

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA
AGR99006 - DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Macgaiver Edgard Steffler
213932**

“Manejo e conservação do solo sob áreas em sucessão anual com soja”

Porto Alegre, abril de 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA

Manejo e conservação do solo sob áreas em sucessão anual com soja

Macgaiver Edgard Steffler

213932

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Engenheiro Agrônomo, pela Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Supervisor de campo: Dr. Henrique Debiasi, Pesquisador da Embrapa Soja

Orientador Acadêmico: Dr. Michael Mazurana, Professor Adjunto do Departamento de Solos

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Profa. Beatriz Maria Fedrizzi - Departamento de Horticultura e Silvicultura

Prof. Pedro Alberto Selbach - Departamento de Solos

Prof. Fábio Kessler Dal Soglio - Departamento de Fitossanidade

Profa. Carine Simioni - Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

Profa. Mari Lourdes Bernardi- Departamento de Zootecnia

Profa. Renata Pereira da Cruz- Departamento de Plantas de Lavoura

Porto Alegre, abril de 2016

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, Jorge e Iria, por me apoiarem em todos os momentos da graduação e tornarem possível a conclusão do curso de agronomia. Também aos amigos da pós-graduação e colegas bolsistas do grupo de pesquisa do manejo do solo e mecanização agrícola, aos professores Dr. Renato Levien, pela orientação durante os anos de iniciação científica, e o professor e amigo Dr. Michael Mazurana, pela orientação acadêmica neste estágio, os quais não mediram esforços para essa conquista.

RESUMO

O estágio foi realizado na cidade de Londrina na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Unidade de Pesquisa com Soja em 2015 com objetivo de aprofundar os conhecimentos práticos e teóricos na área de manejo e conservação do solo. A principal atividade realizada foi avaliação do sistema radicular da cultura da soja submetida a diferentes sistemas conservacionistas de preparo do solo, através da coleta de monólitos e determinação da massa seca em cinco profundidades.

Através do estágio foi possível compreender a distribuição radicular no perfil do solo, o qual aproximadamente 70% da massa seca se encontra nos primeiros 0,1m, e confirmando a importância da rotação de culturas para melhorar as características físicas de solos com camadas adensadas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Massa seca de raízes de soja (%) em cinco camadas de solo, sob diferentes sistemas de preparo do solo, no município de Londrina-PR.	21
--	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clima (A) e altitude (B) do Estado do Paraná.	9
Figura 2. Perfil de um Latossolo Vermelho Distroférico no município de Londrina-PR, preparado e demarcado até a profundidade de 50 cm, pronto para coletar as raízes de soja (esquerda). Lavagem das raízes de soja submetidas a água corrente com uso de peneira de 0,5 mm (direita).....	18
Figura 3. Preparação das lâminas de vidro com disposição das raízes de soja antes do escaneamento (esquerda) e lâmina com raízes de soja pronta para serem escaneadas (direita).....	19
Figura 4. Distribuição radicular de raízes de soja (kg ha^{-1}) em cinco profundidades submetidos a diferentes níveis de compactação do solo em um Latossolo vermelho distroférico no município de Londrina-PR.....	22

SUMÁRIO

1.	Introdução	8
2.	Caracterização do meio físico e socioeconômico da região de realização do trabalho	9
3.	Caracterização da instituição de realização do trabalho	10
4.	Referencial teórico	11
5.	Atividades Realizadas	14
5.1	Atividade 1	15
5.2	Atividade 2	16
5.3	Atividade 3	16
6.	Discussão	19
7.	Considerações finais	23
	Referências Bibliográficas	24

1. INTRODUÇÃO

A soja é a principal *commoditie* agrícola produzida no Brasil, sendo responsável, na safra 2014/2015 dados da CONAB 2015, por cerca de 31,4 bilhões de dólares em exportações de grãos, óleo e farelo, e cultivada desde o extremo sul do estado do Rio Grande do Sul até o norte do estado do Maranhão.

Por ter sido adaptada ao longo dos anos a diferentes condições de clima e solo e, por ter seu valor cotada como *commoditie*, a cultura da soja tem feito parte dos principais sistemas de cultivo utilizados para abertura de novas áreas, sendo antecedida geralmente por pastagem. Muitas destas áreas são manejadas em sistema de preparo convencional (SPC), promovendo uma acelerada degradação do solo através da erosão hídrica, reduzindo a fertilidade e, conseqüentemente, a produtividade da cultura ao longo dos anos. Em contraponto a isso, o desenvolvimento do sistema plantio direto (SPD) permitiu minimizar a erosão do solo, principalmente pela manutenção da cobertura vegetal e, por melhorar gradativamente a fertilidade dos solos.

Com a implantação do SPD a produtividade das principais culturas agrícolas (Ex. milho e soja) aumentou consideravelmente, sendo associado aos benefícios que esse sistema proporciona. Exemplo disso é a diminuição do desenvolvimento de plantas daninhas e variação da temperatura como a manutenção da palha em superfície; aumento da atividade microbiana do solo; redução do impacto da chuva sobre a superfície do solo; incremento de matéria orgânica e a ciclagem e reciclagem de nutrientes através da decomposição da palha; e a melhora da estrutura do solo através do sistema radicular em conjunto com os pontos supracitados. Isso é possível e potencializado quando se usa a rotação de culturas, um dos pilares para o sucesso do SPD.

O conhecimento das características físicas do solo, bem como a distribuição e profundidade do sistema radicular das culturas no perfil do solo é fator fundamental para alcançar altas produtividades, especialmente na cultura da soja. Quando o desenvolvimento radicular não se dá plenamente em profundidade no solo (muitas vezes limitado por camadas compactadas devido ao intenso tráfego de máquinas decorrente dos tratos culturais ou por excesso de pastejo animal) associado a períodos de déficit hídrico, ocorrem quebras de safra, acarretando em prejuízos financeiros diretamente para o produtor.

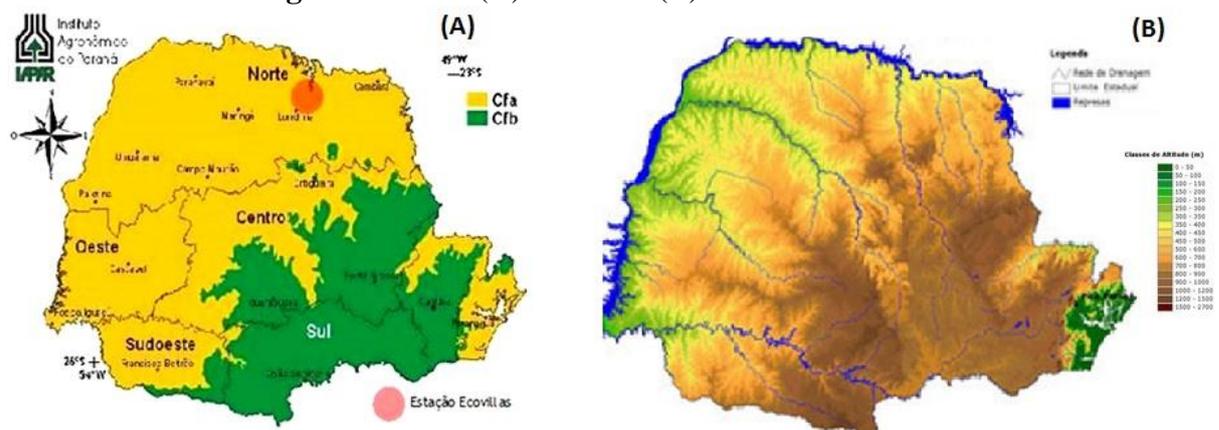
O estágio supervisionado foi realizado no centro de pesquisa da Embrapa Soja, um dos principais centros de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para diversas culturas, onde os estudos relacionados ao manejo e conservação do solo são conduzidos a mais de 30 anos em sistemas de rotação e sucessão de culturas. A Embrapa Soja está localizada no município de Londrina-PR, o estágio foi realizado no período de 5 de janeiro de 2015 à 5 de abril de 2015,

totalizando 456 horas. Teve como principal objetivo aperfeiçoar os conhecimentos práticos e teóricos nos principais sistemas de manejo do solo e da cultura, compreender as características físicas que limitam o desenvolvimento do sistema radicular e participar das metodologias de amostragem de raízes.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIO ECONÔMICO DA REGIÃO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

Situado a 340 km da capital Curitiba e com área de 1.652,6 km², o atual município de Londrina tem sua origem em 1929 com a chegada da primeira expedição inglesa denominada Companhia de Terras do Norte do Paraná. Entretanto, apenas em 1934 o então conglomerado de pessoas teve seu nome registrado como Londrina, nome esse em homenagem a cidade de Londres. Localizada na mesorregião norte central paranaense (Latitudes 23°08'47" e 23°55'46" Sul e 50°52'23" e 51°19'11" Oeste) apresenta altitude de 600 m (IBGE, 2010), o que permite uma condição climática favorável para o desenvolvimento da agropecuária. Neste sentido, o clima segundo Köppen é do tipo Cfa (subtropical úmido mesotérmico, com temperaturas médias anuais de 20°C podendo chegar a 0°C) e apresenta média anual precipitação pluvial de 1.340 mm, com tendência de maiores índices durante o período de verão (Figura 1).

Figura 1. Clima (A) e altitude (B) do estado do Paraná.



Fonte: IAPAR/PR

Essa região apresenta relevo plano a ondulado com predominância de Latossolos Vermelhos, Nitossolos e Neossolos litólicos (IAPAR & Embrapa, 2009). O principal recurso hídrico do município é o rio Tibaji que deságua no rio Paranapanema compondo a bacia do rio Paraná.

No que tange a demografia, a população atual é de 548,2 mil pessoas (97% residentes na zona urbana), o que coloca Londrina como a segunda cidade mais populosa do Paraná (IBGE, 2010). O índice de desenvolvimento humano do município é 0,778 e Produto Interno Bruto per capita é de R\$ 24.872,00.

Como principais atividades agrícolas da região destacam-se as culturas da soja com aproximadamente 40 mil hectares cultivados, trigo com 19,2 mil hectares e milho com 15 mil hectares, produzindo um total aproximado de 237 mil toneladas de grãos por safra. Dentre as principais culturas perenes estão o café com 1.648 hectares e laranja com 310 ha cultivados no município. A agropecuária londrina possui também um rebanho bovino de 53.000 cabeças com produção de 4,5 milhões de litros de leite por ano, além de 13.050 suínos e 2 milhões de aves em geral (LONDRINA, 2013).

3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

Criada em 26 de abril de 1973 a EMBRAPA está vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA. Desde sua criação assumiu o desafio de desenvolver, em conjunto com parceiros, um modelo de agricultura e pecuária voltado às condições brasileiras, atendendo às diferentes condições do País.

Dividida em unidades orgânicas com autonomia de pesquisa e difusão de conhecimento, a Embrapa Soja é uma das 47 unidades de pesquisa. Inicialmente constituída junto da Empresa Paranaense de Classificação de Produtos (Claspar), mudou-se mais tarde para junto do Instituto Agrônômico do Paraná IAPAR em 1975. Aproximadamente 14 anos depois, a instituição ganhou sede própria, contando com uma fazenda experimental de 350 hectares, localizada no Distrito de Warta, em Londrina, no Paraná, onde permanece até hoje.

Estabelecida com propósito de desenvolver tecnologias para produção de soja no Brasil (até a década de 70 toda soja cultivada no mundo restringia-se a latitudes superiores a 30° e climas temperados e subtropicais tornou-se referência mundial em pesquisa para cultura da soja em regiões tropicais, rompendo a barreira climática, e desenvolvendo variedades adaptadas às condições tropicais em baixas latitudes, fazendo com que a cultura se espalhasse por todo território nacional. Sua importância em termos de pesquisa pode ser resumida pela análise da importância que a cultura da soja atingiu no País, passando de 10 milhões de toneladas, em meados de 1975-1980 para 96,2 milhões de toneladas na safra 2014/2015 (CONAB, 2015),

sendo cultivados aproximadamente 32 milhões de hectares da cultura, colocando o País como segundo maior produtor da *commoditie* do mundo.

Além do desenvolvimento de novas cultivares e tecnologias de produção, a Embrapa Soja desenvolve pesquisas na área de manejo e fertilidade dos solos, manejo de sistemas de culturas adaptados aos ecossistemas brasileiros, manejo integrado de pragas e plantas indesejáveis, controle biológico de lagartas e percevejos, e pesquisa da cultura do girassol para todo território nacional, entre outras linhas de atuação.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

A soja (*Glycine max* L.) teve sua origem na China com relatos de sua utilização há mais de cinco mil anos, sendo considerada pelos chineses (juntamente com trigo e o arroz) um grão sagrado. Introduzida no Brasil em 1882 pelo professor Gustavo Dutra, teve seu cultivo em maior escala iniciado em 1914 no município de Santa Rosa, no Rio Grande do Sul. No entanto, apenas em 1941 começou a ganhar importância econômica, com uma área cultivada de 640 hectares e rendimento médio de 700 kg/ha (EMBRAPA, 2004).

Durante a década de 1960, a política de subsídios, a correção do solos e melhorias na fertilidade através da “Operação Tatu”, juntamente com incentivos do governo para a produção de trigo, beneficiaram igualmente a soja, tornando uma cultura economicamente importante para o País. Entretanto, foi na década de 1990 que a cultura expandiu com a abertura de novas áreas na região do Centro Oeste brasileiro fazendo com que o País se tornasse o segundo maior produtor de soja a partir dos anos 2000 (EMBRAPA, 2004).

A soja é uma planta herbácea da família das Fabaceas, apresentando sua germinação entre 7 a 10 dias após a semeadura (DAS). O crescimento vegetativo inicia com a emissão das folhas trifoliadas, onde a planta desenvolve entre 16 e 20 nós, em condições ambientais favoráveis, num período de 50 a 55 DAS. Na inserção do pecíolo da folha com o caule estão as gemas axilares, onde se originam flores, legumes e ramos, variando conforme a densidade de plantas por área, aumentando a sua quantidade com uma menor população e espaçamento entre fileiras (THOMAS e COSTA, 2010).

A semente de soja necessita de 50% de umidade para iniciar a germinação. A semente composta pelo tegumento, responsável por controlar a entrada de água e proteger o embrião, pelos cotilédones, que armazenam as reservas de carboidratos e proteínas e pelo eixo embrionário qual originará a parte aérea e radicular da planta. (THOMAS e COSTA, 2010).

O sistema radicular da soja é composto por um eixo principal, formado pela radícula e um grande número de raízes secundárias, distribuídas principalmente nos primeiros 20 cm de profundidade. No início dos estádios vegetativos a raiz pivotante tem rápido desenvolvimento (Gandolfi et al., 1983).

Segundo Thomas e Costa (2010), um dos principais limitantes para obtenção de altos rendimentos é a necessidade hídrica nos períodos de germinação-emergência e floração-enchimento dos grãos, sendo necessários nestes períodos entre 7 a 8 mm de água por dia. A fertilidade do solo e a radiação associados a compactação do solo que reduz a disponibilidade de oxigênio e água, e podem dificultar o crescimento radicular e o volume de solo explorado pela maior resistência do solo (Cavaliere et al., 2006), e conseqüentemente com ação limitante para o máximo rendimento da cultura de acordo com esses autores, a absorção de nutrientes pelas raízes requer energia proveniente da respiração para sua integral realização, o que não ocorre em solos com compactação excessiva, pela diminuição da presença de oxigênio no solo.

No Rio Grande do Sul a soja vem se expandindo em áreas originalmente de campo nativo, empregando o SPD, o qual tem apresentados alguns problemas de ordem física do solo. A maior parte desses são problemas decorrentes do tráfego intenso de máquinas agrícolas, os quais podem formar uma camada mais adensada tanto na superfície, quanto em subsuperfície do solo, limitando o desenvolvimento radicular na busca por água e nutrientes, influenciando diretamente sobre a produtividade das culturas (Hamza & Anderson, 2005; Collares et al., 2006, 2008; Beutler et al., 2008). Tais problemas de ordem física foram identificados até a profundidade de 20 cm, onde foi observado maior redução da macroporosidade e porosidade total e aumento da resistência mecânica do solo à penetração de raízes em vista da disposição do sistema radicular nessa camada (Cardoso et al., 2006).

Neste sentido, a avaliação do sistema radicular das plantas no campo tem sido apontada como uma ferramenta importante na identificação de problemas de compactação e proposições de possíveis soluções para os mesmos, conforme apontam trabalhos de Böhm (1979) e Köpke (1981) usando trado do tipo calador e análise das raízes em monólitos de solo. Russel & Ellis (1968) utilizaram métodos de maior tecnologia, como o emprego de Fósforo-32 ou Rubídio-86 como marcadores de raízes que poderiam apresentar problemas potenciais causados por compactação. Além destes métodos, a utilização de radiografia de nêutrons descrita por Willat et al. (1978), a quantificação através de imagens digitais do perfil de solo para determinar o comprimento de raízes foi descrita por Crestana et al. (1994) e a metodologia utilizada por Buman (1994) no intuito de melhorar a qualidade dos monólitos coletados desenvolveram

suportes metálicos com 42 cm de altura por 46 cm de largura por 6 cm de profundidade, são ferramentas importantes na análise de resultados de pesquisa e adequação de trabalhos de campo.

Técnicas que trabalham com menores custos financeiros, tem sido frequentemente utilizadas é o caso da abertura de trincheiras e a utilização de trado de bordas dentadas, citados por De Maria et al. (1999), adaptando a metodologia de Fujiwara et al.(1994), com amostragem de raízes em camadas até a profundidade de 0,4 metros, conservação em solução de água-álcool para posterior secagem em estufa a 60° C por 24 horas e análise dos resultados físico e morfológicos.

Trabalho de De Maria et al. (1999) com raízes em um Latossolo Roxo analisando sistemas de manejo do solo com a utilização de escarificação, SPD e grade pesada na camada até 10 cm de profundidade tem mostrado que cerca de 30% da massa de raízes se concentra nesta camada. Por outro lado no SPD e com o uso de grade pesada são 40% e 50%, respectivamente. Além disso, os sistemas de escarificação e SPD apresentarem uma melhor distribuição das raízes no perfil de solo até a profundidade de 40 cm.

Uma das preocupações relacionadas à compactação do solo é o efeito sobre o crescimento radicular, sendo a relação entre esses parâmetros estudada com o intuito de determinar valores críticos que seriam restritivos ao crescimento das raízes (Rosolem et al., 1994; Alvarenga et al., 1996). Na planta, a compactação pode impedir o crescimento de raízes e diminuir o volume de solo explorado pelo sistema radicular (Foloni et al., 2003, 2006; Beutler & Centurion, 2004), além de alterar a profundidade, a ramificação e a distribuição dessas raízes no solo (Cardoso et al., 2006; Collares et al., 2008).

A avaliação de atributos físicos do solo, como densidade e resistência mecânica do solo à penetração tem sido utilizada para determinar a presença de camadas compactadas (Sidiras et al., 1982; Blevins et al., 1983; Vieira & Muzilli, 1984; Centurion & Demattê, 1985; Castro et al., 1987; Streck et al., 2004), funcionando como indicadores de restrição ao crescimento radicular e de problemas de ordem física. Além destes indicadores, Dias Junior & Pierce (1996) apontam que o adensamento reduz a porosidade total, a macroporosidade, a capacidade de infiltração de água, a aeração e condutividade hidráulica, comprometendo o bom desenvolvimento da planta. Entretanto, os reflexos disso podem ser vistos também no solo. Exemplos disso são a diminuição da taxa de infiltração de água, o escoamento superficial, a erosão hídrica, a poluição e assoreamento dos mananciais de água (Beutler et al., 2004).

Na tentativa de atenuar problemas de ordem física, a aplicação de métodos como preparo reduzido do solo, semeadura direta e escarificação esporádica em áreas de lavoura vêm sendo adotados em substituição aos preparos convencionais (Mazurana, et. al. 2011). No SPD pesquisas demonstram que a camada de 0,10-0,20 m apresenta um maior grau de adensamento do solo, o qual pode restringir o crescimento radicular (Franchini et al., 2009). Adoção do SPD conciliado com um adequado sistema de rotação de culturas podem diminuir os impactos causados pelo tráfego intenso de máquinas agrícolas e melhorar a qualidade física do solo nas camadas superficiais (Franchini, 2011; Costa, 2011; Debiasi & Torres, 2011).

Para Botta et al. (2006), a escarificação do solo tem sido indicada e empregada para solos que apresentam suspeitas de compactação, gerando benefícios imediatos com a ruptura das camadas compactadas, com redução da densidade, aumento da rugosidade superficial, condutividade hidráulica e taxa de infiltração de água no solo. Elts (1989), comparando a infiltração de água entre SPD, SPD mais escarificação e preparo convencional, observaram taxas de infiltração de água até cinco vezes maiores para os tratamentos SPD e SPD mais escarificação, tanto no inverno como no verão.

Entretanto a descompactação mecânica deve ser vista como uma das ferramentas que se dispõe para atenuar problemas de compactação. Isso porque vários fatores afetam o resultado, como o tipo de equipamento e época de realização, incidindo diretamente na erosão superficial, na infiltração e na capacidade de armazenamento de água no solo (Levien et al., 1990).

5. ATIVIDADES REALIZADAS

O estágio foi executado no setor de manejo de solo e cultura, da Embrapa Soja a qual apresenta vários experimentos de campo localizados tanto na sede como em outras áreas, como a da Fazenda Maravilha, bem como em áreas de parceiros da instituição como, por exemplo, Syngenta, Bayer, Crop Science, Cooperativa Coamo e produtores rurais. Durante o período de estágio foram executadas três atividades principais: 1) coleta de amostras indeformadas e determinação de umidade do solo nas mesmas; 2) coleta de gases potencializadores do efeito estufa, e 3) avaliação do sistema radicular na cultura da soja.

Atividade 1. Coleta de amostras indeformadas e determinação de umidade do solo

A determinação de umidade foi realizada em amostras de solo retiradas do experimento denominado “Galerani”. Isso se deu após a ocorrência da chuva no intervalo de dois dias, utilizando um trado tipo calador, um tipo rosca e outro tipo holandês.

O experimento “Galerani” tem por objetivo avaliar como o sistema de preparo do solo associado com o sistema de rotação e/ou sucessão de culturas modificam parâmetros de solo e planta, afim de gerar dados passíveis de aplicação direta no campo. Este possui um delineamento experimental de blocos inteiramente casualizados, com quatro repetições e parcelas subdivididas, sendo tratado estatisticamente como um modelo trifatorial. Os tratamentos principais são: sistema plantio direto (SPD) com a ausência de revolvimento do solo (exceto por ocasião da semeadura, localizado na linha de plantio) e sistema de preparo convencional (SPC) utilizando grade pesada a uma profundidade média de 0,15 m, seguida de grade leve antes de cada cultivo de inverno e verão. Como subtratamentos é constituído por três sistemas de rotação ou sucessão de culturas: sucessão com trigo/soja; rotação com tremoço/milho-aveia/soja-trigo/soja-trigo/soja e; sucessão com soja/milho safrinha. Os tratamentos avaliados foram SPD e SPC com sucessão de trigo/soja.

As coletas de solo foram realizadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40cm e encaminhadas para o laboratório de física do solo onde foi efetuada a pesagem do material e encaminhado para estufa a 105°C por 24 horas. Após esse período foi realizado nova pesagem e determinação da umidade por diferença de peso. Em cada parcela foram realizadas duas amostragens em dois pontos coletadas nas quatro repetições de campo. As coletas do ciclo de secagem mais longo foram realizadas aos dois, três, quatro e seis dias após a chuva, sendo este ciclo interrompido apenas por ocasião de outra chuva.

Além da coleta de solo para determinação de umidade foi efetuada a resistência a penetração em cinco pontos na linha de cultivo, nos momentos em que eram coletadas as amostras indeformadas de solo.

Juntamente com estas amostragens foram coletadas amostras de plantas para determinar a massa seca de cada parcela. Foram realizadas a medição da altura do dossel de plantas de cada parcela, com uso de régua, coletadas plantas em um comprimento de 50 cm na linha de plantio, e posteriormente realizada secagem em estufa a 50°C.

Atividade 2. Coleta de gases potencializadores do efeito estufa

O estudo dos gases potencializadores do efeito estufa faz parte dos trabalhos desenvolvidos pelo laboratório de dinâmica da matéria orgânica do solo, onde são coletadas amostras de gases (principalmente de dióxido de carbono) com uso de caixas retangulares inseridas no solo até a profundidade de 15 cm. Esta coleta foi efetuada no experimento “Galerani” sempre no período da manhã, todas as terças e sextas-feiras. O procedimento consiste na utilização de duas seringas para aspirar os gases presentes na câmara retangular a qual está vedada com água em sua borda. Após a coleta as amostras são encaminhadas ao laboratório onde são envazadas para pequenos tubos os quais são encaminhados para laboratório de análise de gases.

Além da coleta de gases, foi efetuado a coleta de solo com trado na linha de cultivo e entre linhas para determinar a fertilidade do solo de cada local de coleta.

Atividade 3. Avaliação do sistema radicular da cultura da soja

A avaliação do sistema radicular da soja foi a principal atividade realizada no período de estágio. Esta etapa foi realizada na área experimental da Embrapa soja no município de Londrina-PR.

O experimento de compactação do solo tem por objetivo avaliar o efeito do tráfego de máquinas em diferentes sistemas de preparo de solo e sua relação com parâmetros biológicos de plantas. Este consiste em um fatorial contando com diferentes espécies vegetais por diferentes níveis de compactação, sob o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas subdivididas. As espécies vegetais que constituem os tratamentos são o trigo, o milho 2^a safra, a braquiária e a aveia preta. O fator nível de compactação é constituído de quatro estados de compactação (EC) estabelecidos por diferentes intensidades de tráfego e mobilização do solo: Tratamento 1 - SPD com mobilização de solo por meio de um escarificador de 5 hastes espaçadas 35 cm entre si, equipado com rolo destorroador e ponteiros com 8 cm, sendo a profundidade média de escarificação equivalente a 25 cm; Tratamento 2 – SPD sem compactação adicional e sem escarificação; Tratamento 3 – SPD com compactação adicional por 4 passadas (C4) de um trator CBT 4x2 TDA, modelo 8060, completo em lastros, com massa total de 7,2 Mg; Tratamento 4 – SPD com compactação adicional por 8 passadas (C8) de uma colhedora SLC 6200 com o depósito de grãos vazio, equipada com plataforma de colheita de milho (4 linhas), com massa total de 9,5 Mg.

No momento da realização dos tráfegos, o solo encontrava-se na capacidade de campo (conteúdo de água do solo na camada de 0-20 cm de $0,33 \text{ g g}^{-1}$). A escarificação foi realizada quatro dias depois, quando o solo se encontrava em sua consistência friável (conteúdo de água de $0,29 \text{ g g}^{-1}$, na camada de 0-20 cm). No inverno do primeiro ano (2013) foi implantada a cultura do trigo em todas as parcelas (12 repetições). No verão (2013/14), foi implantada a cultura da soja em todos os tratamentos e a partir do inverno de 2014 iniciou-se a diferenciação entre espécies vegetais.

A determinação da estimativa do sistema radicular de uma planta de soja exige um processo de muito cuidado na coleta das amostras nas trincheiras, na lavagem, no escaneamento e processamento dos dados, tornando-se um procedimento que exige muito trabalho e atenção.

A coleta de raízes ocorreu em todas suas 48 parcelas do experimento sob níveis de compactação, sendo efetuada no período de enchimento do grão na cultura da soja, momento de máximo acúmulo de biomassa verde. Inicialmente foram efetuadas trincheiras de aproximadamente $60 \times 80 \times 150 \text{ cm}$ (largura, comprimento e profundidade, respectivamente) no início de cada parcela, o que permite continuidade de avaliações nas parcelas uma vez que este é um procedimento muito evasivo em termos de mobilização de solo.

Para a avaliação radicular foi escolhida uma planta que representasse o padrão das plantas (tamanho e espessura do caule, altura e estado nutricional) para todas as parcelas. Esta planta era alocada no centro da trincheira aberta, facilitando o manuseio no momento da coleta. Inicialmente a parede da trincheira era aplainada de forma que ficasse com ângulo de 90° em relação ao solo, e demarcados profundidade, largura e comprimento das amostras de acordo com a Figura 2, afim de que todas as camadas de solo ficassem idênticas.

Em cada trincheira foram coletadas 15 amostras de raízes que consistiam em três amostras por camada, duas na entrelinha e uma na linha de cultivo e em cinco profundidades, totalizando 720 amostras coletadas nesse experimento. Cada amostra continha 1.190 cm^3 de solo.

Figura 2. Perfil de um Latossolo Vermelho Distroférrico no município de Londrina-PR, preparado e demarcado até a profundidade de 50 cm, pronto para coletar as raízes de

soja (esquerda). Lavagem das raízes de soja submetidas a água corrente com uso de peneira de 0,5 mm (direita).



Fonte: Autor.

O segundo passo do procedimento foi a lavagem e separação das raízes, efetuado em uma casa de lavagem onde foram utilizadas peneiras de 0,5 mm em água corrente em forma de “chuveirinho” (Figura 2). Esta parte do trabalho consistia em colocar o solo na peneira e submeter a um jato de água corrente (chuveirinho) até que o solo se dispersasse e permanecesse na peneira apenas raízes e algumas pequenas impurezas. Após isso era feito a separação das raízes e das impurezas (com pinça, peneira e bacia com água), e também o corte preciso do caule no início do enraizamento (com tesoura de poda). Após isso, as amostras foram armazenadas em potes de vidro com álcool 70% para conservar a amostra.

Após a lavagem os nódulos presentes nas amostras de raízes foram separados. Partes de algumas raízes foram dispostas em laminas de vidro de 10x15 cm (Figura 3), e espalhadas sobre a lâmina com a ajuda de água e pinça (Figura 3), afim de serem escaneadas para posterior processamento das imagens, de forma que representasse o mais próximo possível a amostra para análise em programa matemático. As raízes restantes da amostra assim como os nódulos e raízes escaneadas foram levadas a estufa a 50°C para secagem e determinação de massa seca.

Figura 3. Preparação das lâminas de vidro com disposição das raízes de soja antes do escaneamento (esquerda) e lâmina com raízes de soja pronta para serem escaneadas (direita).



Fonte: autor.

A última parte do procedimento foi o processamento das imagens geradas por meio do uso do software Safira 2.0, o qual atribui pixels as imagens e as converte em números, para determinar o volume, o comprimento, a área e o diâmetro das imagens processadas. Por meio da comparação da massa seca das amostras escaneadas com a massa seca restante foi possível estimar a quantidade de raízes no volume de solo coletado.

Após a etapa de coletas de solo para a análise de raízes foi realizado a coleta de cilindros de solo com estrutura preservada para determinar a densidade, a porosidade, a curva de retenção de água no solo, e a resistência a penetração nas amostras de solo dentro do cilindro, utilizam de penetrógrafo de bancada. As coletas de cilindro foram efetuadas nos mesmos blocos em que foram coletadas as amostras de raízes totalizando 15 amostras por trincheira nas 48 parcelas.

Com base neste conjunto de dados os mesmos foram correlacionados com as diferentes variáveis a fim de se entender como os graus de compactação do solo e as diferentes plantas cultivadas no sistema de sucessão interferem na recuperação da estrutura do solo.

6. DISCUSSÃO

Dentre as diversas atividades realizadas no período de estágio a coleta de dados e o acompanhamento de dissertações de mestrado e teses de doutorado foram as principais atividades realizadas, entre elas a de maior importância no estágio foi a análise do sistema

radicular na cultura da soja sob diferentes preparos conservacionistas de solo, objetivo dos trabalhos das respectivas dissertações e teses.

Analisando de uma forma geral a condução dos experimentos que utilizam sistemas conservacionistas de preparo do solo e comparados com os sistemas citados em diversas bibliografias é possível observar que, de maneira geral, os métodos de manejo do solo empregados servem como apoio para estudantes e pesquisadores no desenvolvimento de novas tecnologias para aplicação direta no campo, para adequação de novas metodologias de coleta e análise de dados, bem como para aprofundar o conhecimento a respeito da relação solo-máquina-planta-atmosfera. Durante o período, a Embrapa disponibilizou equipamentos, laboratórios e mão de obra auxiliar para os estudantes realizarem da melhor forma possível suas pesquisas e coletas de dados no campo, como parte da pesquisa.

Em relação à atividade principal realizada que foi a coleta de raízes para determinação de massa seca e correlacionar com os métodos de preparo do solo e sucessão de culturas, a bibliografia cita várias formas, sendo que as mais utilizadas atualmente são trado, monólito e utilização de tela quadriculada em trincheiras, todos os métodos descritos por Böhm (1979).

O método de extração de monólitos necessita um esforço muito grande para sua retirada devido ao seu tamanho, demandando tempo e mão de obra para realização além de que solos com alto teor de argila, dificultam ainda mais a inserção do suporte metálico (Buman 1994). Além disso, no momento da lavagem das raízes ocorre uma perda muito grande de raízes fasciculadas devido a sua menor massa. Por outro lado é possível visualizar a disposição das raízes principais nas camadas de solo.

Os métodos de amostragem de solo para quantificação das raízes são bem diferentes quanto a operação e forma de amostragem, podendo influenciar nos resultados finais. O método de amostragem com trado descrito por Fujiwara (1994) e utilizado por De Maria (1999) é o mais rápido de amostragem, porém não determina a totalidade de raízes no perfil do solo, pelo fato de que a distribuição radicular varia conforme os perfis do solo e sistemas de cultivo, podendo subestimar a massa de raízes presente no perfil do solo. Por outro lado, a utilização da metodologia descrita por Cardoso (2006) o qual utiliza tela quadriculada colocada rente ao perfil do solo e estabelecendo quadrantes de 5 x 5cm para identificar as profundidades, e posterior lavagem do solo no próprio local da amostragem representa o sistema radicular da planta de acordo como ele se encontra no solo. Esse método de amostragem apresenta uma enorme perda de raízes no momento da lavagem e restringe a poucos centímetros a avaliação da quantidade de raízes presente no perfil do solo.

Com o método de amostragem utilizado no estágio supervisionado (pequenos monólitos de 1.190 cm³ de solo, três por camada, totalizando 15 monólitos por perfil amostrado) é possível quantificar de forma precisa a massa de raízes por quadrante de solo no perfil. Quando comparado com os métodos descritos na literatura, o número de amostras coletadas é muito superior demandando uma grande quantidade de mão de obra para coleta e principalmente para lavagem das raízes. Por outro lado, isso diminui as fontes de erros, uma vez que há uma maior quantidade de amostras, o que representa melhor a distribuição das raízes na planta na condição do campo.

Durante a coleta de raízes nos diferentes tratamentos foi possível observar que nos tratamentos com compactação adicional de quatro passadas de rodado de trator (C4) quanto no de oito (C8), maior adensamento do solo na camada de 0,2m e restrição no desenvolvimento das raízes de soja, com grande quantidade se desenvolvendo na horizontal (Tabela 1). Em relação ao peso de raízes por volume de solo outra diferença observada, porém não comprovada estatisticamente, que nas camadas 0,3 e 0,4 metros, onde apresentaram raízes de maior diâmetro (dados não apresentados).

A quantidade de massa seca de raízes encontrada na camada de 0,10 m foi superior às demais camadas do solo (Tabela 1), corroborando com Gandolfi (1983), porém diferente do encontrado por De Maria (1999), que apresentou até a camada de 10 cm de profundidade no sistema escarificado 30%, SPD 40% e grade pesada 50%. Essa diferença está associada ao método de amostragem utilizado, onde no momento da coleta através do trado pode ocorrer que parte da raiz pivotante principal pode não ter sido coletada, não ocorrendo na amostragem de mini monólitos que coleta todo o sistema radicular.

Tabela 2. Massa seca de raízes de soja (%) em cinco camadas de solo, sob diferentes sistemas de preparo do solo, no município de Londrina-PR.

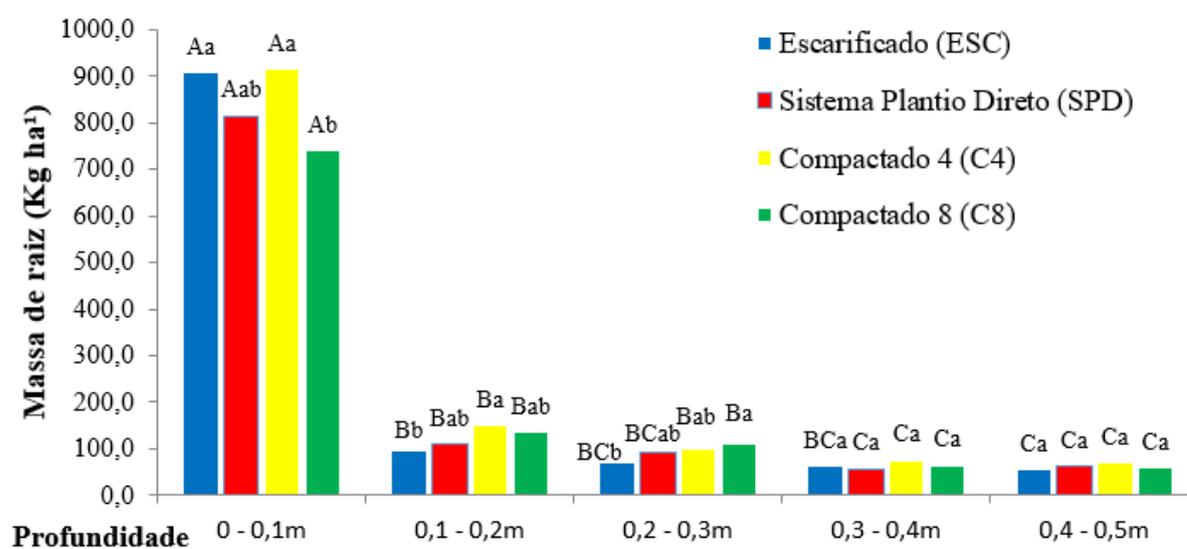
Camada (m)	Escarificado	SPD	Compactado 4	Compactado 8
0-0,1	76 Aa	72 Aab	70 Aa	67 Ab
0,1-0,2	8 Bb	10 Bab	11 Ba	12 Bab
0,2-0,3	6 BCb	8 BCab	8 Bab	10 Ba
0,3-0,4	5 BCa	5 Ca	6 Ca	6 Ca
0,4-0,5	5 Ca	6 Ca	5 Ca	5 Ca
	100	100	100	100

Fonte: Adaptado de BERTOLLO 2015. Dados não publicados.

Conforme a Tabela 1 na camada de 0-0,1 m o tratamento C8 foi estatisticamente diferente dos demais tratamentos apresentando menor massa seca de raízes por volume de solo

amostrado de acordo com a Figura 4. Cavalieri (2006) e Thomas e Costa (2010) atentam para essa redução e atribuem a menor disponibilidade de oxigênio e água nas camadas adensadas como limitantes para altas produtividades em decorrência da menor área de exploração do sistema radicular e maior resistência do solo.

Figura 4. Distribuição radicular de raízes de soja (kg ha^{-1}) em cinco profundidades submetidos a diferentes níveis de compactação do solo em um Latossolo vermelho distroférico no município de Londrina-PR.



Fonte: Bertolho, 2015 (dados não publicados).

Conforme a Tabela 1 e a Figura 4 observamos que nos tratamentos SPD, C4 e C8 o crescimento radicular foi maior nas camadas até 0,1-0,3m quando comparado ao escarificado. Isso demonstra a importância da utilização da rotação de culturas para melhorar as características físicas do solo o qual é submetido ao tráfego intenso de máquinas agrícolas, confirmando o que foi descrito por Franchini em (2011).

Com relação ao rendimento de grãos, os tratamentos não apresentaram diferença estatística com produção aproximada de 2.500 kg ha^{-1} em todos os sistemas de cultivo (dados não publicados).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estágio na EMBRAPA Soja foi possível aprofundar os conhecimentos práticos nos sistemas de manejos e conservação do solo de rotação de culturas, a dinâmica do crescimento radicular na cultura da soja e a sua distribuição no perfil do solo também foi possível observar a restrição imposta por camadas adensadas nos sistemas com maior tráfego de rodados.

A técnica de amostragem de raízes nem sempre pode ser considerada uma técnica precisa, com 100% de representatividade, pois depende da distribuição no solo, da metodologia de coleta, de apresentar ou não camadas adensadas, e da presença de plantas daninhas, que são difíceis de serem separadas no processo de lavagem.

Em última análise, ressalto como pontos positivos a disponibilidade dos pesquisadores em atender os estagiários, buscando explicar o porque de determinada análise ou procedimento realizado, a disponibilização de material didático para apoio (computadores, informática, material para campo) e de laboratório (equipamentos de proteção individual, equipamentos para análises, suporte para realização as análises).

Como pontos a melhorar, há uma grande burocracia para realização do estágio, documentação da UFRGS para a Embrapa – como contrato de serviço, assinatura dos protocolos junto ao DECORDI. Isso, associado a informações desencontradas e por vezes errôneas , o que atrasar e inviabilizar estágios em outras instituições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOLLO, A. M.; MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; MAZURANA, M.; LEVIEN. R.; Desenvolvimento radicular da soja subsequente a plantas de cobertura em latossolo com níveis de compactação. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2015.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. da; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.575-580, 2004.
- BÖHM, W. Methods of studying root systems. Berlin, Springer-Verlag, 1979. 188p.
- BOTTA, G.F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSSATO, H. & TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. *Soil Tillage Res.*, 1:164-172, 2006.
- BUMAN, R.A., SCHUMACHER, T.E., RIDELL, W.E. A modified soil monolith technique for characterizing root systems. **Crop Science**. v. 34. p. 296-99. 1994.
- CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GUIMARÃES, M. de F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema plantiodireto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.493-501, 2006.
- CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; VIEIRA, S.R. & DECHEN, S.C.F. Sistemas convencionais e reduzidos de preparo do solo e as perdas por erosão. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:167-171, 1986.
- CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; COSTA, A.C.S. da. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.137-147, 2006
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.933-942, 2008.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1663-1674, 2006.
- CONAB 2015, Companhia Nacional de Abastecimento. Extraído em 10/3/2016, <http://www.conab.gov.br/>
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; TOZZI, C.L.; TORRE, A. & VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:365-371, 1994
- DE MARIA I.C.; CASTRO O.M.; DIAZ H. S.; Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:703-

709, 1999. Extraído em: <http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v25n4a25.pdf> Acesso em: 10 de março de 2016.

DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F. J. Revisão de literatura: O processo de compactação do solo e sua modelagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:175-182, 1996.

ELTZ, F.M.L.; ORLOWSKI, E. & ROLOFF, G. Efeito de sistema de preparo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico, R. Bras. Ci. Solo, 13:259-267, 1989.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Embrapa soja, **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil**, 2004. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>. Acesso em: 10 de março de 2016.

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; TONON, B.C.; FARIAS, J.R.B.; OLIVEIRA, M.C.N. & TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil, *Field Crop. Res.*, 137:178-185, 2012.

FRANCHINI, J.C; COSTA J.M; DEBIASI, H.; TORRES, E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. Documentos/Embrapa soja, n.327. 2011

FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: BASSELMAN, J.A., ed. *Hidrological modelling of small watersheds*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers. 1982. p.297-300

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. de. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.947-953, 2003.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L. de; BÜLL, T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.49-57, 2006.

FUGIWARA, M.; KURACHI, S.A.H.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C.M. & SAKAI, E. A técnica de estudo de raízes pelo método do trado. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1994. 9p. (Boletim Técnico, 153)

GANDOLFI, V.H.; BAN, A.D.; VILHORDO, B.W.; MULLER, L. Raiz. In: VERNETTI, F.J. Coord. *Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras*. Campinas: Fundação Cargil, 1983. p.26-38

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v.82, p.121-145, 2005.

IAPAR-PR 2016, Instituto Agrônomo do Paraná. Extraído em 10/03/2016 <http://mundogeo.com/blog/2009/05/15/instituto-agronomico-e-embrapa-lancam-novos-mapas-de-solos-do-parana/>

IBGE 2010, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Extraído em 10/03/2016. <http://www.ibge.gov.br/home/>

KERTZMANN, F.F. Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Roxo provocado pela compactação. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1996. 153p. (Tese de Doutorado)

KÖPKE, V. Methods for studying root growth. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM, 1., Londrina, 1980. Proceedings. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1981. p.303-318.

KOCHHANN, R.A. & DENARDIN, J.E. Implantação e manejo do sistema plantio direto. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 2000. 36p.

LEVIEN, R.; COGO, N.P. & ROCKENBACH, C.A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 14:73-80,1990.

MAZURANA M.; LEVIEN R.; MÜLLER J. & CONTE O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. R. Bras. Ci. Solo, 35:1197-1206, 2011

MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS. A.L. Soja - Fatores que Afetam o Crescimento e o Rendimento de Grãos. Evangraf, 2005 31 p. Porto Alegre-RS, 2005.

RUSSEL, R.S. & ELLIS, F.B. Estimation of the distribution of plant roots in soil. Nature, 217:583-583, 1968.

SILVA, I.F. Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivos sobre as propriedades físicas de um Latossolo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1980. 70p. (Tese de Mestrado)

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, p.755-760, 2004.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. **Soja, Manejo para alta produtividade de grão**. Evangraf. Porto Alegre, 2010.

WANG, J.; HESKETH, J. D.; WOOLLEY, J. T. Preexisting channels and soybean rooting patterns. Soil Science, Baltimore, 141:423-437, 1986.

WILLAT, S.T.; STRUSS, R.G. & TAYLOR, H.M. In situ studies using neutron radiography. Agron. J., 70:581-586, 1978