



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GILBERTO YUDI SHINGO

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DE
COUVE-BRÓCOLO SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE
TRÁFEGO DE TRATORES**

Londrina
2009

GILBERTO YUDI SHINGO

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DE
COUVE-BRÓCOLO SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE
TRÁFEGO DE TRATORES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Ursi Ventura

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Ralisch

Londrina
2009

|

GILBERTO YUDI SHINGO

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DE COUVE-
BRÓCOLO SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE TRÁFEGO DE
TRATORES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Henrique Debiasi
EMBRAPA SOJA – Londrina – PR

Prof. Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi Saab
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. Ricardo Ralisch
UEL- Londrina – PR

Dr. José Miguel Silveira
EMBRAPA SOJA – Londrina – PR

Prof. Dr. João Tavares Filho
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. Maurício Ursi Ventura
UEL – Londrina – PR

Londrina, 19 de março de 2009.

Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S556c Shingo, Gilberto Yudi.

Compactação do solo e desenvolvimento de couve-brócolo sob diferentes intensidades de tráfego de tratores / Gilberto Yudi Shingo. – Londrina, 2009. 85 f. : il.

Orientador: Maurício Ursi Ventura.

Co-orientador: Ricardo Ralisch.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2009.

Inclui bibliografia.

1. Solos – Compactação – Teses. 2. Couve-flor – Cultivo – Teses. 3. Brócolo – Raízes – Teses. I. Ventura, Maurício Ursi. II. Ralisch, Ricardo. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 631.414

AGRADECIMENTOS

Muito obrigado ao Supremo Deus e Messias Meishu-sama, pela permissão da vida e pela outorga desta missão, em prol da Natureza e humanidade.

Agradeço a minha linhagem de antepassados e ancestrais, pelo produto que sou pelas suas existências.

Agradeço a minha Família pelo apoio, paciência e motivação, que não me faltaram na condução dos trabalhos. Muito obrigado à minha esposa Ana Lúcia, às minhas filhas Yumi, Paulinha e Melissa, e aos meus filhos Theo e Yuuchan. Agradeço os meus irmãos, sobrinhos, cunhadas, tios e primos.

Agradeço a Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias – Departamento de Agronomia pela oportunidade de cursar o mestrado.

Agradeço ao orientador Professor Dr. Maurício Ventura e ao co-orientador Professor Dr. Ricardo Ralisch, pelo apoio, paciência, esforço e compreensão no decorrer de todo o curso, na superação das adversidades que naturalmente passamos.

Agradeço a Fundação Mokiti Okada pelo apoio logístico e financeiro.

Agradeço a coordenação do curso, Professora Dra. Carmen e equipe, a todos os professores do Departamento de Agronomia, do CCA e do CTU, que também, de alguma forma colaboraram no trabalho.

Agradeço pelo apoio à secretária do PG Sra. Weda, à Fazesc do técnico Sr. Leonardo e equipe, ao Sr. Jorge e equipe e ao Sr. Bié e equipe, aos técnicos do laboratório de solos da agronomia e ao técnico do laboratório de solos do CTU Sr. Pedro Ernesto de Souza, aos amigos e colegas de curso, mestrandos, doutorandos e graduandos.

SHINGO, G. Y. **Compactação do solo e desenvolvimento de couve-brócolo sob diferentes intensidades de tráfego de tratores.** 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

RESUMO

A agricultura intensiva e mecanizada atendeu as necessidades da crescente demanda mundial por produtos agrícolas, e ao mesmo tempo, foi a causa de efeitos negativos na fertilidade do solo, na preservação dos recursos naturais e no desenvolvimento e produtividade das culturas. Este trabalho comparou os níveis de compactação do solo e a distribuição de raízes de couve-brócolo, adotando um trator pequeno, médio e grande (Agrale 4100, MF 285 e JD 6405, respectivamente), variando a intensidade de tráfego na área, e também a influência da compactação na fisiologia e produção de massa de couve-brócolo. O experimento foi instalado em Londrina, em Latossolo Vermelho Eutroférico nos anos 2007 e 2008, testando tratores de porte pequeno, médio e grande em 3 níveis de passagens do rodado de pneus e uma testemunha. Avaliaram-se os efeitos no solo, no desenvolvimento de plantas de brócolo, na compactação através de penetrometria, na translocação de seiva bruta e produção de massa seca da parte aérea e das raízes. O tráfego de tratores aumenta a resistência do solo à penetração, principalmente na profundidade até 0,20 m. Este aumento foi cumulativo de acordo com o número de passagens e uma relação direta foi encontrada entre o tamanho do trator e a compactação. Estes efeitos foram perceptíveis com o aumento do enraizamento da planta conforme o aumento da resistência à penetração (RP) até 0,20 m. A redução de massa seca não limitou a absorção de água e translocação de seiva. A variação na translocação de seiva não gerou uma variação proporcional da massa seca das plantas.

Palavras-chave:

SHINGO, G. Y. **Compacting of the soil and broccoli development under different intensities of traffic of tractors.** 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

ABSTRACT

Intensive and mechanised agriculture took care of the necessities of the increasing world-wide demand for agricultural products, and at the same time, was the cause of negative effect in the fertility in the soil, the preservation of the natural resources and in the development and productivity of plants. This work compared the levels of compacting in the soil and the distribution of broccoli roots, adopting a small, average and great tractor (Agrale 4100, MF 285 and JD 6405, respectively), varying the intensity of traffic in the area, and also the influence of the compacting in the physiology and production of broccoli mass. The experiment was installed in Londrina, Eutroferric Red Latossol (Oxisol) in years 2007 and 2008, testing tractor of small, medium and great size, tractors with three situations of traffic intensity and a control treatment. The effects in the soil, broccoli plant development, the compactation by penetrometry, the translocation of the crude sap and dried mass were assessed. The increasing intensity of tractor traffic increase soil penetration resistance, mostly at 0.20 m depth. This increase was cumulative according to the number of times the tractor cross the soil and a direct relation was found between the size of the tractor and the compactation. These effects were evidenced observing the growing amount of roots according to growing penetration resistance (until 0.20 m). The reduction of dried mass of roots did not limit the water absorption and sap translocation. The variation of translocation did not generate proportional variation in dried mass of plants.

Keywords:

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1** – Análise química da área do experimento, em Latossolo Vermelho Eutroférico. Fazesc-UEL – Londrina – PR (2007)38
- Tabela 3.2** – Parâmetros físicos obtidos em pontos aleatórios da área de ensaio, após a escarificação cruzada e no mesmo dia do teste de tráfego.....38
- Tabela 3.3** – Umidade gravimétrica (%) em solo amostrado no perfil de 0 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m, realizada no dia da penetrometria45
- Tabela 3.4** – Valores médios de resistência à penetração (RP) em MPa, comparando três tipos de máquinas e três níveis de passada45
- Tabela 4.1** – Análise química da área do experimento, em Latossolo Vermelho Eutroférico. Fazesc – UEL – Londrina – PR (2007)55
- Tabela 4.2** – Parâmetros físicos obtidos em pontos aleatórios da área de ensaio, após a escarificação cruzada e no mesmo dia do teste de tráfego.....55
- Tabela 4.3** – Valores médios de translocação de seiva TRANSL (cm/hora), peso fresco da parte aérea (PFPA), peso seco da parte aérea (PSPA) e peso seco da raiz (PSR) em gramas, comparando três tipos de máquinas e três níveis de passada60

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Marcação das linhas para o tráfego.....	40
Figura 3.2 – Tráfego com o trator MF 285	40
Figura 3.3 – Tráfego com o microtrator Agrale 4100	41
Figura 3.4. Tráfego com o trator JD 6405	41
Figura 3.5 – Espaçamento entre linhas do couve-brócolo. Londrina, 2008	42
Figura 3.6 – Moldura quadriculada para a contagem de raízes. Londrina, 2008.....	44
Figura 3.7. – Posicionamento da moldura no perfil do solo, para contagem de raízes na área 0,4 x 0,4 m e 0,4 x 0,8 m. Londrina, 2008	44
Figura 3.8 – Número de raízes em trincheiras, nas áreas submetidas ao tráfego com trator MF 285, contadas em moldura quadriculada na profundidade de 0,40 m e largura de 0,40 e 0,80 m	47
Figura 4.1 – Conjunto medidor da pressão radicular	58
Figura 4.2 – Aplicação do teste de pressão radicular	58
Figura 4.3 – Coleta do sistema radicular segundo o método de escavação modificado (Böhm, 1979).....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	A ABSORÇÃO DE ÁGUA PELA PLANTA E SUA IMPORTÂNCIA	11
2.2	A COMPACTAÇÃO DO SOLO E SUAS CONSEQÜÊNCIAS	13
2.3	O TRÁFEGO DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS NA COMPACTAÇÃO DO SOLO	17
2.4	A AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO	21
2.4.1	Penetrometria	21
2.4.2	Avaliação do Sistema Radicular da Planta	22
2.4.2.1	Métodos de avaliação do sistema radicular de plantas	23
2.4.2.1.1	<i>Método da Escovação</i>	24
2.4.2.1.2	<i>Método do Monólito</i>	24
2.4.2.1.3	<i>Método do Trado</i>	25
2.4.2.1.4	<i>Método da Parede do Perfil</i>	26
2.4.2.2	Avaliação do material	26
2.4.3	Determinação da Densidade do Solo	27
2.4.3.1	Método do anel volumétrico	27
2.4.3.2	Método do torrão parafinado	28
2.5	A CULTURA DO BRÓCOLO	28
2.6	REFERÊNCIAS	29
3	ARTIGO A: O TRÁFEGO DE TRATORES E OS EFEITOS SOBRE A RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE COUVE-BRÓCOLO EM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO	35
3.1	RESUMO E ABSTRACT	35
3.2	INTRODUÇÃO	36
3.3	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.3.1	Avaliações	43
3.3.1.1	Penetrometria	43
3.3.1.2	Raízes	43

3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.5	CONCLUSÕES	48
3.6	REFERÊNCIAS	49
4	ARTIGO B: COMPACTAÇÃO DO SOLO E SEUS EFEITOS NA PRESSÃO RADICULAR E PRODUÇÃO DE COUVE-BRÓCOLO EM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO	51
4.1	RESUMO E ABSTRACT	51
4.2	INTRODUÇÃO	51
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	54
4.3.1	Avaliações	57
4.3.1.1	Pressão radicular	57
4.3.1.2	Peso fresco e seco	59
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.5	CONCLUSÕES	62
4.6	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A atividade agropecuária faz o agricultor se deparar com inúmeros problemas, como o mau aproveitamento dos adubos, efeitos cada vez mais pronunciados da seca, deficiências e doenças de difícil controle, compactações do solo e encrostamento superficial após as chuvas e erosões (PRIMAVESI, 1990).

Além do resultado econômico direto, temos que considerar também a demanda energética da produção e que nem sempre está contabilizada. O consumo mundial de energia das atividades agropecuárias tem crescido muito ultimamente, em função da modernização dos sistemas de produção, tendo expandido mais neste setor do que no setor industrial, tradicionalmente o grande vilão.

A atividade agropecuária, ou o agronegócio, assumiu grande importância no contexto econômico nacional, nas últimas décadas. Tal fato pressiona à intensificação da produção agrícola, impactando o ambiente. Um dos reflexos deste impacto ambiental negativo é a compactação do solo, associada diretamente com a intensidade do sistema de produção. Assim, mesmo com o desenvolvimento de sistemas conservacionistas bem eficientes, a compactação continua sendo uma preocupação. Sua principal causa são as operações motomecanizadas, em função do tráfego de máquinas e das ações dos implementos.

Até pouco tempo, considerava-se que a pior consequência da compactação do solo é a redução da produtividade (DERPSCH et al., 1991; DE MARIA et al., 1999). Hoje já se considera mais grave o efeito na degradação do solo e da água e no aumento dos custos de produção.

Duas das maiores dificuldades encontradas nesta área de pesquisa tem sido avaliar o grau de compactação do solo e compreender seu efeito nas plantas. A penetrometria (STOLF, 1991), a determinação da densidade do solo (ABNT NBR 7185, 1986; EMBRAPA, 1979; EMBRAPA, 1999) e métodos de avaliação do sistema radicular de plantas (ATKINSON, 2000; BÖHM, 1979; SCHUURMAN, GOEDEWAAGEN, 1971) tem sido empregados para tais estudos, porém sem consenso na comunidade científica. O uso de subsolador, por exemplo, só se justifica em casos excepcionais, pois, pesquisas mostram que não há

contribuição significativa na estruturação do solo (DERPSCH et al., 1991) nem no rendimento das colheitas, devido às características geológicas e manejo empregado no mesmo (DERPSCH et al., 1991; SEIXAS, 2001). Outrossim, a aplicação de grade pesada após a subsolagem e o tráfego de máquinas sobre o sulco aberto, anulam o seu efeito (DERPSCH et al., 1991).

A cultura do brócolo (*Brassica oleracea* var. *italica*) não é diferente quando nos deparamos com estes problemas. É uma variedade botânica da mesma espécie e morfológicamente semelhante à couve-flor (FILGUEIRA, 1982). Dentre as doenças do brócolo, damping-off e podridão da raiz se destacam por ocorrer em solo mal drenado, apesar de serem favorecidas também por temperaturas elevadas, cultivo intensivo, sombreamento excessivo, semeadura muito densa e uso de matéria orgânica não decomposta (GALLI et al., 1980).

Esta dissertação objetivou avaliar os efeitos no solo e no desenvolvimento geral de couve brócolo, de uma compactação de solo induzida por diferentes intensidades de tráfego de tratores agrícolas de pneus

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A ABSORÇÃO DE ÁGUA PELA PLANTA E SUA IMPORTÂNCIA

A água é um elemento de vital importância para a sobrevivência das plantas, em especial porque as primeiras que surgiram eram aquáticas, e gradativamente subiram à terra, ficando somente a raiz em contato com a água do solo e a parte aérea em contato com o ar atmosférico perdendo água para este. Isto criou uma necessidade de reposição de água, que fez desenvolver o sistema vascular, carreadores de minerais nutritivos e aminoácidos. A transpiração ocorre pelos estômatos, que na maioria das plantas se fecha durante o calor do dia. Assim, temperaturas mais baixas no início do dia e uma umidade amena do ar, aumenta a força de sucção por pressão osmótica da raiz, que é responsável em parte pelo transporte para as folhas, juntamente com a tensão foliar (PRIMAVESI, 1990).

A transpiração ocorre com a absorção da água do solo, através dos tecidos condutores do xilema da raiz. Cada espécie vegetal possui controle na sua transpiração, desde as culturas de regiões áridas até as aquáticas. Assim, pode-se agrupar por estes atributos, plantas de duas categorias. A primeira de plantas em que a sua porção aérea determina o movimento do vapor de água de sua estrutura foliar para a atmosfera. A segunda é de plantas em que o sistema radicular determina o suprimento de água do solo para a translocação na planta. Neste segundo caso, quando a raiz vai mal a parte aérea já é o seu reflexo (SQUIRE, 1990).

Nos vegetais, crescimento é um aumento em tamanho, peso ou volume, comumente aplicado a todas as mudanças quantitativas que ocorrem durante a vida de uma planta e bastante dependente da absorção de água (FELIPPE, 1986).

A maior parte da água absorvida pelas raízes das plantas terrestres perde-se através da transpiração, sendo que uma menor porção é utilizada no crescimento vegetal, na transpiração e em algumas espécies no fenômeno da gutação. A entrada se dá pelas raízes, principalmente pelas células epidérmicas e dos pêlos radiculares que existem nas extremidades das raízes, e atravessa a zona

cortical, a endoderme e uma parte do periciclo, antes de atingir o lúmen das traquéias ou traqueídeos do xilema. Ao atingir o xilema o movimento da água é ascendente, percorrendo o caule, o pecíolo das folhas e terminando no mesófilo foliar, onde normalmente se encontra muito ramificado (MEYER et al., 1965).

Um solo grumoso, de densidade aparente baixa, (0,9 a 1,2 g/cm³) permite um amplo desenvolvimento radicular, encontrando muita água disponível e gerando uma planta bem nutrida, mesmo sendo um solo “pobre” em íons na solução do solo, comuns em solos tropicais. Ainda que bem nutrida, uma planta pode sofrer falta de água se a concentração da solução do solo for alta, considerando um solo bem adubado e em época de seca, pois, existirá pouca diferença de concentração entre a solução do solo e da célula para gerar sucção (PRIMAVESI, 1990).

Fatores antrópicos podem causar erros de interpretação dos resultados no desenvolvimento de uma cultura. Tokeshi (1991) verificou em socas da cultura de cana-de-açúcar, manchas verdes intercaladas com manchas de cana seca. A abertura de trincheiras mostrou a presença de carvão vegetal da queima de restos vegetais, justamente nas manchas verdes. Nestas, a lixiviação de nutrientes a profundidades maiores estimulou o desenvolvimento radicular, constatada na avaliação de peso de raízes secas no perfil do solo, mantendo a planta mais verde no período de estiagem por captar água em horizontes profundos, abaixo de 1,5 m.

Costa et al. (1999) salientam a importância dos fatores antrópicos, como o manejo do solo e práticas culturais, do próprio ambiente no desenvolvimento radicular das culturas, mas também fatores genéticos, culminando na redução no aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas.

Por outro lado, plantas mal nutridas em solos pobres e não adubados, não conseguem absorver água abundante por não possuir pressão osmótica suficiente. Outrossim, plantas mal nutridas em solos com concentração da solução alta devido à salinização, ou que receberam muita adubação em cobertura, terão dificuldade em absorver água e nutrientes, caracterizando a “seca fisiológica” (PRIMAVESI, 1990; SQUIRE, 1990).

Plantas cultivadas em solos que ocorre a limitação de água, devido o ambiente ser seco, são menos eficientes na interceptação luminosa e, em consequência, tem comprometida a produção de matéria seca. O peso seco de uma planta é a relação entre a quantidade de matéria seca produzida por unidade de água transpirada, sendo que a transpiração é a perda de água pelas folhas através

dos estômatos, no momento da abertura para a troca gasosa, ocorrida antes do sol raiar e dependente também da temperatura e umidade atmosférica (Squire, 1990).

2.2 A COMPACTAÇÃO DO SOLO E SUAS CONSEQUÊNCIAS NO DESENVOLVIMENTO VEGETAL

O desenvolvimento de um vegetal é caracterizado pelo crescimento e também por mudanças de forma no corpo de uma planta, as quais ocorrem por meio de padrões sucessivos de diferenciação e morfogênese, compreendendo uma fase vegetativa e depois a reprodutiva (FELIPPE, 1986).

Para confrontar o desenvolvimento vegetal em solos compactados, primeiramente necessitamos entender o crescimento de uma cultura e sua medição. Através da medida de comprimento, podemos medir folhas, entrenós e altura total de uma planta. A área é usada como medida de sistemas em crescimento, principalmente em duas direções, tal como uma folha em expansão. O peso fresco é uma medida fácil de ser realizada, porém muito afetada pelo estado de umidade do meio, sendo bastante variável e, por isso, o seu uso é pouco aconselhável. O último de nosso interesse é a determinação de peso seco, sendo um dos parâmetros mais significativos, pois mostra o aumento de substâncias na formação de um órgão da planta, sem levar em conta a entrada de água (FELIPPE, 1986).

O crescimento radicular de uma planta no solo segue uma rota geralmente tortuosa, pois segue o trajeto de menor resistência nos espaços, fendas entre partículas do solo e em torno de pedras e outros corpos. Mesmo com um desvio provisório, raízes de algumas espécies tendem a retornar próximas à trajetória original da qual se afastaram (KOZINKA, 1992).

O fato da compactação diminuir os espaços livres do solo e assim o oxigênio, pode limitar o desempenho dos processos metabólicos da planta (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000; PRIMAVESI, 1990), favorecendo o ataque de pragas, devido ao acúmulo de aminoácidos livres e açúcares, necessários para o seu processo reprodutivo (PRIMAVESI, 1990).

Montagu et al. (2001) desenvolveu um trabalho com a cultura do brócolo em vasos, simulando solos altamente compactados em todo o perfil (a $1,8 \text{ Mg.m}^{-3}$) e outros mistos (perfis menos compactados a $1,2 \text{ Mg.m}^{-3}$), com

compactações localizadas. No primeiro, a área foliar do brócolo sofreu redução de até 54% e no último a redução foi de 30%.

É muito evidente a influência negativa da compactação do solo causada pelo uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas, comprovados por vários autores. Secco et al. (2004) concluíram que a compactação é um fator negativo na qualidade física do solo, pois aumentou a densidade do solo (D_s), diminuiu o espaço poroso e aumentou a resistência à penetração (RP) na camada trabalhada de 0-0,10 m de profundidade. O problema vem se agravando nos últimos anos com a utilização de máquinas cada vez maiores e, sem o aumento da área de contato pneu-solo (HILBIG et al., 2007).

Tratamentos com preparo mais intensivo de solo, como o uso de enxada rotativa e aração com gradagem, aumentam a quantidade de macroporos em restrição à de microporos, o que diminui a capacidade de retenção de água de solos de textura argilosa (MORAES; BENEZ, 1996).

Para Queiroz-Voltan et al. (2000), que desenvolveram um trabalho com duas cultivares de soja em solo compactado por prensa hidráulica em vasos, este pode ser quimicamente equilibrado mas propicia um baixo desenvolvimento da planta, devido à má absorção de nutrientes em função do mal desenvolvimento radicular. Contudo, constataram que o adensamento com pressão até $1,50 \text{ kg.L}^{-1}$, não afetaram o número e o peso da matéria seca das vagens de soja IAC-8, nem o peso da matéria seca de vagens de soja IAC-14. Para Secco et al. (2004), num Latossolo Vermelho distroférico com 427 g.kg^{-1} de argila, o limite do grau de compactação que não afeta o rendimento de grãos de soja é de até 2,6 MPa para a RP, D_s até $1,51 \text{ Mg.m}^{-3}$ e macroporosidade (Macro) superior a $0,10 \text{ dm}^3.\text{dm}^{-3}$.

Klein et al. (1995), usando 6 marcas diferentes de escarificadores em Latossolo vermelho-escuro distrófico em Passo Fundo – RS, avaliaram o desempenho destes no preparo do solo, onde concluíram que nas variáveis volumes de solo mobilizado, diâmetro médio geométrico, percentual de cobertura de solo e no empolamento, tiveram diferenças significativas. Porém, não houve diferenças entre os tratamentos com relação à produtividade. Enfim, o objetivo de testar diferentes níveis de descompactação da camada arável, não surtiu efeito no rendimento de grãos.

Eltz et al. (1989) trabalhou com diferentes formas de preparo do solo, onde comparando o sistema de plantio direto o ano todo com o sistema

convencional contínuo, obtiveram diferenças significativas, com rendimento de grãos 22% superior no primeiro sistema citado. No entanto, em trabalho com a cana-de-açúcar, o sistema de manejo não afetou a produção da cana-planta (AZEVEDO, 2004).

Seixas (2001) em área de plantio direto com solo muito argiloso e testando a cultura do milho, também verificou que a produtividade não se alterou ao confrontar o tratamento de descompactação (usando um subsolador) com a testemunha, sendo que ambos apresentaram valores de densidade de solo seco muito próximos e sem diferença significativa.

Moraes e Benez (1996), trabalhando com diferentes preparos de solo de textura argilosa para a cultura do milho, não obtiveram diferenças significativas na produção de milho. As médias dos tratamentos foram menores, se comparadas a outras obtidas em áreas experimentais, provavelmente afetadas pela baixa pluviosidade ocorrida no período, baixa saturação de bases e alto teor de Alumínio trocável, em profundidade superior a 20 cm. No tratamento com aração (disco) e posterior semeadura, embora sem diferença significativa, a produção foi maior em comparação a plantio direto, aração com gradagem, escarificação com enxada rotativa e enxada rotativa. O resultado foi atribuído a proporção considerada mais próxima da ideal, de 2/3 de microporos e 1/3 de macroporos da porosidade total.

O sistema de manejo do solo tem grande influência sobre a sua densidade, e conseqüentemente sobre a distribuição e volume de raízes no perfil. Em solo Podzólico Vermelho Amarelo de textura franca, atributos químicos como a presença de P disponível e Ca trocável, e físicos como a porosidade total, influenciaram positivamente na densidade de raízes. A presença de Al trocável e aumento da densidade do solo foram fatores negativos (SILVA et al., 1999).

A restrição de oxigênio na zona radicular das culturas decorrente da compactação e conseqüente encharcamento do solo, são causadores de patogenicidade de microorganismos, da formação de álcoois que as intoxicam e do desbalanço hormonal. Além disso, perturbam as relações simbióticas planta-microorganismo, resultando em uma interação negativa (DREW; LYNCH, 1980). Porém, em situação de compactação moderada (1,20 e 1,35 kg.L⁻¹), Queiroz-Voltan et al. (2000) observaram em soja, que houve uma tendência de aumento de

variáveis avaliadas, por exemplo, número de folhas, a área foliar e o número de vagens.

Cardoso et al. (2006) em ensaio com a cultura da soja, avaliando o seu sistema radicular conforme o grau de compactação em sistema de plantio direto, obtiveram diferenças não significativas na produção de grãos e na acumulação de matéria seca, graças à adequada disponibilidade hídrica durante o período avaliado e, embora se concluindo que diminui a exploração do sistema radicular.

Precipitações abundantes e bem distribuídas favoreceram a concentração de 90% de raízes na camada mais superficial do solo, mais precisamente no perfil de 0 a 10 cm de profundidade, associada à calagem prévia, em trabalho de avaliação de desenvolvimento do sistema radicular de soja (COSTA et al., 1999).

Vale ressaltar que o desenvolvimento do sistema radicular de uma planta não está relacionada somente com o problema da compactação. Alguns autores trabalhando com culturas como a cana-de-açúcar e soja, apresentam diferentes comportamentos de distribuição de raízes no perfil do solo em função da variedade e do manejo químico (COSTA et al., 1999; HERMANN, 2005).

Azevedo (2004) em ensaio com cana-de-açúcar em sistema de plantio convencional, constatou que o enraizamento é maior próximo à touceira, quando comparada ao plantio direto e ao preparo reduzido.

No trabalho com soja de Cardoso et al. (2006), os resultados não mostraram correlação entre valores de resistência à penetração e a quantidade de raízes, sendo que um possível fator foi o uso do penetrômetro somente no plano de perfil do solo avaliado, não avaliando toda a área de abrangência de exploração do sistema radicular. Assim, algumas raízes desta planta de menor diâmetro, poderiam explorar os poros com mais facilidade.

Quanto à influência da Macro, microporosidade (Micro), RP e Ds no crescimento radicular, Secco et al. (2004) constataram que a relação de Ds com Micro e RP é direta, onde nas camadas com maiores valores de Ds, ocorreram maiores volumes de Micro e maiores valores de RP. A relação Ds e Macro é inversa, ou seja, quando os volumes de Macro são inferiores a $0,10 \text{ dm}^3.\text{dm}^{-3}$ (10%) e a Ds for igual ou superior a $1,36 \text{ Mg.m}^3$, há maior risco de limitações ao crescimento radicular.

Costa et al. (1999) concordam quanto a influência negativa ao desenvolvimento radicular da cultura conforme o valor de RP em solo compactado e não compactado. Porém, discordam quanto a correlação direta da avaliação com o penetrômetro, em relação ao crescimento radicular e a Ds, devido ao grau de umidade no momento da avaliação, pois verificaram em solo de Ds= 1,33 g.cm⁻³ um valor de RP de 1,5 MPa, quando a umidade do solo era de 37%, e 1,62 MPa quando a umidade era de 21%.

2.3 O TRÁFEGO DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS NA COMPACTAÇÃO DO SOLO

Estudos com rodados pneumáticos e sua influência na compactação têm dado respaldo para amenizar e até para resolver os problemas gerados a partir do seu uso. Uma carga maior sobre o eixo das máquinas agrícolas causa maior compactação em profundidade, enquanto que a compactação até 0,25 m de profundidade se deve à área de contato pneu-solo (SMITH; DICKSON, 1990).

O tipo de pneu quanto à sua construção, também influencia o grau de compactação. Assim, os radiais possuem uma disposição das lonas que tornam os flancos mais flexíveis, obtendo maior área de contato do que o pneu diagonal (MAZIERO et al., 1997).

Segundo Maziero et al. (1997), o rodado dos veículos que trafegam sobre uma área cultivada, tornou-se um dos principais agentes de compactação do solo. O tipo de rodado, suas dimensões, a carga suportada, a velocidade de deslocamento e o número de vezes que trafega sobre o mesmo local, são alguns dos fatores compactadores em maior ou menor grau.

Mazzeto et al. (2004), trabalhando diferentes tipos e marcas de pneus agrícolas, verificaram que os maiores incrementos da resistência do solo à penetração foram obtidos pelo pneu diagonal, o que confirma a importância de utilizar os pneus BPAF (configuração mista) e radial para culturas que apresentam alto tráfego de máquinas. Também comprovaram que a elevação gradativa das cargas radiais, aumenta a área de contato, a deformação elástica e o perfil de recalque dos pneus. A resistência do solo à penetração teve menores valores de incremento nos pneus BPAF e radial, quando comparados com o pneu diagonal. No

ensaio de Secco et al. (2004) com a cultura da soja em um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação, foi concluído que na profundidade de 0,15-0,40 m, os valores de Ds e espaço poroso indicam que o solo não sofreu compactação pelo rolo compactador utilizado no teste, pois a grande área de contato deste não exerceu grande pressão superficial.

Em solos sob plantio direto, o tráfego de máquinas pode causar compactação e a partir de um certo grau pode restringir o rendimento de culturas (SECCO et al., 2004).

Hilbig et al. (2007) testaram a palhada na superfície do solo para dissipar a energia aplicada por máquinas agrícolas, onde concluíram que a área de contato pneu-solo é uma maneira fácil de se reduzir o efeito da compactação do solo, aumentando-se a largura dos pneus utilizados nas máquinas. O resultado foi obtido comparando-se passadas de máquinas de massas diferentes.

Estudos com diferentes formas e intensidade de tráfego de máquinas, confirmam os benefícios à cultura vegetal com o tráfego zero. Porém, é difícil identificar os fatores que melhoram o seu desenvolvimento. No solo com tráfego zero a umidade é maior, o que implica em maior tempo de espera para se fazer o preparo. Mas como vantagem a menor temperatura e umidade disponível por um período de tempo maior, propiciam um melhor desenvolvimento vegetativo e melhor produtividade à cultura (YOUNG et al., 1993).

Ensaio com diferentes passadas de rodado agrícola por Fenner (1999) em solos da Amazônia, mostraram que a primeira passada é a que provoca as deformações mais significativas, e a partir disso são mais reduzidas. No entanto, passadas repetidas tem maior efeito na estrutura do solo em profundidade, conforme constataram Wood et al. (1993) ao trafegarem em uma área experimental antes de seu preparo por quatro vezes, reduzindo até 50% a porosidade e permeabilidade em 0,2 m e 0,4 m de profundidade, ou seja, exerce um efeito muito maior do que uma passada.

O preparo do solo promove alterações nas características físicas, químicas e biológicas, conforme o maior ou menor revolvimento e da profundidade de trabalho a que o solo é submetido. Assim, em plantio direto o tráfego de máquinas e implementos provoca compactação superficial, enquanto nos preparos convencionais a compactação ocorre abaixo da camada arável (COSTA et al., 1999).

Tavares Filho et al. (2001) em ensaio com milho em sistema convencional de plantio e em plantio direto, verificaram que a resistência do solo à penetração foi maior no plantio direto na camada mais superficial (entre 0-0,15 m), atribuído ao tráfego de maquinário pesado e de grande porte, sendo que o mesmo foi observado em ensaio com cana-de-açúcar no sistema de plantio direto em comparação com plantio convencional e preparo reduzido, por Azevedo (2004). Em profundidades de 0,15 m até 0,35 m o sistema convencional apresentou valores iguais ou maiores, e a partir de 0,35 m os valores de resistência mostraram-se significativamente superiores do que o sistema de plantio direto (Tavares Filho et al., 2001). Inclusive neste, com o constante trabalho do solo verificou-se a ocorrência de “pé de grade” entre 0,10 m e 0,15 m de profundidade (TORMENA; ROLOFF, 1996).

Souza e Alves (2003) constataram que o uso e manejo do solo de cerrado alteraram a sua resistência à penetração, sendo que nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m o cultivo mínimo e cerrado (vegetação natural) obtiveram os menores resultados pela análise estatística. Os sistemas de plantio direto, manejo de seringueira e plantio convencional, apresentaram valores relativamente altos em todas as profundidades avaliadas, mas os dois últimos citados tiveram valores maiores nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, quando comparado ao cerrado.

Silva et al. (2003) conduziram um ensaio com tráfegos de máquinas agrícolas em Latossolo dos Cerrados, sendo que nos tratamentos com grade aradora e semeadora/adubadora ocorreram maiores valores de pressões de consolidação na profundidade média de trabalho PMT (0,24-0,27m), diferindo significativamente dos valores da profundidade superficial SP (0,00-0,05 m). O primeiro implemento causou o “pé-de-grade” e o segundo pela não mobilização do solo, pois os seus órgãos ativos chegam até a 0,07 m de profundidade.

Plantas de batata inglesa cultivadas sob tráfego convencional, na primeira de 3 avaliações, tiveram precocidade de 24 horas na emergência em 50% da população e, paralelamente não tiveram diferença significativa na área foliar nem no peso seco da haste, quando comparadas às plantas de tráfego zero. Estes resultados não puderam explicar os 19,4% de rendimento maior obtido no tráfego zero (Young et al., 1993).

A intensidade de tráfego afeta indiretamente a resistência à penetração, por alterar o teor de umidade nos poros, no subsolo do sulco de plantio.

Também se notou que a densidade radicular foi muito menor neste subsolo compactado, e em ambos os tratamentos de tráfego zero e convencional, algumas se desenvolveram entre rachaduras e bioporos (Young et al., 1993). Em Latossolos, estas rachaduras ou fissuras ocorrem em profundidades e em quantidades diferentes, conforme o grau de compactação imposto pela mecanização, que permitem o desenvolvimento das raízes nas camadas compactadas (Cardoso et al., 2006), sendo que estas fissuras são causadas pela oscilação térmica, de umidade do solo e associados à coesão dos minerais de argila (Piccinin et al., 2000). Em relação ao teor de oxigênio o tráfego zero apresentou teores significativamente maiores, porém, esta variável não limitou o crescimento radicular (Young et al., 1993).

Em área de plantio direto sobre solo argiloso, uma subsolagem aumentou o número de raízes nas profundidades de 0,2 a 0,5 m, o que não ocorreu com os tratamentos testemunha, tráfego de colheitadeira e tráfego de trator, indicando que a compactação superficial concentra uma maior quantidade de raízes na superfície, e neste caso comprometeu o desenvolvimento e a produtividade da cultura em períodos de déficit hídrico (Seixas, 2001).

Silva et al. (2003) trabalhando com um Latossolo Vermelho distrófico dos Cerrados, constatou que a intensidade de tráfego do rodado e a ação da soleira dos implementos alteraram a compressibilidade, a densidade do solo, a porosidade e a condutividade hidráulica do solo saturado, em distintas profundidades, chamadas pelos autores de profundidade superficial (SP), profundidade média de trabalho (PMT) e profundidade de corte dos implementos (PT-SI).

Estudos de Dias Júnior e Pierce (1996) sobre processo de compactação do solo e sua modelagem, apontam para a importância do teor de umidade no preparo mecanizado, pois foi possível estimar quanta deformação ocorrerá conforme as pressões impostas excederem a sua capacidade de suporte. Assim, o solo considerado úmido é aquele em que ocorreu uma compactação adicional ao se aplicar a máxima pressão, isto é, a umidade está acima da adequada para as operações motomecanizadas.

Para Camargo e Alleoni (2006) todo o preparo de solo com implementos, definido como Fase 1, destrói os seus agregados em diferente grau, pois foram projetados com esta finalidade, ou seja, pulverizam-no. Em seguida, o tráfego intenso de máquinas e implementos, definido como Fase 2, impõe energia

sobre as partículas do solo, sendo que quanto mais pulverizado for o mesmo, maior será a compactação.

2.4 A AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO

A medida que a compactação do solo ganhou importância na pesquisa, devido a influência na queda de produtividade das culturas através de efeitos negativos no seu desenvolvimento, a agronomia desenvolveu diversos métodos de avaliação.

2.4.1 Penetrometria

A resistência à penetração do solo é avaliada por penetrometria. Esta avaliação é geralmente adotada por vários autores, por considerarem o indicador mais sensível da compactação, empregando-se penetrômetros de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf (DE MARIA et al., 1999; RALISCH et al., 2008) e o estático, modelo Solotest S-310 (TORMENA; ROLOFF, 1996; LIMA et al., 2004).

No entanto, a penetrometria deve ser feita criteriosamente, conhecendo-se os valores de D_s e a umidade no momento do teste, pois os resultados são muito variáveis, como os verificados em solo com $D_s = 1,33 \text{ g/cm}^3$, obtendo-se $RP = 1,5 \text{ MPa}$ a 37% de umidade e $1,6 \text{ MPa}$ a 21% de umidade (COSTA et al., 1999). O ensaio de Ribon (2005) concordou com estes autores, em Latossolo Vermelho distroférico e eutroférico, constatando que a umidade e densidade do solo foram as variáveis que mais contribuíram para a estimativa da resistência do solo à penetração.

Ribon (2004) estudando o número ideal de amostras para avaliação da resistência do solo à penetração, concluiu que 25-30 pontos/ha para penetrometria de impacto, foi adequada para definir o número de amostras para o Latossolo Vermelho eutroférico sob cultura perene. Já para o Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto, o tamanho da amostra foi de 20 pontos/ha.

O penetrômetro de impacto é o mais antigo criado pela engenharia civil, também chamados penetrômetros dinâmicos. Neste equipamento, a haste penetra no solo através de impacto gerado por um corpo de massa constante e que cai de uma altura constante, em queda livre. Anota-se o número de impactos necessários para a haste penetrar uma determinada espessura de solo, da camada em estudo. A camada que requer o maior número de impactos para ser penetrada pela haste, é a de maior resistência (STOLF, 1991).

Atualmente, a transformação dos dados de penetrômetro de impacto (impactos/dm) em resistência dinâmica (MPa) é dado por diversas fórmulas. Em seguida, estão apresentados todos os elementos teóricos, necessários para a dedução das fórmulas (STOLF, 1991).

A fórmula é assim expressa:

$$RP = 5,6 + 6,89N$$

RP= resistência à penetração (MPa)

N= impactos/dm

Outro aparelho utilizado na agricultura para medir a RP é o penetrômetro convencional. O conjunto é pressionado contra o solo, sendo que a resistência à penetração da haste com a sua ponta é verificada por um dinamômetro (STOLF, 1991).

2.4.2 Avaliação do Sistema Radicular da Planta

A avaliação do sistema radicular da planta também constitui importante ferramenta indicadora de compactação do solo, seja em solos antrópicos ou com características próprias da sua formação, como o observado por Paulino et al. (2003) em Argissolo no Rio Grande do Sul, testando mudas de acácia-negra. Os autores observaram que as plantas tiveram dificuldades para o crescimento das

raízes, porém estas dificuldades foram amenizadas nas linhas de plantio pelo preparo do solo.

A observação *in loco* é muito importante nesta avaliação, pois outros fatores além da compactação, podem conferir diferentes resultados no desenvolvimento radicular. A lixiviação de nutrientes disponibilizados numa queima de restos vegetais num perfil superior, pode estimular o enraizamento em profundidade, considerando um mesmo nível de compactação em relação a outro ponto sem a disponibilização (TOKESHI, 1991). Fernandes et al. (1999) num trabalho de avaliação do sistema radicular de milho, obtiveram resultados que conduziram a novas questões, especialmente no que tange a uma interpretação integrada do sistema radicular e da parte aérea em função de diferentes condições físico-químicas dos solos, que resultaram de diversos sistemas de cultura, conduzidos há vários anos.

A mesma importância foi dada por Neves e Medina (1999) para o estudo do sistema radicular das plantas a campo, pois possibilita a relação entre o desenvolvimento radicular e os fatores que o influenciam, tais como manejo físico e químico do solo, fatores genéticos, irrigação, entre outros.

Em experimento com milho no RS, num solo Podzólico Vermelho Escuro, foi avaliado a longo prazo o sistema radicular em solo corrigido e não corrigido, quanto a acidez e deficiência elementar, e também correção física por descompactação por aração profunda seguida de gradagem na implantação do teste. Os resultados obtidos demonstram a dificuldade de interpretar e associar, de forma simplista, dados de atributos radiculares como massa ou volume de raízes ao rendimento da cultura (FERNANDES et al., 1999).

2.4.2.1 Métodos de avaliação do sistema radicular de plantas

São vários os métodos de avaliação do sistema radicular de plantas, dentro de dois grupos. No primeiro está o método da escavação de planta inteira, método da parede do perfil (ATKINSON, 2000; BÖHM, 1979; SCHUURMAN, 1971), método da prancha com pregos (ATKINSON, 2000; SCHUURMAN, 1971), método

da aplicação de isótopos (ATKINSON, 2000), método do monólito e método do trado (BÖHM, 1979; SCHUURMAN, 1971) cujas avaliações são feitas no ponto de colheita da cultura. No segundo grupo está o rizotron, mini-rizotrons e o crescimento em fardos. Este grupo permite avaliar o desenvolvimento e as mudanças no decorrer do tempo.

2.4.2.1.1 Método da Escavação

Expõe completamente o sistema radicular de uma planta, sendo o mais antigo. O método clássico se inicia com a seleção da planta a ser escavada, seguido da escavação da planta e do sistema radicular, desenho e fotografia e preparação e armazenamento da raiz escavada. Devido a diferentes necessidades e limitações, o modelo clássico foi modificado para escavações com jato de água (BÖHM, 1979), como o adotado por Medina et al. (1999) em avaliação da arquitetura do sistema radicular de acácia negra (*Acacia mearnsii*) no Rio grande do Sul. A escavação com ar comprimido, de setor (escava apenas uma porção representativa) e feita em um plano horizontal, sendo este último adotado em plantas do deserto, foram as outras modificações sofridas no método clássico (BÖHM, 1979).

2.4.2.1.2 Método do Monólito

Consiste em retirar o monólito de solo contendo as raízes, para lavagem no campo ou em alguma instalação apropriada. É aplicado em casos em que se deseja fazer uma determinação quantitativa das raízes. Dentre as diferenciações deste método, a retirada com uma pá é feita superficialmente, em torno de 20 cm de profundidade e examinando a direção em que está crescendo uma raiz. O método do monólito comum é o usual, tendo a necessidade de se escavar uma trincheira lateral, e depois disso é feita a retirada de monólitos quadrados com 10 cm de medida. Procura-se atingir o máximo possível de volume explorado pelas raízes da planta escolhida. Tem-se ainda os monólitos em caixa,

gaiola e prancha com pregos (BÖHM, 1979), este último adotado por Fernandes et al. (1999) em experimento com distribuição do sistema radicular de milho, em função dos sistemas de cultura e preparo do solo.

No entanto, é um método muito destrutivo e além disso, o tempo necessário para abertura da trincheira e remoção do monólito é grande, não havendo possibilidade de ser realizado em todas as parcelas, ou de fazer repetições em todos os blocos (HERMANN, 2005).

O método do monólito foi mais adequado que o método do trado para avaliar a distribuição de raízes em cana-de-açúcar, porque a metodologia preconiza a retirada de amostra que abrange um grande volume de solo explorado pelo sistema radicular (HERMANN, 2005). Azevedo (2004) adotou o método do monólito comum em experimento com preparo do solo para plantio de cana-de-açúcar, para estudo de comparação entre métodos.

2.4.2.1.3 Método do Trado

É apropriado para coletar amostras de solo com raiz. Pode ser coletado com trados manuais ou com máquinas amostradoras e, em seguida, separando as raízes por lavagem. Para casos simples, o uso de um trado manual que atinge até 1 metro de profundidade é o suficiente, sendo que o modelo desenvolvido por Goedewaagen é o melhor. Este serve até mesmo em solos duros, mas é necessário aplicar força sobre o mesmo. Para estes casos, foi proposto o uso de um modelo com corte serrilhado. Nos casos em que as tomadas de amostras de solo estão em profundidades superiores a 1 m, é necessário o uso de trados mecânicos, até mesmo porque perfurar com trado manual a 1 m de profundidade já é muito difícil (BÖHM, 1979). Azevedo (2004) adotou o método do trado em experimento com preparo do solo para plantio de cana-de-açúcar, para estudo de comparação entre métodos. Para Hermann (2005) o método do trado superestimou a massa seca de raízes num ensaio com variedades de cana-de-açúcar, em comparação ao método do monólito, pois os pontos de coleta foram determinados a 15 cm da linha da soqueira, e também porque o volume de solo amostrado no trado

é em torno de vinte vezes menor em relação ao monólito, ficando mais sujeito à variabilidade na distribuição de raízes.

2.4.2.1.4 Método da parede do perfil

A escavação de raízes de uma planta é em muitos casos suficiente para expor uma parte de todo o sistema radicular. Assim, cada parede do perfil pode ser preparada, expondo somente alguns centímetros de solo e ser utilizado para registrar as raízes. A posição das trincheiras depende da espécie vegetal a ser estudada e podem ser escavadas manualmente ou com máquinas de escavação. Em seguida se faz o alisamento da parede, a exposição das raízes (rolo de prego), a pintura das raízes (se for necessário) e a contagem em moldura de madeira dividida em quadriculas por fio de nylon ou arame, imediatamente após o procedimento anterior (BÖHM, 1979). Vários pesquisadores adotaram o método, dentre eles Azevedo (2008), De Maria (1999) e Neves e Medina (1999).

Como vantagens deste método podemos citar, boa visualização da distribuição das raízes no perfil, não é necessário lavar e separar as raízes da terra, o que é muito trabalhoso. Algumas das desvantagens são o poder destrutivo, provocar alterações no solo e ser mais difícil para a execução de repetições. Um estudo preliminar com trincheira “piloto” antes da abertura é muito útil, sempre que a situação a ser estudada não é bem conhecida, como a profundidade máxima do sistema radicular e o comportamento radicular conforme o tipo de solo. Também serve para definir a necessidade de iluminação para filmagem, o horário do dia, fonte de energia, entre outros (NEVES; MEDINA, 1999).

2.4.2.2 Avaliação do material radicular

Em trabalho comparativo dos métodos do trado, monólito e parede do perfil na cultura da cana-de-açúcar, Azevedo (2008) adotou diversos métodos de contagem e de imagem. Para o método do perfil de grade (moldura de madeira) se

faz inicialmente a contagem nas quadriculas e em seguida transformados em densidade de comprimento de raízes, aplicado ao programa Racine®. No método da parede do perfil por imagem, as raízes no perfil são pintadas para melhorar o contraste em relação ao solo, fotografadas com câmera digital (resolução 1,2 megapixels) e as imagens analisadas pelo programa SIARCS®, obtendo-se o comprimento de raízes por unidade de área. As amostras obtidas pelo método do monólito e do trado são pesadas para a aferição da massa seca e, em seguida a avaliação do comprimento das raízes com o software ANALYRA®. A imagens trabalhadas no ANALYRA® são feitas por câmera digital e trabalhadas no software Corel Photo Paint 12, da Microsoft®.

2.4.3 Determinação da Densidade do Solo:

Dentre os métodos de análise de solo, a determinação da densidade do solo é uma ferramenta que pode indicar o grau de compactação de um solo. Pode-se dizer que a densidade é a medida quantitativa mais direta da compactação (CAMARGO de, ALLEONI, 2006).

2.4.3.1 Método do anel volumétrico

O método do anel volumétrico e do torrão parafinado, são medições adotadas pelo Setor de Física do Solo do CNPS em trabalhos agrônômicos (EMBRAPA, 1999).

É o método chamado 1.11.1 da Embrapa Solos, cuja coleta da amostra indeformada é feita em anel ou cilindro, metálico ou de plástico com volume conhecido, sendo o mais usual o primeiro, pois há necessidade de levar a amostra para secagem em estufa. É expresso em g/cm^3 (EMBRAPA, 1979).

O anel é introduzido no perfil ou no próprio solo, por pancadas ou por pressão, sendo retirado, posteriormente, com excesso de terra. Este excesso é depois removido, a fim de que o volume ocupado pelo solo seja exatamente o

volume do anel. Em seguida, transfere-se a terra para um recipiente, no próprio campo, deixando o anel disponível para realização de outras coletas (CAMARGO; ALLEONI, 2006).

2.4.3.2 Método do torrão parafinado

É o método 1.11.3 da Embrapa Solos, de amostra indeformada e expressa em g/cm³ (Embrapa, 1979).

Como o próprio nome sugere, usa-se parafina fundida a 60° C, preparando previamente o torrão de solo com 50 a 100 cm³. O torrão preparado é pesado e mergulhado na parafina por 2 a 3 vezes até a total impermeabilização. Daí em diante é adotado o procedimento, conforme descrito por Blake e Hartge (1986). Souza et al. (2004) adotaram este método para avaliar os atributos físicos de um Latossolo Amarelo muito argiloso, quando submetido a diferentes sistemas de uso e manejo no Amazonas.

2.5 A CULTURA DO BRÓCOLO

O brócolo é uma hortaliça anual, da família Brassicaceae, de porte arbustivo, produz inflorescência com haste carnosa, grossa, com botões florais de cor verde-azulada e comprimentos diversos, segundo a cultivar. Estes brotos e botões constituem a parte comestível (TAVARES et al., 1998). Em solos profundos, o sistema radicular das brássicas como repolho e couve-flor atinge profundidades superiores a 1,5 m, porém, a maioria das raízes se concentra nos primeiros 20 a 30 cm de profundidade (FILGUEIRA, 2003).

Há muitos experimentos que confirmam a diversidade de efeitos sobre culturas de importância agrícola e econômica como na soja e no milho, por reflexos do sistema de manejo e preparo do solo e de tráfego de máquinas e implementos. Porém, em hortaliças e principalmente em brócolos não se têm muitas informações.

2.6 REFERÊNCIAS

ATKINSON, D. Root characteristics: why and what to measure. In: SMIT, A. L. et al. **Root methods: a handbook**. Berlin: Springer-Verlag, 2000. p. 1-32.

AZEVEDO, M. C. B. **Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar**. 2008. 100 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

AZEVEDO, M. C. B. Preparo do solo para plantio de cana-de-açúcar em latossolo vermelho eutroférico. 2004. 44 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods: part 1**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188 p.

CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Causas da Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>. Acesso em: 22 fev. 2008

CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm>. Acesso em: 23 ago. 2008

CARDOSO, E. G. et al. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, mar. 2006.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A.; TORRES, H. Distribuição de raízes de leguminosas em função de alterações nas características químicas e físicas em solos do Paraná. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASOS, 1999, Aracajú. **Anais...** Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 191-202.

DE MARIA, I. C., CASTRO, O. M., DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 703-709, 1999

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit; IAPAR, 1991. 260 p.

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

DREW, M. C., LYNCH, J. M. Soil anaerobiosis, microorganisms and root function. **Annual Review of Phytopathology**. Wantage, v. 18, p. 37-66, 1980.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. v. 1. Rio de Janeiro, : SNLCS, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. xxvi, 412 p.

FENNER, P. T. **Relações entre tráfego, solo e desenvolvimento florestal na colheita da madeira**. Botucatu. Universidade Estadual de São Paulo., 1999. 135 p. (Tese de Livre Docência)

FERNANDES, S. V. et al. Distribuição do sistema radicular de milho na depressão central do Rio Grande do Sul. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASOS, 1999, Aracajú. **Anais**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 203-218.

FELIPPE, G. M. Desenvolvimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal 2**. 2. ed. São Paulo: EPU, 1986. p. 1-37.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de Olericultura**: cultura e comercialização de hortaliças. 2. ed. São Paulo: Ceres, 1982. 357 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. p. 274-294.

GALLI, F. et al. **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Ceres, 1980. v. 2.

HERMANN, E. R. **Resposta de três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivado em solo ácido submetido a calagem e gessagem**. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

HILBIG, V. S. et al. Palha sobre o solo dissipa a energia aplicada pelas máquinas agrícolas? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado, 2007.

KLEIN, V. A. Avaliação de escarificadores e resposta da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 307-311, 1995.

KOZINKA, V. Water uptake by the intact plant: water uptake by a transpiring plant. In: KOLEK, J.; KOZINKA, V. **Physiology of the plant root system**. Bratislava: Kluwer Academic, 1992. 313p.

LIMA, H. V. et al. Identificação e caracterização de solo coesos no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, p. 467-476, 2004.

MAZETTO, F. R. et al. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 750-757, set./dez. 2004.

MAZIERO, J. V. G. et al. Efeito da patinação da roda motriz de um trator agrícola na compactação do solo. **Bragantia**, v.56, p. 191-197, 1997.

MEYER, B.; ANDERSON, D.; BÖHNING, R. **Introdução à fisiologia vegetal**. Lisboa: Calouste Gulbekian, 1965. 564 p.

MONTAGU, K. D.; CONROY, J. P.; ATWELL, B. J. The position of localized soil compaction determines root and subsequent shoot growth responses. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 364, p. 2127-2133, nov. 2001.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma terra roxa estruturada e na produção de milho para um ano de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 2, p. 22-30, dez. 1996.

NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C. Distribuição de raízes de citrus em latossolo roxo. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASOS, 1999, Aracajú. **Anais**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 203-218.

PAULINO, A. F. et al. Distribuição do sistema radicular de árvores de acácia-negra oriundas de mudas produzidas em diferentes recipientes. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 605-610, 2003.

PICCININ, J. L.; ESPÍNDOLA, C. R.; TORRES, E. Condições morfoestruturais e estabilidade dos agregados do solo sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. **Anais**. Ilhéus: Ceplac, Cepec, 2000, v.1, p. 246-247.

PRIMAVESI, A. M. **Manejo Ecológico do Solo**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 549p.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 929-938, 2000.

RALISCH, R. et al. Resistência à penetração de um latossolo vermelho amarelo do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**. v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

RECIFE. Prefeitura Municipal. Documento de circulação externa, volume 12 / ME-12, 2003. ME-12 métodos de ensaio determinação da massa específica aparente do solo "in situ" com emprego do frasco de areia. **Documentação Técnica**, Recife, 2003, p. 1-12.

RIBON, A. A. Estudo **da resistência do solo à penetração em latossolos**. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.

RIBON, A. A. **Propriedades físicas de latossolo e podzólico cultivados com seringueira (*Hevea brasiliensis*) submetidos a práticas de manejos no planalto ocidental paulista**. 2000. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SEIXAS, J. **Níveis de compactação do solo na cultura do milho (*Zea mays*)**. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SCHUURMAN, J. J.; GOEDEWAAGEN, M. A. J. **Methods for the examination of root systems and root**. 2. ed. Wageningen: Pudoc, 1971. 86p.

SILVA, R. B. et al. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 973-983, 2003.

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

SMITH, D. L.; DICKSON, J. W. 1990. Contributions to Vehicle Weight and Ground Pressure to Soil Compaction. **Journal of Agricultural Engineering Research**. V. 46, p. 13-29.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um latossolo vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 18-23, 2003.

SOUZA, Z. M.; LEITE, J. A.; BEUTLER, A. N. Comportamento de atributos físicos de um latossolo amarelo sob agroecossistemas do amazonas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 654-662, set./dez., 2004.

SQUIRE, G. R. **The physiology of tropical crop production**. Wallingford: CAB International, 1990. 236 p.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 15, p. 229-235, 1991.

TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 725-730, 2001.

TAVARES, M., TRANI, P. S., SIQUEIRA, W. J. Couve *Brassica oleracea* L. var. *acephala*. In: CAMPINAS, I. A. **Boletim 200 Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6. ed. Campinas: IAC, 1998. p. 201-202.

TOKESHI, H. **Cana-de-açúcar**. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C.P. (org.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato e CNPq, 1991. p. 485-499.

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

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509 p.

WOOD, R. K. et al. Soil physical properties as affected grain cart traffic. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 36, p. 11-14, 1993.

YOUNG, I. M. et al. Differences in potato development (*Solanum tuberosum* cv. Maris Piper) in zero and conventional traffic treatments are related to soil physical conditions and radiation interception. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, p. 341-359, 1993.

3. O TRÁFEGO DE TRATORES E OS EFEITOS SOBRE A RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE COUVE-BRÓCOLO EM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO

3.1 RESUMO

A crescente demanda mundial por produtos agrícolas intensificou a agricultura, inclusive a mecanização, com efeito negativo na fertilidade do solo, decorrente do tráfego de máquinas. O objetivo deste trabalho foi comparar os níveis de compactação do solo e a distribuição de raízes de couve brócolo, em função do tamanho do trator e o número de tráfegos num local. O experimento foi instalado em Londrina, em Latossolo Vermelho Eutroférico nos anos 2007 e 2008, testando tratores de porte pequeno, médio e grande (Agrale 4100, MF 285 e JD 6405, respectivamente), em 3 níveis de passagens do rodado de pneus e uma testemunha. Avaliaram-se os efeitos no solo, sobre o desenvolvimento de plantas de brócolo e a compactação através de penetrometria. O tráfego de tratores aumenta a resistência do solo à penetração, principalmente na profundidade até 0,20 m. Há uma relação direta entre o tamanho do trator e a compactação e estes efeitos foram perceptíveis com o aumento do enraizamento da planta conforme o aumento da RP até 0,20 m.

Palavras-chave: compactação, penetrômetro, enraizamento.

Abstract

The world growing demand for agricultural products enhanced agriculture production, including mechanization, affecting negatively the soil fertility due to machinery traffic. The goal of this study was to compare compactation levels and broccoli roots distribution, in function of the size of the tractor and number of traffics in a place. The experiment was set up in Londrina, Eutroferric Red Latossol (Oxisol), from 2007 to 2008, testing small, medium and great size tractors (Agrale 4100, MF 285 and JD 6405, respectively) with three situations of traffic intensity and a control treatment. The effects in the soil, broccoli plant development and compactation by penetrometry were assessed. The increasing intensity of tractor traffic increase soil penetration resistance, mostly at 0.20 m depth. It has a direct relation enters the size of the tractor and the compacting and these effects were evidenced observing the growing amount of roots according to growing penetration resistance (until 0.20 m).

Key-words: compactation, penetrometer, rooting.

3.2 INTRODUÇÃO

A intensificação progressiva da agricultura, inclusive nas operações motomecanizadas, visando atender a crescente demanda mundial por seus produtos, tem afetado negativamente a qualidade física do solo. Algumas das causas são o aumento do tráfego de máquinas e o uso de implementos, devido ao aumento de operações mecanizadas e ao aumento das dimensões e do peso destas, buscando a maior eficiência operacional.

Montagu et al. (2001) cultivaram brócolo em vasos, simulando solos compactados em todo o perfil (a $1,8 \text{ Mg.m}^{-3}$) e outros mistos (perfis menos compactados a $1,2 \text{ Mg.m}^{-3}$), com compactações localizadas. No primeiro, a área foliar do brócolo sofreu redução de até 54% e no último a redução foi de 30%.

Segundo Young et al. (1993), um solo sem tráfego após o preparo, armazenou mais umidade e oxigênio do que nas áreas com passadas de máquinas, propiciando um melhor desenvolvimento vegetativo e maior produtividade.

O estudo da compactação do solo é muito importante, devido à sua influência no desenvolvimento das culturas vegetais. Para Primavesi (1990), um solo de densidade aparente baixa, ($0,9$ a $1,2 \text{ g/cm}^3$) retém mais umidade, permite um amplo desenvolvimento radicular, e gera uma planta bem nutrida. Porém, Queiroz-Voltan et al. (2000) em compactação moderada ($1,20$ e $1,35 \text{ kg.L}^{-1}$) tiveram maior crescimento da parte aérea em soja, como constatado também por Silva et al. (2006), ou seja, maior crescimento a $1,2 \text{ Mg.m}^{-3}$ em relação a $1,0 \text{ Mg.m}^{-3}$ e com comprometimento desta variável a $1,5 \text{ Mg.m}^{-3}$.

Para Smith e Dickson (1990), uma carga maior sobre o eixo das máquinas causou compactação em profundidade, enquanto superficialmente até $0,25\text{m}$ foi devida à área de contato pneu-solo.

Segundo Fenner (1999), a primeira passada de um rodado causa as deformações mais significativas, reduzindo-se a partir da segunda. Contudo, Wood et al. (1993) constataram que passadas repetidas tem maior efeito na estrutura do solo em profundidade, no perfil de $0,20\text{m}$ até $0,40\text{m}$.

Mochizuki et al. (2007) verificou que aumentando o revolvimento do perfil do solo de $0,1\text{m}$ para $0,3\text{m}$, fez a RP diminuir em 1 MPa , e assim o crescimento vegetativo aumentou em 28% e o rendimento em 22% .

O tipo de manejo de solo estudado por Souza e Alves (2003) indica um pico de RP na profundidade de 0,10-0,20m, resultante do preparo do solo e do pisoteio excessivo, no caso da área de pastagem.

O grau de compactação também está relacionado a várias propriedades físicas do solo, como a sua umidade (COSTA et al., 1999; RIBON, 2004). Assouline et al. (1997) cita o pH, a capacidade de troca catiônica e o conteúdo de matéria orgânica. Fatores antrópicos (Paulino et al., 2003) e genéticos do solo (NEVES; MEDINA, 1999; PAULINO et al., 2003) também influenciam. Ralisch et al. (2008) verificaram que a RP no preparo convencional (PC) foi menor no perfil de 0-0,10m e no sistema de plantio direto há 2 anos, a RP foi maior até 0,40m de profundidade. No PC e no plantio direto há 8 anos, as diferenças não foram significativas em profundidades superiores a 0,15 m.

O brócolo concentra suas raízes no perfil de 0,20-0,30m (FILGUEIRA, 2003), o que pode comprometer o desenvolvimento e a produtividade, em períodos de estiagem e caso haja compactação superficial, (SEIXAS , 2001).

Este trabalho teve como objetivo comparar os níveis de compactação do solo e a distribuição de raízes do couve brócolo, variando o tamanho do trator e a quantidade de passagens sobre o solo.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, em Latossolo Vermelho Eutroférico, no período de setembro de 2007 a março de 2008. O clima é o Subtropical úmido mesotérmico (Cfa), altitude de 610 metros, Coordenadas: latitude 23° 18' 36" S e longitude 51° 9' 46" W. A área foi anteriormente ocupada pela cultura da mandioca.

No final de setembro, o solo foi previamente preparado com grade pesada de 20 discos e 0,71m de diâmetro (28"), marca Super Tatu, seguido por nivelamento com grade leve de 36 discos (18"). Seguiu-se uma escarificação cruzada, com escarificador de 5 hastes, da marca JAN 022. As parcelas do experimento foram delimitadas com estacas e barbante, para que deste momento em diante não houvesse nenhum tráfego sobre a área até o dia do início do teste. Ao mesmo tempo, foram marcados 6 pontos fora da área das parcelas para não

sofrer tráfego, onde foram feitas as coletas de amostras de solo. No mesmo dia e momentos antes da aplicação dos tratamentos de tráfego das máquinas, foram feitas amostragens nestes 6 pontos, para análise química do solo em profundidades de 0-0,5m, 0,5-0,10m, 0,10-0,20m e 0,20-0,40m. Também foram coletadas amostras de solo em anel nas mesmas profundidades das amostras para análise química, para avaliar a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, a umidade gravimétrica e a umidade volumétrica. Não foi utilizado nenhum herbicida de pré-emergência, a fim de evitar ao máximo qualquer influência química deste no trabalho.

A partir de fevereiro de 2008, houve necessidade de irrigar a área até o final do ciclo da cultura.

Tabela 3.1 – Análise química do solo coletado após o nivelamento, em Latossolo Vermelho Eutroférico. Fazesc – UEL – Londrina – PR (2007)

Amostra	pH	Ca	Mg	K	Na	CTC (pH7,0)	V	P disp
CaCl ₂		cmol/ dm ³				%	mg/dm ³	
00 -20 cm	5,78	4,71	2,04	0,49	0,03	10,35	70,21	9,33
20-40 cm	5,72	3,89	1,66	0,33	0,02	9,12	64,67	5,09

A análise química evidenciou disponibilidade adequada de nutrientes para o desenvolvimento da cultura do brócolo.

Tabela 3.2 – Valores médios dos parâmetros físicos obtidos em pontos aleatórios da área de ensaio, após a escarificação cruzada e no mesmo dia do teste de tráfego.

Profundidade (m)	Ds (Mg.dm ⁻³)	Uv (%)	Ug (%)	Ma (m ³ .m ⁻³)	Mi (m ³ .m ⁻³)	Pt (m ³ .m ⁻³)
0 a 0,05	1,06	23,80	22,57	0,29	0,33	0,61
0,05 a 0,10	1,06	24,35	22,97	0,30	0,33	0,63
0,10 a 0,20	1,06	24,23	22,90	0,31	0,33	0,64
0,20 a 0,40	1,11	26,21	23,62	0,23	0,37	0,60

Ds: densidade do solo; Uv: umidade volumétrica; Ug: umidade gravimétrica; Ma: Macroporosidade; Mi: microporosidade; Pt: porosidade total.

Os dados iniciais da área do ensaio, apresentados na Tabela 3.2, demonstram uniformidade para os valores de Ds, Ma e Mi, até 0,20m de profundidade, efeito claro da escarificação. A partir de 0,2m, observa-se um valor

superior de D_s , redução da M_a e aumento da M_i , o que pode ser atribuído aos efeitos residuais no solo e que a escarificação não alterou.

Cada linha de plantio foi considerada uma parcela e sofreram diferentes quantidades de passagens de 3 tratores diferentes, descritos abaixo.

a) Trator John Deere JD 6405: pneu traseiro largo de configuração diagonal e com 0,60m de largura, marca Firestone 23.1-30, lastro com 75% de água e pressão interna de 0,110 MPa; pneu dianteiro marca Fate 14.9-26, lastro com 75% de água e 0,110 MPa de pressão; contrapeso de base de 80 Kg e 4 contrapesos adicionais de 50 Kg cada.

b) Trator Massey Ferguson MF 285: pneu traseiro estreito com 0,30m de largura, marca Dunlop 12.4-38 RT33 com 0,193 MPa de pressão; pneu dianteiro marca Pirelli 7.50-16 e pressão de 0,345 MPa. Ambos sem lastreamento com água nem contrapesos.

c) Microtrator Agrale 4100: pneu traseiro com 0,215m de largura, marca Firestone 8.3/8-24 com 0,145 MPa de pressão; pneu dianteiro marca Firestone 4.00-15 com 0,241 MPa de pressão. Ambos sem lastreamento com água nem contrapesos.

Os tratamentos foram: Tzero – sem nenhuma passagem após a escarificação; Ag1 – 1 passagem com Agrale; Ag2 – 2 passagens com Agrale; Ag3 – 3 passagens com Agrale; MF1 – 1 passagem com MF; MF2 – 2 passagens com MF; MF3 – 3 passagens com MF; JD1 – 1 passagem com JD; JD2 – 2 passagens com JD; e JD3 – 3 passagens com JD. A distribuição das parcelas foi em blocos inteiramente ao acaso com 5 repetições e as passagens se deram em velocidade operacional e constante, definindo marcha e rotação do motor.



Figura 3.1 – Marcação das linhas para o tráfego. Londrina, 2008.



Figura 3.2 – Tráfego com o trator MF 285. Londrina, 2008.



Figura 3.3 – Tráfego com o microtrator Agrale 4100. Londrina, 2008.



Figura 3.4 – Tráfego com o trator JD 6405. Londrina, 2008.



Figura 3.5 – Espaçamento entre linhas do couve-brócolo. Londrina, 2008.

Utilizou-se o couve-brócolo cv. Ramoso Piracicaba. As mudas foram produzidas em bandejas de isopor de 200 células, transplantadas em fila dupla com 0,40 m entre plantas na linha e 0,80 m entrelinhas, totalizando 20 plantas por parcela. As covas foram feitas com bastão de madeira pontiguada com diâmetro de 0,04 m, perfurando 0,10 m de profundidade. Utilizou-se 3 gramas de adubo químico formulado 04-14-08 por cova.

As plantas daninhas foram controladas com enxada manual, superficialmente e com o operador se posicionando nos corredores, com o cuidado de não alterar os resultados do tráfego.

O transplante ocorreu em 8 de novembro e neste mesmo dia foi aplicado um inseticida à base de fipronil, para o controle preventivo de formigas cortadeiras. Quinze dias após o transplante foi adotado um inseticida sistêmico do grupo neonicotinóide para o controle de outras pragas. No dia seguinte, aplicou-se um adubo foliar, contendo boro e zinco.

3.3.1 Avaliações

3.3.1.1 Penetrometria

A penetrometria foi realizada no dia 11/01/2008 em todas as parcelas, após a planta atingir o ponto de colheita, escolhendo uma com a inflorescência apical totalmente formada, porém, sem desabrochar, e também escolhida em uma das linhas descartando as duas primeiras plantas das extremidades. Foi utilizado o penetrômetro de impacto modelo Stolf sobre a linha e conforme metodologia descrita por Stolf (1991), a partir da superfície do solo até a profundidade de 0,60m. A avaliação foi feita em um ponto por parcela e com coleta de amostra de solo no perfil de 0-0,20m e 0,20-0,40m (uma por parcela). A amostra foi acondicionada em sacos plásticos, para em seguida se proceder à análise de umidade gravimétrica.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste Tukey a 5%.

3.3.1.2 Raízes

A contagem se deu nos dias 12 e 13/02/2008 e foram avaliadas pelo método da parede do perfil do solo (BÖHM, 1979), escavando trincheiras transversais à linha de plantio, distanciadas a 0,05m do caule. A trincheira foi escavada em profundidade de 0,70m, 1,70m de largura e 0,70m de comprimento. A exposição das raízes se fez com rolo escarificador, a limpeza com água e escova e posteriormente a avaliação através de contagem visualizando as raízes em moldura com malha de fios de nylon, de 0,10 x 0,10m. Os números da contagem foram anotados em papel quadriculado para simular a moldura. A moldura cobriu 0,40m de cada lado da planta e 0,40m de profundidade. A avaliação foi feita por ocasião da plena floração de todas as plantas. As trincheiras foram abertas nos blocos 1, 3 e 5, avaliando-se 2 plantas e 1 de cada linha na posição central da parcela, sendo avaliados apenas dos tratamentos Tzero, MF1, MF2 e MF3, totalizando 12 trincheiras. Cada planta representou uma parcela nesta avaliação, totalizando 6

parcelas por tratamento. Foram avaliadas 4 trincheiras por dia. Os dados foram comparados pelos valores médios obtidos.

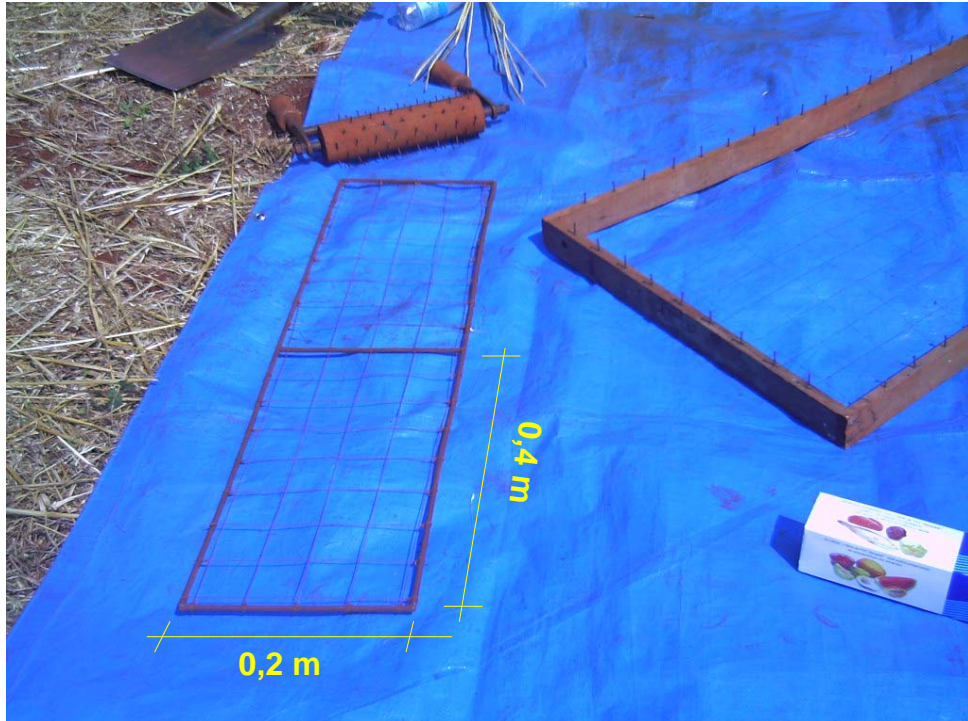


Figura 3.6 – Moldura quadriculada para a contagem de raízes. Londrina, 2008.



Figura 3.7 – Posicionamento da moldura no perfil do solo, para contagem de raízes na área 0,4 x 0,4m e 0,4 x 0,8m. Londrina, 2008.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3.3 apresenta os dados de umidade gravimétrica, considerando a importância desta variável nos resultados da penetrometria.

Tabela 3.3 – Umidade gravimétrica (%) em solo amostrado no perfil de 0 a 0,20m e de 0,20 a 0,40 m, realizada no dia da penetrometria.

Bloco	0-0,20m	0,20-0,40m
1	20,57	32,65
2	19,98	25,05
3	21,13	23,96
4	21,89	24,72
5	20,66	24,53

Na tabela 3.4 são apresentados os dados de resistência à penetração, conforme o tipo de máquina e o número de passadas.

Tabela 3.4 – Valores médios de resistência à penetração (RP) em MPa (Mega Pascal), realizada 80 dias após o tráfego de máquinas, comparando os tratores JD 6405, MF 285 e Agrale 4100, com uma, duas e três passagens. Londrina, 2008.

PROFUN DIDADE (m)	T zero	Nº DE PASSADAS	MODELO DE TRATOR			MÉDIA
			JD	MF	AG	
0 – 0,20	1,14	1	3,13	3,17	2,02	2,78 A
		2	3,69	3,54	2,06	3,10 A
		3	4,05	3,13	2,51	3,23 A
MÉDIA			3,62 a	3,28 a	2,20 b	
0,20 – 0,40	2,45	1	2,57 Ba	2,59 Aa	2,95 Aa	2,70
		2	3,32 Aa	3,01 Aab	2,44 Ab	2,92
		3	2,65 ABa	2,43 Aa	2,78 Aa	2,62
MÉDIA			2,84	2,67	2,72	
0,40 – 0,60	2,60	1	2,73	3,33	2,66	2,91 A
		2	2,84	2,97	3,03	2,95 A
		3	2,68	3,10	3,25	3,01 A
MÉDIA			2,75 a	3,13 a	2,98 a	

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a nível de 5%, em análise que não considera os valores de Tzero e resulta no CV% apresentado.

Os valores em negrito são aqueles que se distinguem estatisticamente dos valores de Tzero nas respectivas profundidades, resultando no CV% também em negrito.

Na comparação entre os tratamentos sem a testemunha Tzero, a resistência à penetração no perfil de 0-0,20m, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos na interação número de passagens, mesmo com a grande diferença de massa entre os tratores, concordando com Smith e Dickson (1990), os quais afirmam que a compactação superficial até 0,25m de profundidade, se deve à área e pressão de contato pneu-solo. Neste mesmo perfil, na comparação tipo de máquina, o trator Agrale apresentou valores significativamente menores de RP, em relação a JD e MF. Mesmo com o rodado estreito, o que faz a área de contato pneu-solo ser pequena, a compactação foi menor, provavelmente pelo seu peso ser muito menor do que de outros tratores.

Na comparação entre máquinas no perfil 0,20-0,40m, foi observada diferença significativa no tratamento com trator Agrale e 2 passagens, com RP menor em relação aos tratores MF e JD com o mesmo número de passadas. Uma e três passagens não apresentaram diferenças significativas.

Na comparação entre número de passadas de cada trator, a RP nos tratamentos com trator Agrale e MF não apresentaram diferenças significativas..No trator JD com uma passagem verificou-se menor compactação neste perfil, com diferença estatística em relação a 2 passagens, concordando com os resultados obtidos por Wood et al. (1993) que, constataram que passadas repetidas tem maior efeito na estrutura do solo em profundidade, no perfil de 0,20-0,40m.

Para o parâmetro RP no perfil de 0,40-0,60m não houve diferença significativa entre os tratamentos e suas interações.

Verificando comparativamente as médias das interações entre máquinas e número de passagens, não houve redução gradativa nos valores, conforme o aumento da profundidade, mesmo se observando o aumento da umidade no perfil de 0,20-0,40m em relação ao perfil 0-0,20m. É importante considerar inúmeros fatores que podem influenciar nos resultados, dentre os quais os antrópicos (PAULINO et al., 2003) e genéticos (NEVES; MEDINA, 1999; Paulino et al., 2003).

Considerando os valores obtidos em T zero, denota-se um efeito importante de aumento da resistência do solo à penetração da camada superficial, associada ao tráfego e ao tamanho dos tratores.

Nas camadas inferiores do solo, os dados de resistência à penetração demonstram que a escarificação não surtiu efeito após 0,20m e que

abaixo de 0,40m de profundidade a resistência observada pode ser atribuída ao adensamento (natural ou pedológica).

Comparando os tratamentos de máquinas, número de passagens e testemunha, os dados evidenciaram que somente no tratamento com trator Agrale (1 e 2 passagens) não houve incremento significativo na RP no perfil de 0-0,20m. Neste mesmo perfil 0-0,20m, a RP mostrou que o tráfego de máquinas pesadas influenciou negativamente no solo, concordando com Young et al. (1993) que também constatou menos umidade e menor presença de oxigênio. No caso dos tratores MF e JD, uma alternativa seria a utilização de rodado largo, para aumentar a área de contato pneu-solo, conforme verificaram Smith e Dickson (1990).

Nas profundidades de 0,20-0,40m e 0,40-0,60m, resultados iguais foram observados entre a testemunha e os tratamentos nos quais ocorreu o tráfego de máquinas.

A contagem de raízes no perfil de 0-0,4m, confirma o efeito físico do tráfego de máquinas.

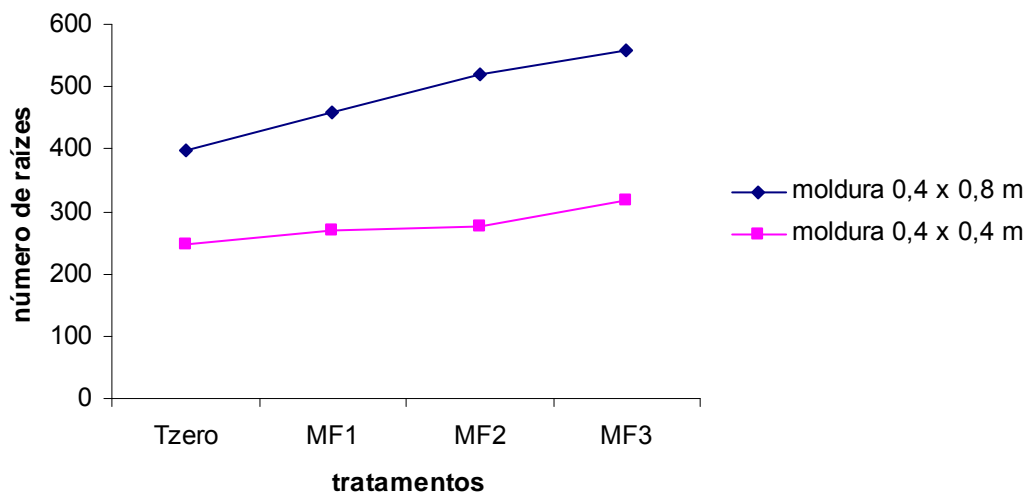


Figura 3.8 – Número de raízes em trincheiras, nas áreas submetidas ao tráfego com trator MF 285, contadas em moldura quadriculada na profundidade de 0,40m e largura de 0,40 e 0,80m.

Houve um aumento no número de raízes na área do perfil analisado, de acordo com o aumento do número de passagens de trator, sendo que tal comportamento se acentua na avaliação do perfil com maior largura (0,80m),

estando associado ao maior número de passagens dos rodados do trator e ao aumento da resistência do solo à penetração (Tabela 3.4 pág 57). Os dados avaliados sugerem que no tratamento T zero e com menor resistência do solo à penetração, o sistema radicular tende a se aprofundar diminuindo sua concentração na superfície. O inverso acontece na áreas de maior RP devido aos tráfegos, concentrando raízes na superfície e mais distantes das plantas.

Filgueira (2003) já constatou a tendência de uma maior concentração superficial das raízes do couve-brócolo, acentuado no caso estudado devido à compactação. Tal fato desfavorecerá a planta em épocas de estiagem, como citado por Seixas (2001).

Em estudo prévio com a cultura do milho, o aumento do grau de compactação ocorreu devido ao aumento do número de passagens do trator, o que induziu a planta à emissão de mais raízes superficiais, buscando compensar a sua dificuldade em aprofundar no perfil do solo, (RALISCH et al, 1993).

Por outro lado, a maior contagem de raízes superficiais não significa adequado desenvolvimento radicular. Primavesi (1990) afirma que um solo menos compactado permitiria o desenvolvimento radicular mais profundo, com melhor nutrição da planta. Ralisch et al. (1993) acrescentou que isto reduz risco de deficiência hídrica destas plantas e auxilia no condicionamento estrutural do perfil do solo.

Assim, a relação entre grau de compactação e contagem de raízes no perfil, indicará como será o crescimento vegetativo de uma planta. Este efeito foi constatado por Queiroz-Voltan et al.(2000), Montagu et al. (2001), Silva et al. (2006) e Mochizuki et al. (2007).

3.5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que:

- O tráfego de tratores aumenta a resistência do solo à penetração, principalmente na profundidade até 0,20m.

- Para o trator leve avaliado, o aumento da resistência do solo à penetração foi significativa apenas após a terceira passagem.

- No caso dos tratamentos com o trator MF, o aumento RP até 0,20m de profundidade está associado ao aumento de enraizamento da planta até 0,40m de profundidade.

3.6 REFERÊNCIAS

ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modeling. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 61, p. 390-398, 1997.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems.** Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188p.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A.; TORRES, H. Distribuição de raízes de leguminosas em função de alterações nas características químicas e físicas em solos do Paraná. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASOS, 1999, Aracajú. **Anais.** Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 191-202.

FENNER, P. T. **Relações entre tráfego, solo e desenvolvimento florestal na colheita da madeira.** Botucatu. Universidade Estadual de São Paulo., 1999. 135 p. (Tese de Livre Docência)

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura:** agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. p. 274-294.

MONTAGU, K. D.; CONROY, J. P.; ATWELL, B. J. The position of localized soil compaction determines root and subsequent shoot growth responses. **Journal of Experimental Botany**, vl. 52, n. 364, p. 2127-2133, nov. 2001.

MOCHIZUKI, M. J et al. Overcoming compaction limitations on cabbage growth and yield in the transition to reduced tillage. **Hort Science**, v. 42, n. 7, p. 1690 -1694, 2007.

NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C. Distribuição de raízes de citrus em latossolo roxo. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASOS, 1999, Aracajú. **Anais.** Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 203-218.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; NEVES, C. S.V. J.; AZEVEDO, M. C. B.; HIGA, A. R.; SIMON, A. Distribuição do sistema radicular de árvores de acácia-negra oriundas de mudas produzidas em diferentes recipientes. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 605-610, 2003.

PRIMAVESI, A. M. **Manejo Ecológico do Solo.** 9. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 549 p.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.929-938, 2000.

RALISCH, R. et al. Estudo dos efeitos da realização sucessiva de um mesmo tipo de manejo, sobre o perfil cultural e o perfil de enraizamento de um Latossolo roxo distrófico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...Ilhéus**, 1993. v. 2. p. 2122-2135.

RALISCH, R. et al. Resistência à penetração de um latossolo vermelho amarelo do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

RIBON, A. A. **Estudo da resistência do solo à penetração em latossolos**. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.

SEIXAS, J. **Níveis de compactação do solo na cultura do milho (*Zea mays*)**. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SILVA, G. J., MAIA, J. C. S., BIANCHINI A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um latossolo vermelho-escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p. 31-40, 2006.

SMITH, D. L.; DICKSON, J. W. Contributions to Vehicle Weight and Ground Pressure to Soil Compaction. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v. 46, p. 13-29, 1990

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um latossolo vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 15, p. 229-235, 1991.

WOOD, R. K. et al. Soil physical properties as affected grain cart traffic. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 36, p. 11-14, 1993.

YOUNG, I. M. et al. Differences in potato development (*Solanum tuberosum* cv. Maris Piper) in zero and conventional traffic treatments are related to soil physical conditions and radiation interception. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, p. 341-359, 1993.

4 COMPACTAÇÃO DO SOLO E SEUS EFEITOS NA PRESSÃO RADICULAR E PRODUÇÃO DE COUVE-BRÓCOLO EM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO

4.1 RESUMO

A aplicação de novas tecnologias na agropecuária facilitaram os serviços e possibilitaram a expansão e o cultivo de extensas áreas. No entanto, a compactação do solo se estabeleceu como um dos maiores problemas desta tecnologia, pois influenciou diretamente na preservação dos recursos naturais e o desenvolvimento e produtividade das culturas. Foi estudada a influência da compactação do solo, na fisiologia e produção de massa de couve-brócolo, após diferentes intensidades de tráfego de tratores agrícolas de pneus. O estudo foi realizado em Latossolo Vermelho Eutroférico nos anos 2007 e 2008. Os tratamentos foram realizados com um trator pequeno, médio e grande (Agrale 4100, MF 285 e JD 6405, respectivamente) e com três níveis de intensidade de tráfego. Foram avaliados os efeitos na translocação de seiva bruta e produção de massa seca da parte aérea e das raízes. A redução de massa seca não limitou a absorção de água e translocação de seiva. A variação na translocação de seiva não gerou uma variação proporcional da massa seca das plantas.

Palavras-chave: penetrometria, mecanização, sistema radicular.

Abstract

The use of new technologies become labor easier and enabled the expansion and cultivation in extensive areas. However the soil compactation is one of most important problems of the modern agriculture, because influenced directly the natural resources preservation and plant development and yields. The influence of the soil compactation in the physiology and mass production of broccoli, after different traffic intensity of tire farm tractor was studied in the field. The study was carried out on Eutroferric Red Latossol (Oxisol), from 2007 to 2008. Treatments were small, medium and big size of tractors (Agrale 4100, MF 285 and JD 6405, respectively) with three levels of traffic intensity. The translocation of the crude sap and dried mass were assessed. The reduction of dried mass of roots did not limit the water absorption and sap translocation. The variation of translocation did not generate proportional variation in dried mass of plants.

Key-words: penetrometry, mechanisation, root system.

4.2 INTRODUÇÃO

As novas tecnologias adotadas na produção agropecuária facilitaram os serviços dos agricultores e possibilitaram a expansão e o cultivo de extensas áreas, determinando assim o modelo de agricultura atual. Dentre as novas problemáticas e fatores limitantes da adoção desta tecnologia, uma das mais

preocupantes é, sem dúvida, a compactação do solo, pois influencia de forma direta a preservação dos recursos naturais e o desenvolvimento e produtividade das plantas.

A raiz é o órgão da planta que está diretamente associada ao solo, sendo basicamente uma grande superfície de absorção da água e dos solutos. A absorção de água pela raiz ocorre basicamente em função da transpiração foliar, quando o potencial da água da raiz é menor do que o potencial da água do solo. A absorção ocorre também à noite, quando a transpiração é reduzida ou inexistente e a quantidade de água no solo é alta. Esta absorção ocorre, devido à queda do potencial osmótico da raiz e da água da raiz que acompanha a absorção noturna de íons e solutos e provoca a pressão radicular, podendo ser observada cortando-se o caule de uma planta em condições de alto potencial de água do solo e transpiração reduzida (AWAD; CASTRO, 1989; PRIMAVESI, 1990).

Os vegetais são muito dependentes da absorção de água para o seu crescimento (FELIPPE, 1986). Assim, uma compactação superficial do solo, onde se concentram a maior quantidade de raízes superficiais, compromete o desenvolvimento da cultura em épocas com estiagem (SEIXAS, 2001). Na absorção de água pela raízes da planta, o que importa é o potencial da água do solo. Para absorver água, as raízes deverão desenvolver potenciais de água inferiores, ou seja, mais negativos que o potencial da água do solo. A magnitude dessa diferença determina a velocidade do movimento da água na direção solo para raiz (AWAD; CASTRO, 1989).

Quanto ao peso seco de uma planta, a sua produção é dependente da quantidade de água transpirada através dos estômatos das folhas, que ocorre antes do sol raiar, também influenciada pela temperatura e umidade atmosférica (SQUIRE, 1990). No entanto, Felipe (1986) cita a importância da determinação de peso seco, por indicar o aumento de substâncias na formação de um órgão da planta, porém, desconsidera a entrada de água.

Em experimento com a cultura de soja no Estado de Mato Grosso, os maiores incrementos no crescimento da sua parte aérea foi na densidade do solo de $1,2 \text{ Mg.m}^{-3}$, em relação à densidade do solo de $1,0 \text{ Mg.m}^{-3}$ e com comprometimento desta variável a $1,5 \text{ Mg.m}^{-3}$ (SILVA et al., 2006).

Para diferentes graus de compactação, o desenvolvimento radicular da cultura de soja em plantio direto, não mostrou diferença significativa na produção

de grãos e matéria seca, em função da adequada disponibilidade hídrica no período avaliado, ressalvando que ocorreu diminuição na exploração do sistema radicular (CARDOSO et al., 2006).

Trabalhos com a cultura da soja demonstraram que o rendimento e a produtividade não são afetados pela resistência à penetração (RP) e densidade do solo (Ds) dentro de um limite de valores. O limite do grau de compactação que não afeta o rendimento de grãos de soja é de até 2,6 MPa para a RP, Ds até 1,51 Mg.m⁻³ e macroporosidade (Macro) superior a 0,10 dm³.dm⁻³ (SECCO et al., 2004). Segundo Queiroz-Voltan et al. (2000), o adensamento com pressão até 1,50 kg.L⁻¹, não afetaram o número e o peso da matéria seca das vagens de soja IAC-8, nem o peso da matéria seca de vagens de soja IAC-14.

Em relação à velocidade de transporte, resultados de experimentos com diferentes espécies têm revelado que as velocidades mínimas de translocação são da ordem de 10 a 100 cm/h, com obtenções ocasionais de até 300 cm/h, em plântulas jovens. A variação na velocidade é grande e exige grande número de repetições em experimentações (AWAD;CASTRO, 1989).

No caso do brócolo (*Brassica oleracea* var. *italica*), suas raízes podem atingir até 1,5m de profundidade, porém, a maioria se concentra nos primeiros 20-30 cm de profundidade (FILGUEIRA, 2003), onde a compactação pode exercer grande influência no seu desenvolvimento.

Como consequência da compactação, o brócolo pode apresentar plantas defeituosas e menores, e além disso, gastam muita energia para absorver água e não se recuperam mais até o final de seu ciclo (PETERSEN et al., 1996).

A cultura do brócolos foi testada em vasos, avaliando o desenvolvimento radicular e sua relação com a área foliar. Solo com todo o perfil compactado causou uma diminuição de 54% na área foliar e solo com compactação localizada causou redução em torno de 30% (MONTAGU et al., 2001).

Na agricultura,, os sistemas de manejo, causam compactação em níveis que afetam o desenvolvimento radicular das plantas (SOUZA; ALVES, 2003). Um solo pode ser quimicamente equilibrado, mas a compactação deste propicia baixo desenvolvimento da planta, devido à má absorção de nutrientes decorrente do mal desenvolvimento radicular (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000).

Young et al. (1993) testaram o desenvolvimento de batata inglesa, cultivados em solo após diferentes intensidades de tráfego de máquinas na linha de

plântio, obtendo rendimento na colheita 19,4% maior onde as linhas não foram trafegadas (ZTr) após o preparo do solo. O peso seco das hastes e dos tubérculos também foram maiores no ZTr, em comparação aos tratamentos com tráfego de dois tratores de pesos diferentes.

O metabolismo de uma planta pode ser limitado pela compactação do solo, pois diminui os espaços livres do solo e assim reduzindo o oxigênio (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000; PRIMAVESI, 1990). Para Primavesi (1990), um solo grumoso de densidade aparente baixa, (0,9 a 1,2 g/cm³) permite um amplo desenvolvimento radicular, encontrando muita água disponível e gerando uma planta bem nutrida. Queiroz-Voltan et al. (2000) afirma que em compactação moderada (1,20 e 1,35 kg.L⁻¹) a soja teve tendência de aumentar o número de folhas, a área foliar e o número de vagens.

O preparo de solo com diferentes máquinas e implementos para o cultivo de milho, alteram as suas propriedades físicas, sendo que a produção do mesmo se mostrou maior naquele tratamento em que a quantidade de macroporos foi de 1/3 e de microporos 2/3, em relação à porosidade total (MORAES; BENEZ, 1996).

Este trabalho objetivou avaliar a influência da compactação do solo, causada por diferentes intensidades de tráfego de tratores agrícolas de pneus, na pressão radicular da planta de brócolo e na sua produção de massa.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, em Latossolo Vermelho Eutroférico, no período de setembro de 2007 a março de 2008. O clima é o Subtropical úmido mesotérmico (Cfa), altitude de 610 metros, Coordenadas: latitude 23° 18' 36" S e longitude 51° 9' 46" W. A área foi anteriormente ocupada pela cultura da mandioca.

No final de setembro, o solo foi preparado com grade pesada de 20 discos e 0,71 m de diâmetro, marca Super Tatu e posterior nivelamento com grade leve de 36 discos (18"). Em seguida foi feita a escarificação cruzada, com a aplicação de um escarificador de 5 hastes, da marca Jan 022, numa profundidade estimada de 0,4 m. As parcelas do experimento foram delimitadas com estacas e

barbantes, garantindo que a área não sofresse nenhum tráfego até o dia do início do teste. Foram marcados 6 pontos fora da área das parcelas para não sofrer tráfego, e no mesmo dia e momentos antes do teste com tráfego das máquinas, foram feitas amostragens nestes pontos, para análise química do solo em profundidades de 0-0,5 m, 0,5-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. Em seguida foram coletadas amostras de solo em anel nas mesmas profundidades das amostras para análise química, para avaliar a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, a umidade gravimétrica e a umidade volumétrica.

Adotou-se a prática de irrigação a partir de fevereiro de 2008.

Tabela 4.1 – Análise química do solo coletado após o nivelamento, em Latossolo Vermelho Eutroférico. Fazesc-UEL – Londrina – PR (2007)

Amostra	pH	Ca	Mg	K	Na	CTC (pH7,0)	V	P disp
CaCl ₂		cmol/ dm ³				%	mg/dm ³	
00 -20 cm	5,78	4,71	2,04	0,49	0,03	10,35	70,21	9,33
20-40 cm	5,72	3,89	1,66	0,33	0,02	9,12	64,67	5,09

A análise química evidenciou disponibilidade adequada de nutrientes para o desenvolvimento da cultura do brócolo.

Tabela 4.2 – Valores médios dos parâmetros físicos obtidos em pontos aleatórios da área de ensaio, após a escarificação cruzada e no mesmo dia do teste de tráfego.

Profundidade (m)	Ds (Mg.dm ⁻³)	Uv (%)	Ug (%)	Ma (m ³ .m ⁻³)	Mi (m ³ .m ⁻³)	Pt (m ³ .m ⁻³)
0 a 0,05	1,06	23,80	22,57	0,29	0,33	0,61
0,05 a 0,10	1,06	24,35	22,97	0,30	0,33	0,63
0,10 a 0,20	1,06	24,23	22,90	0,31	0,33	0,64
0,20 a 0,40	1,11	26,21	23,62	0,23	0,37	0,60

Ds: densidade do solo; Uv: umidade volumétrica; Ug: umidade gravimétrica; Ma: Macroporosidade; Mi: microporosidade; Pt: porosidade total.

Os dados iniciais da área do ensaio, apresentados na Tabela 4.2, demonstram uniformidade para os valores de Ds, Ma e Mi, até 0,20m de profundidade, efeito claro da escarificação. A partir de 0,2 m, observa-se valor superior de Ds, redução da Ma e aumento da Mi, o que pode ser atribuído aos efeitos residuais no solo e que a escarificação não alterou.

Cada linha de plantio foi considerada uma parcela e sofreram diferentes quantidades de passagens de 3 tratores diferentes, descritos abaixo.

a) Trator John Deere JD 6405: pneu traseiro largo de configuração diagonal e com 0,60m de largura, marca Firestone 23.1-30, lastro com 75% de água e pressão interna de 0,110 MPa; pneu dianteiro marca Fate 14.9-26, lastro com 75% de água e 0,110 MPa de pressão; contrapeso de base de 80 Kg e 4 contrapesos adicionais de 50 Kg cada.

b) Trator Massey Ferguson MF 285: pneu traseiro estreito com 0,30m de largura, marca Dunlop 12.4-38 RT33 com 0,193 MPa de pressão; pneu dianteiro marca Pirelli 7.50-16 e pressão de 0,345 MPa. Ambos sem lastreamento com água nem contrapesos.

c) Microtrator Agrale 4100: pneu traseiro com 0,215m de largura, marca Firestone 8.3/8-24 com 0,145 MPa de pressão; pneu dianteiro marca Firestone 4.00-15 com 0,241 MPa de pressão. Ambos sem lastreamento com água nem contrapesos.

Os tratamentos foram: Tzero – sem nenhuma passagem após a escarificação; Ag1 – 1 passagem com Agrale; Ag2 – 2 passagens com Agrale; Ag3 – 3 passagens com Agrale; MF1 – 1 passagem com MF; MF2 – 2 passagens com MF; MF3 – 3 passagens com MF; JD1 – 1 passagem com JD; JD2 – 2 passagens com JD; e JD3 – 3 passagens com JD. A distribuição das parcelas foi em blocos inteiramente ao acaso com 5 repetições e as passagens se deram em velocidade operacional e constante, definindo marcha e rotação do motor.

Utilizou-se o couve-brócolo cv. Ramoso Piracicaba. As mudas foram produzidas em bandejas de isopor de 200 células, transplantadas em fila dupla com 0,40m entre plantas na linha e 0,80m entrelinhas, totalizando 20 plantas por parcela. As covas foram feitas com bastão de madeira pontiguada com 0,04m de diâmetro, perfurando 0,10m de profundidade. Utilizou-se 3 gramas de adubo químico formulado 04-14-08 por cova.

As plantas daninhas foram controladas com enxada manual, superficialmente e com o operador se posicionando nos corredores, com o cuidado de não alterar os resultados do tráfego.

O transplante ocorreu em 8 de novembro e neste mesmo dia foi aplicado um inseticida à base de fipronil, para o controle preventivo de formigas cortadeiras. Quinze dias após o transplante foi aplicado um inseticida sistêmico do

grupo neonicotinóides para o controle de outras pragas. No dia seguinte foi aplicado um adubo foliar, contendo boro e zinco.

4.3.1 Avaliações

4.3.1.1 Pressão radicular

Esta avaliação objetiva medir a velocidade de translocação da seiva bruta pelo xilema. Toda a área foi previamente irrigada no final do dia anterior em abundância, observando o início de um escoamento superficial para a sua suspensão.

Foi escolhida uma planta de cada parcela descartando-se nesta as duas plantas da extremidade da linha, iniciando-se a leitura às 6:30 horas da manhã e término entre 7:30 e 8:00 horas, de acordo com o horário de ocorrência do fenômeno, segundo Awad e Castro (1989) e Primavesi (1990). O teste foi realizado a partir do dia 02/01/2008 até o dia 06/01/2008, sendo cada dia em 1 bloco, envolvendo todos os tratamentos e parcelas do mesmo.

Da planta eleita, a parte aérea foi cortada a 0,05m acima do nível do solo e separada para pesagem a fresco e seco, sendo acondicionada em sacos plásticos para não perder umidade.

A determinação da pressão radicular segue o seguinte procedimento: sobre a porção restante do caule foi colocada uma luva de borracha transparente e sobre a luva é encaixada uma rolha sintética perfurada no centro. Na perfuração foi introduzido um cano metálico de aproximadamente 3 mm de diâmetro e 0,05m de comprimento. Uma mangueira de aproximadamente 3 mm de diâmetro, graduada a cada 5 cm e tutorada em haste metálico ou de bambu, foi conectada a este cano, e assim se procedeu a leitura da seiva translocada nesta mangueira, a cada 5 minutos e até completar 60 minutos (cm/5 minutos).

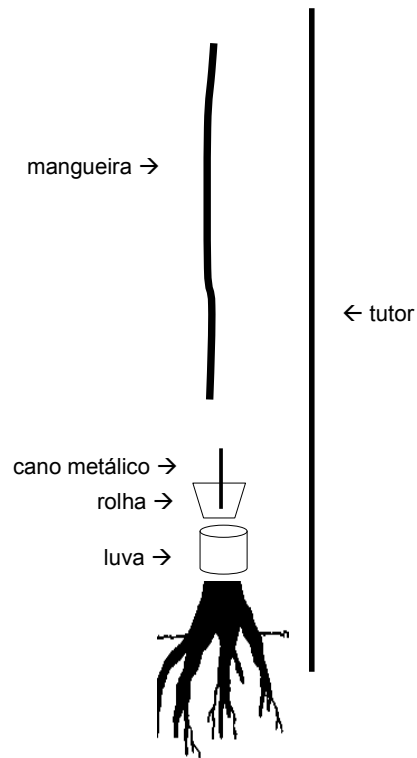


Figura 4.1 – Conjunto medidor da pressão radicular.



Figura 4.2 – Utilização de equipamento para medição da pressão radicular. Londrina, 2008.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste Tukey a 5%.

4.3.1.2 Peso fresco e seco

A parte aérea coletada foi levada logo em seguida para a pesagem em balança eletrônica. Logo após a pesagem do peso fresco da parte aérea (PFPA) e em função do grande volume de material, procedeu-se a secagem em casa-de-vegetação, dispondo o material em varais e aí permanecendo por 20 dias para posterior determinação do peso seco da parte aérea (PSPA). Assim, a variabilidade que a metodologia poderia induzir foi uniforme para todo o material.

A escavação das raízes se deu do dia 15 a 18/01/2008, para se obter um monólito de dimensões de 0,4 x 0,4 x 0,4m. As raízes foram extraídas com jato de água, segundo o método de escavação modificado (BÖHM, 1979). O material foi levado para secagem em estufa de ventilação forçada a 50° C por 72 horas. Foi determinado o peso seco da raiz (PSR) em balança semi analítica.



Figura 4.3 – Coleta do sistema radicular segundo o método de escavação modificado (Böhm, 1979). Londrina, 2008.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste Tukey a 5%.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No parâmetro translocação de seiva (sem comparação com a testemunha Tzero), houve diferença significativa na avaliação do número de passagens, sendo o trator JD com 3 passagens o que teve a menor translocação (70,40 cm/hora).

Tabela 4.3 – Valores médios de translocação de seiva TRANSL (cm/hora), peso fresco da parte aérea (PFPA), peso seco da parte aérea (PSPA) e peso seco da raiz (PSR)(g), em parcelas submetidas a três intensidades de tráfego com diferentes equipamentos. Londrina, 2008.

PARÂMETROS ANALISADOS	Tzero	Nº DE PASSADAS	MODELO DE TRATOR			MÉDIA
			JD	MF	AG	
TRANSL	113,60	1	118,40 ABa	167,20 Aa	118,20 Ba	134,60
CV% = 33,44		2	143,00 Aa	120,40 Aa	91,80 Ba	118,40
CV% = 39,35		3	70,40 Bb	150,60 Aa	198,60 Aa	139,87
MÉDIA			110,60	146,07	136,20	
PFPA	1726,35	1	1123,03	1122,89	1363,70	1203,21 A
CV% = 24,90		2	1006,46	1069,40	983,05	1019,64 A
CV%= 24,54		3	1291,35	1116,96	1177,20	1195,17 A
MÉDIA			1140,28 a	1103,08 a	1174,65 a	
PSPA	202,93	1	135,67	136,51	155,78	142,65 A
CV% = 23,17		2	118,86	124,22	123,70	122,26 A
CV%= 22,05		3	153,43	131,25	136,58	140,42 A
MÉDIA			135,99 a	130,66 a	138,69 a	
PSR	9,81	1	5,32	6,43	6,92	6,22 A
CV% = 28,99		2	5,82	5,88	6,83	6,18 A
CV%= 28,22		3	7,33	6,46	7,47	7,09 A
MÉDIA			6,16 a	6,26 a	7,07 a	

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a nível de 5%, em análise que não considera os valores de Tzero e resulta no CV% apresentado.

Os valores em negrito são aqueles que se distinguem estatisticamente dos valores de Tzero nas respectivas profundidades.

No tratamento JD, a translocação foi superior com duas passagens, em relação ao tratamento com três passagens. Com o trator MF, foram observados resultados iguais nos três níveis de tráfego. Para o tratamento Agrale, a intensidade de três passagens foi superior do que com uma ou duas passagens.

Para comparação de tratores com uma e duas passagens, não houve diferença significativa entre os tratamentos, embora MF1 tenha apresentado

valor 29% superior a JD1 e AG1. Analogamente, JD2 atingiu velocidade de translocação 36% maior do que AG2. Esta variação de velocidade entre estes tratamentos, pode ser devido a variação no contato solo-raiz. Preconiza-se o aumento do número de repetições para este tipo de teste, em futuros trabalhos.

Comparando os tratamentos com 3 passadas, o tratamento JD3 teve a menor translocação, diferindo estatisticamente de MF3 e AG3. AG3 teve uma translocação 65% mais rápida do que JD3.

Neste aspecto, apenas dois tratamentos promoveram translocação de seiva inferiores ao T Zero. Isto significa que apesar da maior resistência do solo à penetração, constatada por Shingo et al. (2009), o sistema radicular teve capacidade de superar o volume de seiva translocada, apesar da redução do seu peso seco. Isto significa que o volume do sistema radicular não foi determinante para o volume de seiva transportada e de água absorvida.

Possivelmente, o suprimento adequado de água e nutrientes teve grande influência na translocação de seiva, onde a maioria se igualou a Tzero. Provavelmente, em condições de estiagem as diferenças se acentuariam.

A terceira passagem com o trator JD (JD3) causou grande diminuição na translocação de seiva, provavelmente por se tratar de trator pesado e a sua intensidade ter diminuído os espaços livres e o oxigênio do solo, concordando com Queiroz-Voltan et al. (2000) e Primavesi (1990) que verificaram a redução no metabolismo da planta por causa da compactação do solo.

Na análise das variáveis PFFA, PSPA e PSR, o teste indicou diferença não significativa, comparando o tipo de máquina e o número de passadas. Os resultados concordam com vários autores, que não obtiveram diferença significativa na produtividade, considerando intervalos de valores de RP e Ds (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000; SECCO et al., 2004). Mesmo sob compactação, a produção não foi afetada em função da adequada disponibilidade hídrica no período avaliado, corroborando Cardoso et al. (2006) que fez esta constatação e também observou menor exploração do sistema radicular.

Comparando a média de Tzero com a média dos tratamentos, não se obteve diferença significativa. Contudo, a pior translocação ocorreu no tratamento JD3. Nos outros tratamentos, os valores obtidos foram muito variáveis, hipoteticamente devido à variação no contato raiz-solo, onde um melhor contato favoreceria a absorção de água do solo.

Na variável PFPA, embora o Tzero tenha se diferenciado significativamente dos tratamentos com 2 passadas, teve massa 21% maior do que a média que mais se aproximou, ou seja, do tratamento AG1 (trator leve). A importância de se estabelecer regiões sem tráfego após o preparo do solo é visível ao se estabelecer o PSPA, onde o Tzero se diferenciou significativamente de vários tratamentos (Tabela 4.3). O PSPA de AG1 (trator mais leve) não teve diferença significativa em relação a Tzero, porém, teve o valor mais próximo, mas é 23% menor.

Avaliando o PSR, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Os valores mostram uma certa proporcionalidade entre o peso seco da parte aérea e da raiz. Desta forma, o PSR de Tzero também acompanha esta tendência, sendo 29% maior do que o tratamento com valor mais próximo, neste caso o AG3.

Ao confrontar a translocação nos tratamentos com as outras variáveis aqui analisadas, percebe-se que não há uma tendência de influência da primeira variável sobre as outras. Felipe (1986) afirma que a entrada de água não é importante na determinação do peso seco de uma planta. Para Squire (1990) a quantidade de água transpirada influencia na formação de matéria seca, embora a temperatura e a umidade atmosférica também exerçam influência no resultado final.

O aumento da densidade do solo é benéfico para aumentar a capacidade osmótica de absorção de água pelas raízes e passará a ser prejudicial quando este aumento induzir a redução do volume do sistema radicular ou dificultar seu aprofundamento no solo.

Enfim, houve uma tendência geral de menor formação de massa (peso fresco e seco) nos tratamentos compactados. O fato sugere que é importante a definição de linhas de tráfego dentro das áreas mecanizadas.

4.5 CONCLUSÕES

- O sistema radicular do couve brócolo dos tratamentos com compactação, aumentou a capacidade de absorção de água e de translocação de seiva, mesmo ocorrendo a redução de seu peso;

- A variação de translocação de seiva não significou proporcional variação da massa seca da parte aérea da planta.

4.6 REFERÊNCIAS

- AWAD, M.; CASTRO, P. R. C. **Introdução à fisiologia vegetal**. São Paulo : Nobel, 1989. 177 p.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188 p.
- CARDOSO, E. G. et al. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, mar. 2006.
- FELIPPE, G. M. Desenvolvimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal 2**. 2. ed. São Paulo: EPU, 1986. p. 1-37.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. p. 274-294.
- MONTAGU, K. D.; CONROY, J. P.; ATWELL, B. J. The position of localized soil compaction determines root and subsequent shoot growth responses. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 364, p. 2127-2133, nov. 2001.
- MORAES, M. H.; BENEZ, S. H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma terra roxa estruturada e na produção de milho para um ano de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 2, p. 22-30, dez. 1996.
- PETERSEN, M.; AYERS, P.; WESTFALL, D. Managing soil compaction. **Soil Crop Series**, n. 0.519. 4 p., feb. 1996.
- PRIMAVESI, A. M. **Manejo Ecológico do Solo**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 549p.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 929-938, 2000.
- SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SEIXAS, J. **Níveis de compactação do solo na cultura do milho (*Zea mays*)**. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SHINGO, G. Y.; RALISCH, R.; VENTURA, M. U. Efeito de diferentes intensidades de tráfego de tratores sobre a resistência à penetração e desenvolvimento radicular de couve-brócolo em latossolo vermelho eutroférico. Londrina, 2009.

SILVA, G. J., MAIA, J. C. S., BIANCHINI A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um latossolo vermelho-escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p. 31-40, 2006.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um latossolo vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

SQUIRE, G. R. **The physiology of tropical crop production**. Wallingford: CAB International, 1990. 236 p.

YOUNG, I. M. et al. Differences in potato development (*Solanum tuberosum* cv. Maris Piper) in zero and conventional traffic treatments are related to soil physical conditions and radiation interception. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, p. 341-359, 1993.