,47	-
12	1,35	54,33	1,19	3,51	-
13	1,36	54,06	1,18	3,53	-
14	1,37	53,86	1,16	3,57	-

Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação para o Latossolo Roxo: densidade global (g/cm^3), porosidade total (%), índice de vazios, resistência à penetração (kg/cm^2) e massa das raízes secas (g) (Ensaio 1).

Nível de Compactação	Densidade global (g/cm^3)	Porosidade total (%)	Índice de vazios	Resistência à penetração (kg/cm^2)	Massa das raízes secas (g)
Tratamento A					
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0784
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0788
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0592
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0545
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0594
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0448
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0574
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0514
Tratamento B					
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0876
1	0,97	66,96	2,03	0,87	0,0606
2	1,05	64,29	1,80	1,27	0,0471
3	1,11	62,18	1,64	1,91	0,0385
4	1,14	61,02	1,57	2,34	0,0247
5	1,17	60,14	1,51	2,79	0,0181
6	1,21	58,56	1,41	3,10	0,0082
7	1,23	58,16	1,39	3,18	-
Tratamento C					
0	0,90	69,35	2,26	0	0,0505
8	1,24	57,75	1,36	3,19	-
9	1,25	57,20	1,34	3,27	-
10	1,26	57,13	1,33	3,37	-
11	1,27	56,52	1,30	3,44	-
12	1,28	56,45	1,30	3,45	-
13	1,29	56,11	1,28	3,52	-
14	1,31	55,36	1,24	3,70	-

Tabela 4 - Valores médios, para cada tratamento, da densidade global (g/cm^3), nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Profundidade (cm)	Terra Roxa Estruturada	Latossolo Roxo	Teste T
Tratamento A			
0 - 28,0	0,90 (a)	0,90 (a)	0,16
Tratamento B			
0 - 3,5	0,90 (a)	0,90 (a)	0,16
3,5- 7,0	0,98 (a)	0,97 (a)	1,13
7,0-10,5	1,08 (a)	1,05 (a)	1,01
10,5-14,0	1,17 (a)	1,11 (b)	4,93 **
14,0-17,5	1,22 (a)	1,14 (b)	7,07 ***
17,5-21,0	1,26 (a)	1,17 (b)	6,78 ***
21,0-24,5	1,29 (a)	1,21 (b)	12,35 ***
24,5-28,0	1,30 (a)	1,23 (b)	9,11 ***
Tratamento C			
0 - 3,5	0,90 (a)	0,90 (a)	0,16
3,5- 7,0	1,30 (a)	1,24 (b)	6,76 ***
7,0-10,5	1,31 (a)	1,25 (b)	6,62 ***
10,5-14,0	1,33 (a)	1,26 (b)	7,55 ***
14,0-17,5	1,34 (a)	1,27 (b)	6,34 ***
17,5-21,0	1,35 (a)	1,28 (b)	7,24 ***
21,0-24,5	1,36 (a)	1,29 (b)	5,58 ***
24,5-28,0	1,37 (a)	1,31 (b)	6,48 ***

*** Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade

Tabela 5 - Valores médios, para cada tratamento, da porosidade total (%), nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Profundidade (cm)	Terra Roxa Estruturada	Latossolo Roxo	Teste T
Tratamento A			
0 - 28,0	69,60 (a)	69,35 (a)	0,57
Tratamento B			
0 - 3,5	69,60 (a)	69,35 (a)	0,57
3,5- 7,0	67,03 (a)	66,96 (a)	0,27
7,0-10,5	63,58 (a)	64,29 (a)	1,20
10,5-14,0	60,54 (a)	62,18 (b)	3,96**
14,0-17,5	58,72 (a)	61,02 (b)	5,99***
17,5-21,0	57,43 (a)	60,14 (b)	5,88***
21,0-24,5	56,28 (a)	58,56 (b)	10,34***
24,5-28,0	56,08 (a)	58,16 (b)	7,52***
Tratamento C			
0 - 3,5	69,60 (a)	69,35 (a)	0,57
3,5- 7,0	56,08 (a)	57,75 (b)	5,35***
7,0-10,5	55,61 (a)	57,20 (b)	5,16***
10,5-14,0	55,07 (a)	57,13 (b)	6,20***
14,0-17,5	54,59 (a)	56,52 (b)	5,11***
17,5-21,0	54,33 (a)	56,45 (b)	5,97***
21,0-24,5	54,06 (a)	56,11 (b)	4,57**
24,5-28,0	53,86 (a)	55,36 (b)	5,01**

*** Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade

Tabela 6 - Valores médios, para cada tratamento, do índice de vazios, nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Profundidade (cm)	Terra Roxa Estruturada	Latossolo Roxo	Teste T
Tratamento A			
0 - 28,0	2,29 (a)	2,26 (a)	0,60
Tratamento B			
0 - 3,5	2,29 (a)	2,26 (a)	0,60
3,5- 7,0	2,03 (a)	2,03 (a)	0,28
7,0-10,5	1,75 (a)	1,80 (a)	1,02
10,5-14,0	1,53 (a)	1,64 (b)	3,75**
14,0-17,5	1,43 (a)	1,57 (b)	5,53***
17,5-21,0	1,35 (a)	1,51 (b)	5,55***
21,0-24,5	1,29 (a)	1,41 (b)	10,55***
24,5-28,0	1,28 (a)	1,39 (b)	6,98***
Tratamento C			
0 - 3,5	2,29 (a)	2,26 (a)	0,60
3,5- 7,0	1,28 (a)	1,36 (b)	4,80**
7,0-10,5	1,25 (a)	1,34 (b)	5,11***
10,5-14,0	1,23 (a)	1,33 (b)	6,55***
14,0-17,5	1,20 (a)	1,30 (b)	5,16***
17,5-21,0	1,19 (a)	1,30 (b)	5,60***
21,0-24,5	1,18 (a)	1,28 (b)	4,37**
24,5-28,0	1,16 (a)	1,24 (b)	5,14***

*** Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade

Tabela 7 - Valores médios, para cada tratamento, da resistência à penetração (Kg/cm^2), nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Profundidade (cm)	Terra Roxa Estruturada	Latossolo Roxo	Teste T
Tratamento A			
0 - 28,0	0	0	-
Tratamento B			
0 - 3,5	0	0	-
3,5- 7,0	0,82 (a)	0,87 (a)	1,27
7,0-10,5	1,58 (a)	1,27 (b)	4,45 **
10,5-14,0	2,09 (a)	1,91 (b)	2,06 *
14,0-17,5	2,55 (a)	2,34 (b)	2,16 *
17,5-21,0	2,84 (a)	2,79 (a)	0,42
21,0-24,5	3,06 (a)	3,10 (a)	0,53
24,5-28,0	3,21 (a)	3,18 (a)	0,40
Tratamento C			
0 - 3,5	0	0	-
3,5- 7,0	3,24 (a)	3,19 (a)	0,46
7,0-10,5	3,24 (a)	3,27 (a)	0,18
10,5-14,0	3,43 (a)	3,37 (a)	0,34
14,0-17,5	3,47 (a)	3,44 (a)	0,13
17,5-21,0	3,51 (a)	3,45 (a)	0,29
21,0-24,5	3,53 (a)	3,52 (a)	0,09
24,5-28,0	3,57 (a)	3,70 (a)	0,65

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* Significativo ao nível de 10% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade

Tabela 8 - Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), nos vários níveis de compactação para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo . (Ensaio 1).

Profundidade (cm)	Terra Roxa Estruturada	Latossolo Roxo	Teste T
Tratamento A			
0 - 3,5	0,1228 (a)	0,0784 (b)	2,58 *
3,5- 7,0	0,1010 (a)	0,0788 (a)	1,71
7,0-10,5	0,0924 (a)	0,0592 (b)	4,04 **
10,5-14,0	0,0883 (a)	0,0545 (b)	4,14 **
14,0-17,5	0,0814 (a)	0,0594 (b)	4,02 **
17,5-21,0	0,0834 (a)	0,0448 (b)	6,71 ***
21,0-24,5	0,0883 (a)	0,0574 (b)	4,61 **
24,5-28,0	0,0915 (a)	0,0514 (b)	4,11 **
0 -28,0	0,7492 (a)	0,4840 (b)	6,59 ***
Tratamento B			
0 - 3,5	0,1460 (a)	0,0876 (b)	7,02 ***
3,5- 7,0	0,1246 (a)	0,0607 (b)	7,12 ***
7,0-10,5	0,0605 (a)	0,0471 (b)	3,42 **
10,5-14,0	0,0448 (a)	0,0386 (a)	1,71
14,0-17,5	0,0335 (a)	0,0247 (b)	4,01 **
17,5-21,0	0,0250 (a)	0,0181 (b)	2,66 *
21,0-24,5	0,0224 (a)	0,0082 (b)	9,18 ***
24,5-28,0	-	-	-
0 -28,0	0,4568 (a)	0,2850 (b)	7,12 ***

*** Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* Significativo ao nível de 10% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade

Tabela 9 - Correlações significativas ao nível de 1% de probabilidade entre os diferentes parâmetros analisados para a Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo (Ensaio 1).

- 01 - Nível de compactação
- 02 - Densidade global
- 03 - Resistência à penetração
- 04 - Porosidade total
- 05 - Índice de vazios
- 06 - Massa das raízes secas

Terra Roxa Estruturada				Latossolo Roxo			
c	r	c	r	c	r	c	r
01 x 02	0,9333	02 x 06	-0,9800	01 x 02	0,9484	02 x 06	-0,9409
01 x 03	0,9287	03 x 04	-0,9931	01 x 03	0,9335	03 x 04	-0,9880
01 x 04	-0,9335	03 x 05	-0,9908	01 x 04	-0,9485	03 x 05	-0,9862
01 x 05	-0,9098	03 x 06	-0,9710	01 x 05	-0,9260	03 x 06	-0,9515
01 x 06	-0,9713	04 x 05	0,9970	01 x 06	-0,9461	04 x 05	0,9971
02 x 03	0,9935	04 x 06	0,9800	02 x 03	0,9880	04 x 06	0,9409
02 x 04	-0,9999	05 x 06	0,9705	02 x 04	-1,0000	05 x 06	0,9436
02 x 05	-0,9971			02 x 05	-0,9971		

Tabela 10 - Equações de regressão entre a massa das raízes secas e os parâmetros: nível de compactação, densidade global, resistência à penetração, porosidade total e índice de vazios, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Equação	r	r ²
Terra Roxa Estruturada		
MS = 0,1398 ^{-0,3359} .NC	0,9713	0,9434
MS = 12,6685 ^{-4,8876} .DG	0,9800	0,9604
MS = 0,1675 ^{-0,6435} .RP	0,9710	0,9428
MS = 6,6x10 ⁻⁶ ^{0,1447} .PT	0,9800	0,9604
MS = 0,0021 ^{1,9148} .IV	0,9705	0,9418
Latossolo Roxo		
MS = 0,0777-0,0123.NC	0,9461	0,8951
MS = 0,2889-0,2303.DG	0,9409	0,8852
MS = 0,0831-0,0241.RP	0,9515	0,9053
MS = -0,3859+0,0067.PT	0,9409	0,8853
MS = -0,1093+0,0859.IV	0,9436	0,8903

Tabela 11 - Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), nas camadas de 0-14; 14-17,5; 17,5-28 e 0-28 cm de profundidade, para a Terra Roxa Estruturada (Ensaio 2).

Determinação	Tratamentos				Análise de Variância		
	A	B	C	D	F.trat.	T 1%	C.V.
Massa seca das raízes (0-14 cm) (g)	0,4046 a	0,3790 a	0,3785 a	0,2900 b	6,59**	0,101	12,04
Massa seca das raízes (14-17,5 cm) (g)	0,0814 a	0,0391 b	0,0392 b	0,0266 b	16,66**	0,030	28,17
Massa seca das raízes (17,5-28 cm) (g)	0,2632 a	0,1155 b	0,0810 b	0,0530 b	33,96**	0,083	28,01
Massa seca das raízes 0-28 cm) (g)	0,7492 a	0,5337 b	0,4987 bc	0,3697 c	22,80**	0,171	13,72

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 12 - Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), nas camadas de 0-14; 14-17,5; 17,5-28 e 0-28 cm de profundidade, para o Latossolo Roxo (Ensaio 2).

Determinação	Tratamentos				Análise de Variância		
	A	B	C	D	F. Trat.	T 1%	C.V.
Massa seca das raízes (0-14cm) (g)	0,2710 a	0,2098 ab	0,1759 b	0,1556 b	9,26**	0,086	18,27
Massa seca das raízes (14-17,5cm) (g)	0,0594 a	0,0205 b	0,0156 b	0,0185 b	37,82**	0,017	26,41
Massa seca das raízes (17,5-28cm) (g)	0,1536 a	0,0389 b	0,0226 b	0,0196 b	67,59**	0,040	29,58
Massa seca das raízes (0-28cm) (g)	0,4840 a	0,2692 b	0,2142 b	0,1937 b	36,03**	0,115	17,07

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 13 - Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), nas camadas de 0-14; 14-17,5 ; 17,5-28 e 0-28 cm de profundidade, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 2).

Profundidade (cm)	Terra Roxa Estruturada	Latossolo Roxo	Teste T
Tratamento A			
0 -14,0	0,4046 (a)	0,2710 (b)	4,70 **
14,0-17,5	0,0814 (a)	0,0594 (b)	4,02 **
17,5-28,0	0,2632 (a)	0,1536 (b)	5,68 ***
0 -28,0	0,7492 (a)	0,4840 (b)	6,59 ***
Tratamento B			
0 -14,0	0,3790 (a)	0,2098 (b)	8,25 ***
14,0-17,5	0,0391 (a)	0,0205 (b)	2,07 *
17,5-28,0	0,1155 (a)	0,0389 (b)	3,25 *
0 -28,0	0,5337 (a)	0,2692 (b)	5,56 ***
Tratamento C			
0 -14,0	0,3785 (a)	0,1759 (b)	9,18 ***
14,0-17,5	0,0392 (a)	0,0156 (b)	3,32 *
17,5-28,0	0,0810 (a)	0,0226 (b)	3,36 **
0 -28,0	0,4987 (a)	0,2142 (b)	7,78 ***
Tratamento D			
0 -14,0	0,2900 (a)	0,1556 (b)	4,46 **
14,0-17,5	0,0266 (a)	0,0185 (a)	1,75
17,5-28,0	0,0530 (a)	0,0196 (b)	5,11 ***
0 -28,0	0,3697 (a)	0,1937 (b)	5,31 ***

*** Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* Significativo ao nível de 10% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade

Tabela 14 - Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 3).

Determinação	Tratamentos					Análise de variância		
	A	B	C	D	E	F. trat.	T 1%	C.V.
Terra Roxa Estruturada								
Massa seca das raízes (g)	0,7492 a	0,2007 b	0,1978 b	0,1817 b	0,1623 b	84,11**	0,146	20,64
Latossolo Roxo								
Massa seca das raízes (g)	0,4840 a	0,1911 b	0,1787 b	0,1664 b	0,1585 b	58,46**	0,096	17,29

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 15 - Valores médios, para cada tratamento, da massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo (Ensaio 3).

Tratamento	Terra Roxa Estruturada	Latossolo Roxo	Teste T
A	0,7492 a	0,4840 b	6,59***
B	0,2007 a	0,1911 a	0,21
C	0,1978 a	0,1787 a	0,86
D	0,1817 a	0,1664 a	0,56
E	0,1623 a	0,1585 a	0,17

*** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Letras iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade.

5. DISCUSSÃO

5.1. Ensaio 1

5.1.1. Curvas da densidade global do solo versus teor de água

As curvas de compactação da Terra Roxa Estruturada e do Latossolo Roxo, apresentadas na Figura 5, mostram a relação entre a densidade global e o teor de água para um esforço uniforme de compactação. A densidade global aumentou com o teor de água até um máximo, ponto este denominado de teor ótimo de água, a partir do qual passou a de crescer, confirmando as observações de BODMAN e CONSTANTIN (1965), HARRIS (1971), RAGHAVAN et alii (1976), RAGHAVAN et alii (1977), HILLEL (1982) e LINDMANN et alii (1982), entre outros.

Figura 5 - Curvas de compactação da Terra Roxa Estruturada e do Latossolo Roxo.

O incremento na compactação dos solos foi muito dependente do teor de água, em função de sua ação como "lubrificante", permitindo uma aproximação das partículas de forma orientada, formando uma massa mais densa. Por outro lado, quando o teor de água superou o valor ótimo para a compactação, houve uma redução nos valores de densidade global, devido ao efeito da diluição das partículas por unidade de volume, conforme comentam SOANE (1970), HILLEL (1982) e Baver et alii (1972) citado por SILVA (1984).

Comparando-se os dois solos estudados, nota-se que a compactação máxima do Latossolo Roxo ocorreu a um teor de água mais elevado ($U = 29,5\%$) do que para a Terra Roxa Estruturada ($U = 21,1\%$), provavelmente devido ao conteúdo mais elevado de matéria orgânica do primeiro solo. Como a matéria orgânica promove uma elevada absorção de água, há necessidade de uma maior quantidade para que ocorra a formação de películas em torno das partículas do solo, promovendo a sua aproximação.

A maior compactação observada para a Terra Roxa Estruturada pode ser atribuída ao maior teor de argila deste solo, conforme relatam SAINI & CHOW (1984) e à mineralogia da fração argila (ACHÁ, 1976). Como na Terra Roxa Estruturada há um predomínio de caulinita (MONIZ, 1972), mineral este que possui uma microestrutura laminar, o teor ótimo de água juntamente com um esforço uniforme de compac

tação, resultaram em um arrançamento orientado das unidades estruturais, originando uma massa mais densa. Por outro lado, o Latossolo Roxo é constituído predominantemente por óxidos, os quais apresentam uma estrutura amorfa, que impede uma aproximação uniforme das partículas, ocasionando, portanto, uma menor compactação nestes solos, o que está de acordo com ACHÁ (1976).

Além disso, a Terra Roxa Estruturada apresenta um teor mais baixo de matéria orgânica, o qual predispõe o solo a uma compactação mais elevada, o que corrobora com as observações de SOANE (1970) e Free et alii (1947) citados por SOANE (1970).

5.1.2 - Densidade global do solo

Os valores médios de densidade global, em cada tratamento, para a Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3. Uma análise destes resultados permite observar que, com a elevação do nível de compactação, houve um incremento nos valores de densidade global, para os dois solos estudados.

A Terra Roxa Estruturada apresentou uma capacidade de compactação um pouco superior à do Latossolo Roxo: sua densidade global variou de 0,98 a 1,37 g/cm³, respecti-

vamente para o 1º e 14º nível de compactação, enquanto que para o Latossolo Roxo a variação foi de 0,97 a 1,31 g/cm³, conforme está ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Densidade global (g/cm³) nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

A menor compactação verificada no Latossolo Roxo pode ser explicada pelo fato deste solo possuir um teor menor de argila e maior de matéria orgânica do que a Terra Roxa Estruturada. O menor conteúdo de argila resulta em nível mais baixo de compactação, assim como o valor

mais elevado de matéria orgânica, que confere aos agregados maior estabilidade e, portanto, maior resistência à compactação, o que está de acordo com SOANE (1970) e SAINI & CHOW (1984).

Observa-se, na Tabela 9, que foram encontradas correlações positivas significativas, ao nível de 1% de probabilidade, entre os resultados obtidos para a densidade global e aqueles referentes ao nível de compactação, indicando que níveis mais elevados resultam em consequente aumento da densidade global. Este comportamento também foi verificado por MARSHALL & RANEY (1960), MEREDITH & PATRICK (1961), TACKETT & PEARSON (1964), CANNELL (1977), SAINI (1979), PRIMAVESI (1982) e SAINI & CHOW (1984). Os valores de densidade global também se correlacionaram positivamente com os de resistência à penetração, evidenciando que com o aumento da densidade global do solo houve um incremento da resistência mecânica à penetração, conforme observação de BRADFORD et alii (1971).

Observa-se, também na Tabela 9, que os resultados de densidade global correlacionaram-se negativamente com os de porosidade total e índice de vazios, comprovando que o incremento da densidade global é decorrente da diminuição do espaço poroso, conforme enfatizam COOPER & NICHOLS (1959), GILL (1961), BODMAN & CONSTANTIN (1965), VANDENBERG (1966), SOANE (1970), HARRIS (1971), RANEY (1971), O'NEIL & CARROW

(1983), SHIERLAW & ALSTON (1984), AGNEW & CARROW (1985) e VOORHEES et alii (1975).

5.1.3. Porosidade total e índice de vazios

Comparando-se os resultados de porosidade total e índice de vazios obtidos para a Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo contidos, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3, pode-se observar que seus valores decresceram com a elevação do nível de compactação.

Para a Terra Roxa Estruturada, a porosidade total diminuiu de 67,03 para 53,86% e o índice de vazios de 2,03 para 1,16, do 1º para o 14º nível de compactação, enquanto que no Latossolo Roxo houve uma diminuição de 66,96 para 55,36% na porosidade total e de 2,03 para 1,24 no índice de vazios. Analisando-se as Figuras 7 e 8, verifica-se que os valores de porosidade total e o índice de vazios foram maiores para o Latossolo Roxo, em todos os níveis, o que pode ser explicado pela sua estrutura, a qual proporciona um maior volume de microporos em relação ao de macroporos. Por outro lado, a Terra Roxa Estruturada possui uma tendência de apresentar uma porcentagem maior de macroporos, do que resulta uma maior compactação, quando os solos são submetidos a um esforço uniforme, fato este que está de acordo com GILL (1961), HARRIS (1971), CANNELL (1977) e

Figura 7 - Porosidade total (%) nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Figura 8 - Índice de vazios nos vários níveis de compactação para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

JANSSEN & VAN DER WEERT (1977).

Observa-se, na Tabela 9, que foram obtidas correlações negativas significativas entre os valores de porosidade total e índice de vazios e, aqueles referentes ao nível de compactação, densidade global e resistência do solo à penetração, evidenciando que à medida que ocorre uma redução na porosidade total, verifica-se um incremento no nível de compactação dos solos, o que está de acordo com COOPER & NICHOLS (1959), GILL (1961), SOANE (1970), CHANCELLOR (1971), HARRIS (1971), RAGHAVAN et alii (1977) e GERARD et alii (1982).

5.1.4. Resistência do solo à penetração

As Tabelas 2 e 3, contém os valores médios de resistência do solo à penetração, respectivamente para a Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo. Analisando-se estes resultados averigua-se que o aumento do nível de compactação induziu um incremento nos valores de resistência à penetração, para os dois solos estudados.

Para a Terra Roxa Estruturada houve uma variação de 0,82 a 3,57 kg/cm² e, para o Latossolo Roxo de 0,87 a 3,70 kg/cm², respectivamente, para o 1º e 14º nível de compactação, como está ilustrado na Figura 9. Estes resul

Figura 9 - Resistência à penetração (kg/cm²) nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

tados permitem afirmar que, com a compactação, as partículas e agregados do solo foram aproximados, consequentemente, reduzindo a porosidade e aumentando a resistência mecânica à penetração. Observações semelhantes foram feitas por CHANCELLOR (1971), WARKENTIN (1971), CANNELL (1977), JANSSEN & VAN DER WEERT (1977), VOORHEES (1977), HEWITT & DEXTER (1979) e GERARD et alii (1982).

Conforme pode ser verificado na Tabela 9, os valores de resistência do solo à penetração mostraram correlações positivas com os de nível de compactação e densidade global e, negativas com os de porosidade total e índice de vazios, confirmando que o aumento do nível de compactação e da densidade global e, a redução da porosidade total e índice de vazios estão relacionados com o incremento da resistência do solo à penetração.

5.1.5. Massa das raízes secas

Os valores médios da massa das raízes secas, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Analisando-se estas tabelas, observa-se que, para o tratamento A, o sistema radicular das plantas de soja desenvolveu-se praticamente de maneira uniforme através das colunas, atingindo a profundidade de 28 cm. Acredita-se que a pequena redução na massa das raízes secas, que ocorreu do 1º para o 8º anel, seja decorrente da distribuição normal do sistema radicular das plantas de soja em profundidade. Este tratamento, considerado como testemunha e, que foi utilizado para efeito comparativo com os tratamentos B e C compactados, apresentou um maior desenvolvimento do sistema radicular, em todos os anéis. Os valores obtidos va

riaram de 0,1228 a 0,0915 g para a Terra Roxa Estruturada e de 0,0784 a 0,0514 g para o Latossolo Roxo.

Nas Figuras 10 e 11 podem ser observadas as diferenças no desenvolvimento das raízes entre os dois solos. Verifica-se que os valores variaram de 0,1460 a 0,0224 g para a Terra Roxa Estruturada e de 0,0876 a 0,0082 g para o Latossolo Roxo.

Uma análise das Tabelas 2 e 3 permite verificar que, o aumento do nível de compactação do solo resultou em redução do desenvolvimento das raízes, corroborando com as observações de MEREDITH & PATRICK (1961), TROUSE & HUMBERT (1961), TACKETT & PEARSON (1964), BARLEY & GREACEN (1967), GRABLE & SIEMER (1968), TAYLOR (1971), KAR & VARADE (1972), CHAUDHARY & PRIHAR (1974), KULKARNI & SAVANT (1977), RUSSELL (1977), O'NEIL & CARROW (1983), SAINI & CHOW (1984), AGNEW & CARROW (1985) e MARTIN et alii (1985), sendo esta de 39,03% para a Terra Roxa Estruturada e de 41,18% para o Latossolo Roxo, portanto mais acentuada para o segundo solo.

Nota-se, ainda nas Tabelas 2 e 3, que o nível 7 de compactação, situado a 24,5 cm da superfície da coluna, impediu a penetração do sistema radicular das plantas de soja, sendo que o limite de tolerância à compactação foi superior para a Terra Roxa Estruturada. Neste solo, valores de densidade global de 1,30 g/cm³ não permitiram a penetração

Figura 10 - Massa das raízes secas (g) nos vários níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada.

Figura 11 - Massa das raízes secas (g) nos vários níveis de compactação, para o Latossolo Roxo.

e o desenvolvimento das raízes, enquanto que no Latossolo Roxo valores de $1,23 \text{ g/cm}^3$ já se mostraram limitantes. Estes resultados podem ser explicados pelo fato de no Latossolo Roxo haver uma maior porcentagem de microagregados, com predomínio de microporos, conforme enfatizam ACHÁ (1976) e VIEIRA & VIEIRA (1983), os quais acarretam uma aeração deficiente nas amostras compactadas (KIEHL, 1979) resultando em menor desenvolvimento do sistema radicular. Muitos pesquisadores (BARLEY, 1962; TACKETT & PEARSON, 1964; HOPKINS & PATRICK, 1969) têm demonstrado que ocorre uma redução maior no crescimento das plantas quando impedimento mecânico e baixas concentrações de oxigênio ocorrem juntos.

Analisando-se ainda as Tabelas 2 e 3, averigua-se que, no tratamento C dos dois solos, não ocorreu penetração do sistema radicular das plantas, no nível 8 de compactação, situado a 3,5 cm da superfície da coluna. As raízes apresentaram um desenvolvimento horizontal até atingirem um ponto com menor resistência, ponto este localizado entre o anel de PVC e o solo, o que está de acordo com TAYLOR (1971). Neste tratamento, onde os níveis de compactação foram os mais elevados, as amostras dos dois solos mostravam-se duras e muito resistentes à ruptura, resultando em um sistema radicular escasso, que se desenvolveu entre o anel de PVC e o solo, conforme pode ser observado pela Figura 12.

Figura 12 - Aspecto do desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja, no tratamento C, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Na Tabela 9, pode-se observar que os valores referentes à massa das raízes secas, se correlacionaram positivamente com os referentes à porosidade total e índice de vazios e, negativamente com os de nível de compactação, densidade global e resistência à penetração, confirmando o efeito negativo da compactação do solo sobre o crescimento das raízes das plantas. A análise de regressão, entre a massa das raízes secas e os parâmetros acima citados, resultou nas seguintes equações: $y = a^{bx}$ para a Terra Roxa Estruturada e $y = a + bx$ para o Latossolo Roxo (Tabela 10 e Figuras 13 a 17), comprovando que, quanto mais elevado o nível de compactação, haverá uma tendência de redução do desenvolvimento das raízes.

Para a Terra Roxa Estruturada obteve-se uma equação de regressão exponencial, o que pode ser atribuído à redução mais acentuada na massa das raízes secas nos primeiros níveis de compactação, enquanto que a equação linear do Latossolo Roxo, evidencia uma diminuição no desenvolvimento do sistema radicular, praticamente constante, com o incremento da compactação deste solo.

Neste ensaio, os parâmetros densidade global, porosidade total, índice de vazios e massa das raízes secas diferenciaram as duas classes de solo, conforme pode ser observado nas Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8, comprovando um comportamento diferente da Terra Roxa Estruturada e do Latossolo Ro

Figura 13 - Relação entre o nível de compactação e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

Figura 14 - Relação entre a densidade global (g/cm^3) e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

Figura 15 - Relação entre a porosidade total (%) e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

Figura 16 - Relação entre o índice de vazios e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

Figura 17 - Relação entre a resistência à penetração (Kg/cm^2) e a massa das raízes secas (g), para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

xo frente a um mesmo nível de compactação.

5.2. Ensaio 2

5.2.1. Massa das raízes secas

A presença de camada de impedimento de subsu perfície foi estudada através de três níveis de compactação, para cada solo, os quais foram comparados com a testemunha ($d_g = 0,9 \text{ g/cm}^3$). Os valores de densidade global utiliza dos no ensaio foram: 1,26; 1,29; 1,30 e 1,17; 1,21; 1,23 g/cm^3 , respectivamente, para a Terra Roxa Estruturada e o La tossolo Roxo.

Os resultados de massa das raízes secas nas camadas de 0-14; 14-17,5; 17,5-28 e 0-28 cm de profundidade, juntamente com os parâmetros que permitiram a análise estatística, estão contidos nas Tabelas 11 e 12, respectivamente, para a Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo.

Uma análise dos dados encontrados para a Terra Roxa Estruturada permite verificar que, na camada de 0-14 cm de profundidade, apenas o tratamento D diferiu sig nificativamente do A. Nota-se, entretanto, que todos os tratamentos com compactação, resultaram em menor crescimen

to do sistema radicular das plantas.

Para o Latossolo Roxo, os tratamentos C e D diferenciaram-se estatisticamente do A. Constatou-se, também para este solo, que os tratamentos B, C e D mostraram um menor desenvolvimento das raízes, quando comparados com o tratamento sem compactação. Esta redução na massa das raízes secas pode ser devida à presença de uma camada compactada de subsuperfície, a qual altera o enraizamento normal das plantas, concordando com as observações de SAINI & CHOW (1982). A Figura 18(a), que apresenta a massa das raízes secas na camada de 0-14 cm de profundidade, evidencia que os tratamentos cujos níveis de compactação são mais elevados proporcionam um menor desenvolvimento do sistema radicular.

Na camada de 14-17,5 cm de profundidade, foram obtidas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos B, C, D e o A, para os dois solos estudados. O aumento do nível de compactação ocasionou uma redução bastante acentuada na massa das raízes secas, conforme está ilustrado na Figura 18(b).

A presença de uma camada compactada de subsu-
perfície resultou em condições desfavoráveis para o crescimento das raízes das plantas de soja, devido ao impedimento mecânico e/ou falta de aeração adequada, o que confirma as observações de BARLEY (1962), PHILLIPS & KIRKHAM (1962b),

Figura 18 - Massa das raízes secas (g), nos vários tratamentos, nas camadas de 0-14; 14-17,5 e 17,5-28 cm de profundidade, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 2).

TACKETT & PEARSON (1964), AUBERTIN & KARDOS (1965), HOPKINS & PATRICK (1969), VOORHEES et alii (1975), FOTH (1978), SAINI (1979), GRIMES et alii (1982) e SHIERLAW & ALSTON (1984).

Os valores de massa das raízes secas da camada de 17,5-28 cm de profundidade, também mostraram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos B, C, D e o A, para os dois solos estudados. Verifica-se, também que todos os valores obtidos para os tratamentos com níveis de compactação, mostraram-se inferiores ao do tratamento sem compactação.

Na Figura 18(c) estão representadas as massas das raízes secas na camada de 17,5-28 cm, para as duas classes de solo. Observa-se que os tratamentos que possuíam uma camada de impedimento com nível mais elevado de compactação, apresentaram um menor desenvolvimento das raízes, o qual ficou condicionado ao crescimento através da camada compactada, concordando com as afirmações de TAYLOR (1971), GRIMES et alii (1982), SAINI & CHOW (1982) e SHIERLAW & ALSTON (1984).

Para a camada de 0-28 cm de profundidade, que corresponde à massa total das raízes secas, foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos B, C, D e o A, tanto para a Terra Roxa Estruturada como para o Latossolo Roxo (Tabela 11). Estes resultados

permitem afirmar que a presença de uma camada de impedimento de subsuperfície altera o desenvolvimento normal do sistema radicular, conforme foi verificado por PHILLIPS & KIRKHAM (1962b), FOTH (1978), GRIMES et alii (1982) e SHIERLAW & ALSTON (1984) e relatado por AUBERTIN & KARDOS (1965). Essa alteração resultou em uma redução máxima no crescimento das raízes das plantas, de 50,65% para a Terra Roxa Estruturada e de 59,98% para o Latossolo Roxo, portanto, mais intensa para o último solo.

Os valores de massa seca das raízes, referentes à Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo, contidos na Tabela 13, diferiram estatisticamente nos quatro tratamentos efetuados, permitindo separação das duas classes de solo.

5.3. Ensaio 3

5.3.1. Massa das raízes secas

A influência de perfis de solo uniformes foi avaliada através de quatro níveis de compactação, para cada solo, os quais foram comparados com a testemunha ($d_g = 0,9 \text{ g/cm}^3$). Os valores de densidade global estudados para a Terra Roxa Estruturada e para o Latossolo Roxo foram, res

pectivamente: 1,17; 1,22; 1,26; 1,29 e 1,11; 1,14; 1,17; 1,21 g/cm³.

Os valores médios referentes à massa das raízes secas, para cada tratamento, juntamente com os parâmetros que permitiram a análise estatística, são apresentados na Tabela 14.

Verifica-se que a massa das raízes secas mostrou diferença estatística significativa pelo teste de Tukey, quando foram comparados os tratamentos B, C, D e E com o A. Uma análise dos valores contidos na Tabela 14 permite observar que estes foram muito inferiores para os tratamentos B, C, D e E, para as duas classes de solo.

Entre os tratamentos com níveis de compactação (B, C, D e E), não foram evidenciadas diferenças estatísticas, embora tenha-se observado uma redução no crescimento das raízes com o aumento do nível de compactação.

A Figura 19 ilustra as diferenças de massa das raízes secas nos vários tratamentos entre a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

Para a Terra Roxa Estruturada obteve-se uma redução máxima na massa das raízes secas de 78,34%, enquanto que, para o Latossolo Roxo a diminuição foi de 67,25%, portanto mais acentuada para o primeiro solo. Este menor desenvolvimento, constatado para as duas classes de solo, de

Figura 19 - Massa das raízes secas (g) nos vários tratamentos, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 3).

ve estar relacionado com os níveis de compactação, os quais parecem ter sido bastante elevados, dificultando a germinação das sementes e a penetração e desenvolvimento do sistema radicular, concordando com as afirmações de PHILLIPS & KIRKHAM (1962b) e HOPKINS & PATRICK (1969).

Cabe salientar, que as raízes são capazes de

penetrar em um solo, somente se o diâmetro dos poros for maior que o delas, ou deslocando as partículas e forçando a passagem, conforme enfatizam WIERSUM (1957), MILLER & MAZURAK (1958), AUBERTIN & KARDOS (1965) e SHIERLAW & ALSTON (1984).

Para os níveis de compactação estudados, a resistência física do solo dificultou o desenvolvimento normal do sistema radicular das plantas de soja, resultando em alterações bastante intensas, para os dois solos, conforme pode ser observado nas Figuras 20, 21, 22 e 23.

Os níveis de compactação estudados mostraram se bastante elevados para um desenvolvimento normal do sistema radicular das plantas, ocasionando-lhe um crescimento irregular, o que concorda com as observações de WOORHEES et alii (1975) e SILVA (1984).

A massa das raízes secas nos tratamentos com níveis de compactação (B, C, D e E) não permitiu separar a Terra Roxa Estruturada do Latossolo Roxo, conforme pode ser observado na Tabela 15. Apenas o tratamento A (testemunha) apresentou diferença significativa entre os solos.

Figura 20 - Aspecto do sistema radicular das plantas de soja, nos tratamentos com níveis uniformes de compactação (B e C), para a Terra Roxa Estruturada (Ensaio 3).

Figura 21 - Aspecto do sistema radicular das plantas de soja, nos tratamentos com níveis uniformes de compactação (D e E), para a Terra Roxa Estruturada (Ensaio 3).

Figura 22 - Aspecto do sistema radicular das plantas de soja, nos tratamentos com níveis uniformes de compactação (B e C), para o Latossolo Roso (Ensaio 3).

Figura 23 - Aspecto do sistema radicular das plantas de soja, nos tratamentos com níveis uniformes de compactação (D e E), para o Latossolo Roxo (Ensaio 3).

6. CONCLUSÕES

Para as condições sob as quais se desenvolveram os ensaios, os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- A Terra Roxa Estruturada apresentou valores de densidade global superiores aos do Latossolo Roxo, quando os solos foram submetidos à um mesmo nível de compactação.
- A umidade ótima de compactação foi mais elevada para o Latossolo Roxo.
- O incremento do nível de compactação resultou para os dois solos, em aumento da resistência mecânica à penetração e, diminuição da porosidade total e índice de vazios.
- A elevação do nível de compactação resultou em menor de-

desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja, para os dois solos, sendo mais prejudicial para o Latossolo Roxo.

- A penetração e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja ficaram impedidos quando a densidade global atingiu valores de 1,30 e 1,23 g/cm³, respectivamente para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.
- Para os dois solos, os parâmetros nível de compactação, densidade global e resistência à penetração correlacionaram-se positivamente entre si e, negativamente com a porosidade total, índice de vazios e massa das raízes secas.
- A presença de camada compactada, a 14 cm de profundidade, acarretou uma redução máxima no desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja de 50,65% para a Terra Roxa Estruturada ($d_g = 1,30 \text{ g/cm}^3$) e de 59,98% para o Latossolo Roxo ($d_g = 1,23 \text{ g/cm}^3$).
- A compactação uniforme dos perfis resultou numa diminuição máxima no desenvolvimento das raízes das plantas de soja de 78,34% para a Terra Roxa Estruturada ($d_g = 1,29 \text{ g/cm}^3$) e de 67,25% para o Latossolo Roxo ($d_g = 1,21 \text{ g/cm}^3$).
- Os parâmetros densidade global, porosidade total, índice

de vazios e massa das raízes secas diferenciaram a Terra Ro
xa Estruturada do Latossolo Roxo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discussões apresentadas e as conclusões obtidas demonstram a importância de condições físicas favoráveis do solo, para um desenvolvimento adequado do sistema radicular das plantas.

Os resultados obtidos permitiram verificar que a diferenciação física dos solos reside, principalmente, na porosidade. Alguns parâmetros não analisados neste estudo, devem fornecer informes de interesse complementar. Mencionou-se, por exemplo, a separação do espaço poroso dos solos em macro e microporosidade; outro aspecto não explorado foi a mineralogia da fração argila.

Com relação à presença de camadas de impedimento de subsuperfície, a presente pesquisa mostrou que há uma redução considerável no desenvolvimento do sistema radicular das plantas quando estão presentes no perfil do solo.

Por isso, acredita-se que o rompimento de tais camadas, em condições de campo, seja viável, objetivando-se um desenvolvimento satisfatório das plantas. Entretanto, deveriam ser pesquisadas algumas maneiras de se atingir este objetivo, que alterassem o mínimo possível as condições físicas do solo.

Os níveis uniformes de compactação avaliados, semelhantes aos encontrados em perfis de solos, também resultaram em uma diminuição bastante intensa no desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja, o que nos leva a presumir, que a prática contínua do plantio direto não seja vantajosa nestas condições, uma vez que deverá ocorrer uma redução proporcional na produção da cultura.

Os três ensaios realizados possibilitaram observar que há uma redução no desenvolvimento das raízes da soja, assim como na parte aérea das plantas (dados não apresentados) com o incremento do nível de compactação dos solos. Os dois solos estudados permitiram comprovar que teores mais elevados de matéria orgânica protegem o solo de pressões que resultam em compactação. Portanto, ressalta-se a importância da adição de material orgânico para melhorar as condições físicas do solo.

8. LITERATURA CITADA

ACHÃ, L.P. Latossolo Vermelho Amarelo de Tabuleiro no Espírito Santo - Formação, Características e Classificação. Recife, 1976. 113p. (Doutorado/Livre Docência - Universidade Federal Rural de Pernambuco).

AGNEW, M.L. & CARROW, R.N. Soil compaction and moisture stress preconditioning in Kentucky bluegrass. I. Soil aeration, water use, and root responses. Agron.J.Madison, 77(6):872-878, 1985.

AUBERTIN, G.M. & KARDOS, L.T. Root growth through porous media under controlled conditions: I. Effect of pore size and rigidity. Soil Sci. Soc.Am.Proc. Detroit, 29(3):290-293, 1965.

BACCHI, O.O.S. Efeitos da compactação sobre o sistema solo-planta em cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp.). Piracicaba, 1976. 67p. (Mestrado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

BARLEY, K.P. The effects of mechanical stress on the growth of roots. J. Exp. Bot. Oxford, 13(37):95-110, 1962.

BARLEY, K.P.; FARRELL, D.A. & GREACEN, E.L. The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots. Aust.J.Soil Res. Melbourne, 3(1):69-79, 1965.

- BARLEY, K.P. & GREACEN, E.L. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. Adv. Agron. New York, 19(1):1-43, 1967.
- BAVER, L.D. Soil Physics. 3^a ed. New York, John Wiley and Sons Inc., 1966. pp. 489.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. Física del Suelos. Mexico, Tipografia Editorial Hispano Americana , 1973. pp. 529.
- BENNIE, A.T.P. & BURGER, R.D.U.T. Root characteristics of different crops as affected by mechanical resistance in fine sand soils. Technical Comm., 180:29-32, 1983.
- BODMAN, G.B. & CONSTANTIN, G.K. Influence of particle size distribution in soil compaction. Hilgardia. Berkeley , 36(15):567-591, 1965.
- BOURGET, S.J.; KEMP, J.G. & DOW, B.K. Effect of tractor traffic on crop yields and soil density. Agric. Engng. St. Joseph, 42(10):554, 1961.
- BRADFORD, J.M.; FARRELL, D.A. & LARSON, W.E. Effect of soil overburden pressure on penetration of fine metal probes. Soil Sci.Soc.Am.Proc. Detroit, 35(1):12-15, 1971.
- CANNELL, R.Q. Soil aeration and compaction in relation to root growth and soil management. In: COAKER, T.H. ed. Applied Biology. Londres, Academic Press, 1977. p.1-86.
- CARROW, R.N. Influence of soil compaction on three turfgrass species. Agron. J. Madison, 72(6):1038-1042 , 1980.

CARVALHO, W.A.; ESPÍNDOLA, C.R. & PACCOLA, A.A. Levantamento de Solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici", Botucatu, F.C.A./UNESP, 1983. pp.95.

CHANCELLOR, W.J. Effects of compaction on soil strength. In: BARNES, K.K., Compaction of Agricultural Soils. St. Joseph, ASAE, 1971. p. 190-212.

CHAUDHARI, M.R. & PRIHAR, S.S. Root development and response of corn following mulching, cultivation or interrow compaction. Agron. J. Madison, 66(3):350-355 , 1974.

COCKROFT, B.; BARLEY, K.P. & GREACEN, E.L. The penetration of clays by fine probes and root tips. Aust. J. Soil Res. Melbourne, 7(3):333-348, 1969.

COOPER, A.W. & NICHOLS, M.L. Some observations on soil compaction tests. Agric. Engng. St. Joseph, 40(5):264-267, 1959.

DONAHUE, R.L.; MILLER, R.W. & SHICKLUNA, J.C. Soils: An introduction to soils and plant growth. 4^a ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc, 1977. pp.626.

DUNLAP, W.H. & WEBER, J.A. Compaction of an insaturated soil under a general state of stress. Trans ASAE. St. Joseph, 14(4):601-607 e 611, 1971.

EAVIS, B.W. & PAYNE, D. Soil physical conditions and root growth. In: WHITTINGTON, W.J. (ed.), Root growth. New York, Plenum Press, 1969. pp. 315-336.

FOTH, H.D. Fundamentals of Soil Science. New York, John Willey e Sons, 1978. pp.436.

- GERARD, C.J.; MEHTA, H.C. & HINOJOSA, E. Root growth in a clay soil. Soil Sci. Baltimore, 114(1):37-49, 1972.
- GERARD, C.J.; SEXTON, P. & SHAW, G. Physical factors influencing soil strength and root growth. Agron. J. Madison, 74(5):875-879, 1982.
- GILL, W.R. Mechanical impedance of plants by compacted soils. Trans. ASAE. St. Joseph, 4(2):238-242, 1961.
- GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. 10a. ed. São Paulo, Livraria Nobel, 1982. p. 430.
- GRABLE, A.R. & SIEMER, E.G. Effects on bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Detroit, 32(2):180-186, 1968.
- GRIMES, D.W.; MILLER, R.J. & WILEY, P.L. Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. Agron. J. Madison, 67(4):519-523, 1975.
- GRIMES, D.W.; WILEY, P.L. & CARLTON, A.B. Plum root growth in a variable-strength field soil. J. Am. Soc. Hort. Sci. New York, 107(6):990-992, 1982.
- GROHMANN, F. & QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. Bragantia. Campinas, 25(38):421-431.
- HALLMARK, W.B. & BARBER, S.A. Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of soybeans as affected by soil K and bulk density. Agron. J. Madison, 73(5):779-782, 1981.
- HARRIS, W.L. The soil compaction process. In: BARNES, K.K. org. Compaction of agricultural soils. St. Joseph, ASAE, 1971. p.9-44.

- HEMSATH, D.L. & MAZURAK, A.P. Seedling growth of sorghum in clay mixtures at various compactions and water contents. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Detroit, 38(3):387-390, 1974.
- HENIN, S.; R. GRAS & G. MONNIER. Os Solos Agrícolas. Rio de Janeiro, Editora Forense Universitária. 1976, p. 327.
- HEWITT, J.S. & DEXTER, A.R. An improved model of root growth in structured soil. Plant and Soil. The Hague, 52(3): 325-343, 1979.
- HILLEL, D. Introduction to Soil Physics. New York, Academic Press, 1982. pp. 365.
- HOPKINS, R.M. & PATRIK JUNIOR, W.H. Combined effect of oxygen content and soil compaction on root penetration. Soil Sci. Baltimore, 108(6):408-413, 1969.
- JANSSEN, B.H. & VAN DER WEERT, R. The influence of fertilizers, soil organic matter and soil compaction on maize yields on the Surinam 'Zanderij' Soils. Plant and Soil. The Hague, 46(2):445-458, 1977.
- KAR, S. & VARADE, S.B. Influence of mechanical impedance on rice seedling root growth. Agron. J. Madison, 64(1):80-81, 1972.
- KIEHL, E.J. Manual de Edafologia. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1979, pp.264.
- KULKARNI, B.K. & SAVANT, N.K. Effect of soil compaction on root-cation exchange capacity of crop plants. Plant and Soil. The Hague, 48(2):269-278, 1977.
- LINDEMANN, W.C.; HAM, G.E. & RANDALL, G.W. Soil compaction effects on soybean nodulation, $N_2(C_2H_4)$ fixation and seed yield. Agron. J. Madison, 74(2):307-311, 1982.

- MARSHALL, R.M. & RANEY, W.A. Modifying soil profiles. Yearbook of Agriculture. Washington, 1960. p.123-128.
- MARTIN, A.G.; JORDAN, T.N. & STEINHARDT, G.C. Influence of soil compaction on trifluralin phytotoxicity to corn. Agr. J. Madison, 77(3):481-483, 1985.
- MEREDITH, H.L. & PATRICH JUNIOR, W.H. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. Agron. J. Madison, 53(3):163-167, 1961.
- MILLER, S.A. & MAZURAK, A.P. Relationships of particle and pore sizes to the growth of sunflowers. Soil Sci.Soc.Am. Proc. Detroit, 22(4):275-278, 1958.
- MISRA, R.K.; DEXTER, A.R. & ALSTON, A.M. Penetration of soil aggregates of finite size. II. Plant roots. Plant and Soil. The Hague, 94(1):59-85, 1986.
- MONIZ, A.C. (coord.) Elementos de Pedologia. São Paulo, Editora Polígono, 1972. pp. 459..
- MORGAN, W.C.; RICHARDS, S.J. & VALORAS, N. Physical soil amendments, soil compaction, irrigation, and wetting agents in turfgrass management. III. Effects on oxygen diffusion rate and root growth. Agron. J. Madison, 58(5):531-535, 1966.
- O'NEIL, K.J. & CARROW, R.N. Perennial ryegrass growth, water use, and soil aeration status under soil compaction. Agron. J. Madison, 75(2):177-180, 1983.
- ORTOLANI, A.F.; COAN, O. & SALLES, H.C. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja (Glycine max (L)

- Merril). Engenharia Agrícola. Botucatu, 6(1):35-42, 1982.
- PHILLIPS, R.E. & KIRKHAM, D. Mechanical impedance and corn seedling root growth. Soil Sic.Soc.Am.Proc. Detroit, 26(4):319-322, 1962a.
- PHILLIPS, R.E. & KIRKHAM, D. Soil compaction in the field and corn growth. Agron. J. Madison, 54(1):29-34, 1962b.
- PRIMAVESI, O. Fatores limitantes da produtividade agrícola e plantio direto. São Paulo, BASF, 1982. pp.56.
- RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E.; AMIR, I.; CHASSE, M. & BROUGHTON, R.S. Prediction of soil compaction due to off-road vehicle traffic. Trans. ASAE. St. Joseph, 19(4): 610-613, 1976.
- RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E. & BEAULIEU, B. Prediction of clay soil compaction. J. Terramech. Hanover, 14(1): 31-38, 1977.
- RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E.; STEMSHORN, E.; GRAY, A. & BEAULIEU, B. Vehicle compaction patterns in clay soil. Trans. ASAE. St. Joseph, 20(2):218-220 e 225, 1977.
- RANEY, W.A. & EDMINSTER, T.W. Approaches to soil compaction research. Trans. ASAE, St. Joseph, 4(2):246-248, 1961.
- RANEY, W.A. Compaction as it effects soil conditions. In : BARNES, K.K. org. Compaction of agricultural soils. St. Joseph, ASAE, 1971. p.213.

- RUSSELL, R.S. Plant root systems: their function and interaction with the soil. McGraw-Hill Book Company Ltda, 1977. pp.298.
- SAINI, G.R. Root elongation and plant growth in a basal till compact soil treated with 3,5 - diiodo-4-hydroxybenzoic acid and gibberellic acid. Agron. J. Madison, 71(6):1067-1070, 1979.
- SAINI, G.R. & CHOW, T.L. Effect of compacted sub-soil 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(3):291-298, 1982.
- SAINI, G.R. & CHOW, T.L. Compactibility indexes of some agricultural soils of New Brunswick, Canada. Soil Sci. Baltimore, 137(1):33-38, 1984.
- SCHUMACKER, T.E. & SMUCKER, A.J.M. Mechanical impedance effects on oxygen uptake and porosity of drybean roots. Agron. J. Madison, 73(1):51-55, 1981.
- SHARMA, R.P. & SINGH, A. Effect of berseen (T. alexandrinum L.) on the growth of maize crop on artificially compacted soil. Plant and Soil. The Hague, 31(1):11-21, 1969.
- SHIERLAW, J. & ALSTON, A.M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. Plant and Soil. The Hague, 77(1):15-28, 1984.
- * SILVA, A.P. Influência da compactação nas propriedades físicas do solo e no sistema radicular de plântulas de algodão (Gossypium hirsutum, L.). Piracicaba, 1984. 75p (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- SOANE, B.D. The effects of traffic and implements on soil compaction. J.Proc.Int.Agric. Engng. 25:115-126, 1970.
- STOLZY, L.H. & BARLEY, K.P. Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. Soil Sci. Baltimore, 105(5):297-301, 1968.
- TACKETT, J.L. & PEARSON, R.W. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. Soil cores. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Detroit, 28(5):600-605, 1964.
- TAYLOR, H.M. & GARDNER, H.R. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. Soil Sci. Baltimore, 96(3):153-156, 1963.
- TAYLOR, H.M. & BURNETT, E. Influence of soil strength on root growth habits of plants. Soil Sci. Baltimore, 98(3):174-180, 1964.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER Jr., J. Soil strength-root penetration relations for medium-to coarse textured soil materials. Soil Sci. Baltimore, 102(1):18-22, 1966.
- TAYLOR, H.M. & RATLIFF, L.F. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and water content. Soil Sci. Baltimore, 108(2):113-119, 1969.
- TAYLOR, H.M. Effects of soil strength on seedling emergence, root growth, and crop yield. In: BARNES, K.K. org. Compaction of agricultural soils. St. Joseph, ASAE, p. 292-305. 1971.
- THURMAN, P.C. & POKORNY, F.A. The relationship of several

amended soils and compaction rates on vegetative growth, root development, and cold resistance of 'Tifgreen' bermudagrass. J.Am.Soc.Hort.Sci. New York, 94(5):463-465, 1969.

TROUSE JUNIOR, A.C. & HUMBERT, R.P. Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots. Soil Sci. Baltimore, 91(3):208-217, 1961.

VANDEN BERG, G.E. Triaxial measurements of shear strain and compaction in unsaturated soil. Trans. ASAE, St. Joseph, 9(4):460-463 e 467, 1966.

VEEN, B.W. The influence of mechanical impedance on the growth of maize roots. Plant and Soil. The Hague, 66(1): 101-109, 1982.

VIEIRA, L.S. & VIEIRA, M.N. Manual de morfologia e classificação de solos. 2a. ed. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, Ltda, 1983, pp.313.

VOORHEES, W.B.; AMEMIYA, M.; ALLMARAS, R.R. & LARSON, W.E. Some effects of aggregate structure heterogeneity on root growth. Soil Sci.Soc.Am.Proc. Madison, 35(4):638-643, 1971.

VOORHEES, W.B.; FARRELL, D.A. & LARSON, W.E. Soil strength and aeration effects on root elongation. Soil Sci.Soc. Amer.Proc. Detroit, 39(5):948-953, 1975.

VOORHEES, W.B. Compaction: our newest natural resource. Crops and Soils Magazine. Madison, 29(6):7-10, 1977.

* WARKENTIN, B.P. Effects of compaction on content and transmission of water in soils. In: BARNES, K.K. org.

Compaction of agricultural soils. St. Joseph, ASAE, 1971
p. 126-153.

WHITELEY, G.M. & DEXTER, A.R. The dependence of soil
penetrometer pressure on penetrometer size. J.agric.
Engng. Res. Londres, 26:467-476, 1981.

WIERSUM, L.K. The relationships of the size and structural
rigidity of pores to their penetration by roots. Plant
and Soil. The Hague, 9(1):75-85, 1957.

A P Ê N D I C E S

Apêndice 1. Valores dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação para a Terra Roxa Estruturada: densidade global(g/cm^3), resistência a penetração(kg/cm^2), porosidade total(%) e índice de vazios (Ensaio 1).

Bloco	Nível de compactação	Densidade global (g/cm^3)	Resistência à penetração (kg/cm^2)	Porosidade total (%)	Índice de vazios
1	0	0,91	-	69,26	2,25
	1	0,98	0,75	66,89	2,02
	2	1,09	1,59	63,18	1,72
	3	1,17	2,25	60,47	1,53
	4	1,21	2,72	59,12	1,45
	5	1,26	2,90	57,43	1,35
	6	1,30	3,20	56,08	1,28
	7	1,30	3,35	56,08	1,28
2	0	0,87	-	70,61	2,40
	1	0,97	0,78	67,23	2,05
	2	1,07	1,54	63,85	1,77
	3	1,17	2,21	60,47	1,53
	4	1,23	2,62	58,45	1,41
	5	1,25	2,80	57,77	1,37
	6	1,28	3,04	56,76	1,31
	7	1,29	3,20	56,42	1,29
3	0	0,92	-	68,92	2,22
	1	0,98	0,73	66,89	2,02
	2	1,04	1,77	64,86	1,85
	3	1,15	2,13	61,15	1,57
	4	1,21	2,69	59,12	1,45
	5	1,23	2,98	58,45	1,41
	6	1,30	3,04	56,08	1,28
	7	1,31	3,20	55,74	1,26
4	0	0,88	-	70,27	2,36
	1	0,99	0,95	66,55	1,99
	2	1,09	1,59	63,18	1,72
	3	1,18	1,97	60,14	1,51
	4	1,23	2,30	58,45	1,41
	5	1,27	2,60	57,09	1,33
	6	1,30	2,93	56,08	1,28
	7	1,30	3,04	56,08	1,28
5	0	0,92	-	68,92	2,22
	1	0,96	0,87	67,57	2,08
	2	1,10	1,43	62,83	1,69
	3	1,17	1,90	60,47	1,53
	4	1,23	2,40	58,45	1,41
	5	1,29	2,90	56,42	1,29
	6	1,29	3,08	56,42	1,29
	7	1,30	3,25	56,08	1,28

Apêndice 2. Valores dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação para a Terra Roxa Estruturada: densidade global (g/cm^3), resistência à penetração (kg/cm^2), porosidade total (%) e índice de vazios (Ensaio 1).

Bloco	Nível de compactação	Densidade global (g/cm^3)	Resistência à penetração (kg/cm^2)	Porosidade total (%)	Índice de vazios
1	0	0,91	-	69,26	2,25
	8	1,30	3,22	56,08	1,28
	9	1,32	3,22	55,41	1,24
	10	1,35	3,35	54,39	1,19
	11	1,35	3,35	54,39	1,19
	12	1,36	3,37	54,05	1,18
	13	1,38	3,42	53,39	1,14
	14	1,38	3,50	53,39	1,14
2	0	0,87	-	70,61	2,40
	8	1,31	3,23	55,74	1,26
	9	1,32	3,22	55,41	1,24
	10	1,33	3,40	55,07	1,23
	11	1,36	3,40	54,05	1,18
	12	1,37	3,50	53,72	1,16
	13	1,38	3,49	53,39	1,14
	14	1,38	3,50	53,39	1,14
3	0	0,92	-	68,92	2,22
	8	1,30	3,23	56,08	1,28
	9	1,32	3,20	55,41	1,24
	10	1,34	3,52	54,73	1,21
	11	1,36	3,55	54,05	1,18
	12	1,37	3,59	53,72	1,16
	13	1,37	3,60	53,72	1,16
	14	1,38	3,63	53,39	1,14
4	0	0,88	-	70,27	2,36
	8	1,30	3,20	56,08	1,28
	9	1,31	3,25	55,74	1,26
	10	1,32	3,46	55,41	1,24
	11	1,33	3,57	55,07	1,23
	12	1,33	3,58	55,07	1,23
	13	1,33	3,60	55,07	1,23
	14	1,34	3,65	54,73	1,21
5	0	0,92	-	68,92	2,22
	8	1,29	3,30	56,42	1,29
	9	1,30	3,33	56,08	1,28
	10	1,31	3,42	55,74	1,26
	11	1,32	3,48	55,41	1,24
	12	1,33	3,49	55,07	1,23
	13	1,34	3,52	54,73	1,21
	14	1,35	3,58	54,39	1,19

Apêndice 3. Valores dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação para o Latossolo Roxo: densidade global (g/cm^3), resistência à penetração (kg/cm^2), porosidade total (%) e índice de vazios (Ensaio 1).

Bloco	Nível de compactação	Densidade global (g/cm^3)	Resistência à penetração (kg/cm^2)	Porosidade total (%)	Índice de vazios
1	0	0,91	-	68,94	2,22
	1	0,95	0,94	67,58	2,08
	2	0,99	1,10	66,21	1,96
	3	1,07	1,76	63,48	1,74
	4	1,11	2,19	62,12	1,64
	5	1,15	2,58	60,75	1,55
	6	1,21	2,88	58,70	1,42
	7	1,21	2,99	58,70	1,42
2	0	0,89	-	69,62	2,29
	1	0,97	0,88	66,89	2,02
	2	1,06	1,36	63,82	1,76
	3	1,13	2,01	61,43	1,59
	4	1,15	2,41	60,75	1,55
	5	1,19	3,07	59,39	1,46
	6	1,22	3,18	58,36	1,40
	7	1,23	3,22	58,02	1,38
3	0	0,89	-	69,62	2,29
	1	0,97	0,82	66,89	2,02
	2	1,06	1,29	63,82	1,76
	3	1,11	1,81	62,12	1,64
	4	1,17	2,26	60,07	1,50
	5	1,16	2,74	60,41	1,53
	6	1,23	3,19	58,02	1,38
	7	1,25	3,28	57,34	1,34
4	0	0,92	-	68,60	2,18
	1	0,98	0,88	66,55	1,99
	2	1,06	1,30	63,82	1,76
	3	1,13	2,00	61,43	1,59
	4	1,15	2,45	60,75	1,55
	5	1,19	2,85	59,39	1,46
	6	1,20	3,13	59,04	1,44
	7	1,21	3,20	58,70	1,42
5	0	0,88	-	69,97	2,33
	1	0,97	0,85	66,89	2,02
	2	1,06	1,30	63,82	1,76
	3	1,10	1,99	62,46	1,66
	4	1,13	2,38	61,43	1,59
	5	1,15	2,72	60,75	1,55
	6	1,21	3,10	58,70	1,42
	7	1,23	3,21	58,02	1,38

Apêndice 4. Valores dos parâmetros determinados nos diferentes níveis de compactação para o Latossolo Roxo: densidade global (g/cm^3), resistência à penetração (kg/cm^2), porosidade total (%) e índice de vazios (Ensaio 1).

Bloco	Nível de compactação	Densidade global (g/cm^3)	Resistência à penetração (kg/cm^2)	Porosidade total (%)	Índice de vazios
1	0	0,91	-	68,94	2,22
	8	1,26	2,98	57,00	1,32
	9	1,28	2,99	56,31	1,29
	10	1,27	2,99	56,65	1,31
	11	1,29	3,00	55,97	1,27
	12	1,28	3,00	56,31	1,29
	13	1,28	3,00	56,31	1,29
	14	1,31	3,15	55,29	1,24
2	0	0,89	-	69,62	2,29
	8	1,25	3,41	57,34	1,34
	9	1,26	3,43	57,00	1,33
	10	1,27	3,69	56,66	1,31
	11	1,29	3,93	55,97	1,27
	12	1,28	3,84	56,31	1,29
	13	1,31	3,99	55,29	1,24
	14	1,30	4,01	55,63	1,25
3	0	0,89	-	69,62	2,29
	8	1,24	3,40	57,68	1,36
	9	1,25	3,59	57,34	1,34
	10	1,24	3,76	57,68	1,36
	11	1,27	3,83	56,66	1,31
	12	1,26	3,84	57,00	1,33
	13	1,26	3,86	57,00	1,33
	14	1,31	4,01	55,29	1,24
4	0	0,92	-	68,60	2,18
	8	1,23	3,18	58,02	1,38
	9	1,25	3,33	57,34	1,34
	10	1,26	3,41	57,00	1,33
	11	1,27	3,41	56,66	1,31
	12	1,29	3,46	55,97	1,27
	13	1,29	3,66	55,97	1,27
	14	1,31	3,98	55,29	1,24
5	0	0,88	-	69,97	2,33
	8	1,21	2,99	58,70	1,42
	9	1,23	2,99	58,02	1,38
	10	1,24	3,02	57,68	1,36
	11	1,25	3,05	57,34	1,34
	12	1,27	3,13	56,66	1,31
	13	1,29	3,16	55,97	1,27
	14	1,31	3,33	55,29	1,24

Apêndice 5 - Valores da densidade global (g/cm^3) e da massa das raízes secas (g), no tratamento sem compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 1).

Bloco	Profundidade (cm)	Terra Roxa Estruturada		Latossolo Roxo	
		Densidade global (g/cm^3)	Massa seca das raízes (g)	Densidade global (g/cm^3)	Massa seca das raízes (g)
1	0 - 3,5	0,90	0,0946	0,90	0,0601
	3,5- 7,0	0,90	0,1202	0,90	0,0874
	7,0-10,5	0,90	0,0859	0,90	0,0562
	10,5-14,0	0,90	0,0881	0,90	0,0587
	14,0-17,5	0,90	0,0869	0,90	0,0535
	17,5-21,0	0,90	0,0833	0,90	0,0402
	21,0-24,5	0,90	0,0805	0,90	0,0660
	24,5-28,0	0,90	0,0780	0,90	0,0504
2	0 - 3,5	0,90	0,0863	0,90	0,0776
	3,5- 7,0	0,90	0,1114	0,90	0,0740
	7,0-10,5	0,90	0,0982	0,90	0,0535
	10,5-14,0	0,90	0,1125	0,90	0,0459
	14,0-17,5	0,90	0,0914	0,90	0,0662
	17,5-21,0	0,90	0,0903	0,90	0,0443
	21,0-24,5	0,90	0,0950	0,90	0,0585
	24,5-28,0	0,90	0,1196	0,90	0,0658
3	0 - 3,5	0,90	0,1311	0,90	0,1044
	3,5- 7,0	0,90	0,0863	0,90	0,0955
	7,0-10,5	0,90	0,0960	0,90	0,0468
	10,5-14,0	0,90	0,0875	0,90	0,0488
	14,0-17,5	0,90	0,0809	0,90	0,0462
	17,5-21,0	0,90	0,0855	0,90	0,0351
	21,0-24,5	0,90	0,1030	0,90	0,0419
	24,5-28,0	0,90	0,1017	0,90	0,0371
4	0 - 3,5	0,90	0,1668	0,90	0,0926
	3,5- 7,0	0,90	0,1191	0,90	0,0869
	7,0-10,5	0,90	0,1001	0,90	0,0882
	10,5-14,0	0,90	0,0829	0,90	0,0700
	14,0-17,5	0,90	0,0713	0,90	0,0682
	17,5-21,0	0,90	0,0841	0,90	0,0644
	21,0-24,5	0,90	0,0899	0,90	0,0622
	24,5-28,0	0,90	0,0853	0,90	0,0548
5	0 - 3,5	0,90	0,1354	0,90	0,0573
	3,5- 7,0	0,90	0,0681	0,90	0,0503
	7,0-10,5	0,90	0,0820	0,90	0,0514
	10,5-14,0	0,90	0,0704	0,90	0,0493
	14,0-17,5	0,90	0,0766	0,90	0,0629
	17,5-21,0	0,90	0,0740	0,90	0,0402
	21,0-24,5	0,90	0,0730	0,90	0,0584
	24,5-28,0	0,90	0,0727	0,90	0,0487

Apêndice 6 - Valores da densidade global (g/cm^3) e da massa das raízes secas (g), nos diferentes níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo.

Bloco	Profundidade	Terra Roxa Estruturada		Latossolo Roxo	
		Densidade global (g/cm^3)	Massa seca das raízes (g)	Densidade global (g/cm^3)	Massa seca das raízes (g)
1	0 - 3,5	0,91	0,1463	0,91	0,0857
	3,5- 7,0	0,98	0,1292	0,95	0,0594
	7,0-10,5	1,09	0,0678	0,99	0,0433
	10,5-14,0	1,17	0,0554	1,07	0,0325
	14,0-17,5	1,21	0,0343	1,11	0,0215
	17,5-21,0	1,26	0,0269	1,15	0,0171
	21,0-24,5	1,30	0,0223	1,21	0,0090
	24,5-28,0	1,30	-	1,21	-
2	0 - 3,5	0,87	0,1398	0,89	0,0993
	3,5- 7,0	0,97	0,1355	0,97	0,0786
	7,0-10,5	1,07	0,0597	1,06	0,0592
	10,5-14,0	1,17	0,0411	1,13	0,0474
	14,0-17,5	1,23	0,0345	1,15	0,0287
	17,5-21,0	1,25	0,0271	1,19	0,0241
	21,0-24,5	1,28	0,0226	1,22	0,0060
	24,5-28,0	1,29	-	1,23	-
3	0 - 3,5	0,92	0,1702	0,89	0,0822
	3,5- 7,0	0,98	0,1317	0,97	0,0543
	7,0-10,5	1,04	0,0627	1,06	0,0414
	10,5-14,0	1,15	0,0418	1,11	0,0369
	14,0-17,5	1,21	0,0347	1,17	0,0296
	17,5-21,0	1,23	0,0253	1,16	0,0212
	21,0-24,5	1,30	0,0234	1,23	0,0132
	24,5-28,0	1,31	-	1,25	-
4	0 - 3,5	0,88	0,1447	0,92	0,0731
	3,5- 7,0	0,99	0,1318	0,98	0,0501
	7,0-10,5	1,09	0,0584	1,06	0,0446
	10,5-14,0	1,18	0,0436	1,13	0,0370
	14,0-17,5	1,23	0,0332	1,15	0,0188
	17,5-21,0	1,27	0,0226	1,19	0,0098
	21,0-24,5	1,30	0,0223	1,20	0,0043
	24,5-28,0	1,30	-	1,21	-
5	0 - 3,5	0,92	0,1292	0,88	0,0975
	3,5- 7,0	0,96	0,0947	0,97	0,0610
	7,0-10,5	1,10	0,0539	1,06	0,0471
	10,5-14,0	1,17	0,0420	1,10	0,0390
	14,0-17,5	1,23	0,0308	1,13	0,0251
	17,5-21,0	1,29	0,0231	1,15	0,0185
	21,0-24,5	1,29	0,0213	1,21	0,0083
	24,5-28,0	1,30	-	1,23	-

Apêndice 7 - Valores da densidade global (g/cm^3) e da massa das raízes secas (g), em quatro níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 2).

S i c o o	Profundidade (cm)	Terra Roxa Estruturada		Latossolo Roxo	
		Densidade global (g/cm^3)	Massa seca das raízes (g)	Densidade global (g/cm^3)	Massa seca das raízes (g)
1	0 -14,0	0,90	0,3888	0,90	0,2624
	14,0-17,5	0,90	0,0869	0,90	0,0535
	17,5-28,0	0,90	0,2418	0,90	0,1566
2	0 -14,0	0,90	0,4084	0,90	0,2510
	14,0-17,5	0,90	0,0914	0,90	0,0662
	17,5-28,0	0,90	0,3049	0,90	0,1686
3	0 -14,0	0,90	0,4009	0,90	0,2955
	14,0-17,5	0,90	0,0809	0,90	0,0462
	17,5-28,0	0,90	0,2902	0,90	0,1141
4	0 -14,0	0,90	0,4689	0,90	0,3377
	14,0-17,5	0,90	0,0713	0,90	0,0682
	17,5-28,0	0,90	0,2593	0,90	0,1814
5	0 -14,0	0,90	0,3559	0,90	0,2083
	14,0-17,5	0,90	0,0766	0,90	0,0629
	17,5-28,0	0,90	0,2197	0,90	0,1473
1	0 -14,0	0,90	0,4120	0,90	0,1867
	14,0-17,5	1,26	0,0659	1,17	0,0247
	17,5-28,0	1,17	0,1425	1,11	0,0276
2	0 -14,0	0,90	0,3962	0,90	0,2491
	14,0-17,5	1,26	0,0410	1,17	0,0144
	17,5-28,0	1,17	0,1532	1,11	0,0472
3	0 -14,0	0,90	0,3715	0,90	0,2114
	14,0-17,5	1,26	0,0417	1,17	0,0257
	17,5-28,0	1,17	0,0703	1,11	0,0284
4	0 -14,0	0,90	0,3146	0,90	0,1935
	14,0-17,5	1,26	0,0108	1,17	0,0191
	17,5-28,0	1,17	0,0530	1,11	0,0265
5	0 -14,0	0,90	0,4009	0,90	0,2083
	14,0-17,5	1,26	0,0362	1,17	0,0164
	17,5-28,0	1,17	0,1586	1,11	0,0650
1	0 -14,0	0,90	0,3283	0,90	0,1467
	14,0-17,5	1,29	0,0325	1,21	0,0155
	17,5-28,0	1,17	0,0706	1,11	0,0234
2	0 -14,0	0,90	0,3963	0,90	0,1428
	14,0-17,5	1,29	0,0492	1,21	0,0213
	17,5-28,0	1,17	0,1171	1,11	0,0134
3	0 -14,0	0,90	0,3672	0,90	0,2360
	14,0-17,5	1,29	0,0472	1,21	0,0257
	17,5-28,0	1,17	0,0790	1,11	0,0368
4	0 -14,0	0,90	0,4075	0,90	0,1859
	14,0-17,5	1,29	0,0489	1,21	0,0084
	17,5-28,0	1,17	0,1122	1,11	0,0067
5	0 -14,0	0,90	0,3934	0,90	0,1680
	14,0-17,5	1,29	0,0181	1,21	0,0073
	17,5-28,0	1,17	0,0261	1,11	0,0329
1	0 -14,0	0,90	0,3779	0,90	0,1839
	14,0-17,5	1,30	0,0165	1,23	0,0199
	17,5-28,0	1,17	0,0639	1,11	0,0229
2	0 -14,0	0,90	0,3019	0,90	0,1316
	14,0-17,5	1,30	0,0216	1,23	0,0102
	17,5-28,0	1,17	0,0480	1,11	0,0092
3	0 -14,0	0,90	0,2674	0,90	0,1955
	14,0-17,5	1,30	0,0337	1,23	0,0300
	17,5-28,0	1,17	0,0568	1,11	0,0322
4	0 -14,0	0,90	0,2857	0,90	0,1502
	14,0-17,5	1,30	0,0295	1,23	0,0175
	17,5-28,0	1,17	0,0377	1,11	0,0251
5	0 -14,0	0,90	0,2172	0,90	0,1169
	14,0-17,5	1,30	0,0319	1,23	0,0148
	14,5-28,0	1,17	0,0588	1,11	0,0086

Apêndice 8 - Valores da densidade global (g/cm^3) e da massa das raízes secas (g), em cinco níveis de compactação, para a Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo (Ensaio 3).

Bloco	Terra Roxa Estruturada		Latossolo Roxo	
	Densidade global (g/cm^3)	Massa seca das raízes (g)	Densidade global (g/cm^3)	Massa seca das raízes (g)
1	0,90	0,7175	0,90	0,4725
2	0,90	0,8047	0,90	0,4858
3	0,90	0,7720	0,90	0,4558
4	0,90	0,7995	0,90	0,5873
5	0,90	0,6522	0,90	0,4185
1	1,17	0,3632	1,11	0,2244
2	1,17	0,2045	1,11	0,2144
3	1,17	0,1810	1,11	0,1776
4	1,17	0,1385	1,11	0,1763
5	1,17	0,1161	1,11	0,1626
1	1,22	0,2716	1,14	0,1916
2	1,22	0,2171	1,14	0,1871
3	1,22	0,1835	1,14	0,1809
4	1,22	0,1529	1,14	0,1765
5	1,22	0,1637	1,14	0,1572
1	1,26	0,2377	1,17	0,2028
2	1,26	0,1968	1,17	0,2178
3	1,26	0,1855	1,17	0,1621
4	1,26	0,1659	1,17	0,1416
5	1,26	0,1226	1,17	0,1077
1	1,29	0,2162	1,21	0,1907
2	1,29	0,1815	1,21	0,1868
3	1,29	0,1436	1,21	0,1789
4	1,29	0,1368	1,21	0,1273
5	1,29	0,1336	1,21	0,1088