

VINICIUS BROWN

**ATRIBUTOS DO SOLO E DESEMPENHO DE CULTURAS
NOS SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL E
SEMEADURA DIRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Fabrício Tondello Barbosa

**LAGES, SC
2015**

Brown, Vinicius

Atributos do Solo e desempenho de culturas nos sistemas de manejo convencional e semeadura direta / Vinicius Brown. - Lages, 2015.

63p.:il.; 21 cm

Orientador: Fabrício Tondello Barbosa

Inclui bibliografia.

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2015.

1. Manejo do solo 2. Conservação do solo 3. Produtividade de culturas. I. Brown, Vinicius. II. Barbosa, Fabrício Tondello. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título

VINICIUS BROWN

**ATRIBUTOS DO SOLO E DESEMPENHO DE
CULTURAS NOS SISTEMAS DE MANEJO
CONVENCIONAL E SEMEADURA DIRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina,
como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Ciência do Solo.

Banca Examinadora:

Orientador: _____
Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____
Prof. Dr. Ildegardis Bertol
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____
Profa. Dra. Andreia Patricia Andrade
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____
Prof. Dr. Rodrigo Vieira Luciano
IFRS/Bento Gonçalves-RS

Lages, 21 de setembro de 2015

À minha família.

À minha namorada.

Aos professores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu orientador Fabrício Tondello Barbosa, sem ele nem sairia do chão. Em especial, aos professores Ildegardis Bertol, Álvaro Luiz Mafra, Júlio César Pires Santos, David José Miquelluti, Jaime Antônio de Almeida e demais professores da Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo apoio e confiança, compreensão e dedicação, esclarecendo dúvidas e auxiliando em outras dificuldades.

À minha namorada Cristina pelo apoio e compreensão.

Aos meus parentes pela educação, ensino nos caminhos de Deus, conselho e apoio.

Aos amigos discentes da Pós-Graduação em Ciência do Solo e do curso de Agronomia.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e à Capes pela bolsa concedida.

À UDESC pelo ensino gratuito e de qualidade.

Deus nos abençoe sempre.

À todos, muito obrigado!

“Os cientistas dizem que somos feitos de átomos, mas um passarinho me disse que somos feitos de histórias.”

Eduardo Galeano

RESUMO

BROWN, Vinicius. **ATRIBUTOS DO SOLO E DESEMPENHO DE CULTURAS NOS SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL E SEMEADURA DIRETA.** 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, SC. 2015.

Com a pesquisa objetivou-se avaliar atributos físicos e químicos do solo e o desempenho de culturas após 18 anos de condução de dois sistemas de manejo do solo, entre 2013 e 2015 em um Cambissolo Húmico em Lages/SC. Os tratamentos foram formados pela combinação de dois sistemas de manejo (preparo convencional e semeadura direta) e três culturas (milho, feijão e soja). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 3 com parcelas subdivididas. As parcelas constituíram os sistemas de manejo e as subparcelas as culturas, as quais tinham dimensões de 6,5 x 36 m e 6,5 x 12 m, respectivamente. As espécies foram cultivadas nos anos agrícolas de 2013/2014 e 2014/2015 e, ao final de cada ano, foram avaliados o rendimento de grãos (RG), o peso de mil grãos (PMG) e a produção de massa seca de resíduos vegetais da parte aérea (MS). Amostras de solo foram coletadas ao final do segundo ano nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm para determinações químicas de C orgânico, pH, Al, H + Al, Ca, Mg, P e K e determinações físicas de densidade, porosidade, estabilidade de agregados e argila dispersa em água. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Diferenças no desempenho das

culturas ocorreram no segundo ano, constatando-se na semeadura direta maior RG de soja e milho e maior PMG de feijão em comparação ao preparo convencional. Feijão e soja produziram baixa MS, independente do sistema de manejo, enquanto milho produziu maior quantidade e superior na semeadura direta. O tipo de espécie vegetal não influenciou os atributos do solo, enquanto que o efeito do sistema de manejo foi evidente. A densidade do solo foi menor e a estabilidade de agregados e o grau de flocculação foram maiores na semeadura direta em todas as camadas. No preparo convencional a macroporosidade foi maior na camada de 0-5 cm, tendo comportamento inverso em profundidade. Constatou-se na semeadura direta maiores teores de P (camada de 0-5 cm), Ca e Mg (camada de 0-10 cm) e de K e C orgânico (camada de 0-20 cm). Maior acidez foi observada em semeadura direta na camada superficial, com redução do pH e elevação dos teores de Al e H + Al.

Palavras-chave: Formas de manejo; conservação do solo; produtividade de culturas.

ABSTRACT

BROWN, Vinicius. SOIL ATTRIBUTES AND CROP PERFORMANCE IN THE CONVENTIONAL TILLAGE AND NO-TILL MANAGEMENT SYSTEMS. 2015. 63 f. Dissertation (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Lages, SC. 2015.

The research aimed to evaluate physical and chemical soil properties and performance of crops after 18 years of conducting of two soil management systems, between 2013 and 2015 in a Cambisol soil in Lages/SC. The treatments were formed by combining two tillage systems (conventional tillage and no-till) and three crops (corn, beans and soy). The experimental design was a randomized block with four replications in a factorial 2 x 3 split plot. The plots were the management systems and the subplots were the cultures, with dimensions respectively 6.5 x 36 and 6.5 x 12 m. The species were grown in the agricultural years of 2013/2014 and 2014/2015 and, at the end of each year, were evaluated grain yield (RG), the thousand grain weight (PMG) and production of dry biomass of shoot (MS). Soil samples were collected at the end of the second year in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm for chemical analysis of organic carbon, pH, Al, H + Al, Ca, Mg, P and K and physical determinations of density, porosity, stability of aggregate and degree of clay flocculation. Data were subjected to analysis of variance and the means were compared by Tukey test ($p < 0.05$). Differences in crop performance occurred in the second year, finding in the no-till largest RG in soy and corn and higher PMG in bean, compared to conventional tillage.

Beans and soy produce low MS, independent of the management system, while corn produces higher amount and higher in no-till. The type of plant species not influence the attributes of the soil, whereas the effect of management systems was evident. Bulk density was lower and aggregate stability and the degree of clay flocculation were higher in no-till at all layers. In conventional tillage, macroporosity was higher in the 0-5 cm layer, having an opposite behavior in depth. It was found in the no-till higher levels of P (0-5 cm layer), Ca and Mg (0-10 cm layer) and K and organic carbon (0-20 cm layer). Higher acidity was observed in no-till in the surface layer, with reducing the pH and elevated contents of Al and H + Al.

Keywords: Management systems; soil conservation; crop productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Croqui da área experimental.32

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Densidade do solo, estabilidade de agregados e grau de floculação da argila nos diferentes tratamentos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico alumínico léptico.....37
- Tabela 2 - Porosidade total, macroporosidade e microporosidade nos diferentes tratamentos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico alumínico léptico.40
- Tabela 3 - Carbono orgânico, pH, alumínio e hidrogênio + alumínio nos diferentes tratamentos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico alumínico léptico.....43
- Tabela 4 - Cálcio, magnésio, fósforo e potássio nos diferentes tratamentos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico alumínico léptico.44
- Tabela 5 - Peso de mil grãos, rendimento de grãos e massa de resíduos da parte aérea de milho, feijão e soja, nos sistemas de manejo convencional e semeadura direta em dois anos agrícolas, em Cambissolo Húmico alumínico léptico.....47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO PARA PRODUÇÃO AGRÍCOLA.....	19
2.1.1 Considerações iniciais	19
2.1.2 Preparo convencional do solo	19
2.1.3 Semeadura direta	20
2.2 INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO ..	21
2.2.1 Nos atributos físicos do solo.....	21
2.2.2 Nos atributos químicos do solo	24
2.2.3 No rendimento das culturas.....	26
3 HIPÓTESES	28
4 OBJETIVOS.....	29
4.1 GERAL.....	29
4.2 ESPECÍFICOS.....	29
5 MATERIAL É MÉTODOS	30
5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	30
5.2 HISTÓRICO DE USO DO SOLO NO LOCAL DO EXPERIMENTO.....	30
5.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL... 31	
5.4 MANEJO DA ÁREA DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	32
5.5 COLETAS E DETERMINAÇÕES	34
5.5.1 Atributos físicos do solo.....	34
5.5.2 Atributos químicos do solo.....	35
5.5.3 Produção vegetal	35
5.6 ANÁLISE DE DADOS.....	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37

6.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	37
6.1.1 Densidade, estabilidade de agregados e grau de floculação da argila.....	37
6.1.2 Porosidade do solo	39
6.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	41
6.2.1 Carbono orgânico e indicadores de acidez.....	41
6.2.2 Nutrientes de plantas: Ca, Mg, P e K.....	43
6.3 PRODUÇÃO VEGETAL	45
6.3.1 Peso de mil grãos, rendimento de grãos e massa de resíduos da parte aérea.....	45
7 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

O solo faz parte de ecossistemas naturais e agrícolas e, por isso, existe grande preocupação pelo fato de que ele é finito e não é renovado a curto prazo.

No Brasil, os sistemas produtivos empregados nem sempre são adequados para exploração das terras, o que explica, em parte, a sua degradação nos dias atuais. O homem vem sendo indutor dos processos de degradação, sendo o desmatamento, a compactação e a erosão os mais crescentes.

A baixa produtividade de culturas pelo uso e manejo inadequado do solo é um dos problemas enfrentados por agricultores que seguem técnicas insustentáveis, o que empobrece cada vez mais o solo e reduz o retorno econômico da atividade agrícola. A semeadura direta tem se destacado positivamente entre os sistemas de manejo do solo, resultando em manutenção e melhoria nos atributos físicos e químicos do solo, com efeito positivo no rendimento das culturas. O incremento e manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo e a rotação de culturas são fundamentais para a consolidação do sistema de semeadura direta.

Um dos principais objetivos das pesquisas desenvolvidas em manejo do solo é obter respostas frente às alterações provocadas pelas práticas agrônômicas empregadas para os cultivos agrícolas e, assim, estabelecer estratégias para solucionar os problemas. Experimentos de longa duração têm papel fundamental na caracterização e escolha de sistemas de manejo que visem a conservação do solo e mantenham a produtividade das culturas. Assim, estudos são necessários para dimensionar o efeito da adoção destes

sistemas sobre a qualidade e a capacidade produtiva do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO PARA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

2.1.1 Considerações iniciais

O desafio da agricultura está na busca de sistemas de manejo do solo que promovam a sustentabilidade da exploração agrícola e que proporcionem mínima alteração negativa nos atributos do solo (SOARES et al., 2005). Dentre os principais sistemas de manejo utilizados destacam-se o preparo convencional e a semeadura direta.

2.1.2 Preparo convencional do solo

Por muito tempo se preconizava que a melhor forma de preparar o terreno para a semeadura das culturas era através de uma aração profunda, seguida de uma ou mais gradagens, conforme o tipo de solo. Nestas condições, as sementes seriam colocadas em solo solto, onde teriam melhores condições para a germinação (INOUE, 2003). Esta forma de manejar o solo, com intenso revolvimento e que consiste em uma sequência de operações de preparo do solo para a semeadura de uma cultura qualquer, ficou conhecida como preparo convencional do solo (DICKY et al., 1992).

O processo de aração é caracterizado pela inversão das camadas de solo e tem como principais objetivos controlar pragas e ervas daninhas e melhorar a aeração, o movimento de água no solo e o desenvolvimento radicular das plantas. Além disso, serve para incorporar matéria orgânica, adubos verdes, fertilizantes e corretivos. Os implementos mais utilizados

para esta operação são os arados de discos e de aivecas e as grades pesadas (GALETTI, 1988). Geralmente, após a aração, realiza-se uma ou duas operações mecânicas de gradagem leve para destorroar e nivelar a superfície do solo e facilitar, posteriormente, o contato entre o solo e a semente.

Esta forma de manejo tem causado desestruturação da camada de solo preparada, aumentando os processos erosivos e formando impedimentos mecânicos logo abaixo da camada mobilizada pelos implementos, interferindo no desenvolvimento radicular das culturas e acarretando redução na produtividade (BAUDER et al., 1981).

2.1.3 Semeadura direta

A semeadura direta é uma prática conservacionista adequada para ambientes de regiões tropicais e subtropicais, em que é necessário manter o solo protegido do sol e da chuva (SÉGUY et al., 1996). É caracterizada pela ausência de preparo do solo antecedendo a semeadura das culturas, com pequena mobilização apenas na linha de semeadura e manutenção dos restos culturais na sua superfície. O solo coberto apresenta melhorias em sua estrutura, devido ao aumento de matéria orgânica e proteção contra a chuva e enxurrada (SUZUKI; ALVES, 2004; DE MARIA; CASTRO, 1993).

Esta forma de manejo substitui o preparo mecânico do solo por processos biológicos, pois o acúmulo de resíduos e o não revolvimento propiciam condições favoráveis a atividade biológica e incremento de matéria orgânica, resultando em um solo estruturado e pronto para ser semeado (LAL, 1991).

As primeiras experiências com semeadura direta foram realizadas na Inglaterra e nos Estados Unidos da América do Norte. No Brasil, foi introduzida no início da década de 70 do século XX nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Sua efetiva expansão ocorreu ao final da década de 80 e início da década de 90, atingindo a região sob o bioma cerrado (BOLLIGER et al., 2006).

A evolução da semeadura direta propiciou que a mesma fosse considerada um sistema de manejo e não apenas uma técnica. Hoje é reconhecida como uma das mais modernas formas de produção agrícola sustentável, sendo a mais indicada para o manejo de solos tropicais. Envolve todas as técnicas recomendadas para aumentar a produtividade, conservando ou melhorando continuamente o ambiente e caracteriza-se principalmente pela ausência de revolvimento, cobertura permanente do solo e rotação de culturas (EMBRAPA, 2002).

Existem diversos sinônimos ou termos equivalentes para semeadura direta, dentre eles, plantio direto na palha, cultivo zero, sem preparo ou no-tillage, cultivo reduzido e cultivo sem revolvimento (EMBRAPA, 2006).

2.2 INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

2.2.1 Nos atributos físicos do solo

O preparo do solo constitui-se na prática de manejo que mais altera as propriedades físicas do solo. Seu efeito depende do tipo de implemento utilizado, da intensidade de seu uso e das condições de umidade no momento das operações (VEIGA, 2005; SOUZA et al., 2001).

O sistema de manejo preparo convencional promove intenso revolvimento do solo e ocasiona prejuízos à qualidade estrutural do solo (BERTOL et al., 2001). Apesar de aumentar o volume de poros e diminuir a resistência física ao crescimento das raízes dentro da camada preparada, o mesmo degrada as propriedades físicas do solo, pois o revolvimento rompe os agregados, acelera a decomposição da matéria orgânica, compacta o solo abaixo da camada preparada e deixa a superfície descoberta (BERTOL et al., 2004; CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990). Além disso, áreas descobertas e fisicamente degradadas, típicas dos sistemas convencionais de preparo de solo, tem maior erosão hídrica em decorrência da energia cinética do impacto das gotas da chuva em solo não protegido, que desagregam e transportam partículas de solo, provocam o selamento e encrostamento superficial, diminuem a infiltração de água no solo e aumentam a enxurrada (GUADAGNIN et al., 2005; BERTOL, 1995).

Sistemas de manejo com menor revolvimento, tal como a semeadura direta, proporcionam acúmulo de resíduos em superfície e aportam continuamente matéria orgânica ao solo, o que possibilita a manutenção e a recuperação das propriedades físicas do solo (LAL; GREENLAND, 1979; CASTRO FILHO et al., 1998; SOUZA et al., 2001). Neste sistema de manejo, ao longo do tempo, aumentam-se a densidade do solo e a estabilidade de agregados na superfície (COSTA et al., 2003), o que aumenta a resistência do solo ao sulcamento e à erosão hídrica (BERTOL et al., 1997). Entretanto, o grau de consolidação da superfície também é influenciado pelo tipo de solo, tipo de cultivo e tempo de condução do sistema (FERNANDES et al., 1983; VIEIRA, 1985; ELTZ et al., 1989).

Beutler et al. (2001) e Spera et al. (2004) encontraram valores menores de macroporosidade e maiores de densidade e de microporosidade na camada superficial em semeadura direta, quando comparada ao preparo convencional. No entanto, em alguns tipos de solo e/ou sistemas de manejo, esses valores podem não diferir em profundidade ou apresentar valores maiores na subsuperfície do que na superfície (ELTZ et al., 1989). Siqueira et al. (2009) constataram que após 20 anos de manejo sob semeadura direta, não se observam valores críticos de densidade e porosidade do solo prejudiciais ao desenvolvimento das culturas. Já Fernandes et al. (2007) encontraram valores superiores de densidade do solo na camada de 0-5 cm quando comparado ao preparo convencional.

Quanto a estrutura do solo, Carpenedo e Mielniczuk (1990) avaliando a estabilidade e a qualidade dos agregados em água, de Latossolo Roxo distrófico e Latossolo Roxo álico, constataram que o solo sob semeadura direta melhorou a agregação do solo e que as frações menores que 0,5 mm de diâmetro foram agregadas em frações maiores em comparação ao preparo convencional.

A infiltração de água no solo é influenciada pelo sistema de manejo do solo. Silva e Kato (1998) encontraram valores de taxa de infiltração de água maiores em solo com manutenção de cobertura morta. Panachuki et al. (2011) obtiveram taxa de infiltração estável de água no solo menores em semeadura direta sem cobertura do solo e em solo preparado com grade aradora, em relação a semeadura direta com cobertura.

O manejo do solo sob semeadura direta, quando conduzido de forma inadequada, ocasiona compactação do solo, devido às pressões mecânicas exercidas pelo tráfego de máquinas e implementos em condições de

umidade excessiva, ao aporte insuficiente de fitomassa ao solo e ao superpastejo da vegetação em integração lavoura-pecuária (FAGANELLO et al., 2009). Mancuso et al. (2014) destaca que o tráfego intensivo de máquinas em semeadura direta pode diminuir consideravelmente a infiltração. Bertol et al. (2001) obtiveram valores de taxa de infiltração de água no solo, tanto inicial quanto final, maior no preparo convencional do que na semeadura direta.

2.2.2 Nos atributos químicos do solo

Ao comparar sistemas de manejo do solo, tem-se verificado maior disponibilidade de nutrientes em semeadura direta em relação ao preparo convencional (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; CONTE et al., 2003; FALLEIRO et al., 2003). Bayer e Bertol (1999), De Maria et al. (1999) observaram na camada superficial do solo sob semeadura direta maior acúmulo de fósforo e atribuíram este comportamento ao fato de que este elemento é pouco móvel no solo, permanecendo no local onde foi depositado. A ausência de revolvimento e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo contribuem para que isto ocorra. Segundo Almeida et al. (2005), os elementos cálcio e magnésio ficam concentrados preferencialmente na camada de solo de 0-10 cm em semeadura direta, devido à baixa mobilidade no solo, o que impede seu deslocamento para as camadas mais profundas. Para o elemento potássio, Pereira et al. (2009) obteve maiores teores na camada de 0-10 cm de solo, sendo superior na semeadura direta do que o tratamento convencional. Resultados semelhantes foram obtidos por De Maria et al. (1999) e Almeida et al. (2005).

Em trabalhos realizados por Neto et al. (2008) e Andrade et al. (2012), avaliando sistemas de manejo de áreas experimentais conduzidas sob longa duração, em Latossolo e Cambissolo, respectivamente, os autores observaram aumento nos teores de carbono orgânico total em semeadura direta e diminuição dos teores no preparo convencional.

Quanto aos atributos químicos do solo indicadores de acidez, Wendling et al. (2012) obteve em áreas cultivadas sob semeadura direta maiores valores de pH do solo em relação ao preparo convencional, como resultado de calagem superficial periódica a que o solo foi submetido ao longo de 23 anos. Falleiro et al. (2003) constatou em semeadura direta redução dos teores de Al na camada superficial de 0-5 cm do solo quando comparado ao manejo convencional.

Entretanto, em experimentos sem a reaplicação de corretivos de acidez do solo, o pH tende a ser menor em semeadura direta como resultado do não revolvimento do solo e da não incorporação dos adubos (CIOTTA et al., 2002; ALMEIDA et al., 2005). Estudo realizado por Ciotta et al. (2004), onde o calcário não foi aplicado por mais de 20 anos, ocorreu a formação de uma frente de acidificação, evidenciada pelos menores valores de pH na camada de solo de 2-15 cm de profundidade e maiores teores de Al trocável. Após longos períodos sem aplicação de corretivos ocorre processos isolados ou combinados de reacidificação natural do solo oriundo da absorção de cátions básicos pelas culturas, pela mineralização da matéria orgânica do solo e resíduos vegetais na camada superficial e, ou, pelo empobrecimento de bases por lixiviação (SALET, 1994). Já Campos et al. (1995) concluíram que a elevação do teor de carbono orgânico total, em

semeadura direta, tem efeito na diminuição da acidez do solo até a profundidade de 20 cm.

2.2.3 No rendimento das culturas

Resultados sobre a influência dos sistemas de manejo do solo no rendimento das culturas possuem comportamento distinto quando se comparam trabalhos científicos. Mullins et al. (1980) e Zaffaroni et al. (1991) não encontraram diferenças na produtividade de feijão entre os sistemas semeadura direta e preparo convencional do solo. Siqueira (1989) e Crusciol et al. (2003), por sua vez, constataram maior produtividade em preparo convencional, enquanto Hernani et al. (1997), Soratto et al. (2001) e Silva (2002) verificaram maiores rendimentos em semeadura direta. Barros e Hanks (1993) observaram em semeadura direta maior disponibilidade hídrica às plantas de feijão, proporcionando assim, aumento na produtividade.

Stone (2002) constatou em semeadura direta menores produtividade, número de vagens por planta e massa de 100 grãos de feijão em comparação a outros sistemas de manejo do solo. No entanto, o autor observou que o rendimento de feijão aumenta com o tempo de adoção deste sistema. Porém, Silveira et al. (2001) verificaram diminuição no rendimento do feijão em semeadura direta utilizada consecutivamente por seis anos.

Na cultura do milho, Hernani e Salton (1997) e Possamai et al. (2001), observaram aumento no rendimento de grãos em semeadura direta comparativamente ao preparo convencional, enquanto outros autores encontraram comportamento inverso (FANCELLI; FAVARIN, 1989; HILL, 1990; SONAE; BALL, 1998). Em estudo de 21 anos, Ismail et al. (1994)

encontraram maior rendimento de milho sob preparo convencional nos primeiros 12 anos, o que se inverteu nos anos seguintes. A causa, segundo os autores, foi devido à elevação dos teores de matéria orgânica do solo na semeadura direta.

Silva e Silva (2001), trabalhando durante dois anos com sistemas de manejo, entre eles semeadura direta e preparo convencional, concluíram que este tempo de experimentação foi insuficiente para promover modificações no desempenho da cultura do milho. Já Carvalho et al. (2004), constatou que os dois sistemas diferiram em ano com ocorrência de veranico, sendo que o preparo convencional propiciou maior produtividade.

Yusuf et al. (1999), avaliando a cultura da soja, observou que quando cultivada sob semeadura direta as plantas apresentaram nos estágios de fase vegetativa desenvolvimento lento e porte menos vigoroso, em comparação ao preparo convencional, no entanto a produtividade de grãos foi a mesma em ambos os sistemas. Em estudo realizado por Secco et al. (1996) não houve diferença entre o rendimento de grãos de soja nos diferentes sistemas de manejo. Kluthcouski et al. (2000), conduzindo experimento de oito anos, concluíram que a soja está entre as culturas comerciais mais adaptadas ao sistema de semeadura direta.

3 HIPÓTESES

1. O sistema de manejo preparo convencional degrada as propriedades físicas e químicas do solo em comparação ao sistema de manejo semeadura direta, quando conduzido sob longa duração;

2. Após dezoito anos de condução, o sistema de manejo semeadura direta proporciona maior rendimento de grãos e produção de biomassa vegetal da parte aérea de milho, feijão e soja em comparação ao sistema de manejo preparo convencional, em um Cambissolo Húmico.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAL

Avaliar o desempenho de culturas comerciais após dezoito anos de condução dos sistemas de manejo do solo sob semeadura direta e preparo convencional e verificar os efeitos do manejo nos atributos do solo, em um Cambissolo Húmico em Lages, SC

4.2 ESPECÍFICOS

Determinar atributos físicos (densidade, porosidade, estabilidade de agregados e grau de flocculação da argila) e químicos do solo (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al e C orgânico total do solo) nos sistemas de manejo semeadura direta e preparo convencional, conduzidos sob longa duração;

Quantificar o rendimento e o peso de mil grãos e a produção de biomassa vegetal da parte aérea das culturas de milho, feijão e soja após dezoito anos de condução dos sistemas de manejo do solo sob semeadura direta e preparo convencional.

5 MATERIAL É MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi realizada entre os anos de 2013 a 2015, no campus do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, localizado em Lages (SC), com coordenadas de 27° 49' S e 50° 20' W. O clima da região, segundo critérios estabelecidos pela classificação de Köppen, é do tipo Cfb (subtropical úmido, chuvoso e com verões frescos), com precipitação média anual de 1.533 mm (SCHICK et al., 2014). O relevo da área é suave-ondulado e a altitude do local é de 925 metros.

O solo da área experimental é um Cambissolo Húmico alumínico léptico, derivado de siltitos e argilitos, com granulometria de 142 g kg⁻¹ de areia, 437 g kg⁻¹ de silte e 421 g kg⁻¹ de argila na camada de 0-0,2 m (ALMEIDA et al., 2005), com profundidade efetiva variável na área experimental.

5.2 HISTÓRICO DE USO DO SOLO NO LOCAL DO EXPERIMENTO

A área experimental vem sendo conduzida desde o ano de 1995 sob dois métodos de preparo do solo (preparo convencional e semeadura direta) e duas formas de cultivo (rotação e sucessão de culturas). Na implantação do experimento, toda a área foi revolvida mecanicamente com arado e grade para incorporação de calcário dolomítico até a profundidade de 20 cm, objetivando elevar o pH do solo a 6,0.

Até o ano de 2012, foram utilizadas as sequências de espécies vegetais de feijão / pousio / milho / pousio /

soja / pousio no preparo convencional em rotação, milho / pousio no preparo convencional em sucessão, feijão / aveia / milho / nabo / soja / ervilhaca na semeadura direta em rotação e milho / ervilhaca na semeadura direta em sucessão (ANDRADE et al., 2012). A adubação era realizada conforme as recomendações para cada cultura. O preparo convencional era realizado com uma aração e duas gradagens, uma vez ao ano, antes da semeadura dos cultivos de primavera/verão, com uso de arado e grade de discos. A semeadura direta foi conduzida com implantação das culturas sem revolvimento do solo, com pequena mobilização apenas na linha de semeadura.

Para a presente pesquisa, foram mantidos os métodos de preparo do solo, no entanto, em julho de 2013, toda a área foi cultivada com o consórcio de aveia preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro, para sistematização da área. Em novembro de 2013, após o manejo das plantas de cobertura, foi realizado o primeiro cultivo para avaliação.

5.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos foram formados pela combinação de dois sistemas de manejo do solo (semeadura direta e preparo convencional) e três culturas (milho, feijão e soja), com delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas pelos sistemas de manejo e as subparcelas pelas culturas. A escolha deste tipo de delineamento teve por objetivo bloquear a influência dos métodos de cultivo (rotação e sucessão de culturas) anterior ao experimento. A área experimental tinha área total de 1.872 m², tendo as

parcelas dimensões de 6,5 x 36 m e as subparcelas de 6,5 x 12 m. O croqui da área pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Croqui da área experimental

F-B2	S-B2	M-B2	M-B1	S-B1	F-B1
F-B2	M-B2	S-B2	F-B1	M-B1	S-B1
S-B3	F-B3	M-B3	M-B3	S-B3	F-B3
S-B4	M-B4	F-B4	F-B4	M-B4	S-B4

Área sombreada: preparo convencional; Área em branco: semeadura direta; F: feijão; M: milho; S: soja; B: bloco.
Fonte: produção do próprio autor, 2015.

5.4 MANEJO DA ÁREA DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Para a realização da presente pesquisa as parcelas sob preparo convencional foram revolvidas mecanicamente, com as operações de uma aração seguida de duas gradagens, duas vezes ao ano, antecedendo os cultivos de outono/inverno e de primavera/verão.

Antes da implantação dos tratamentos, em julho de 2013, foram semeadas as espécies de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), ervilhaca comum (*Vicia*

sativa) e aveia-preta (*Avena strigosa*), em consórcio, na densidade de 25, 80 e 80 Kg ha⁻¹, respectivamente. A semeadura foi realizada com o auxílio de trator e semeadora e a adubação foi feita com aplicação ao solo de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo.

Em novembro de 2013, após manejar as plantas de cobertura com rolo faca e dessecação química, foram implantadas as culturas de milho (*Zea mays*), feijão preto comum (*Phaseolus vulgaris*) e soja (*Glycine max*), representando o primeiro cultivo para avaliação (ano agrícola 2013/2014). O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m e a densidade de plantas foi de 65.000, 300.000 e 330.000 plantas ha⁻¹ de milho, feijão e soja, respectivamente. A semeadura foi feita com auxílio de semeadora manual (saraquá) e a adubação foi realizada de acordo com a recomendação para cada cultura, conforme descrito em CQFS RS/SC (2004), sendo aplicados 150, 85 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100, 80 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O respectivamente para milho, feijão e soja. Nos cultivos de milho e feijão foram aplicados respectivamente 145 e 75 kg ha⁻¹ de N.

Em maio de 2014, após o primeiro ano agrícola, foi realizada semeadura de aveia preta para cobertura do solo no período de outono/inverno, em toda a área. Para isso, foram aplicados 60, 45 e 55 kg ha⁻¹ respectivamente de N, P₂O₅ e K₂O. A densidade de sementes foi de 65 kg ha⁻¹. Em novembro de 2014, foi realizado procedimento semelhante ao descrito anteriormente e semeadura das espécies para o segundo ano de avaliação (ano agrícola 2014/2015).

Durante o ciclo de desenvolvimento das culturas foram realizados tratamentos culturais para controle de plantas daninhas com aplicação de herbicidas e arranquio manual. Para o controle de pragas e doenças foram aplicados inseticidas e fungicidas específicos.

5.5 COLETAS E DETERMINAÇÕES

5.5.1 Atributos físicos do solo

Em abril de 2015, após o segundo cultivo de milho, feijão e soja (ano agrícola 2014/2015), foram abertas trincheiras para coleta de amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Nas amostras com estrutura preservada em anéis volumétricos foram determinadas a densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi). A DS foi calculada pela relação entre a massa de solo seco e o volume do anel e a Mi determinada em mesa de tensão de areia com sucção de 6 kPa. A PT foi obtida pela relação entre a DS e a densidade de partículas e a Ma por diferença entre PT e Mi. Todas estas metodologias estão descritas em EMBRAPA (1997).

Nas mesmas camadas foram coletadas amostras de solo com estrutura alterada para determinação da densidade de partículas, estabilidade de agregados e grau de floculação da argila. A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico modificado (GUBIANI et al., 2006). A estabilidade de agregados foi determinada pelo método da via úmida padrão (KEMPER; CHEPIL, 1965), na qual agregados do solo com diâmetros entre 8 e 4,76 mm foram submersos em água e submetidos a oscilações verticais em um conjunto de peneiras com abertura de malha de 4,76; 2; 1 e 0,25 mm. O material retido em cada peneira foi seco e pesado separadamente e calculou-se o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP). O grau de floculação da argila foi determinado pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), subtraindo-se o teor de argila total pelo teor de argila natural e dividindo o resultado pela argila total.

5.5.2 Atributos químicos do solo

Com parte das amostras com estrutura alterada foram feitas as determinações dos atributos químicos do solo. Para isso, utilizou-se amostras secas ao ar, moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm (terra fina seca ao ar). Determinou-se o pH em água por potenciometria com relação solo/solução de 1:1, o P extraível com leitura em espectrofotômetro de absorção molecular na região visível em 660 nm, o K e Al trocáveis e o Ca e Mg extraíveis por leitura em espectrofotômetro de absorção atômica em chama. As metodologias estão descritas em Tedesco et al. (1995). A acidez potencial não trocável foi extraída com solução de acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ tamponada a pH 7,0 e quantificada por titulometria ácido-base com NaOH 0,0125 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 2009). O carbono orgânico total foi determinado pelo método de Walkley e Black modificado por Tedesco et al. (1995), através da oxidação com K₂Cr₂O₇ 1,25 mol L⁻¹ em meio ácido de H₂SO₄ e titulação com FeSO₄ 0,25 mol L⁻¹.

5.5.3 Produção vegetal

No momento em que as culturas estavam no período de maturação fisiológica, nos anos agrícolas de 2013/2014 e 2014/2015, foram coletados quatro metros lineares das três fileiras centrais de cada subparcela para as avaliações de produção vegetal. Na cultura do milho o material foi ceifado e pesado para determinação da massa seca de parte aérea (palha + sabugo). As espigas retiradas foram debulhadas manualmente para avaliação do rendimento de grãos e o peso de mil grãos. Na soja e no feijão todo o material coletado foi seco em

estufa a 60°C até peso constante, trilhado manualmente para separação dos grãos e da palha e posteriormente avaliado o rendimento e o peso de mil grãos e a produção de massa seca de parte aérea (palha).

A umidade dos grãos de milho, feijão e soja foi padronizada a 12 % pelo método da regra para análise de sementes (BRASIL, 2009). O peso de mil grãos de milho foi realizado pelo método manual de contagem de mil sementes. Na soja e no feijão o peso de mil grãos foi determinado com auxílio de uma bandeja, sendo contadas 50 sementes por vez, uma em cada orifício distribuídos na bandeja, em um total de 20 subamostras.

5.6 ANÁLISE DE DADOS

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey, com 5 % de probabilidade de erro ($P < 0,05$).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

6.1.1 Densidade, estabilidade de agregados e grau de flocculação da argila

As propriedades físicas de densidade, estabilidade de agregados e grau de flocculação da argila foram influenciadas pelo sistema de manejo do solo, sem efeito do tipo de cultura (Tabela 1).

Tabela 1 - Densidade do solo, estabilidade de agregados e grau de flocculação da argila nos diferentes tratamentos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico aluminico léptico

(continuação)

Cultura	Manejo					
	SD	PC	SD	PC	SD	PC
	DS (kg dm ⁻³)		DMP (mm)		GF (%)	
	Camada de 0 a 5 cm					
Feijão	1,21	1,31	6,20	5,15	75,3	56,4
Soja	1,22	1,30	6,11	5,21	74,1	52,8
Milho	1,21	1,32	6,10	5,15	71,4	52,2
Média	1,21 B	1,31 A	6,14 A	5,17 B	73,6 A	53,8 B
CV (%)	1,8/2,6		2,8/3,6		5,7/7,6	
	Camada de 5 a 10 cm					
Feijão	1,19	1,29	6,13	5,95	71,6	59,0
Soja	1,19	1,33	6,33	5,82	74,5	58,3
Milho	1,22	1,36	6,27	5,49	65,8	55,0
Média	1,20 B	1,33 A	6,24 A	5,75 B	70,6 A	57,4 B
CV (%)	2,3/3,0		4,8/4,9		7,5/7,4	
	Camada de 10 a 20 cm					
Feijão	1,24	1,28	6,28	5,86	64,6 bA	55,6 aB
Soja	1,20	1,32	6,25	5,98	71,7 aA	59,4 aB
Milho	1,23	1,32	6,22	5,93	64,9 bA	56,0 aB
Média	1,22 B	1,31 A	6,25 A	5,92 B	67,1	57,0
CV (%)	2,0/2,4		3,9/3,5		5,1/5,7	

(conclusão)

SD: semeadura direta; PC: preparo convencional; CV: coeficiente de variação para parcela (manejo) e subparcela (cultura). Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Na semeadura direta (SD) os valores de densidade do solo (DS) foram menores em todas as camadas avaliadas (Tabela 1). Isto provavelmente ocorreu pelo longo tempo de condução desta forma de manejo, proporcionando melhorias às propriedades físicas do solo em comparação ao preparo convencional (PC), o qual diminuiu a qualidade estrutural do solo pelo preparo ao longo de vários anos associado ao processo de compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas e implementos (arado e grade). Na mesma área, Bertol et al. (2004) encontraram maior DS na SD até a profundidade de 10 cm após seis anos de experimento, atribuindo este comportamento à pressão exercida no solo pelo trânsito de máquinas, bem como à consolidação do solo, considerando a ausência quase que completa de preparo na semeadura direta.

Da Ros et al. (1996) obteve para o primeiro, sexto e nono anos valores decrescentes de DS para semeadura direta na camada de 0-7 cm de profundidade. Por outro lado, Costa et al. (2003) observaram aumento da densidade na camada de 0-5 cm com o tempo de condução deste sistema de manejo.

O diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) foi maior na SD do que no PC em todas as camadas avaliadas (Tabela 1), o que indica solo melhor estruturado. O preparo convencional proporciona maior desagregação do solo com fracionamento dos agregados em unidades menores e redução do teor de

matéria orgânica pelo revolvimento mecânico periódico do solo na camada preparada.

Hickmann et al. (2011) concluiu que o cultivo do solo sob semeadura direta aumentou a estabilidade de agregados em superfície, em relação ao preparo do solo com arado de discos e com grade pesada. Bertol et al. (2004) obteve redução do DMP no preparo convencional em relação à semeadura direta e ao campo nativo.

O grau de floculação da argila (GF) teve comportamento semelhante ao índice DMP, sendo maior na SD (Tabela 1). As maiores diferenças foram encontradas na camada de 0-5 cm, com GF 19,8 % maior na SD, concordando com resultados obtidos por Beutler et al. (2001). A ausência de perturbações mecânicas no solo pelos implementos agrícolas e a manutenção da cobertura do solo e dos teores de matéria orgânica levaram ao aumento do grau de floculação. Llanillo et al. (2013), comparando sistemas de manejo, observaram relação entre o aumento da produtividade das culturas e a estrutura do solo e o grau de floculação.

6.1.2 Porosidade do solo

Os volumes de porosidade total (PT), macroporos (Ma) e microporos (Mi) foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo, sem variação em função do tipo de cultura (Tabela 2). A PT foi significativamente maior na SD nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, sendo os valores respectivamente 15 e 8 % mais elevados em relação ao PC. Já o volume de Ma foi três vezes maior no PC na primeira camada (0-5 cm) e maior na SD nas demais camadas. As operações mecânicas de aração e gradagem acabaram por aumentar a Ma na camada superficial, mobilizando o solo com maior intensidade

nesta, o que explica este comportamento. No entanto, o PC é prejudicial sob o aspecto de qualidade estrutural, já que a estabilidade de agregados e o grau de floculação da argila foram menores e a densidade do solo maior neste sistema de manejo.

Tabela 2 - Porosidade total, macroporosidade e microporosidade nos diferentes tratamentos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico aluminóico léptico

Cultura	Manejo					
	SD	PC	SD	PC	SD	PC
	Pt (m ³ m ⁻³)		Ma (m ³ m ⁻³)		Mi (m ³ m ⁻³)	
Camada de 0 a 5 cm						
Feijão	0,49	0,49	0,06	0,14	0,43	0,35
Soja	0,49	0,49	0,05	0,16	0,44	0,33
Milho	0,49	0,49	0,06	0,16	0,44	0,33
Média	0,49 ^{NS}	0,49	0,05 B	0,15 A	0,44 A	0,34 B
CV (%)	1,6/2,6		21,5/22,8		7,3/6,8	
Camada de 5 a 10 cm						
Feijão	0,53	0,47	0,13	0,10	0,40	0,37
Soja	0,53	0,45	0,13	0,06	0,40	0,40
Milho	0,52	0,44	0,13	0,07	0,39	0,38
Média	0,53 A	0,46 B	0,13 A	0,07 B	0,40 ^{NS}	0,38
CV (%)	2,7/3,2		49,0/32,3		12,1/6,8	
Camada de 10 a 20 cm						
Feijão	0,54	0,51	0,12	0,07	0,42	0,44
Soja	0,55	0,50	0,16	0,08	0,39	0,42
Milho	0,54	0,50	0,14	0,06	0,40	0,44
Média	0,54 A	0,50 B	0,14 A	0,07 B	0,40 ^{NS}	0,43
CV (%)	1,7/2,2		41,9/22,8		9,4/4,4	

SD: semeadura direta; PC: preparo convencional; CV: coeficiente de variação para parcela (manejo) e subparcela (cultura). ^{NS} Não significativo por análise de variância (P < 0,05). Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Hillel (1998) aponta que o valor crítico de macroporosidade onde há problemas de aeração e movimento de água às raízes das plantas, diminuindo a permeabilidade do solo e a continuidade dos poros é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Esta limitação foi observada na SD, na camada de 0-5 cm ($0,05$ a $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), e no PC, nas camadas de 5-10 e 10-20 cm ($0,06$ a $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), com valores abaixo do crítico. Na SD a menor M_a observada na primeira camada é explicada pela consolidação natural da superfície do solo devido à ausência de revolvimento.

A M_i foi $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ superior na SD na primeira camada e não diferiu estatisticamente ao PC nas demais camadas, na média das culturas, concordando com resultados obtidos por Stone e Silveira (2001). Silva et al. (2006) obteve maior microporosidade na camada de 0-2,5 cm em semeadura direta do que em outros sistemas com preparo do solo. Torres et al. (2015) concluiu em seus trabalhos que a M_i teve maior aumento do que outros atributos físicos avaliados, após a implantação da semeadura direta. Estudo realizado por Werner (2014) sugere que a ação mecânica das operações de preparo do solo é mais eficiente superficialmente e resulta em alterações mais acentuadas na M_a e M_i do que na PT, já que parte da M_i é convertida em M_a pela ação dos implementos.

6.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

6.2.1 Carbono orgânico e indicadores de acidez

Os sistemas de manejo afetaram os teores de carbono orgânico total do solo (C org.), entretanto não houve efeito do tipo de cultura (Tabela 3). Os teores foram maiores na SD em todas as camadas de solo

avaliadas, concordando com resultados obtidos por Andrade et al. (2010). Na camada de 0-5 cm ocorreu o maior teor e a maior diferença em comparação ao PC, sendo 31 % superior. Bertol et al. (2004) obteve teor 27 % maior na SD do que no PC, na camada de 0-10 cm. Este comportamento pode ser explicado pela manutenção da cobertura vegetal por resíduos não incorporados na SD e que permanece em contato com a camada superficial do solo, resultando em maior acúmulo de C org. Por sua vez, no PC os resíduos são incorporados ao solo e distribuídos até a profundidade alcançada pelos implementos, durante o preparo. Com isso, a maior aeração proporcionada neste manejo, tal como o aumento da temperatura na camada revolvida e a destruição dos agregados pela ação dos implementos, expõe a matéria orgânica fisicamente protegida ao ataque microbiano, o que causa a perda de C org. e seu estoque no solo (COSTA et al., 2008).

Os valores de pH do solo foram afetados pelos sistemas de manejo do solo (Tabela 3). Na SD, o pH foi menor que no PC na camada de 0-5 cm. Entretanto, nas camadas de 5-10 e 10-20 cm o comportamento foi inverso. Tal fato pode ser explicado pela aplicação superficial de adubos com natureza acidificante e ao acúmulo de resíduos vegetais com liberação de ácidos orgânicos, associados a ausência de revolvimento do solo na SD. Estes resultados são compatíveis com os obtidos por Ciotta et al. (2002) e Almeida et al. (2005). Comportamento semelhante foi verificado para os teores de Al, sendo superiores na primeira camada em SD. Os teores de H + Al foram maiores em SD até a profundidade de 10 cm, sendo maiores no PC na camada de 10-20 cm. Isto sugere que o sistema de manejo SD possui um gradiente de acidificação a partir da superfície do solo.

Tabela 3 - Carbono orgânico, pH, alumínio e hidrogênio + alumínio nos diferentes tratamentos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico alumínico léptico

Cultura	Manejo							
	SD	PC	SD	PC	SD	PC	SD	PC
	C org. (g kg ⁻¹)		pH (1:1)		Al (cmol _c kg ⁻¹)		H+Al (cmol _c kg ⁻¹)	
Camada de 0 a 5 cm								
Feijão	27,0	20,9	4,48	4,63	1,70	1,35	9,51	8,20
Soja	28,5	21,2	4,45	4,80	1,48	1,34	9,56	8,29
Milho	27,3	21,1	4,53	4,55	1,66	1,38	9,75	8,36
Média	27,6 A	21,1 B	4,49 B	4,66 A	1,61 A	1,36 B	9,61 A	8,28 B
CV(%)	4,4/5,9		0,9/3,5		9,5/20,6		1,6/3,1	
Camada de 5 a 10 cm								
Feijão	23,4	20,5	5,05	4,65	0,66	1,21	8,65	8,34
Soja	23,9	20,8	5,03	4,70	0,70	1,27	8,54	8,29
Milho	24,5	20,6	5,10	4,73	0,67	1,18	8,71	8,33
Média	23,9 A	20,6 B	5,06 A	4,69 B	0,68 B	1,22 A	8,63 A	8,32 B
CV(%)	6,6/6,6		2,7/2,6		4,5/11,4		1,2/1,2	
Camada de 10 a 20 cm								
Feijão	22,4	20,0	4,93aA	4,8aA	0,63	1,37	7,63	8,63
Soja	22,8	20,3	4,98aA	4,73aA	0,67	1,40	7,54	8,76
Milho	21,4	19,6	5,10aA	4,60aB	0,71	1,42	7,62	8,82
Média	22,2 A	20,0 B	5,00	4,71	0,67 B	1,40 A	7,60 B	8,74 A
CV(%)	4,5/5,5		4,4/2,4		12,2/17,9		3,4/3,5	

SD: semeadura direta; PC: preparo convencional; CV: coeficiente de variação para parcela (manejo) e subparcela (cultura). Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

6.2.2 Nutrientes de plantas: Ca, Mg, P e K

O sistema de manejo SD teve maiores acúmulos de nutrientes no solo em relação ao PC, sem influência significativa do tipo de cultura (Tabela 4). Os teores de Ca e Mg foram estatisticamente maiores até a

profundidade de 10 cm na SD. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Almeida et al. (2005) e Andrade et al. (2012), na mesma área experimental. Para o elemento Mg, houve aumento dos teores em profundidade a partir do 5 cm, nos dois sistemas de manejo (PC e SD). Almeida et al. (2005) observou comportamento semelhante a partir dos 10 cm. Este fato pode estar associado a maior mobilidade vertical do Mg no perfil do solo comparativamente ao Ca.

Tabela 4 - Cálcio, magnésio, fósforo e potássio nos diferentes tratamentos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico aluminico léptico

(continuação)

Cultura	Manejo							
	SD	PC	SD	PC	SD	PC	SD	PC
	Ca (cmol _c kg ⁻¹)		Mg (cmol _c kg ⁻¹)		P (mg kg ⁻¹)		K (mg kg ⁻¹)	
Camada de 0 a 5 cm								
Feijão	3,52	3,51	1,82	1,71	115,4	31,3	288,8	116,8
Soja	3,77	3,14	1,64	1,65	106,1	25,8	308,9	112,8
Milho	3,74	2,82	1,77	1,30	96,0	45,5	271,9	105,0
Média	3,68 A	3,16 B	1,74 A	1,55 B	105,8A	34,2 B	289,9A	111,5 B
CV(%)	9,8/13,9		4,0/22,5		22,1/35,4		14,2/14,3	
Camada de 5 a 10 cm								
Feijão	3,79	3,43	2,59	2,31	18,5	20,9	161,0	69,5
Soja	3,92	3,46	2,55	2,36	17,5	18,9	154,4	71,0
Milho	3,75	3,37	2,56	2,33	20,9	20,4	159,1	79,0
	3,82 A	3,42 B	2,56 A	2,33 B	19,0 ^{NS}	20,1	158,2A	73,2 B
CV(%)	6,0/7,6		5,4/7,7		14,1/31,5		8,0/9,1	
Camada de 10 a 20 cm								
Feijão	3,66	3,31	2,24	2,14	13,9	13,6	88,0	65,4
Soja	3,55	3,48	2,20	2,25	12,4	11,8	84,2	74,1
Milho	3,61	3,39	2,34	2,23	12,5	15,1	91,6	65,9
	3,61 ^{NS}	3,39	2,26 ^{NS}	2,20	12,9 ^{NS}	13,5	87,9 A	68,5 B
CV(%)	10,7/3,1		8,8/11,7		21,2/25,5		6,9/12,9	

(conclusão)

SD: semeadura direta; PC: preparo convencional; CV: coeficiente de variação para parcela (manejo) e subparcela (cultura). Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

O teor de P no solo foi 309 % maior na SD do que no PC na camada de 0-5 cm, sem diferença estatística nas camadas de 5-10 e 10-20 cm. Este comportamento é explicado pelo fato do elemento P ser pouco móvel no solo e, aliado a ausência de revolvimento e o longo tempo de adoção da semeadura direta, propiciou acúmulo de P em superfície (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000). Na SD, a maior parte da camada de solo fertilizada se restringe a superfície, pois há o revolvimento apenas no sulco de semeadura, além da ciclagem de P das camadas mais profundas para a camada superficial.

Os teores de K no solo foram maiores na SD até a profundidade de 20 cm. Isto se deve a maior mobilidade no solo deste elemento. No entanto, os maiores teores de K foram observados na camada de 0-5 cm, sendo 206 % maior na SD. Este resultado está de acordo com os obtidos por Albuquerque et al. (2005), os quais obtiveram maiores teores na camada de 0-5 cm em semeadura direta. No geral, o PC com revolvimento do solo incorpora os nutrientes e os dilui ao longo do perfil, diminuindo a concentração dos nutrientes no solo.

6.3 PRODUÇÃO VEGETAL

6.3.1 Peso de mil grãos, rendimento de grãos e massa de resíduos da parte aérea

As variáveis de produção vegetal foram influenciadas pelos sistemas de manejo do solo e pelos anos agrícolas (Tabela 5). Houve diferença no peso de mil grãos (PMG) na cultura do feijão para o segundo ano agrícola (2013/2014), sendo maior na SD em comparação ao PC. Tais valores foram respectivamente de 175,3 e 150,3 g. Para as culturas de milho e soja não houve diferença entre os sistemas de manejo, independente do ano. Segundo Williams e Weil (2004), a cultura do feijão é mais sensível as alterações físicas provocadas pelo preparo do solo, o que explica seu melhor desempenho em semeadura direta. Gennaro et al. (2015) encontraram valores de PMG superiores para o feijão em semeadura direta durante dois anos consecutivos de avaliações.

Para o rendimento de grãos (RG), foram encontradas diferenças entre os sistemas de manejo no segundo ano para as culturas de soja e milho (Tabela 5). Tais rendimentos foram respectivamente 35,2 e 9,2 % superiores na SD em comparação ao PC. Estes resultados estão de acordo com os observados por Santos et al. (2006) para a soja e por Moschler et al. (1972) e Possamai et al. (2001) para o milho.

A produção de massa seca de resíduos da parte aérea (MS) variou em função do tipo de cultura e do sistema de manejo do solo nos dois anos agrícolas (Tabela 5). Na cultura do milho a MS foi 30,8 e 56,2% superior na SD em comparação ao PC nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, respectivamente. Nas demais culturas não houve diferença entre os sistemas de manejo. Rocha (2010) avaliando a produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho durante dois ciclos de cultivo obteve comportamento semelhante. Na média dos anos e dos sistemas de manejo, o milho apresentou maior MS ($7,07 \text{ Mg ha}^{-1}$), significativamente

superior à soja (2,86 Mg ha⁻¹) e feijão (1,56 Mg ha⁻¹). Estes resultados reforçam a utilização do milho como cultura essencial em sistemas de manejo conservacionista, visto que o feijão e a soja têm baixa produção de resíduos vegetais e, pelo fato de serem da família botânica das leguminosas, tem decomposição mais acelerada.

Tabela 5 - Peso de mil grãos, rendimento de grãos e massa de resíduos da parte aérea de milho, feijão e soja, nos sistemas de manejo convencional e semeadura direta em dois anos agrícolas, em Cambissolo Húmico aluminico léptico

Cultura	Manejo					
	SD	PC	SD	PC	SD	PC
	Peso de mil grãos (g)		Rendimento de grãos (Mg ha ⁻¹)		Massa de resíduos de parte aérea (Mg ha ⁻¹)	
Ano agrícola 2013/2014						
Feijão	161,0 A	156,3 A	1,33 A	1,21 A	1,64 cA	1,57 cA
Soja	174,0 A	169,1 A	3,23 A	2,98 A	2,55 bA	2,62 bA
Milho	194,1 A	193,9 A	6,24 A	6,31 A	8,69 aA	6,64 aB
CV (%)	4,0/3,8		20,9/17,4		15,4/11,3	
Ano agrícola 2014/2015						
Feijão	175,3 A	150,3 B	1,34 A	1,24 A	1,51 cA	1,53 cA
Soja	174,1 A	162,8 A	3,07 A	2,27 B	2,88 bA	3,37 bA
Milho	188,9 A	187,9 A	6,40 A	5,86 B	7,89 aA	5,05 aB
CV (%)	7,4/6,7		7,5/11,3		24,3/18,7	

SD: semeadura direta; PC: preparo convencional; CV: coeficiente de variação para parcela (manejo) e subparcela (cultura). Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada ano agrícola, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

7 CONCLUSÕES

A densidade do solo é menor e a estabilidade de agregados e o grau de floculação da argila são maiores no sistema de manejo semeadura direta na camada de 0-20 cm. No preparo convencional a macroporosidade é maior na camada de 0-5 cm, tendo comportamento inverso em profundidade.

Maior acúmulo no solo de carbono orgânico e nutrientes de plantas ocorre na semeadura direta, com maiores teores de P na camada de 0-5 cm, de Ca e Mg na camada de 0-10 cm e de K e C orgânico na camada de 0-20 cm. Maior acidez é observada em semeadura direta na camada de 0-5 cm, com redução do pH e elevação dos teores de Al e H + Al.

A semeadura direta apresenta maior rendimento de grãos de soja e de milho e maior peso de mil grãos de feijão em comparação ao preparo convencional. Feijão e soja produzem baixa quantidade de resíduos de parte aérea, independente do sistema de manejo, enquanto milho produz maior massa e superior na semeadura direta.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C.; PASSOS, J.F.M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno aluminico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:963-975, 2005.
- ALMEIDA, J.A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:437-445, 2005.
- ANDRADE, A.P.; MAFRA, A.L.; BALDO, G.R.; PICOLLA, C.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A. Physical properties of a humic cambisol under tillage and cropping systems after twelve years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:219-226, 2010.
- ANDRADE, A.P.; MAFRA, A.L.; PICOLLA, C.D.; ALBUQUERQUE, J.A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, 42:814-821, 2012.
- BARROS, L.C.G.; HANKS, R.J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal, Madison**, 85:692-697, 1993.
- BAUDER, J.W.; RANDAL, G.W.; SWAN, J.B. Effect of four continuous tillage system on mechanical impedance of a clay loam soil. **Soil Science Society American Journal**, 45:802-806, 1981.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:687-694, 1999.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 185p. (Tese de Doutorado)

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:155-163, 2004.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; MIQUELLUTI, D.J. Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, 3:199-206, 1997.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, 58:555-560, 2001.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHÃO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na Região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:167-177, 2001.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, J.C.T.; NETO, F.S.; RIBEIRO, M.F.S; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking Stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers' Practice. **Advances in Agronomy**, 91:47-110. 2006.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:121-126, 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:99-105, 1990.

CARVALHO, M.A.C.de; SORATTO, R.P.; ATHAYDE, M.L.F.; SÁ, M.E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39:47-53, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e

métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:527-538, 1998.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; WOBETO, C.
Acidificação de um Latossolos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1055-1064, 2002.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolos Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:317-326, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2004. 400p.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S.
Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:893-900, 2003.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:527-535, 2003.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por

sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:323-332, 2008.

CRUSCIOL, C.A.C.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M.; NAKAGAWA, J.; LEMOS, L.B.; MARUBAYASHI, O.N. Efeito do nitrogênio sobre a qualidade fisiológica, produtividade e características de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, 25:108-115, 2003.

DA ROS, C.O.; LOPES, C.E; SECCO, D.; PASSA, L. Influência do tempo de cultivo no sistema no sistema de plantio direto nas características físicas de um Latossolo vermelho-escuro. **Ciência Rural**, 26:397-400, 1996.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 17:471-477, 1993.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. 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**, 23:703-709, 1999.

DICKEY, E.C.; SIEMENS, J.C.; JASA, P.J.; HOFMAN, V.L.; SHELTON, D.P. **Tillage system definitions**. In: Conservation tillage systems and management: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p.5-7.

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**, 13:259-267, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006, 306p.

EMBRAPA. **Coleção Sistema Plantio Direto**. Dourados, 2002.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

FAGANELLO, A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SATTler, A. **Efeito de elementos rompedores de solo em semeadoras para plantio direto na resistência do solo à tração mecânica**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 21p.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1097-1104, 2003.

FANCELLI, A.L.; FAVARIN, J.L. Desempenho da cultura do milho em plantio direto e convencional. In: FANCELLI, A.L. (Coord.) **Plantio direto no Estado de São Paulo**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ, 1989. p.174-175.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D.; MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapudalf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7:329-333, 1983.

FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P.L.; SILVA, M.M.da. Efeito da adubação nitrogenada nas propriedades químicas de um Latosolo, cultivado com milho em sucessão à aveia-preta, na implantação do sistema plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, 29:639-647, 2007.

GALETI, P. A. Mecanização agrícola. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1988. 220p.

GENNARO, L.A.; SOUZA, Z.M.; SILVA, L.F.S.; COOPER, M.; CAMPOS, M.C.S. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:608-614, 2015.

GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:277-286, 2005.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Método alternativo para a determinação da densidade de partícula do solo - exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, 36:664-668, 2006.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e

rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS).

Revista Brasileira de Ciência do Solo, 21:667-676, 1997.

HICKMANN, C.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES, R.B.A. Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um argissolo vermelho-amarelo sob diferentes manejos de longa duração e mata atlântica secundária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:2191-2198, 2011.

HILL, R.L. Long term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society American Journal, Madison**, 54:161- 166, 1990.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. London: Academic Press, 1998. 771p

INOUE, M.H.; MARCHIORI, O.; BRACCINI, A.L.; OLIVEIRA, R.S.; AVILLA, M.R. Rendimento de grãos e qualidade de sementes de soja após a aplicação de herbicidas dessecantes. **Ciência Rural**, 33:769-770, 2003.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. **Soil Science American Journal, Madison**, 58:193-198, 1994.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society Agronomy, 1965. p.499-510.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C.M.; FERRARO, L.A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em semeadura direta. **Scientia Agricola**, 57:97-104, 2000.

LAL, R.; GREENLAND, B.J. **Soil physical properties and crop production in tropics**. Chischester, John Willey, 1979. p.7-85.

LAL, R.; PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIERCE, F.J., eds. **Soil management for sustainability**. Ankeny, Soil Water Conservation Society, 1991. p.1-5.

LLANILLO, R.F.; GUIMARAES, M.F.; TAVARES FILHO, J. Morfologia e propriedades físicas de solo segundo sistemas de manejo em culturas anuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17:524-530, 2013.

MANCUSO, M. A.; FLORES, B. A.; ROSA, G. M. SCHROEDER, J. K.; PRETTO, P. R. P. Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana. **Revista Monografias Ambientais**, 14:2890-2998, 2014.

MOSCHLER, W.W.; SHEAR, G.M.; MARTENS, D. C.; JONES, G.D.; WILMOUTH, R. R. 1972. Comparative yield and fertilizer efficiency of no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, 64:229-231, 1972.

MULLINS, C. A.; TOMPKINS, F. D.; PARKS, W. L. Effects of tillage methods on soil nutrient distribution,

plant nutrient absorption, stand, and yield of snap beans and lima beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 105:591-593, 1980.

NETO, A.V.I.; BAYER, C.; DICK, D.P.; TONIN, A.T. Óxidos de ferro em Latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1873-1881, 2008.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1777-1785, 2011.

PEREIRA, R.G., ALBUQUERQUE, A.W.; CUNHA, J.L.X.L.; PAES, R.A.; CAVALCANTE, M. Atributos químicos do solo influenciados por sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, 22:78-84, 2009.

POSSAMAI, J.M.; SOUZA, C.M.; GALVÃO, J.C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, 60:79-82, 2001.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHONONI, I. Distribuição do fósforo orgânico em sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:151-160, 2001.

ROCHA, R.J.S. **Adubação nitrogenada em milho em semeadura direta e cultivo convencional na região Meio-Norte do Piauí**. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2010. 73p. (Tese de Doutorado)

SALET, R.L **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande Sul, 1994. 111p.

SANTOS, H.P.; LHAMBY, J.C.B.; SPERA, S.T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, 36:21-29, 2006.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N.P; GONZÁLEZ, A.P. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:1890-1905, 2014.

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical do fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, 30:611-617, 2000.

SECCO, D. et al. Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-escuro. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1996. Lages. **Resumo expandido...** Lages : SBCS, 1996. p.127-128.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRENTINI, A. Construção de uma agricultura sustentável, lucrativa e adaptada aos entraves pedoclimáticos das regiões tropicais úmidas. **Informe Agrônomo**, 74:2-20, 1996.

SILVA, L.C.; KATO, E. Avaliação de modelos para a previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33:1149-1158, 1998.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; DALLA ROSA, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:329-337, 2006.

SILVA, T.R.B. da. **Adubação nitrogenada e resíduos vegetais no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de plantio direto**. Universidade Estadual Paulista, 2002. 56p. Dissertação (Mestrado)

SILVEIRA, P.M.; SILVA, O.F.; STONE, L.F.; SILVA, J.G. Efeito do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:257-263, 2001.

SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; DECEN, S.C.F. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. **Bragantia**, 68:751-759, 2009.

SIQUEIRA, N.S. **Efeito de sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1989. 106p. (Tese de Mestrado)

SOANE, B.D.; BALL, B.C. Review of management and conduct of long-term tillage studies with special reference to a 25 years experiment on barley in Scotland. **Soil & Tillage Research**, 45:17-37, 1998.

SOARES, J.L.N.; ESPÍNDOLA, C.R.; CASTRO, S.S.

Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:1005-1014, 2005.

SORATTO, R.P.; SILVA, T.R.B. da; ARF, O.; CARVALHO, M.A.C. de. Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em plantio direto. **Cultura Agrônômica**, 10:89-99, 2001.

SOUZA, Z.M., SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, G.L.; CAMPOS, D.T.S.; CARVALHO M.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:699-707, 2001.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM. G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solos e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:533-542, 2004.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro: I. nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6:213-218, 2002.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:395-401, 2001.

SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas

propriedades físicas. **Acta Scientiarum Agronomy**, 26:27-34, 2004.

TEDESCO, M.J.; IANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ASSIS, R.L.; SOUZA, Z.M. Atributos físicos de um Latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:428-437, 2015.

VEIGA, M. **Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 110p. (Tese de Doutorado)

VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLY A.L., (Ed.) **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargil, 1985, p.163-179.

WENDLING, B.; FREITAS, I.C.V.; OLIVEIRA, R.C.; BABATA, M.M.; BORGES, E.N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de Conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e Plantio direto. **Bioscience Journal**, 28:256-265, 2012.

WERNER, R.S. **Atributos do solo e produção de biomassa vegetal em sistemas de manejo de campo nativo no Planalto Catarinense**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014. 103p. (Dissertação de Mestrado)

WILLIAMS, S.M.; WEIL, R.R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society American Journal**, 68:1403-1409, 2004.

YUSUF, R.I.; SIEMENS, J.C.; BULLOCK, D.G. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. **Agronomy Journal**, 91:928-933, 1999.

ZAFFARONI, E.; BARROS, H.H.A.; NÓBREGA, J.A.M.; LACERDA, J.T.; SOUZA JUNIOR, V.E. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agronômicas de milho e feijão no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:99-104, 1991.