

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO MILHETO
(*Pennisetum americanum* (L.) EM DUAS CLASSES DE SOLO EM
DENSIDADES E DIFERENTES PROFUNDIDADES DA
CAMADA COMPACTADA.**

MIRIAM CORREA DOS SANTOS

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Câmpus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia - Área de
Concentração em Energia na Agricultura

BOTUCATU – SP
Outubro – 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DOMILHETO
(*Pennisetum americanum* (L.) EM DUAS CLASSES DE SOLO EM
DENSIDADES E DIFERENTES PROFUNDIDADES DA CAMADA
COMPACTADA**

MIRIAM CORREA DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Câmpus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia - Área de
Concentração em Energia na Agricultura

BOTUCATU – SP
Outubro – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S237 Santos, Miriam Corrêa dos, 1975-
Desenvolvimento do sistema radicular do milheto (*Pennisetum americanum* (L.) em duas classes de solo em densidades e diferentes profundidades da camada compactada / Miriam Corrêa dos Santos. - Botucatu, [s.n.], 2006.
ix, 59 f. : il. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006
Orientador: Sérgio Hugo Benez
Inclui bibliografia

1. Milheto. 2. Solos - Compactação. 3. Solos - Densidade. 4. Cultivos de cobertura. I. Benez, Sérgio Hugo. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: " **DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO MILHETO (Pennisetum americanum L.); EM DUAS CLASSES DE SOLO E EM DIFERENTES DENSIDADES E PROFUNDIDADES DA CAMADA COMPACTADA**"

ALUNA: MIRIAM CORREA DOS SANTOS

ORIENTADORA: PROF. DR. SERGIO HUGO BENEZ

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. SERGIO HUGO BENEZ



PROF.ª DR.ª MARIA HELENA MORAES



PROF. DR. ANTONIO RENAN BERCHOL DA SILVA

Data da Realização: 11 de agosto de 2006.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	2
3 INTRODUÇÃO.....	3
4 REVISÃO DE LITERATURA	5
4.1 Compactação do solo	5
4.2 Sistema radicular das plantas.....	9
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1 Material	18
5.1.1 Localização e características da área experimental.....	18
5.1.2 Coleta do solo.....	19
5.1.3 Calagem e adubação.....	21
5.1.4 Ensaio de proctor.....	22
5.1.5 Unidades Experimentais.....	21
5.1.6 Avaliação da resistência do solo a penetração	24
5.1.9 Semeadura	25
6.2 Métodos	26
6.2.1 Delineamento experimental	26
6.2.2 Correção do teor de água.....	26
6.2.3 Compactação do solo	26
6.2.4 Montagem e remoção dos vasos	28
6.2.5 Altura de plantas do milheto.....	30
6.2.6 Matéria seca da parte aérea do milheto.....	30
6.2.7 Tratos culturais.....	31
6.2.8 Avaliação do comprimento, volume e diâmetro do sistema radicular	32
6.2.9 Análises estatísticas.....	33
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
7.1 Morfologia radicular	34

7.1.1 Comprimento radicular	34
7.1.3 Massa seca radicular	38
7.1.4 Diâmetro radicular	42
7.1.5 Volume radicular.....	44
7.2 Altura e massa seca da parte aérea	47
7.2.1 Altura de parte aérea.....	47
7.2.2 Massa seca de parte aérea.....	48
8 CONCLUSÕES.....	50
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
10. APÊNDICES.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Resultados das análises químicas e granulométricas do Nitossolo Vermelho Distroférrico.....	19
2 Resultados das análises químicas e granulométricas do Latossolo Vermelho Distrófico.....	20
3 Resistência do solo à penetração	34
4 Comprimento radicular (cm.cm^{-3}) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico, com anel compactado na profundidade de 0 –10cm	41
5 Comprimento radicular (cm.cm^{-3}) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico, com anel compactado na profundidade de 10 –20cm	43
6 Comprimento radicular (cm.cm^{-3}) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico, com anel compactado na profundidade de 20 –30cm	45
7 Diâmetro radicular (mm) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico, com anel compactado na profundidade de 0 –10cm	47
8 Diâmetro radicular (mm) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO	

Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade de 10 –20cm	49
9 Diâmetro radicular (mm) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade de 20 –30cm	50
10 Volume radicular (cm ³) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade de 0 –10cm	51
11 Volume radicular (cm ³) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade de 10 –20cm	53
12 Volume radicular (cm ³) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade de 20 –30cm	54
13 Massa seca radicular (g) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade de 0 10cm	57
14 Massa seca radicular (g) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade de 20 –30cm	57
15 Massa seca radicular (g) do Milheto em função das profundidades (0 –10; 10 – 20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade de 20 –30cm	57

14 Altura de parte aérea (g) do Milheto em função das profundidades (0 –10;10 –20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, nas três profundidades compactadas.....	59
16 Massa seca de parte aérea (g) do Milheto em função das profundidades (0 –10;10 –20 e 20 –30cm) para as diversas densidades nos solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, nas três profundidades compactadas.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Vista parcial da área experimental.....	23
2 Diferença entre os solos	24
3 Aparelho compactador das amostras	29
4 Curva de compactação para o Nitossolo Vermelho Distroférico	30
5 Curva de compactação para o Latossolo Vermelho Distrófico	30
6 Milheto cultivado contendo 14 plantas por vaso	35
8 Esquema gráfico da unidade experimental	36
9 Esquema gráfico das faixas de solo compactadas.....	26
10 Remoção do vaso.....	37
11 Lavagem do sistema radicular sobre peneira.....	37
12 Sistema radicular armazenado em recipiente plástico	38

1. RESUMO

O presente estudo objetivou avaliar o efeito da compactação do solo nas características agronômicas do milho (*Pennisetum americanum* L., variedade BN-2), em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) e NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico (NVd). Para tanto o solo foi compactado em função de cinco níveis de densidades do solo, caracterizados pelas densidades 0,4;1,20; 1,30; 1,40; 1,50 Mg m⁻³. O experimento foi colocado em condições de céu aberto na Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Campus de Botucatu-SP, durante os meses de Novembro de 2004 à Fevereiro de 2005, adotou-se o delineamento fatorial triplo, em esquema fatorial 2 x 3 x 5 e quatro repetições. A unidade experimental (vaso) constituído de um cilindro de PVC rígido, composto pela sobreposição de três anéis, com diâmetro interno de 20 cm, totalizando 30 cm de altura. Os parâmetros analisados foram: comprimento, volume, diâmetro e massa seca das raízes; e também massa seca e comprimento da parte aérea das plantas, adotando-se o esquema fatorial 2 x 3 x 5. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e posteriormente foi aplicado o teste de comparações múltiplas de Tukey no nível de 5 % de probabilidade para comparação das médias. Os resultados mostraram que o milho proporcionou maior quantidade de massa seca da parte aérea em ambos os solos, mostrando ter melhor característica para cobertura do solo. O LATOSSOLO VERMELHO Distrófico proporcionou melhor condição de desenvolvimento da planta em estudo, por apresentar menor resistência à penetração das raízes, em todas as camadas compactadas, quando comparado ao NITOSSOLO

VERMELHO Distroférrico. O crescimento radicular não alterou o crescimento aéreo da planta. Os resultados mostram que: no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico o comprimento radicular teve menor desenvolvimento com o aumento da densidade; O solo LATOSSOLO VERMELHO Distrófico obteve maior acúmulo de massa seca radicular que o NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico; Com o aumento da densidade o volume radicular, em ambos os solos, tiveram um menor desenvolvimento; A altura de parte

aérea foi menor na densidade $1,5\text{Mg.m}^{-3}$ nas duas classes de solo e em todas as profundidades de compactação; O acúmulo de massa seca radicular foi menor no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico que no NITOSSOLO VERMELHO Distroférico em todas as densidades e profundidades da camada compactada.

PALAVRAS-CHAVES: compactação do solo, sistema radicular, plantas de cobertura vegetal.

DEVELOPMENT OF ROOT SYSTEM OF MILHET (*Pennisetum americanum* L.), IN TWO SOIL TYPES IN DIFFERENT DENSITIES AND DEPTH OF THE COMPACTED LAYER. Botucatu, 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MIRIAM CORRÊA DOS SANTOS

Adviser: SÉRGIO HUGO BENEZ

2. SUMMARY

This paper aimed to study the development to root sistem of millet (*Pennisetum americanum* L.) Within two soil types, classified as Distrofic RED LATOSOIL and Distroferic RED NITOSOIL. According to five density levels of soil compaction, characterized by 0,8; 1,2; 1,3; 1,4 and 1,5Mg.m⁻³ densities. The experiment was carried out at Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Campus de Botucatu-SP, from November 2004 to february 2005, in a randomized factorial triple experimental design with four repetitions and 2x3x5 factorial desing. The pots were assembled with three rings of overlayed PVC tubes, 20cm of inner diameter, summing up 30cm high. Measurement of root length, root volume, root diameter, root dry matter were measured as well as dry matter and length of aerial part of plants, adopt factorial desing 2x3x5. Obtained data were submitted to variance analysis under Tukey's test with 5% ofprobality for mean comparison. Results showed that the milhet the highest aumont of dry matter at aerial part in both soils. The Distrophic RED LATOSOIL showed best easy terms to plant development, to present a lower resistance to root penetration, whole depyh to study, compared to Disthopheric RED NOTOSOIL. The root system not to alter aerial part of plant. The results showed that: The Distrophic RED LATOSOIL root system with smalles development with growth density; The soil Distrophic RED LATOSOIL, root system with longer length, rearding to Disthopheric RED NOTOSOIL; with growth to density in both soils showing to have smalles development; The dry matter at aerial part, smalles in density 1,5Mg.m⁻³ in both soils and all most depth

compaction; to accumulate the dry matter at aerial part that Distrophic RED LATOSOIL all most densities and depth compaction.

KEYWORDS: soil compaction, root system, vegetal covering.

3. INTRODUÇÃO

A compactação do solo causa restrições ao desenvolvimento radicular e aumenta a suscetibilidade dos solos à erosão, constituindo-se em um processo físico involuntário e pertinente, que traz grandes prejuízos à agricultura brasileira.

A mecanização e a intensificação dos processos produtivos no setor agrícola, devido aos avanços tecnológicos (irrigação, equipamentos mais eficientes, cultivares mais precoces, etc.), promoveu, em muitos casos, um agravamento na degradação da qualidade física dos solos, comumente identificados como um aumento no grau de compactação do solo.

O Brasil é um país de grande potencial agrícola, caracterizado por possuir condições climáticas, hidrográficas e topográficas que favorecem a agricultura. O aumento da população mundial vem contribuindo para o crescimento da demanda por produtos agrícolas, incrementando sua produção e produtividade através do uso cada vez mais intenso do solo. O preparo inadequado dos solos induzido pelo uso impróprio dos equipamentos tem causado desestruturação e empobrecimento dos mesmos. Os danos causados pelo preparo incorreto do solo podem gerar prejuízos incalculáveis. Por isso, as técnicas de conservação nas áreas de exploração agrícola são de fundamental importância.

Quando da mobilização do solo no preparo convencional, os implementos utilizados, arado ou grade de disco, pulverizam o solo da camada superficial. A existência dessa camada compactada pode constituir-se em obstáculo ao crescimento de raízes,

modificando a dinâmica da água, restringindo sua disponibilidade além de reduzir a aeração do solo.

A densidade, a partir da qual a camada compactada do solo passa a se constituir em impedimento, limitando o crescimento radicular das plantas, varia conforme a classe do solo, conteúdo de água, espécie ou cultivar plantada. Portanto, o diagnóstico da compactação dos solos agrícolas é fundamental para a escolha do modelo de mecanização agrícola, de modo a proporcionar a maximização da produtividade, aliada à conservação dos recursos naturais. Justifica-se, assim, a necessidade de pesquisas e experimentação com essa abordagem, de modo a melhorar as práticas de manejo e evitar perdas, seja pela adoção desnecessária de medidas descompactadoras ou pela redução da produtividade, quando estas medidas são necessárias, porém, não adotadas.

Com hipótese, partiu-se do pressuposto de que, para cada cultura, em uma determinada classe de solo, há uma compactação impeditiva do crescimento radicular, afetando, conseqüentemente, o crescimento da parte aérea das plantas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, comparativamente, o crescimento radicular do milheto (*Pennisetum glaucum* L.) variedade BN-2., em cinco densidades (0,4; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 Mg.m⁻³), duas classes de solo: (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico) e três profundidades de camadas compactadas (0-10; 10-20 e 20-30 cm), utilizando-se vasos com três anéis de PVC sobrepostos, colocados a 30 cm de profundidade, discutir o potencial desta planta de cobertura como descompactador de solo e comparar as classes de solo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Compactação do solo

O solo é constituído de minerais, poros ocupado por ar e água, e material orgânico. As partículas primárias (argila, silte e areia) geralmente se encontram agrupadas, formando partículas maiores (agregados), dando ao solo a sua estrutura. Os poros do solo são divididos em duas classes: microporos e macroporos, menores e maiores do que cerca de 0,05mm de diâmetro, respectivamente. A coesão (atração das partículas entre si) e a adesão (atração das partículas por um outro corpo), sob várias condições de teor de água, dá consistência ao solo (FONTES e FONTES, 1992). Segundo Gupta e Allmaras (1987) a variação de volume de um solo, quando sujeito a uma pressão, é chamada de compressibilidade, e, quando um solo não saturado é submetido a uma determinada pressão, durante a qual existe um aumento da sua densidade em consequência da redução do seu volume, denomina-se este processo de compactação do solo. Harris (1971) relata que, quando um solo é submetido à ação de uma carga, suficiente para causar uma alteração no seu volume, existe 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 nos teores de líquidos e gases nos espaços porosos; ou um rearranjo das partículas sólidas; e concluíram que esse rearranjo das partículas sólidas, influencia muitas propriedades do solo, sendo a distribuição dos poros no solo alterada e a porosidade

total reduzida, provocando mudanças no movimento e teor de água, ar, calor e nutrientes no solo.

Camargo e Alleoni (1997) classificam as forças que atuam no solo de dois tipos: externas e internas, sendo as forças externas o tráfego (máquinas, implementos, animais, etc.), o crescimento de raízes e outras pressões (atmosférica, por exemplo), e as forças internas resultam de ciclos de congelamento e degelo (comum em regiões de clima temperado), e ciclos de umedecimento e secagem (expansão e contração do volume do solo).

Dias Jr. e Pierce (1996) relatam que os mecanismos de compressibilidade que um solo apresenta também dependem de uma série de fatores externos e internos, sendo os fatores externos caracterizados pelo tipo, intensidade e frequência da carga aplicada, enquanto os fatores internos, os influenciados pela umidade do solo, textura, mineralogia, estrutura e densidade inicial do solo.

Segundo Guerif (1994) a física e a química formam a base teórica para explicar os princípios da resistência mecânica do solo, sendo a estrutura do solo, a constituição (mineral e orgânica) e o conteúdo de água, os principais fatores, e a observação das diferentes grandezas e medidas são necessárias para analisar a origem da resistência mecânica do solo e determinar a influência do tráfego, do manejo e das condições ambientais.

Dias Jr. e Pierce (1996) relatam que, para uma mesma condição, o fator que governa a intensidade da deformação que poderá ocorrer em um solo é o teor de água, portanto, quando os solos estão mais secos, a sua capacidade de suportar cargas pode ser suficiente para aguentar a pressões aplicadas, e a compactação do solo pode não ser significativa.

Segundo Torres et al. (1993) o intervalo plástico ou índice de plasticidade é a amplitude compreendida pelo limite de plasticidade (limite inferior de plasticidade-LP) e o limite de liquidez (limite superior de plasticidade-LL), e o índice de plasticidade, em interação com a pressão exercida por máquinas e implementos sobre o solo, determinam a intensidade da compactação.

Soane (1970) relata que para um determinado tipo de solo e uma certa energia, o grau de compactação obtido é muito dependente do teor de água, sendo que, este efeito está associado à ação da água como lubrificante, permitindo uma aproximação das

partículas, portanto, uma densidade do solo máxima ocorre a um teor ótimo de água, o qual está relacionado com a distribuição por tamanho e forma das partículas do solo.

Torres et al. (1993) mencionaram alguns fatores que interferem na consistência do solo, ou seja, no limite de plasticidade do solo: 1) número e espessura das partículas do solo - quanto maior for o número de partículas por unidade de volume (solo argiloso, por exemplo), maior será a necessidade de água para envolver as partículas e levar o solo ao limite inferior do intervalo plástico; 2) tipo de argila os solos formados por argilas do tipo 2:1, por exemplo, devido a sua maior capacidade de hidratação, apresentam maior intervalo plástico do que os formados por argilas do tipo 1:1; 3) matéria orgânica em razão da sua alta capacidade de adsorção de água, portanto, o aumento nos teores de matéria orgânica faz com que os limites inferior (LP) e superior (LL) de plasticidade sejam alcançados somente com alto teor de água no solo

Baligar et al. (1980) trabalharam com seis solos pertencentes a grupos texturais diferentes, submetidos a três níveis de compactação, interagindo com cinco teores de umidade do solo, e, verificaram que a resistência mecânica do solo aumentou em consequência da diminuição do teor de água, independentemente da classe textural do solo. Segundo Horton et al. (1994) o processo de compactação afeta as propriedades hidráulicas do solo, assim como o fluxo de água (maior ou menor capilaridade), e concluíram que a retenção e o movimento da água são alterados em resposta às mudanças nas dimensões geométricas dos poros do solo. A curva de retenção de água no solo é drasticamente modificada em função da densidade do solo, sendo que, com o aumento da compactação do solo, ou seja, em função de um aumento da densidade há um decréscimo significativo na porosidade total do solo.

Hoffman e Jungk (1995) observaram que o aumento da densidade do solo diminuiu a difusibilidade do fósforo no solo, e relatam que este fenômeno está relacionado com a diminuição do conteúdo de água no solo e do aumento do “fator impedância” (relacionado com a tortuosidade dos capilares do solo), em função do aumento da compactação.

Moraes et al. (1995) aplicaram cargas iguais sobre amostras de dois solos (Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada), e observaram que a variação da densidade do solo na Terra Roxa Estruturada foi mais intensa do que no Latossolo Roxo, e, justificam a menor compactação do Latossolo Roxo devido ao seu menor teor de argila e maior teor de

matéria orgânica, e também em função da mineralogia da fração argila. O teor de matéria orgânica e o conteúdo de argila, são alguns fatores do solo que, segundo Saini e Chow (1984) influenciam os níveis de compactação, sendo que, teores elevados de argila e reduzidos de matéria orgânica, geralmente, resultam em níveis relativamente elevados de compactação do solo.

Moniz (1972) diz que a Terra Roxa Estruturada é constituída principalmente pelo mineral de argila caulinita, que apresenta uma microestrutura laminar, apresentando um arranjo orientado que permite uma aproximação mais uniforme das unidades estruturais, resultando em uma maior susceptibilidade do solo à compactação.

Resende et al. (1995) discutem que a gibbsita, os óxidos de ferro (hematita, goethita) e a matéria orgânica tendem a desorganizar as partículas no seu aspecto microestrutural, e concluem que quando há maiores teores destes componentes no solo, determinam um arranjo mais casualizado do que as partículas de argilas silicatadas, que têm geralmente forma laminar.

Segundo Lanças (1991) alguns autores procuram separar dois fenômenos distintos, porém que ocorrem simultaneamente no solo: a compactação e o adensamento do solo. Raney et. al. (1961) descrevem dois tipos de alterações nas camadas ao longo do perfil dos solos : aquelas de origem genética, que resultam de ação lenta e contínua dos processos pedogenéticos, formando horizontes de impedimento à penetração de raízes e água, denominadas de adensamento; e aquelas resultantes de forças aplicadas ao solo, portanto de origem induzida, denominadas de compactação.

A translocação de argila e os ciclos de umedecimento e secagem (contração e expansão do volume do solo) são fenômenos que corroboram para o aumento da densidade do solo, e, Resende et al. (1995) relatam que a argila, partícula finíssima que, trazida dos horizontes superficiais, é depositada na superfície dos agregados estruturais dos horizontes subsuperficiais; a este fenômeno dá-se o nome de cerosidade, e, as raízes das plantas encontram algum obstáculo quando há cerosidade, para penetrarem nos agregados.

Segundo Moniz (1972) a expansão e contração do solo, mais ou menos rico em argila, quando exposto a ciclos de umedecimento e secagem, tende a destruir a estrutura granular, dando origem a estrutura em blocos (mais compacta).

Segundo Mantovani (1987) o melhor método, direto, de determinar a compactação do solo, é o da densidade do solo, que consiste na obtenção da massa do solo seco por unidade de volume total do solo, e também discute que a resistência mecânica do solo à penetração é um indicador secundário, não constituindo uma medição física direta de qualquer condição do solo, e é afetada por muitos outros fatores além da compactação do solo, sendo o mais importante o teor de água.

Gomes e Pefia (1996) relatam que uma maneira prática de caracterizar a compactação do solo é através de instrumentos de sondagens denominados penetrômetros; estes, determinam a resistência mecânica que o solo oferece à penetração (também denominada de índice de cone), e possibilita quantificar o grau de compactação do solo, e estimar a resistência que o solo ofereceria ao crescimento radicular.

Segundo Fontes e Fontes (1992) um agregado do solo é um grupo de partículas aderidas de tal modo que se comportam mecanicamente como uma unidade, e é considerado como sendo a unidade da estrutura do solo, e a cimentação é um processo fundamental da gênese do solo, constituindo a estabilização das partículas primárias floculadas, através, principalmente de minerais de argila, matéria orgânica e óxidos de ferro e de alumínio, denominados agentes cimentantes.

Segundo Soane (1990) existe uma dificuldade em se calcular a relação de porosidade do solo, quando se faz uma mistura de solo e matéria orgânica, pois, sempre há uma indefinição quanto à densidade das partículas sólidas do material orgânico, contudo, nos ensaios de compressão de solos, a adição de matéria orgânica, mesmo que em quantidades mínimas, dificultou a variação de volume das massas dos solos testados.

4.2 Sistema radicular das plantas

Segundo Camargo e Alleoni (1997) o crescimento radicular se dá quando células do tecido meristemático dividem-se, alongam-se e levam a ponta da raiz através do material adjacente. A pressão de turgor das células que se alongam produz uma força orientada, e esta deve ser suficiente para sobrepor a resistência da parede celular, mais outra resistência externa qualquer.

Passioura (1991) cita que existe elevada correlação entre alongamento celular e a resistência mecânica do solo à penetração, porém, observou que a resistência mecânica é altamente afetada pela densidade e pelo conteúdo de água no solo e dependente de fatores como densidade, textura e teor de água no solo.

Tormena e Roloff (1996) relatam que a resistência do solo a penetração é bastante relacionada com o crescimento radicular, porém, os valores críticos de resistência do solo à penetração variam conforme o tipo de penetrômetro utilizado e as espécies.

Gerard et al. (1982) dizem que o fator que mais influencia o crescimento radicular das plantas cultivadas é a compactação do solo, e, os estudos conduzidos sobre este assunto, determinaram a influência dos diferentes fatores na resistência mecânica do solo e a influência da resistência mecânica no desenvolvimento radicular, portanto, os modelos de regressão utilizados, dependem das variáveis resistência mecânica do solo e crescimento radicular e, independem das variáveis tipo de solo, profundidade do solo, conteúdo de argila, densidade, espaço aéreo do solo e conteúdo de água, que são os componentes que mais interferem para que ocorra o máximo R^2 e que melhoram a compreensão da regressão.

Corroborando com Gerard et al. (1982), Taylor e Brar (1991) relatam que o crescimento radicular é afetado pelo arranjo estrutural do solo, pela consistência do solo, porosidade total, número e tamanho de poros e difusão de gases no solo e, estes são efeitos indiretos da compactação do solo.

Russel e Gross (1974) relatam que a resistência mecânica do solo à penetração, dificulta a exploração do solo pelas raízes mas, a grande pergunta diz respeito à identificação da resistência mínima.

Segundo Camargo e Alleoni (1997) a pressão disponível para a raiz realizar um trabalho, contra um agente externo rígido, é chamada de pressão de crescimento (PCR) e definida como: $PCR = (\Sigma Ft - \Sigma Fpc)/A$, em que ΣFt equivale ao somatório das forças longitudinais resultantes da pressão de turgor das células em processo de alongamento; ΣFpc equivale ao somatório das forças originárias da resistência da parede celular e, A equivale à área da raiz no plano em que a força é determinada.

Bengouch e Mullins (1990) verificaram um decréscimo de 40% na taxa de divisão celular, quando a resistência mecânica do solo teve um acréscimo de 0,34 MPa, suficiente para decrescer também a taxa de alongamento celular em 70%.

O crescimento radicular é muito influenciado pela aeração do solo e pelo potencial matricial de água no solo e estes dois fatores interagem com a resistência mecânica, portanto, são fenômenos dependentes entre si (BERGOUCH e MULLINS, 1990).

Os mesmos autores observaram que a taxa de alongamento celular cessou quando a concentração de oxigênio no solo reduziu 1%, a resistência mecânica do solo passou para 1,5 MPa e o crescimento radicular foi contínuo nos tratamentos relativamente mais aerados. Barley (1962) variou a resistência mecânica de determinado sistema de membranas, de 0 para 0,05 MPa, e isto resultou em um decréscimo no alongamento radicular de 31%, quando a concentração de O₂ na solução foi de 20% e um decréscimo de 50% quando a concentração de O₂ foi para 5%.

Dexter (1987) estudou um modelo que relacionou o crescimento radicular de diferentes espécies vegetais e a ação do balanço das pressões externas (resistência mecânica do solo e potencial matricial do solo) e internas nas células radiculares (reguladores osmóticos), verificando diferentes comportamentos para as diferentes espécies, e mostrando que as variações dos reguladores osmóticos das células radiculares têm uma boa correlação com a variação da resistência mecânica do solo e do potencial matricial do solo.

Kulkarni e Savant (1977) estudaram o efeito da compactação do solo na capacidade de troca catiônica das raízes de uma espécie monocotiledônea e de sete espécies dicotiledôneas de interesse comercial, e observaram que o aumento da densidade do solo de 1,10 para 1,83 g cm⁻³, causou diferentes respostas para as espécies estudadas. Shierlaw e Alston (1984) submeteram plantas de milho e centeio a diferentes densidades do solo (variando de 1,2 a 1,75 Mg m⁻³), e estudaram a influência da compactação do solo na absorção de fósforo marcado, e, concluindo que houve um relativo aumento na absorção de fósforo por unidade de comprimento radicular em função do aumento da compactação do solo, sendo mais significativo para o centeio. .

Materechera et al. (1992) realizaram um experimento onde avaliaram a influência do diâmetro radicular na capacidade das raízes de oito espécies vegetais, penetrarem nas camadas subsuperficiais de solo compactado, onde os resultados mostraram que existe uma

influência significativa do aumento da densidade do solo sobre o diâmetro médio radicular, e diferentes capacidades de crescimento nestas condições adversas. Também observaram que o comprimento radicular e o diâmetro médio radicular da ervilha diminuíram em função do aumento da densidade do solo (1,10, 1,40, e 1,60 g/cm³) e, também houve alterações significativas no comprimento radicular e no diâmetro médio das raízes em função dos diferentes potenciais matriciais de água no solo que foram aplicados, em todas as densidades estudadas.

Segundo Bennie (1996) a dificuldade em generalizar conclusões retiradas da literatura, no que diz respeito à influência da compactação do solo na morfologia radicular, ocorre devido à forma das raízes, que depende da espécie em estudo, da classe em que a raiz se enquadra e da idade da raiz

Segundo Siqueira e Franco (1988) a principal fonte de compostos orgânicos para o solo é de origem vegetal e, em condições aeróbicas, 60 a 70% do carbono depositado é utilizado como fonte de energia primária para o crescimento microbiano, sendo oxidado bioquimicamente a CO₂, e o restante do carbono fica retido no solo, na biomassa microbiana ou em compostos orgânicos recalcitrantes de origem microbiana e de difícil decomposição que, juntamente com a fração não decomposta do resíduo, forma complexos orgânicos com alta estabilidade química denominado húmus.

Kiehl (1985) faz um alerta: na quantificação dos restos culturais, assim como na avaliação da matéria vegetal produzida pelas plantas de cobertura, deve-se considerar tudo que permanece no campo; porém, dada a dificuldade em avaliar a contribuição das raízes, costuma-se fazer referência apenas a matéria vegetal produzida que fica à superfície do solo.

Harris et al. (1971) comentam que o potencial de uma espécie vegetal em recuperar solos degradados, depende, além da capacidade em desenvolver-se em condições adversas, da capacidade de multiplicação e crescimento das suas células radiculares e da velocidade de decomposição do seu tecido radicular, pois, a estabilidade dos agregados do solo depende da qualidade, da quantidade e da continuidade de suprimento de matéria orgânica.

Hatano et al. (1987) estudaram a relação entre a distribuição dos macroporos no solo e o alongamento radicular, e observaram uma dependência entre o tamanho dos poros e o crescimento das raízes, concluindo que a maior proporção de raízes que

cresceu dentro dos poros, ocorreu no solo que apresentou maiores quantidades e continuidade de macroporos.

Segundo Bennie (1996) os animais que vivem no solo causam distúrbios nas camadas densas, diminuindo a resistência mecânica à penetração, e, além disso, as raízes das plantas, principalmente as raízes perenes, podem, em determinadas condições, penetrar camadas de solo com alta resistência mecânica provocando desarranjos e formando canais que podem servir de passagem para a exploração do solo por raízes de plantas futuras. As raízes de certas plantas conseguem penetrar mais facilmente nas camadas compactadas do que outras, criando “caminhos” para o desenvolvimento da cultura subsequente.

Quando as raízes das plantas descompactadoras são decompostas, formam-se os chamados “bioporos”, que exercem papel importante na movimentação de água e difusão de gases (Camargo e Alleoni, 1997).

Alvarenga (1993) relata que as raízes das leguminosas ao se decomporem, funcionam como condicionadores orgânicos do solo, e relatam, que o crescimento radicular da soja e do milho, quando cultivados em sucessão ao guandu, apresentaram raízes mais profundas, que cresceram através dos canais deixados pelas raízes do guandu, na camada densa de solo.

Boni e Espindola (1991) relatam que a crotalária juncea e o guandu melhoraram a qualidade física de um Latossolo Roxo degradado, no que diz respeito à porosidade total e a densidade do solo.

Miranda et al. (1991) observaram que a crotalária juncea e o guandu foram mais sensíveis à compactação do solo do que o feijão de porco, com relação ao crescimento radicular e, as plantas de guandu e feijão de porco sofreram redução na massa da matéria seca da parte aérea em consequência do aumento da densidade do solo.

Pace et al. (1999) estudaram cinco tipos de plantas de cobertura (milheto, sorgo de guiné, girassol, crotalária juncea e crotalária spectabilis) submetidas a quatro níveis de compactação do solo, e observaram que as gramíneas, com relação aos parâmetros massa da matéria seca radicular, volume e comprimento radicular, foram significativamente mais sensíveis ao aumento da densidade do solo do que as leguminosas, mesmo assim, em termos quantitativos, as gramíneas superaram às demais espécies, em todos os níveis de compactação.

Cintra e Mielniczuk (1983) estudaram o desenvolvimento da colza, da cevada, do trigo, do tremoço branco e da soja em função da compactação do solo, e observaram que as gramíneas e a colza foram muito mais sensíveis ao aumento da densidade do solo do que a soja e o tremoço, no que diz respeito ao parâmetro comprimento total de raízes, porém, a colza, seguida pelo trigo e a cevada, apresentaram maiores quantidades de raízes, mesmo sendo mais sensíveis, para todos os níveis de compactação.

Em contrapartida, Mielniczuk et al. (1985) submeteram plantas de colza, soja, tremoço branco, tremoço amarelo, aveia branca, trigo e milho, a diferentes densidades do solo (0,9, 1,3, 1,5 g.cm⁻³) e, observaram que o sistema radicular de todas as espécies foi severamente reduzido pela compactação do solo, sendo que na maior densidade não houve penetração de raízes e, comparativamente, o tremoço amarelo seguido pelo tremoço branco, destacaram-se para o parâmetro comprimento radicular.

Müller et al. (1999) avaliaram cinco espécies vegetais utilizadas como cobertura de inverno (aveia preta, aveia branca, nabo forrageiro, ervilhaca e tremoço branco), e concluíram que as gramíneas e o nabo forrageiro mostraram maior potencial para crescer em camadas de solo compactado.

Alvarenga et al. (1996) estudaram a crotalária juncea, o guandu, o feijão-de-porco, o feijão-bravo-do-ceará, e o mata pasto, quanto a capacidade de suas raízes em penetrarem em camadas de solo com diferentes níveis de compactação, e observaram que o mata pasto, com relação ao parâmetro comprimento radicular, foi praticamente insensível ao aumento da densidade do solo, porém, o feijão-bravo-do-ceará e o feijão-de-porco apresentaram comprimentos radiculares significativamente maiores do que o mata pasto, em todos os níveis de compactação do solo testados.

Silva (1998) avaliou plantas de aveia preta, guandu, milho, mucuna preta, soja, sorgo e tremoço azul submetidas a camadas com diferentes densidades do solo (1,12, 1,36, 1,60 Mg m⁻³), localizadas subsuperficialmente, e cultivou soja posteriormente nos vasos, e concluiu, entre outros pontos, que o aumento da densidade do solo até 1,60 Mg m⁻³, não impediu o crescimento radicular de nenhuma espécie, no entanto, a soja cultivada em seguida, não apresentou crescimento radicular na densidade mais alta, mas, com relação aos vasos deixados em pousio, o cultivo anterior de adubos verdes aumentou a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de soja.

A presença de restrição ao desenvolvimento radicular provoca várias modificações morfológicas, ou seja, há aumento do diâmetro e diminuição no comprimento das raízes, tornando-as tortuosas. Estas modificações, geralmente, são devidas ao crescimento das raízes nos pontos de menor resistência oferecida pelo solo como canais deixados pelas raízes decompostas, e fendas naturalmente encontradas no solo (BORGES et al., 1988 e KEISLING et al., 1995)

Em solos compactados ocorre alteração da estrutura, refletindo em decréscimo da porosidade, da macroporosidade, na disponibilidade de água e nutrientes e na difusão de gases no solo (TAYLOR e BRAR, 1991) e tem relações importantes com o desenvolvimento das raízes.

Segundo Queiroz-Voltan et al. (2000) em solos compactados as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes fica prejudicado, os quais são as principais responsáveis pela absorção. Além disso, esses autores mencionam que a quantidade de oxigênio na rizosfera pode ser limitante para os processos metabólicos. Ainda, em solos compactados o menor desenvolvimento do sistema radicular resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes, e conseqüentemente menor absorção de água e nutrientes (HAKANSSON et al., 1998).

Estudos mostram que tanto, em vasos, em casa-de-vegetação (ROSOLEM et al., 1994; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000; GUIMARÃES et al., 2002) como em experimentos de campo (MERTEN e MIELNICZUK, 1991; SILVA et al., 2000) que as raízes apresentam dificuldades em penetrar as camadas compactadas, promovem maior desenvolvimento radicular na camada superior ou inferior menos compactada, como forma de contornar a redução do desenvolvimento radicular na camada de solo compactada.

Segundo Pabin et al. (1998) a redução de 40% no comprimento radicular crítico à produtividade das plantas, em solo arenoso. Mielniczuk et al. (1985) verificam redução de 86% no comprimento radicular da soja, em vasos, quando a resistência a penetração (RP) foi de 2,35 MPa, porém não decrescendo o peso de matéria seca da parte aérea, em Latossolo Roxo.

Rosolem et al. (1994) trabalhando com vasos, verificaram que na RP de 0,69 MPa houve uma redução de 50% no comprimento radicular de soja, em LATOSSOLO VERMELHO Escuro. Para o milho, ocorreu essa mesma redução numa

resistência de 1,42 MPa, porém o crescimento radicular não foi completamente inibido mesmo com 2,0 MPa (ROSOLEM et al., 1994). Em geral, tem-se adotado o valor de RP de 2,0 MPa como crítico ao desenvolvimento radicular do milho (SILVA et al., 1994; TORMENA et al., 1998).

Kirkegaard et al. (1992) realizando uma série de experimentos para verificar o efeito da compactação no crescimento do guandu em solos argilosos, observaram que a RP de 3,5 MPa reduziu o crescimento das raízes das plântulas, com uma queda de aproximadamente 60% no comprimento de raiz.

Bengough e Mullins (1990) verificaram que a taxa de alongamento das raízes de milho apresentou correlação negativa com a resistência à penetração, e foi reduzido para acima de 50% a 60% das que não foram impedidas por uma RP entre 0,26 e 0,47 MPa.

De um modo geral, os valores críticos de resistência variam com as espécies, sendo que Ehlers et al. (1983) relatou valores que 5,0 MPa para o crescimento de raízes de aveia no campo. Estudos mostraram que o aumento da densidade do solo e da RP provocam redução no crescimento de raízes de arroz (IJIMA et al., 1991), milho (PANAYIOTOPOULOS et al., 1994) e de soja (MORAES, 1995).

Khalilian et al. (1991) encontraram elevada correlação entre resistência do solo à penetração e o comprimento radicular de plantas de soja, relatando variações de 0,02 cm m⁻³, quando a resistência era de 0,6 MPa a 0,04 cm cm⁻³. A compactação do solo reduz o crescimento radicular da soja, podendo afetar tanto o desenvolvimento quanto a produtividade; o aumento da densidade do solo diminui o acúmulo de matéria seca radicular, principalmente, na camada compactada, este resultado foi comprovado com experimentos em vasos (BENEZ et al., 1986 e MORAES et al., 1991).

Para Alvarenga et al (1996) as raízes podem estar envolvidas direta ou indiretamente na estabilização do solo, pois o emaranhado que elas formam aproximam e protegem os agregados do solo, principalmente os macroagregados e indiretamente devido a exudação e decomposição das mesmas fornecendo materiais orgânicos estabilizantes e decomposições de carbono abaixo do solo. Verificou-se pior distribuição de raízes na semeadura direta e gradagem pesada, com maior concentração em camadas superficiais do solo. O tratamento com grade permitiu maior exploração da camada superficial do solo, através de maior concentração de raízes nodais nas entrelinhas. Os autores observaram ainda

que isso teve reflexos positivos na produtividade, na ausência de déficit hídrico severo. Os tratamentos com arado e escarificador proporcionaram distribuição mais uniforme do sistema radicular. Para verificar o efeito da compactação do solo no desenvolvimento das raízes vários trabalhos foram realizados induzindo-se uma área experimental à compactação através do tráfego de rodas (GAYLE et al., 1992; PIETOLA, 1991; VOORHEES, 1989) ou de impactos com blocos (PUNYWARDENA et al., 1990). Com base nestes trabalhos se conclui que o nível de compactação do solo pode afetar as raízes causando desvios destas para as laterais, diminuição do peso da matéria seca, da densidade e do comprimento, tendo como consequência geral a redução no crescimento das raízes.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

5.1.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado, em área didática do Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Campus de Botucatu-SP, localizada geograficamente a 22° 51'22'' de latitude Sul e 48°26'08'' de longitude Oeste. (Figura I). O solo utilizado, classificado por Carvalho et al. (1983), como NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.



Figura I. Vista geral da área experimental

Uma porção de solo, classificado por Carvalho et al. (1983), e atualizado pela Embrapa (1999), como NITOSSOLO VERMELHO Distroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Figura II), foram coletados numa profundidade entre 0 – 20cm, em uma área destinada ao cultivo de culturas anuais, da Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, UNESP.

Os solos coletados foram secos ao ar livre durante três dias e passados em peneira de malha de 4mm e, em seguida, retiradas amostras para caracterização de seus atributos físicos e químicos (Tabelas 1, 2 e 3), bem como para realização de ensaio de proctor normal conforme NBE 7182 (ABNT, 1986). Em seguida, foram acondicionados em sacos plásticos pesando 12,5 Kg de solo cada, para posteriormente ser corrigido o teor de água e adubação.

Tabela 1. Atributos químicos (Macronutrientes) da camada de 0 a 20cm, dos solos NITOSSOLO VERMELHO Distroférico (NDV) e do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LDV).

Solos	pH	MO	P resina	H+Al	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SB	CTC	V
	CaCl	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol dm ⁻³			%
NVD	5,1	15,0	7	31	1,2	15	10	26	56	45
LVD	4,9	7,0	0	20	0,1	4,0	6,0	10	30	32

Tabela 2. Atributos químicos (Micronutrientes) da camada de 0 a 20 cm dos solos NITOSSOLO VERMELHO Distroférico(NDV) e do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico(LDV).

Solos	B	Cu ⁺⁺	Fe	Mn ⁺⁺	Zn ⁺
			Mg dm ⁻³		
NVD	0,12	12,3	12	65,1	1,7
<u>LVD</u>	0,05	0,7	15	0,6	0,6

Tabela 3. Resultados das análises granulométricas do NITOSSOLO VERMELHO Distroférico (NDV) e do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LDV).

Solos	AMG	AG	AM	AF	AMF	Areia/T	Argila	Silte	Textura
g/kg									
NVD	4	10	25	47	32	119	637	244	argilosa
LVD	15	52	242	265	98	672	261	67	Média

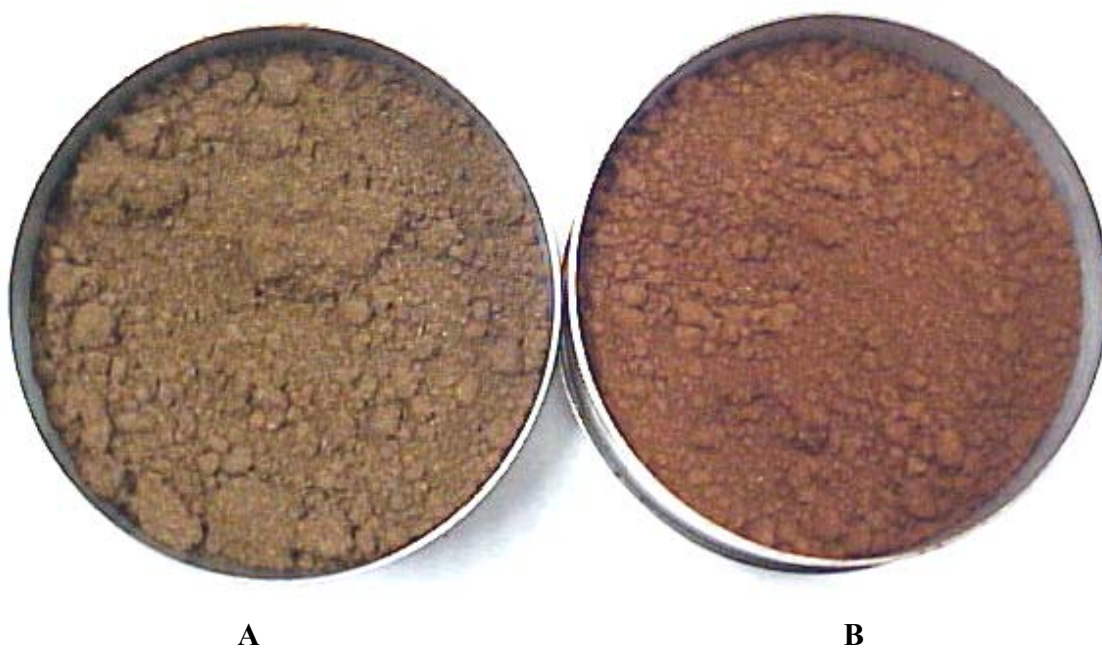


FIGURA II. Diferença entre os solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico(A) NITOSSOLO VERMELHO Distroférico(B).

5.1.2 Calagem e adubação

Foi adicionado 6,2 g/l de calcário dolomítico (PRNT = 90%) ao LATOSSOLO VERMELHO Distrótrico com o objetivo de elevar a saturação por base a 61%, segundo metodologia proposta por Raij et al. (1996).

A adubação antes da semeadura foi constituída de 17,4g de fósforo na forma de Superfosfato simples, 2,0g de potássio na forma de Cloreto de Potássio e 1g de nitrogênio na forma de sulfato de amônio para os 10 litros de solo de cada vaso.

No NITOSSOLO VERMELHO Distroférico foi utilizado 7,5g de calcário dolomítico (PRNT = 90%) com o objetivo de elevar a saturação por base a 60%, Raij et al. (1996). A adubação foi constituída de 29g de fósforo na forma de Superfosfato simples; 3g de potássio na forma de Cloreto de Potássio e 1g de Nitrogênio na forma de Sulfato de amônio para os 10 litros de solo.

Após receber calcário, adubação fosfatada, potássica e nitrogenada, fez-se à correção do teor de água no solo, posteriormente foram acondicionados em sacos plásticos vedados por 30 dias.

Além das adubações semanais de 100ml da solução nutritiva de Sarruge (1975), foram feitas, durante a condução do experimento, duas adubações contendo 10,0g de Sulfato de Amônio, 20,0g de Cloreto de Potássio e 10mL da solução de micronutrientes de Sarruge (1975), para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e para o NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, adiciono-se 10g de sulfato de amônio, 30g de cloreto de potássio e 10ml da solução de micronutrientes de Sarruge (1975).

5.1.3 Ensaio de proctor

No estudo da compactação do solo, foi utilizado o ensaio de laboratório Proctor Normal conforme NBR 7182 (ABNT, 1986). Plotando os valores do teor de água versus densidade do solo, consegue-se a curva de compactação da qual são obtidas a umidade crítica de compactação e a densidade do solo máxima correspondente.

O aparelho é constituído de um extrator de amostra, cilindro metálico e colar complementar, base de engate do cilindro, parafusos de fixação, soquete de 2,5Kg e talhador de amostra (Figura III).

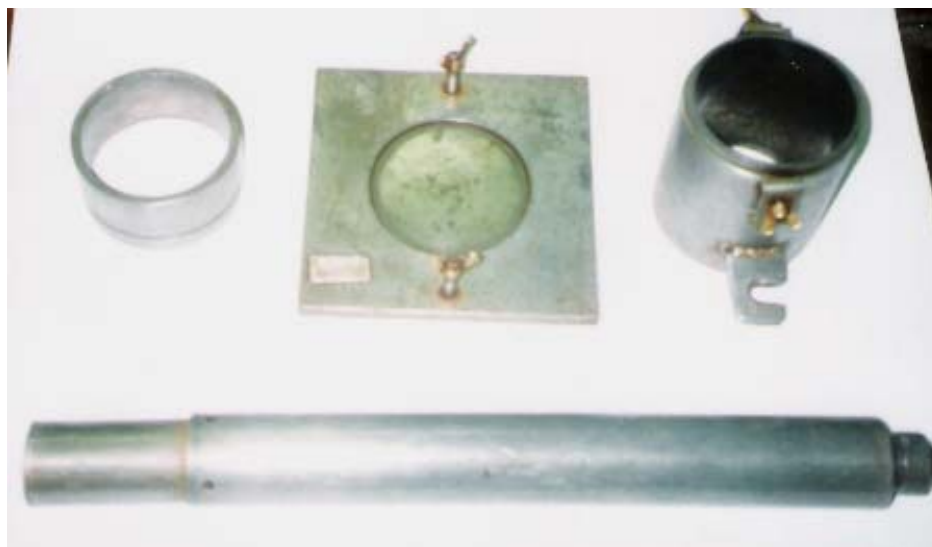


Figura III. Aparelho compactador das amostras de solo.

Para o solo NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, o teor de água de compactação foi de 30% e a densidade do solo máxima correspondente foi de $1,50\text{Mg.m}^{-3}$ (Figura IV). No caso do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico os valores ficaram em 15% e $1,77\text{Mg.m}^{-3}$ (Figura V), respectivamente para teor crítico de água e densidade máxima.

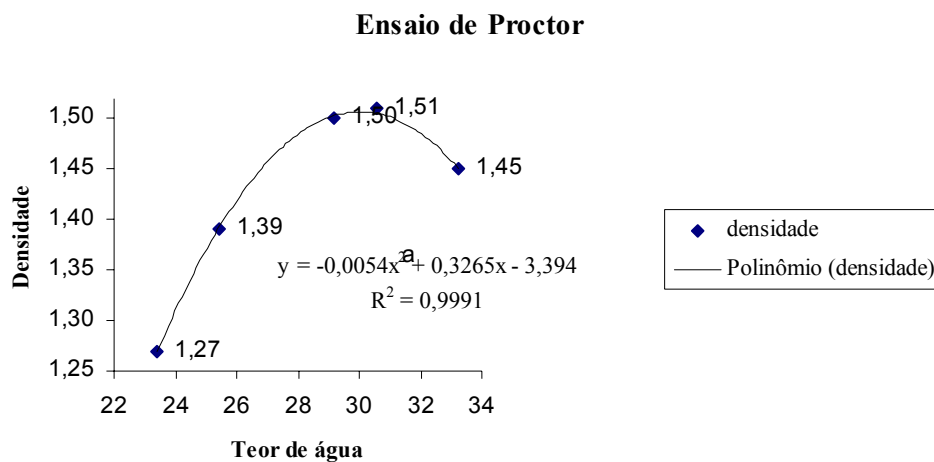


Figura IV. Curva de compactação do solo, do NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico utilizado no experimento.

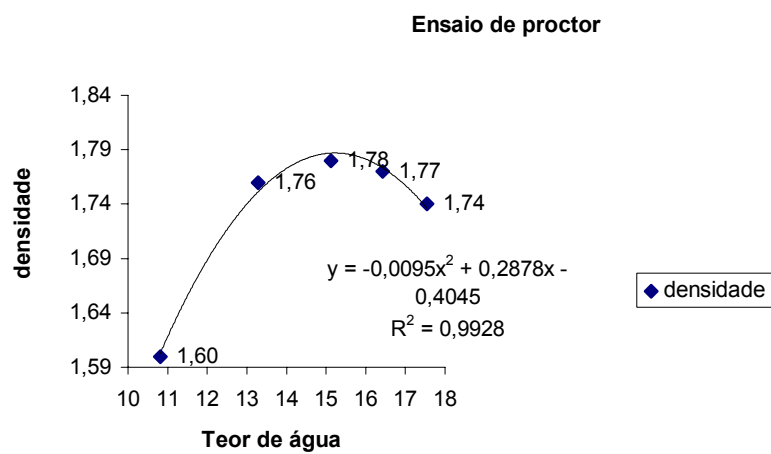


Figura V. Curva de compactação do solo, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico utilizado no experimento.

5.1.4 Unidades experimentais

As unidades experimentais (vasos), foram constituídas por três anéis de PVC rígidos sobrepostos, com diâmetro interno de 20 cm e 10 cm de altura cada anel. Desta forma, nos 120 vasos foram necessários 360 anéis. Os anéis de PVC foram unidos com fita adesiva plástica (Figura VI)

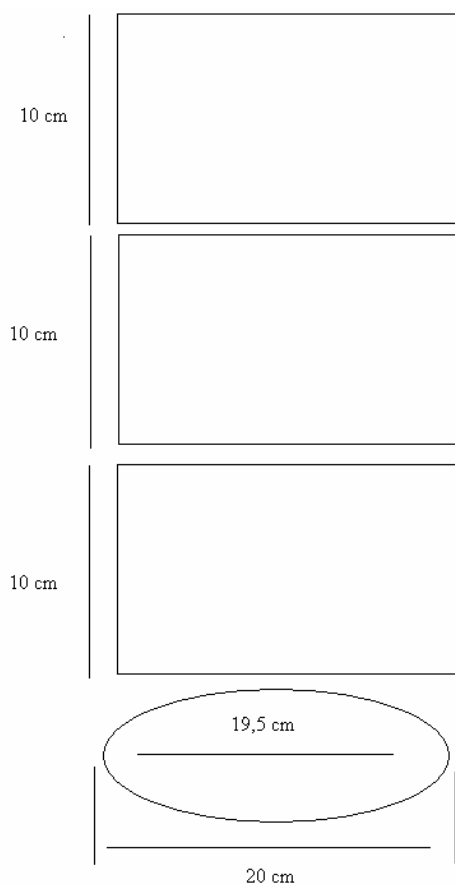


Figura VI. Esquema gráfico representativo da unidade experimental utilizada, composta por três anéis sobrepostos de PVC rígido.

5.1.5 Avaliação da resistência do solo a penetração

Para medir a resistência do solo à penetração das raízes, foi utilizado um penetrômetro de bolso (base do cone de 18mm, altura do cone 40mm e ângulo do vértice do cone de 23°) com leitura em quilograma por centímetro quadrado.

5.1.6 Semeadura

Utilizou-se semente de milho (*Pennisetum glaucum* (L.), variedade BN-2), previamente avaliadas em testes de germinação (Brasil,1992) com 70% de poder germinativo (Figura VII), semeado em 01 de dezembro de 2004, foram colocadas 28 sementes em cada vaso e após a germinação fez-se o desbaste para 14 plantas por vaso, (MILHETO, 1997 e CALEGARI, 2002).



Figura VII. Milheto cultivado contendo 14 plantas por vaso.

5.2 Métodos

5.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi constituído de 30 tratamentos, em esquema fatorial triplo 5x2x3, constituindo-se cinco densidades do solo (1,20 , 1,30, 1,40, 1,50 Mg m⁻³ e solto), duas classes de solo (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico), três profundidades de camadas compactadas (0 –10; 10 –20 e 20 –30cm), totalizando 120 vasos. As unidades experimentais, com diferentes tratamentos, tiveram sua posição definida por sorteio, foram distribuídas em uma abertura no solo, para isolar o efeito da temperatura, esta possui um metro de profundidade, doze metros de comprimento e dois metros de largura, de forma que as superfícies superiores dos vasos ficaram, aproximadamente, um centímetro fora do solo.

5.2.2 Correção do teor de água das amostras

Com o solo seco e pesando 12,5 Kg, foi feita a correção do teor de água baseado nos valores obtidos nos ensaios de Proctor Normal. Após a homogeneização dos solos com o teor de água ótimo para compactação, estes foram acondicionados em sacos plásticos, vedados para não desidratarem e permanecerem umedecidos por 30 dias

Foram utilizados como padrão o teor de água no solo correspondente a 90% da Capacidade de Campo, ou seja, foram corrigidas todas as porções de solo para um teor de água de 856 g , estes procedimentos foram adotados para as duas classes de solos.

5.2.3 Compactação do solo

Foi adaptada uma prensa hidráulica da marca EMIG, modelo PHS 15-L, equipada com cilindro hidráulico com capacidade de desenvolver cargas de até 15.000 kgf.cm⁻². A adaptação constituiu-se em uma ponteira de aço com 30,0 cm de comprimento e

5,0 cm de diâmetro, com rosca interna para acoplamento ao eixo central do macaco hidráulico, e uma chapa de aço circular com 19,0 cm de diâmetro e 0,10 cm de espessura, fixada na extremidade da ponteira. Foi confeccionado, também, um suporte de aço, cilíndrico com 30,0 cm de altura e 20,5 cm de diâmetro interno, para suportar os anéis de PVC rígido preenchidos com solo, evitando assim deformações indesejadas.

Os ensaios preliminares foram realizados para avaliar a capacidade da prensa, assim como para padronizar alguns parâmetros, necessários para obtenção das camadas compactadas de solo.

A variação de volume das amostras de solo submetidas à prensagem, ou seja, a deformação longitudinal da coluna de solo submetida à pressão, foi a referência utilizada para determinar os níveis de compactação utilizados no experimento.

Os solos previamente umedecidos foram colocados em dois anéis de PVC rígido com 10,0 cm de altura cada, no cilindro de aço da prensa hidráulica, portanto, padronizou-se em 20,0 cm de coluna de solo para todas as prensagens, e para a montagem dos vasos, foi utilizado apenas o anel inferior. Antes de ser efetuada a prensagem, acomodou-se o solo dentro do suporte cilíndrico com “soquete” manual, para que a quantidade de massa valores próximos a 12,5g, que foi determinada através de pesagem em balança eletrônica.

Ambos os solos foram prensados para atingirem densidades com valores de 1,20; 1,30; 1,40 e 1,50 Mg m⁻³. Após a compactação, foi determinada a resistência à penetração mecânica do solo com auxílio do penetrômetro de bolso, efetuou-se cinco leituras para cada anel. Posteriormente, os anéis de PVC foram mantidos em sacos plásticos vedados até serem transferidos para o campo, para montagem dos vasos.

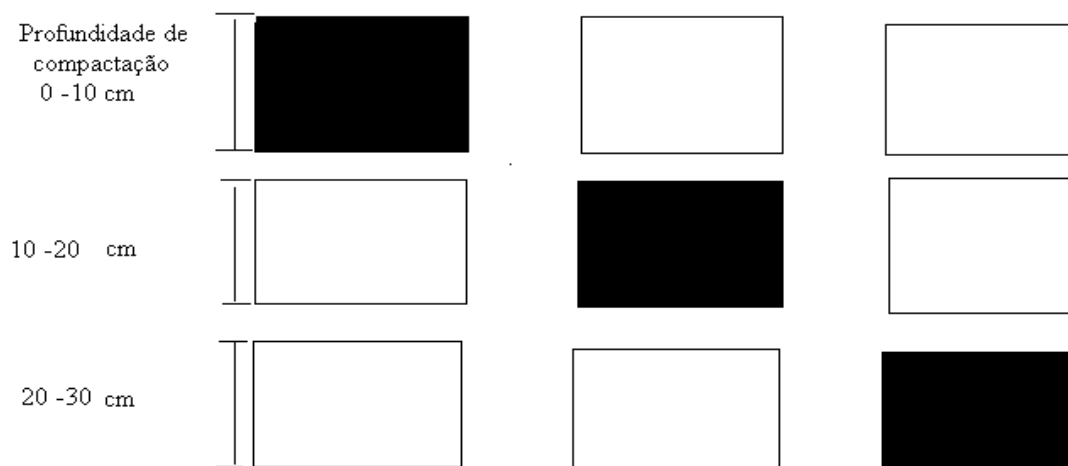


Figura VIII. Esquema gráfico representativo da montagem das faixas de solo compactadas em cada unidade experimental nas três profundidades estudadas.

5.2.4 Montagem e remoção dos vasos

Cada vaso foi montado com três anéis de PVC rígidos sobrepostos, totalizando 30cm de altura. Os anéis foram unidos com fita adesiva transparente e a parte inferior dos vasos (fundo) foi mantida aberta para evitar encharcamento do solo.

Os vasos foram preenchidos com solo até 28 cm de altura, deixando-se vazio dois centímetros para facilitar o manejo da irrigação (Figura IX). Estes comportaram um volume de 12,56 litros de solo, sendo que um anel foi compactado, e distribuídos nas profundidades de 0 a 10cm, 10 a 20cm e 20 a 30cm. Em função dos tratamentos, cada vaso recebeu um anel compactado distribuído em uma das profundidades estudadas (Figura IX).

Os vasos assim montados, previamente numerados e identificados, foram enterrados no campo do Departamento de Engenharia Rural, totalizando uma área

de 18m². Foram semeados num mesmo dia, fez-se a bordadura e montou-se um sistema de irrigação por aspersão para suprir a necessidade de água em 40mm por semana.

Os vasos foram desenterrados (Figura X) na fase da inflorescência da cultura com auxílio de um enxadão e uma vanga.

Após a montagem e disposição das unidades experimentais no campo, realizou-se a semeadura do milho, depositando manualmente 28 sementes/vaso numa profundidade média de 0,5cm.

Para suprir as necessidades hídricas da cultura, montou-se um sistema de irrigação por aspersão, distribuindo 40mm por semana.



Figura IX. Vista parcial da disposição das unidades experimentais em campo.



Figura X. Remoção do vaso.

5.2.5 Altura das plantas de milheto

Antecedendo a desmontagem dos vasos, determinou-se a altura das plantas de milheto com auxílio de uma trena graduada em centímetros, medindo-se a distância entre a superfície do solo e a extremidade da última folha totalmente expandida.

5.2.6 Matéria seca da parte aérea do milheto

Para determinação desse parâmetro, as plantas de milheto foram cortadas rente a superfície do solo, acondicionados em saquinhos de papel e levadas para estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65°C por um período de 72 horas. Após secagem, as plantas foram pesadas e os resultados de matéria seca expressos em gramas.

Aos 56 dias, após semeadura procedeu-se à coleta da parte aérea do milheto (Figura XI), desmontaram-se os vasos para avaliação do crescimento do sistema

radicular. Mediu-se a altura da planta (cm), foram secas em estufa, 72 h, para determinação da massa seca, utilizando-se balança eletrônica modelo BG1000, com capacidade de 1010g e precisão de 0,01g.

5.2.7 Tratos culturais

Fez-se o uso de inseticida-formicida granulado Blitz (Fibronil) ao redor do experimento com objetivo de amenizar o ataque de formigas saúvas às plantas de milho. Utilizou-se também tela cercado e protegendo o experimento, evitando-se, assim, a invasão de animais.

Foram realizadas adubações semanais durante a condução do experimento com 100mL da solução nutritiva de Sarruge (1975). Retirou-se também, manualmente, espécies de plantas invasoras que germinaram nos vasos.



Figura XI. Remoção da parte aérea da cultura.

5.2.8 Avaliação do comprimento, volume e diâmetro do sistema radicular

Após a desmontagem dos vasos e coleta da parte aérea do sistema radicular, este foi lavado em água corrente sobre peneira de malha de um milímetro (Figura XII), perfazendo em três partes de acordo com as camadas de cada vaso. Depois de separadas e limpas, foram conservadas em sacos plásticos previamente numerados. Em seguida, foram pesados em balança eletrônica e por apresentarem grande volume, foram retiradas alíquotas representativas de 5%. Essas foram armazenadas em recipientes plásticos, contendo solução de álcool a 30%, até a conclusão dos trabalhos de separação, quando se realizou o escorrimento da solução em peneira de nylon de 120 mesh, essas foram submetidas a leitura pelo Scanner, modelo Scanjet 4C/T, marca HP; através do programa Win Mac Ruizo, versão 3,8-b, onde determinou-se o comprimento (cm cm^{-3}), o diâmetro (mm) e o volume (cm^3) radicular; raízes restantes foram acondicionadas em sacos de papel, para secagem em estufa de circulação forçada a 70°C por 72 horas e suas massas (g) foram determinadas em balança eletrônica.

Através das massas secas das alíquotas e do total das massas secas radiculares, determinou-se o comprimento, diâmetro e o volume de todo o sistema radicular para cada camada do vaso.



Figura XII. Lavagem do sistema radicular sobre peneira.



Figura XIII. Sistema radicular armazenado em recipiente plástico

5.2.9 Análises estatísticas

Os resultados foram computadorizados estatisticamente em relação à análise de variância, com teste de Tukey (5% de probabilidade. Utilizou-se para análise, o programa estatístico SAS (Statistical Analysis System).

6. RESULTADOS

6.1 Morfologia radicular

6.1.1 Comprimento radicular

No (Quadro 1) são apresentados os resultados de comprimento radicular com compactação do anel na profundidade A (0 –10cm).

Quadro 1. Comprimento radicular (cm) do milho em função das profundidades A (0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm),para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade A (0 – 10cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	923,3 Aaβ	1254,9 Aaα	1258 Aaα	762,8 Aaβ	321,3 Bbβ	753,4
	NT	693,4 Aaα	1070,4Abα	1032,7 Aaα	1117,6 Aaα	1042,5 Aaα	826,1
B (10 –20cm)	LT	1001,2 Aaα	638,9 Abα	760,1 Aaα	532,43 Aaα	544,2 Aaα	579,5
	NT	785,8 Aaα	664,7 Aaα	592,8 Aaα	498,7 Aaα	625,7 Aaα	528
C (20-30cm)	LT	1329,6 Aaα	1089,59 Aaα	852,7 Aaα	996,1 Aaα	1157,6 Aaα	904,3
	NT	1019,2 Aaα	928,49 Aaα	600 Aaα	1110,1 Aaα	426,7 Baα	680,7
		958,7	941,2	849,4	836,3	686,3	

DMS_(solo) = 508,5; DMS_(profundidade) = 610,2; DMS_(densidade) = 722,8; CV(%) = 42,7

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

Para o parâmetro comprimento radicular, dentro das classes de solo estudadas, houve diferença significativa na maior densidade para os anéis nas profundidades A (0 – 10cm) e C (20 – 30cm), sendo que na profundidade A (0 – 10cm) o maior valor encontrado foi para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LT) e na profundidade C (20 – 30cm) o maior comprimento radicular encontrado foi para o NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico (NT).

Em relação as diferentes profundidades houve diferença significativa nas densidades de 1,2 e 1,5Mg.m⁻³ na camada superficial e na densidade de 1,2 Mg.m⁻³ na camada B, sendo na camada superficial com densidade de 1,2 Mg.m⁻³ o maior valor encontrado no LT e na densidade de 1,5Mg.m⁻³ no NT. Para a profundidade B na densidade de 1,2 Mg.m⁻³ o maior valor foi encontrado para o LT.

Verifica-se o aumento do comprimento radicular, quando a camada compactada estava localizada na profundidade A, sendo os menores valores encontrados nas profundidades de B e C.

No fator densidade de solo, para o parâmetro comprimento radicular de raízes, houve diferença significativa nas densidades 0,8; 1,4 e 1,5 Mg.m⁻³, sendo ambos na camada superficial. Nestas densidades os maiores valores encontrados foram para o LT.

Para todos os outros fatores não houve diferença significativa entre as variáveis.

Em geral, com aumento da densidade verifica-se diminuição dos valores de comprimento radicular, pelas médias apresentadas no quadro 1, houve concentração de raízes na camada superficial na profundidade compactada A.

Essa concentração das raízes nas camadas superiores foi relatada por vários autores, tanto em experimentos a campo (LIJIMA E KONO, 1991), quanto em condições de vaso (SILVA, G et al. 1992; ROSOLEM et al., 1994a e 1994b; SILVA, R e ROSOLEM, 2001). A influência da compactação do solo na distribuição de raízes, também foi verificada por Foloni et al. (2003).

O comprimento radicular foi maior no NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico. (Quadro1), devido ao maior teor de argila neste solo; a granulometria demonstra que o teor de argila é um dos componentes do solo que interfere na resistência à penetração das raízes (SAINI & CHOW, 1984 e MORAES et al., 1995).

Quadro 2. Comprimento radicular (cm) do milho em função das profundidades A (0 – 10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm),para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade B (10 – 20cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	975,6 Aaα	472 Aaβ	802,3 Aaα	398,7 Aaβ	149,6 Aaβ	466,4
	NT	94,7 Bbα	119,1 Baα	196,4 Baα	74,8 Aaα	288,3 Aaα	128,8
B (10 –20cm)	LT	657,5 Aaα	500,6 Aaα	304,2 Abα	523,8 Aaα	247 Aaα	372,2
	NT	481,3 Aaα	321,8 Aaα	378,2 Aaα	379,3 Aaα	335,6 Aaα	316
C (20-30cm)	LT	523,6 Aaα	678,1 Aaα	665,6 Aaα	623,4 Aaα	749,7 Aaα	453
	NT	302,6 Aaα	288 Baα	164,7 Baα	325,1 Aaα	137,3 Bbα	203
		489,2	396,6	418,6	387,5	318	

DMS_(solo) = 345,1; DMS_(profundidade) = 414,2; DMS_(densidade) = 490,6; CV(%) = 61,3

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

No Quadro 2, são apresentados resultados de comprimento radicular com compactação do anel na profundidade B (10 –20cm).

Verifica-se para o parâmetro comprimento radicular, dentro das classes de solo estudadas, diferença significativa nas densidades 0,8; 1,2 e 1,3Mg.m⁻³, para os anéis A e C, com valores maiores para o solo LT. Na densidade 1,5Mg.m⁻³ a diferença ocorreu apenas no anel C, provavelmente devido ao aumento da resistência à penetração. Resultado semelhante na produtividade de milho foi encontrado por Miller et al. (1987) quando variou a densidade de um solo siltoso de 1,5 a 1,8Mg.m⁻³ sem restrição de água e nutrientes.

Isto pode ser explicado devido ao aumento da resistência à penetração, a espécie foi, significativamente, sensível ao aumento da densidade do solo na camada compactada e abaixo dela.

Quadro 3. Comprimento radicular (cm) do milho em função das profundidades A (0 – 10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm),para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade B (20 – 30cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	578,6 Aaα	494,3 Aaα	480 Aaα	360 Aaα	279,4 Aaα	365,3
	NT	60,8 Aaα	158,4 Aaα	79,3 Aaα	90,5 Aaα	105 Aaα	82,3
B (10 –20cm)	LT	384 Aaα	301,2 Aaα	346,8 Aaα	372,2 Aaα	99,4 Aaα	250,6
	NT	217,2 Aaα	97 Aaα	93 Aaα	156,7 Aaα	248,4 Aaα	135,3
C (20-30cm)	LT	723,8 Aaα	586,6 Aaα	376,3 Aaα	315 Aaα	129,4 Aaα	355,2
	NT	140 Aaα	504,5 Aa(	216,2 Aa□	364,3 Aa□	100,6 Aa□	221
		350,7	357	265,2	276,4	160,3	

DMS (solo) = 722,7; DMS (profundidade) = 490,6; DMS (densidade) = 1888; CV(%) = 1027

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando o Quadro 3, observa-se não houve diferença significativa para o comprimento radicular , entre as variáveis estudadas. Isto pode ser explicado devido a compactação realizada no anel inferior C.

6.1.2 Massa seca radicular

Nos Quadros 4, 5 e 6 são apresentados os resultados de massa seca radicular com compactação do anel na profundidade A (0 –10cm), B (10-20cm) e C (20 - 30cm), respectivamente, para os solos LT e NT.

Quadro 4. Massa seca radicular (g) do milho em função das profundidades A (0 – 10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm),para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade A (0 – 10cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	60,7 Aaβ	30,2 Aaα	26,6 Aaα	26,1 Aaα	7,7 Bbα	30,2
	NT	17,2 Bbα	29,5 Aaα	33,1 Aaα	32,7 Aaα	26,6 Aaα	27,8
B (10 –20cm)	LT	34,6 Abα	24,7 Aaα	23,3 Aaα	22,6 Aaα	15,1 Aaα	24,1
	NT	10,7 Bbα	23,9 Aaα	21,4 Aaα	18,9 Aaα	25,5 Aaα	20,1
C (20-30cm)	LT	38,6 Abα	37,9 Aaα	42,8 Aaα	38,4 Aaα	29, 6 Aaα	37,5
	NT	27,1 Abα	28,1 Aaα	24,1 Baα	32,3 Aaα	16,4 Aaα	25,6
		31,4	29,1	28,5	28,5	20,5	
DMS (solo) = 18,7; DMS (profundidade) = 22,5; DMS (densidade) = 26,7; CV(%) = 48,1							

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

Na camada compactada no anel A, o tipo de solo afetou significativamente a massa seca radicular. As densidades de 0,8 e 1,5 Mg.m⁻³ reduziram a massa seca radicular para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no anel A e B e na densidade 1,3Mg.m⁻³ no anel C. Porém não houve diferença entre as densidades 1,2; 1,3 e 1,4 Mg.m⁻³ para os anéis A ; B e C .

Somente nas densidades 0,8 e 1,5Mg.m⁻³ verifica-se diferença significativa, no anel A (0 –10cm) e no solo LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, proporcionou maior valor de massa seca radicular.

Entre as densidades estudadas, para o parâmetro massa seca radicular, houve diferença significativa apenas na densidade $0,8\text{Mg.m}^{-3}$ no anel A, apresentando maiores valores de massa seca radicular no LT.

No entanto Moraes et al. (1991), Borges et al. (1994), Rosolem et al. (1994^a), Nogueira & Manfredini (1983), Baligar et al. (1981), apresentaram resultados onde observa-se que o aumento da densidade do solo diminuiu o acúmulo de matéria seca radicular da soja na camada compactada, em experimentos conduzidos em vasos. Pace et al. (1999), observaram que o aumento da densidade do solo reduziu significativamente o acúmulo de matéria seca radicular da crotalaria juncea na camada compactada de solo.

Ainda no quadro 4 verifica-se efeito do solo sobre a variável, em que o LATOSSOLO VERMELHO Distrofíco proporcionou maior acúmulo de massa seca de raízes em relação ao NITOSSOLO VERMELHO Distroférico. Provavelmente devido o tamanho dos poros que facilitou a penetração de raízes no LATOSSOLO VERMELHO distrófico.

Quadro 5. Massa seca radicular (g) do milho em função das profundidades A (0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, com anel compactado na profundidade B (10 – 20cm).

		DENSIDADE Mg.m ⁻³					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	13,3 Aaα	9,8 Aaβ	7,5 Aaα	5 Aaα	1,6 Aaβ	6,2
	NT	1,2 Aaα	1,7 Bbα	3 Baα	1,1 Bbα	1,8 Abα	1,4
B (10 –20cm)	LT	7,8 Aaα	9,4 Aaα	10,7 Aaα	7,3 Aaα	4,4 Aaα	6,6
	NT	7,2 Aaα	4 Aaα	8,7 Baα	7,2 Aaα	4,5 Aaα	5,3
C (20-30cm)	LT	12 Aaα	9,1 Aaα	9,8 Aaα	10,4 Aaα	6,8Aaα	8
	NT	5,1 Aaα	3,8 Baα	2,7 Baα	6,6 Bbα	2,5 Aaα	3,4
		7,8	6,3	7,1	5,4	3,6	
DMS (solo) = 4,8 DMS (profundidade) = 5,7; DMS (densidade) = 6,8; CV(%) = 55,2							

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

No Quadro 5, comparando-se as classes de solo, observou-se que nas densidades 1,2 e $1,4\text{Mg.m}^{-3}$, com anel compactado em A e C, houve diferença significativa, sendo que os maiores valores encontrados de comprimento radicular foram para o solo LT.

Para as profundidades estudadas, verifica-se que os anéis A e C diferiram significativamente, na densidade $1,4 \text{ Mg.m}^{-3}$ e na densidade $1,5 \text{ Mg.m}^{-3}$ o anel A apresentou valores superiores de massa seca radicular no NT.

No Quadro 5, comparando-se a densidade, e verificou-se que nas densidades 1,2 e $1,5 \text{ Mg.m}^{-3}$ houve diferença significativa, no anel A para o parâmetro analisado.

Pace et al. (1999), mostra que a produção de matéria seca de raízes do guandu, da mucuna preta e da soja, na camada compactada, em vasos, não diferiu, significativamente, em função do aumento da densidade; de um solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro (textura média). Analisando os dados de Silva (1998), conclui-se que os adubos verdes (guandu e mucuna preta), com relação a variável massa seca radicular, apresentaram comportamentos semelhantes ao do milho.

Quadro 6. Massa seca radicular (g) do milho em função das profundidades A(0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO, com anel compactado na profundidade C (20 – 30cm).

		DENSIDADE Mg.m^{-3}					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	8 Aaα	6,8 Aaα	5,25 Aaα	4,4 Aaα	2,3 Aaβ	4,5
	NT	0,7Baα	2,3 Baα	0,9 Baα	0,7 Baα	0,7 Abα	1
B (10 –20cm)	LT	5,4 Aaα	4,2 Aaα	5,4 Aaα	3,8 Aaα	1,8 Aaα	3,4
	NT	2,9 Aaα	1,3 Aaα	2,1 Baα	1,8 Aaα	2 Aaα	1,7
C (20-30cm)	LT	2,5 Abβ	7,2 Aaα	6 Aaα	3,8 Aaα	1,7 Aaβ	3,5
	NT	2,1 Aaβ	4 Baβ	2,8 Baβ	6,5 Abβ	21,8 Aaα	2,8
		3,6	4,3	3,7	3,5	1,7	

DMS_(solo) = 3,2; DMS_(profundidade) = 3,87; DMS_(densidade) = 4,59; CV(%) = 68,8

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

Quando comparou -se os solos LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico, no anel A, observou-se que nas densidades 0,8; 1,2; 1,3 e 1,4 Mg.m^{-3} houve diferença significativa, sendo que para o solo LT apresentou valores maiores de massa seca radicular. Enquanto que no anel A não diferiram em relação à massa seca radicular.

A densidade 1,2 Mg.m^{-3} apresentou valores maiores de massa seca radicular no anel C para o solo LT e na densidade 1,3 Mg.m^{-3} , os anéis A, B e C, também para o LT os valores foram superiores ao do solo NT

Verificou-se na comparação entre os anéis A, B e C que não houve diferença significativa nas densidades 1,4 e 1,5 Mg.m^{-3} nas duas classes de solo; ao contrario das densidades 0,8 e 1,4 Mg.m^{-3} , no anel C que diferiram significativamente para o parâmetro analisado.

Entre as densidades apenas o solo solto e 1,5 Mg.m^{-3} ocorreu diferença significativa, nos anéis A

Em relação as diferentes densidades, observa-se que houve diferença significativa nas densidades 0,8 e 1,5 Mg.m^{-3} , nos anéis C e A, respectivamente, sendo que os maiores valores encontrados de massa seca radicular foram para o LT.

Os resultados obtidos para o milho em relação a massa seca radicular são concordantes com aqueles obtidos por Foloni (199) para a cultura da soja e concorda parcialmente com os resultados relatados por Silva R e Rosolem (2002), que obtiveram reduções menores para esta cultura na densidade de 1,6 Mg.m^{-3} , 18% de redução, contra os 74% verificados neste experimento, na densidade de 1,5 Mg.m^{-3} .

Isto pode ser explicado devido às espécies, apesar de sofrerem reduções na massa da matéria seca radicular, em função do aumento da densidade do solo, apresentaram, amplitudes entre médias, menores, quando comparadas com as amplitudes que ocorreram entre as médias da massa seca de raízes, na camada compactada dos vasos.

Analisando essas informações, conclui-se que as raízes da espécie estudada, independentemente do nível de compactação do solo, têm uma capacidade de recuperação da massa seca radicular considerável, após atravessaram a camada compactada.

6.1.3 Diâmetro radicular

Nos Quadros 7, 8 e 9 são apresentados os resultados de diâmetro radicular com compactação do anel na profundidade A (0 –10cm), B (10-20cm) e C (20 - 30cm), respectivamente, para os solo LT e NT.

Quadro 7. Diâmetro radicular (mm) do milho em função das profundidades A (0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO, com anel compactado na profundidade C (0 – 10cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	0,03 Aaα	0,04 Aaα	0,03 Aaα	0,04 Aaα	0,04 Aaα	0,03
	NT	0,05 Aaα	0,05 Aaα	0,04 Aaα	0,04 Aaα	0,05 Aaα	0,04
B (10 –20cm)	LT	0,05 Aaα	0,05 Aaα	0,05 Aaα	0,06 Aa(	0,06 Aa(	0,04
	NT	0,05 Aa(	0,06 Aa(	0,06 Aa(	0,06 Aa(	0,06 Aa(	0,05
C (20-30cm)	LT	0,05 Aa(	0,05 Aa(	0,05 A(	0,05 Aa(	0,05 Aa(	0,04
	NT	0,03 Aa(	0,04 Aa(	0,05 Aa(	0,04 Aa(	0,05 Aa(	0,03
		0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	

DMS_(solo) = 0,02; DMS_(profundidade) = 0,02; DMS_(densidade) = 0,03; CV(%) = 30

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

No Quadro 7, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Nos dados apresentados por Silva (1998), no que diz respeito ao crescimento radicular da camada compactada de solo, o diâmetro médio das raízes da mucuna preta não diferiu, significativamente, do diâmetro das raízes de soja e do guandu, independentemente da variação da densidade do solo. Rosolem et al. (1994), também verificaram que o raio médio de soja não sofreu alterações significativas, em função do aumento da densidade do solo, na camada compactada.

Nos Quadros 8 e 9 , verifica-se que o diâmetro médio das raízes do milho não diferiu estatisticamente em nenhum dos tratamentos. Os resultados estão de acordo com Merotto Júnior & Mundstock (1999) que relatam as raízes como sendo incapazes de diminuir seu diâmetro para penetrar em solos com porosidade reduzida.

Quadro 8. Diâmetro radicular (mm) do milho em função das profundidades A (0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO, com anel compactado na profundidade C (10 – 20cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	0,03 Aaα	0,04 Aaα	0,03 Aa(	0,03 Aa(	0,04 Aa(	0,03
	NT	0,03 Aa(	0,04 Aa(	0,03 Aa(	0,03 Aa(	0,04 Aa(	0,04
B (10 20cm)	LT	0,03 Aa(	0,03 Aa(	0,05 Aa(	0,03 Aa(	0,03 Aa(	0,04
	NT	0,04 Aaα	0,03 Aaα	0,04 Aaα	0,04 Aaα	0,03 Aaα	0,05
C (20-30cm)	LT	0,05 Aaα	0,03 Aaα	0,05 Aα	0,04 Aaα	0,03 Aaα	0,04
	NT	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,04 Aaα	0,04 Aaα	0,03
		0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	

DMS_(solo) = 0,14; DMS_(profundidade) = 0,16; DMS_(densidade) = 0,2; CV(%) = 27,3

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

Quadro 9. Diâmetro radicular (mm) do milho em função das profundidades A (0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO, com anel compactado na profundidade C (20 – 30cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,04 Aaα	0,03 Aaα	0,03
	NT	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,04
B (10 –20cm)	LT	0,04 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,04
	NT	0,04 Aaα	0,03 Aaα	0,04 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,05
C (20-30cm)	LT	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,04 Aα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,04
	NT	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03 Aaα	0,03
		0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	

DMS_(solo) = 0,11; DMS_(profundidade) = 0,14; DMS_(densidade) = 0,16; CV(%) = 187

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

6.1.4 Volume radicular

Nos Quadros 10, 11 e 12 são apresentados os resultados de volume radicular com compactação do anel na profundidade A (0 –10cm), B (10-20cm) e C (20 - 30cm), respectivamente, para os solos LT e NT.

Quadro 10. Volume radicular (cm^2) do milho em função das profundidades A (0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO, com anel compactado na profundidade C (0 – 10cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	151,6 Aaα	164,6 Aaα	141,4 Aaα	107 Aaα	55 Bbα	103,2
	NT	78,8 Bbα	152,6 Aaα	149 Aaα	149 Aaα	151,7 Aaα	113,5
B (10 –20cm)	LT	177,6 Aaα	103,5 Aaα	123,7 Aaα	114,4 Aaα	103 Aaα	103,7
	NT	133,4 Aaα	135 Aaα	123,5 Aaα	102 Aaα	132,8 Aaα	104,4
C (20-30cm)	LT	113,7 Aaα	161,3 Aaα	163,8 Aaα	149,8 Aaα	219,9 Aaα	134,7
	NT	120 Aaα	126,8 Aaα	101,5 Aaα	128,5 Aaα	79,8 Bbα	92,7
		130	140,6	133,8	125	123,7	

DMS (solo) = 61 ; **DMS** (profundidade) = 73,3 ; **DMS** (densidade) = 86,8; **CV**(%) = 33,4

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

O volume radicular é uma variável dependente do diâmetro médio radicular e da densidade de comprimento total, portanto, pode-se afirmar que esta é uma variável compensatória, ou seja, espécies que apresentam pouco comprimento radicular mas, com diâmetro médio radicular alto, podem apresentar o mesmo volume radicular que as espécies que mostram um alto comprimento radicular e um pequeno diâmetro médio de raízes.

Entre os solos estudados verifica-se diferença significativa no volume radicular de raízes, nas densidades 0,8 e 1,5Mg.m⁻³, no anel A e B, em relação às demais não densidades diferiram significativamente, em relação ao volume radicular. Já no NT, houve diferença significativa na densidade 1,5Mg.m⁻³, reduzindo o volume de raízes nos anel C.

Comparando-se as profundidades não observou-se diferença significativa nas densidades 1,2 e 1,5Mg.m⁻³, nos anéis A e C, apresentando valores maiores de volume radicular para o solo LT. E na densidade 1,5Mg.m⁻³, no anel A o NT obteve valores superiores ao LT.

Isto pode ser explicado devido ao aumento da densidade do solo, que influenciou, significativamente, o volume radicular das espécies, na camada compactada e abaixo dela.

Quadro 11. Volume radicular (cm^2) do milho em função das profundidades A (0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO, com anel compactado na profundidade C (10 – 20cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	132,4 Aaα	63 Aaβ	80,7 Aaα	42 Aaβ	16 Abβ	55,6
	NT	9,7 Bbα	14,6Baα	21,1 Baα	8,6 Aaα	34,8 Aaα	14,7
B (10 –20cm)	LT	73,48 Abα	57,6 Aaα	55,7 Aaα	59 Aaα	27,6 Abα	45,5
	NT	58 Aaα	35,3Aaα	49 Aaα	48,6 Aaα	37,2 Aaα	38
C (20-30cm)	LT	84 Aaα	74,2 Aaα	100 Aaα	77 Aaα	78 Aaα	68,8
	NT	31 Baα	31,6 Aaα	19,2 Baα	48 Aaα	14,7 Baα	24
		64,7	46	54,2	47,2	34,7	

DMS_(solo) = 42,8 ; DMS_(profundidade) = 51,4 ; DMS_(densidade) = 60,8; CV(%) = 62,2

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

No Quadro 11, constata-se que houve diferença significativa entre os dois tipos de solos. O aumento da densidade do solo alterou o volume de raízes. No NT, houve diferenças altamente significativas entre as densidades 1,2; 1,3 e 0,8 Mg.m^{-3} reduzindo o volume de raízes no anel A para o solo NT. Nas densidades 0,8; 1,3 e 1,5 Mg.m^{-3} também para o solo NT houve uma redução do volume radicular no anel C.

Comparando-se os anéis, houve diferença nos anéis A e B com valores superiores de volume radicular no solo LT, nas densidades 0,8 e 1,5 Mg.m^{-3} .

Entre as densidades observou-se diferença significativa, entre as densidades 1,2; 1,4 e 1,5 Mg.m^{-3} no solo LT, no anel A, sendo que nas densidades 1,2 e 1,4 Mg.m^{-3} o LT obteve maior valor de volume radicular, e na densidade de 1,5 Mg.m^{-3} o solo NT obteve menores valores.

Quadro 12. Volume radicular (cm^2) do milho em função das profundidades A (0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO, com anel compactado na profundidade C (20 – 30cm).

		DENSIDADE Mg.m ⁻³					
		SOLTO	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	70,2 Aaα	53 Aaα	45,8 Aaα	42,8 Aaα	26,4 Aaα	39,6
	NT	7 Bbα	21 Aaα	8 Baα	9 Abα	11 Aaα	9,3
B (10 –20cm)	LT	58 Aaα	33,4 Aaα	39,2 Aaα	35,6 Aaα	10 Aaβ	29,3
	NT	24 Baα	10 Aaα	16,6 Aaα	16 Aaα	24,4 Aaα	15,1
C (20-30cm)	LT	41,5 Aaα	63 Aaα	50,2 Aaα	37,3 Aaα	13,4 Aaβ	34,2
	NT	15,3 Aaα	46,8 Aaα	22Aaα	48,7 Aaα	14,5 Aaα	24,5
		36	37,8	30,3	31,5	16,6	
DMS _(solo) = 32,3 ; DMS _(profundidade) = 38,7 ; DMS _(densidade) = 45,8; CV(%) = 75,8							

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

No Quadro 12, comparando-se as duas classes de solo, pode-se observar que o volume radicular do milho para o NT foi estatisticamente inferior na densidade 0,8 Mg.m⁻³, nos anéis A e B, e apenas no anel A na densidade 1,3 Mg.m⁻³.

Em relação aos anéis estudados, verifica-se diferença significativa apenas no anel B e C, na densidade 1,5 Mg.m⁻³, apresentando maiores valores de volume radicular no solo NT.

Entre as densidades houve diferença estatística na densidade 0,8 e 1,4Mg.m⁻³ em relação às demais densidades, apresentando menores valores de volume radicular, no anel A para o solo NT.

Pode-se concluir que a classe de solo influenciou, significativamente, o volume radicular da espécie estudada, em todas as camadas.

No caso da soja, alguns trabalhos mostram um decréscimo do volume radicular em função do aumento da densidade do solo Baligar et al,(1981), Tu e Buttery (1988), Rahman e Ito (1996) e Hallmark e Barber (1981).

6.2 Altura e massa seca de parte aérea

6.2.1 Altura de parte aérea

No Quadro 14 são apresentados os resultados de altura de parte aérea com compactação do anel na profundidade A (0 –10cm), B (10-20cm) e C (20 -30cm), respectivamente, para os solos LT e NT.

Quadro 14. Altura de parte aérea (m) do milheto em função das profundidades A (0 –10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO, com anel compactado na profundidade C (0 – 10cm).

		DENSIDADE Mg.m-3					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	1,7 Aaα	1,5 Aaα	1,4 Baα	1,2 Aaα	0,9 Bbα	1,1
	NT	1,7 Abα	1,6 Aaα	2 Aaα	1,6 Aaα	1,6 Aaα	1,4
B (10 –20cm)	LT	1,4 Aaα	1,1 Aaα	1,3 Aaα	1,3 Aaα	1 Bbα	1
	NT	1,1 Abα	1,3 Aaα	1,4 Aaα	1,2 Aaα	1,3 Aaα	1,3
C (20-30cm)	LT	1,5 Aaα	1,5 Aaα	1,5 Aaα	1,4 Aaα	1,3 Aaα	1,2
	NT	1,5 Aaα	1,7 Aaα	1,5 Aaα	1,6 Aaα	1,6 Aaα	1,3
		1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	

DMS_(solo) = 0,4 ; DMS_(profundidade) = 0,5 ; DMS_(densidade) = 0,6; CV(%) = 22,7

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

No Quadro 14, observa-se que houve alterações na altura de parte aérea do milheto, o LT nas densidades de 0,8; 1,3 e 1,5 Mg.m^{-3} , apresenta menores valores de altura de parte aérea em relação ao NT e no anel B a densidade 1,5 Mg.m^{-3} obteve diferença significativa no solo NT que apresentou maior altura de parte aérea.

Em relação às profundidades estudadas, houve diferença significativa nos anéis A e B nas densidades de 0,8 e 1,5 Mg.m^{-3} , para o solo NT. E na densidade 1,5 Mg.m^{-3} o anel B apresentou altura de parte aérea maior no solo NT.

Comparando-se as densidades observa-se que na densidade 1,5 Mg.m^{-3} o parâmetro analisado apresentou menores valores, diferindo estatisticamente, das demais densidades estudadas. No caso do Milheto, o aumento da compactação do solo diminuiu a altura média das plantas. Esta observação concorda com os resultados obtidos por Ortolani et al. (1982) e Queiroz-Voltan et al. (2000), para a soja e por Vespraskas & Waggoner (1990), para o milho.

6.2.2 Massa seca de parte aérea

Quadro 15. Massa seca de parte aérea (g) do milho em função das profundidades A (0 – 10cm); B(10 –20cm) e C (20 –30cm), para as diversas densidades no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, compactado em todas as profundidades.

		DENSIDADE Mg.m ⁻³					
		0,8	1,2	1,3	1,4	1,5	
ANEL	SOLO						
A (0 – 10cm)	LT	359 Aaα	237 Aaα	115,6 Baβ	144 Aaβ	58,3 Aabβ	152,3
	NT	102 Bbα	210 Aaα	257 Aaα	281 Aaα	160,3 Abα	168,3
B (10 –20cm)	LT	497 Aaα	181 Aaβ	121 Baβ	91 Baβ	73 Baβ	160,5
	NT	257,4 Baα	228 Aaα	301 Aaα	248 Aaα	306 Aaα	223,4
C (20-30cm)	LT	195 Bbα	150 Aaα	174,5 Aaα	54 Aaα	53,5 Baα	104,5
	NT	271,3 Aaα	190,4 Aaα	185 Aaα	176 Aaα	175 Aaα	166,2
		280,2	199,4	192,3	165,6	137,6	

DMS_(solo) = 115,8 ; DMS_(profundidade) = 140,3 ; DMS_(densidade) = 164; CV(%) = 42

Letras maiúsculas: comparação entre os solos, fixando densidade e anel; Letras minúsculas: comparação entre as profundidades, fixando solo e densidade; letras gregas: comparação entre as densidades, fixando anel e solo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que houve diferença significativa entre os solos, com aumento da densidade a quantidade de matéria seca da parte aérea do milho diminuiu, tanto para o LT quanto para o NT. O LT obteve valores superiores de massa seca de parte aérea nos três anéis estudados, na densidade 0,8 Mg.m⁻³, e nas densidades 1,3; 1,4 e 1,5 Mg.m⁻³ no anel B.

Em relação aos anéis estudados verifica-se que na densidade 0,8 Mg.m⁻³ houve diferença significativa nos anéis A e C.

No fator densidade do solo observa-se que com o aumento da densidade houve uma diminuição na massa seca da parte aérea do milho, sendo que nas

densidades 1,3; 1,4 e 1,5 Mg.m^{-3} , nos três anéis o solo NT apresentou maiores valores de massa seca.

No Quadro 15, observa-se que houve alteração na produção de matéria seca na parte aérea do milho em função do aumento da compactação ao contrário de Pace et al. (1999), e Muller et al. (1999), que não observaram alterações no acúmulo de matéria seca vegetal, na parte aérea das plantas, em função do aumento da compactação do solo. Rosolem et al. (1994), relata que a produção de matéria seca na parte aérea da soja, submetida a diferentes níveis de compactação, mostrou tendência em diminuir, com o aumento da densidade do solo, de maneira que a relação raiz:parte aérea praticamente não fosse alterada.; porém, os autores discutem que seria esperada uma diminuição significativa na produção de matéria seca da parte aérea, sendo que, esse efeito, depende não só da compactação do solo, mas, ainda, teor de água do solo e da capacidade do solo em fornecer nutrientes. Johnson et al. (1990, e Nelson et al. (1975), relatam que o efeito da compactação do solo sobre o acúmulo de matéria seca em plantas de soja, no campo, durante sucessivos anos, mostrou respostas diferenciadas de um ano para outro devido às condições climáticas.

Assim, considerando-se as condições deste experimento, onde o teor de água no solo, nos vasos, foi mantido próximo à Capacidade do campo, durante todo o período experimental; e, também, a fertilização com macronutrientes e micronutrientes, feita em quantidades relativamente altas.

7. CONCLUSÃO

No solo LATOSSOLO VERMELHO Distrófico o comprimento radicular teve menor desenvolvimento com o aumento da densidade.

O solo LATOSSOLO VERMELHO Distrófico obteve maior acúmulo de massa seca radicular que o NITOSSOLO VERMELHO Distroférico

Com o aumento da densidade o volume radicular, em ambos os solos, tiveram um menor desenvolvimento.

A altura de parte aérea foi menor na densidade $1,5\text{Mg.m}^{-3}$ nas duas classes de solo e em todas as profundidades de compactação.

O acúmulo de massa seca de parte aérea foi maior no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico que no NITOSSOLO VERMELHO Distroférico em todas as densidades e profundidades da camada compactada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R C **Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. Viçosa. 1993. f 111. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa.

ALVARENGA, R. C et al Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 20, p 319-26, 1996.

BALIGAR, V.C et al Sorghum and soybean growth as influence by synthetic pans. **Community in Soil Science and Plant Anal.**, v. 12 n. 1, p. 97-107, 1981.

BALIGAR, V. C et al Soybean seedling root growth as influenced by soil texture, matric suction and bulk density. **Community in Soil Science and Plant Anal.**, v. 11 n. 9, p. 903-15, 1980.

BARLEY, K. P. The effects of mechanical stress on the growth of roots. **Journal Exp. Botanical.**, Oxford, v.13, nº 37, p. 95-110, 1962.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNAD/CLAV, 1992. p. 365.

BENEZ, S. H. et al Efeitos da compactação do solo no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., 1986, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1986. p. 45

BENGOUCH, A. G. et al Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v. 41, p. 341-58, 1990.

BENNIE, A. T. P. Growth and mechanical impedance. In: (eds.). **Plant Roots: the hidden half**. WASEL, Y., ESHEL, A., KAFKAFI, U. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1996, 1.002 p.

BONI, N. R. et al Uso de leguminosas na recuperação de um solo degradado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., 1991. Porto Alegre **Programas e Resumos...**Campinas: SBCS, 1991, p. 132.

BORGES, E. N. et al Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, v.35 n. 202, p. 553-68, 1988.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura. **Agroecologia**, Botucatu, v. 2, n. 14, p. 14-19, maio/jun. 2002

CAMARGO, O. A. et al **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: USP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132 p.

CARVALHO, W. A. et al **Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici"**. Botucatu: UNESP/FCA, 1983. 95 p.

CINTRA, F. L. D. et al Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 7, p. 197-201, 1983.

DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, v.98, p. 303-12, 1987.

DIAS JUNIOR, M. DE S. et al O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.20, p. 175-82, 1996.

EAVIS, W. Soil physical conditions affecting seedling root growth. 1. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. **Plant and Soil**, v. 36, p. 613-22, 1972.

EMBRAPA. **CNPS Manual de métodos de análise de solo 2. ed.** Rio de Janeiro, 1997, 2 ed. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

EHLERS W. et al Penetration resistance and root growth for oats in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Res.** 1983; n. 3, p. 261-375.

FARIA, R. T. DE. et al **Tensiômetro: construção, instalação e utilização**; um aparelho simples para se determinar quando irrigar. Londrina: IAPAR, 1987. 24 p. (Circular técnica, 56).

FERNANDES, E. M. et al. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. **Científica**, v. 23 n.1, p. 117-32, 1995.

- FOLONI, J. S.S. **Crescimento radicular da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) e de cinco adubos verdes em função da compactação do solo.** 1999. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura)–Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999
- FOLONI, J. S. S. et al. De. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.
- FONTES, L. E. F. et al. **Glossário de ciência do solo.** Viçosa: UFV, 1992. 142p.
- GAYLE, G. A. et al Tillage and wheel traffic effects on soil properties and root growth. **Pap. Am. Soc. Agric. Eng.**, p. 2556-92, 1992
- GEBHARDT, M. R. et al. Soybean culture effects on compaction of a claypan soil. **TRANS. of the ASAE**, v. 29 n. 2, p. 416-20, 1986.
- GERARD, C. J. Physical factors influencing soil strength and root growth. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 875-79, 1982.
- GOMES, A. DA. S. et al. Caracterização da compactação do solo através do uso de penetrômetro. **Lavoura Arrozeira**, v. 49 n. 426, p. 18-20, 1996.
- GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** São Paulo: Nobel, 1990, 468 p.
- GUERIF, J. Effects of Compaction on Soil Strength Parameters. In: **Soil compaction in crop production.** SOANE, B. D., OUWERKERK, C. VAN. (Eds.). Amsterdam: Elsevier Science, 1994. 662 p.
- GUIMARÃES, C. M. et al. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 703-707, abr. 2001.
- GUPTA, S .C. et al Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Adv. Soil Science**, v. 6, p. 65-100, 1987.
- GUPTA, S.C. et al Prediction of soil Compaction under Vehicles. In: **Soil Compaction in crop production.** SOANE, B.D., OUWERKERK, C.VAN. (Eds.). Amsterdam: Elsevier Science, 1994. 662p.
- HAKANSSON, I. Et al Effect of high axle load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions wuth annual freezing. **Soil tillage Res.**,v. 10, p. 259-68, 1987
- HALLMARK, W. B., BARBER, S. A. Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of soybean as affect by soil K and bulk density. **Agronomy Journal**. v. 73, p. 779-82, 1981.

- HARRIS, W.B. The soil compaction process. In: **BARRES, K. K. (org). Compaction of agricultural soils**. St. Joseph, ASAE, 1971. p. 9-44.
- HARRIS, W. B. The soil compaction process. In: **Compaction of agricultural soils**. Michigan: ASAE, 1971. p. 9-43.
- HATANO, R. et al Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 34 n. 4, p. 535-46, 1988.
- HOFFMAN, C.; JUNGK, A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. **Plant and Soil**, v. 176, p. 15-25, 1995.
- HORTON, R. et al. Effects of compaction on soil hydraulic properties. In: **Soil Compaction in crop production**. SOANE, B.D., OUWERKERK, C.VAN. (Eds.). **Amsterdam: Elsevier Science**, 1994. 662 p.
- IJIMA, M.; KONO, Y. Interspecific differences of the root system structures of four cereal species as affected by soil compaction. **Jpn. journal Crop Science**. v. 60, n. 1, p. 130-8, 1991.
- JOHNSON, J. F. et al. Soybean growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. **Agronomy Journal**, v. 82, p. 973-79, 1990.
- KHALILIAN, A. et al Soil compaction and crop response to wheat/soybean interseeding. **American Society. of Agricultural. Eng.**, v.34 n. 6, p. 2.299-303, 1991.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: CERES, 1985. 429p.
- KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: CERES, 1979. 262 p.
- KIRKEGAARD, J. A.; SO, H. B.; TROEDSON, R. J. Effect of compaction on the growth of pigeon pea on clays soils.III.Effect of soil type and water regime on plant response. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, p. 163-178, 1993
- KULKARNI, B. K., SAVANT, N. K. Effect of soil compaction on root-cation exchange capacity of crop plants. **Plant and Soil**, v. 48, p. 269-78, 1977.
- LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e número de hastes**. 1988. 171 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.
- LANÇAS, K. P. **Subsolador: constituição, regulagens, operação e desempenho**. Botucatu:, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas 1991. 47 p

- LIJIMA, M; KONO, Y. Interespecific differences of the root system structures of four cereal species as affected by soil compactation. **Japanese Journal of Crops Science**, Tokyo, v. 60, n. 1, p. 130-138, 1991
- MANTOVANI, E.C. **Compactação do solo**. Informe Agropecuário., v. 13 n. 147, 52-63, 1987.
- MASCARENHAS, H. A. A., TANAKA, R. T. Rotação de culturas. **In**: 1º Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. 121 p. (Documentos IAC, 35).
- MATERECHERA, S. A. et al. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, v. 144, p. 297-303, 1992.
- MEROTTO JÚNIOR, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 197-202, 1999.
- MIELNICZUK, J., CARPENEDO, V., PEDÓ, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, v. 38 n. 357, p. 42-43, 1985.
- MILHETO. Disponível em : < <http://www.agromais.com.br> >. Acesso em: 7 nov. 2002
- MIRANDA, J. et al Crescimento de leguminosas em cilindros de solo com camadas compactadas. **In**: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., 1991, Porto Alegre. **Programas e Resumos...** Campinas: SBCS, 1991. p. 172.
- MISCHAN, M. M., PINHO, S. Z. **Experimentação agrônômica** - dados não balanceados. Botucatu: FUNDIBIO, 1996. 456 p.
- MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. São Paulo, Polígono, 1972. p. 492
- MORAES, M. H. **Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja (Glycine max (L.) Merrill)**. Piracicaba: 1988. 105 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.
- MORAES, M. H., BENEZ, S. H., LIBARDI, P. L. Efeito da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v. 52 n. 2, p. 393-403, 1995.
- MORAES, M. H., BENEZ, S. H., LIBARDI, P. L. Influência de camadas compactadas de subsuperfície no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja (*Glycine max*. (L.) Merrill). **Científica**, v. 9 n. 1, p. 195-206, 1991.
- MÜLLER, M. M. L. et al. Crescimento de raízes e acúmulo de nutrientes em espécies de inverno em função da presença de camada de solo compactado em subsuperfície. **In**:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Programas e Resumos...**Viçosa, SBSC, 1999.

NELSON, W. E., RAHI, G. S., REEVES, L. Z. Yield potencial of soybean as related to soil compaction induced by farm traffic. **Agronomy Journal**, v. 67, p. 769-72, 1975.

NOGUEIRA, S. DOS. S., MANFREDINI, S. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18 n. 9, p. 973-76, 1983.

ORTOLANI, A. F.; COAN, O.; SALLES, H. C. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 6, n. 1, p. 35-42, 1982.

PABIN, J. et al. Critical soil bulk sensity and strength for pea seedling root groeth as related to other soil factors. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 46, n. 3-4, p. 203-208, 1998.

PACE, L. et al. Desenvolvimento radicular e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão submetidos à compactação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Programas e Resumos...**Viçosa: SBSC, 1999.

PANAYIOTOPOULOS, K. P. et al. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 31, n. 4, p. 323-337, 1994.

PASSIOURA, J. B. Soil structure and plant growth. **Aust. Journal Soil Research**, v. 29, p. 717-28, 1991.

PIETOLA, L. Effect of clay soil strength and structure on root penetration an crop yield. **Annual Agricultural Fenn.**, v. 30, p. 345-58, 1991.

PIFFER, C. R. **Desenvolvimento do sistema radicular de amaranto (*Amaranthus ceuentus*, variedade BRS ALEGRIA), de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) variedade BN-2) e pé de galinha (*Eleusine glaucum* (L.) em duas classes de solo e quatro densidades.**2004. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

PUNYAWARDENA, B. V. R. et al. Effect of soil compaction on potassium uptake, growth and yiled of corn (*Zea mays* L.). 1990, Bangkok. p. 1173-84,1990.

QUEIROZ- VOLTAN, R. B. et al. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 929-938, maio 2000

RAHMAN, M. H., MINORU, I. Effect of compaction on soil three phase distribution an soybean growth in Ando soil. **Jpn. Journal Tropical Agronomy**, v. 40 n. 4, p. 182-88, 1996.

RAIJ, B. VAN. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo-Fundação, 1996, 2 ed. 285 p.

RAIJ, B. VAN, QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim técnico, 81)

RANEY, W. A., EDMISTER, T. W. Approaches to soil compaction research. Trns. ASAE, St. Joseph, v 4 n. 2, p. 246-248, 1961.

RESENDE, M. et al **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. 304 p.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. DA S; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, v. 53 n. 2, p. 259-66, 1994.

RUSSEL, R. S.; GROSS, M. J. Physical aspects of soil fertility - the response of roots to mechanical impedance. **Neth. Journal agricultural Science.**, v. 22, p. 305-18, 1974.

SAINI, G. R., CHOW, T. L. Compactibility indexes of some agricultural soils of New Brunswick, Canada. **Soil Science.**, v. 137 n. 1, p. 33-8, 1984.

SARRUGE, J. R., Soluções nutritivas. **Suma Phytopathologica**, Piracicaba, v.1, p.231-33, 1975.

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

SIIBERBUSH, M., HALLMARK, W. B., BARBER, S. A. Simulation of effects of soil bulk density and P addition on K uptake by soybeans. **Community in Soil Science Plant Anal.**, v.14 n. 4,p. 287-96, 1983.

SILVA, G. P.; NOVAIS R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Respostas de espécies de gramíneas forrageiras a camada compactada do solo. **Revista Ceres**, Viçosa- MG, v. 39, n. 221, p. 31-43, 1992

SILVA, R. H. **Crescimento radicular e nutrição da soja (Glycine max.) em função da cultura anterior e da compactação em LATOSSOLO VERMELHO Escuro**. Botucatu: 1998. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista,Botucatu.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A Crescimento de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 239-249, 2000.

SILVA, G. J.; **Desenvolvimento de palntas de soja, milho, algodão e *Brachiária brizantha*, submetidas a quatro graus de comactação de um LATOSSOLO VERMELHO-Escuro distrófico**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical)–Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004

SIQUEIRA, J. O., FRANCO, A. A. **Biotechnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ABEAS, 1988. 236 p.

SOANE, B. D., The effects of traffic and implements on soil compaction. **Jounal Proc.Int.Agricultura**. Engn.v. 25, p. 115-126, 1970.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some pratical aspects. **Soil and Tillage Reserch.**, v. 16, p. 179-201, 1990.

TAYLOR, H. M., BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root devolopment. **Soil and Tillage Reserch.**, v. 19, p. 111-19, 1991

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 333-339, 1996

TORRES, E., SARAIVA, O. F., GALERANI, P. R. **Manejo do solo para a cultura da soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1993. 71 p. (Circular técnica, 12)

TU, J. C., BUTTERY, B. R. Soil compaction reduces nodulation, nodule efficiency, and growth of soybean and white bean. **HortScience**, v. 23 n. 4, p.722-24, 1988.

VESPRASKAS, M. J.; WAGGER, M. G. Corn root distribution and yield response to subsoiling for Paleudults having different aggregate sizes. **Soil Science Society of America journal**, Madison, v. 54, p. 849-854, 1990.

VOORHEES, W. B. Root activity related shallow and deep compction. NATO ASI Series, Series E, Applied Sciences, No. 172, p. 1173-86; In **Mechanics and related processes in structured agricultural soils**. Edited by W.E. Larson et al., 1989.

