

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

ANDREIA PATRICIA ANDRADE

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO
SOB DOIS SISTEMAS DE MANEJO APÓS DOZE ANOS DE CULTIVO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Manejo do Solo.

Orientador: Dr. Álvaro Luis Mafra

Co-orientador: Dr. Ildegardis Bertol

LAGES, SC

2009

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Andrade, Andreia Patricia

Atributos físicos e químicos de um Cambissolo
Húmico sob dois sistemas de manejo após doze
anos de cultivo. / Andreia Patricia Andrade - Lages,
2009.

68p.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências
Agroveterinárias / UDESC.

1. Manejo do solo. 2. Rotação de culturas.
3. Semeadura. I. Título.

CDD – 631.4

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO

Andréia Patrícia Andrade

Engenheira Agrônoma

Aprovado em:/...../.....

Homologado em:/...../.....

Banca Examinadora:

Dr. Álvaro Luis Mafra
Orientador – UDESC/Lages – SC

Dr. Paulo Cezar Cassol
Coordenador do Curso de Mestrado e
Doutorado em Manejo do Solo e
Coordenador do Programa de Pós-
Graduação em Ciências Agrárias –
UDESC/Lages – SC

Dr. Ildegardis Bertol
Co-orientador – UDESC/Lages – SC

Dr. Adil Knackfuss Vaz
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

Dr. Antônio Sérgio Amaral
URI
Erechim - RS

Dr. Jackson Adriano Albuquerque
UDESC/Lages - SC

LAGES
Santa Catarina - Brasil
2009

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e a oportunidade de cada dia ser uma nova página.

Ao meu esposo Gelso, pelo apoio, incentivo, carinho e compreensão nas horas em que mais precisei.

À minha família, em especial aos meus pais, Celso e Marita que me ensinaram os verdadeiros valores da vida, sempre me incentivaram especialmente nesta etapa de minha vida.

As minhas queridas irmãs Elaine e Sabrina, pelo incentivo, apoio e carinho.

Ao meu orientador e professor, Dr. Álvaro Luis Mafra pela orientação, paciência, e transmissão de conhecimentos, que com seriedade contribuiu na elaboração desse trabalho.

Ao professor Dr. Ildegardis Bertol, pelo apoio e disposição em atender e esclarecer dúvidas durante todo o período de mestrado.

Ao professor Dr. Jackson Adriano Albuquerque, pela prestação de esclarecimentos e dúvidas freqüentes.

Aos funcionários da UDESC: Fátima, Henrique (Pipoca), pela colaboração nas análises de laboratório e por estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos professores do mestrado de Pós-Graduação em Manejo do Solo pelas informações adquiridas e convívio durante o curso.

Aos meus colegas Sueli, Claudia, Franciani e Rodrigo, obrigada pela amizade e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos bolsistas, estagiários e voluntários do Laboratório de Física e Manejo do Solo, que ajudaram na obtenção de dados para realização deste trabalho e também trabalhos a campo.

Aos professores membros da banca por estarem presentes nesta etapa.

À UDESC como instituição de ensino gratuito e de qualidade.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos.

A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a conquista de mais uma etapa de minha vida, muito obrigada!

RESUMO

O solo é a base da cadeia produtiva de alimentos e cada vez mais se procura melhorá-lo, pois muitas áreas foram e estão sendo exploradas de forma incorreta, levando à sua degradação física, química e biológica do solo. A manutenção ou melhoria da qualidade do solo pode contribuir para o incremento da produção vegetal. O objetivo do estudo foi avaliar os atributos físicos e químicos do solo de um experimento de longa duração submetido a diferentes sistemas de manejo do solo associados a sistemas de cultivo e a produtividade das culturas. O experimento foi conduzido em Lages, SC, num Cambissolo Húmico Alumínico léptico, de textura argilosa, após 12 anos de cultivo, sob os seguintes sistemas de manejo: preparo convencional (PC) com rotação (r) e sucessão (s) de culturas e semeadura direta (SD), com rotação (r) e sucessão (s) de culturas. A seqüência de cultivo adotada desde o início do experimento foi: preparo convencional rotação: feijão-pousio-milho-pousio-soja-pousio; preparo convencional sucessão: milho-pousio; semeadura direta rotação: feijão-aveia-milho-nabo-soja-ervilhaca; semeadura direta sucessão: milho-ervilhaca. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições. As amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm. As avaliações físicas foram densidade do solo, porosidade, agregação, grau de flocculação, retenção de água, infiltração, resistência mecânica e os seguintes atributos químicos: teores de carbono orgânico total, nitrogênio total, Ca, Mg, P, K, pH em água e Al. A semeadura direta tem maior estabilidade de agregados do solo na camada superficial (0-5 cm) em relação ao preparo convencional, associado a maiores teores de carbono orgânico total e nitrogênio total. A microporosidade foi maior na semeadura direta em relação ao preparo convencional, refletindo-se na maior retenção de água. A semeadura direta apresentou maiores teores de nutrientes na camada superficial comparada ao preparo convencional, que foram pouco influenciados pelos sistemas de cultivo. A infiltração foi maior na semeadura direta com sucessão de culturas e a produção vegetal não foi influenciada pelo preparo e pelo sistema de cultivo. Não houve efeito de tratamentos no rendimento das culturas.

Palavras-chave: Manejo do solo. Rotação de culturas. Semeadura direta.

ABSTRACT

The soil is the base of the food production chain and is increasingly looking to improve it, because many areas have been and are being exploited in the wrong way, causing its physical, chemical and biological degradation. Therefore, maintaining or improving soil quality may contribute to the increase crop production. The objective was to evaluate soil physical and chemical attributes in a long-term experiment submitted to different tillage systems associated with cropping systems. The experiment was carried out in Lages, SC, on an leptic Aluminic Humic Cambisol, for 12 years of cultivation under the following management systems: conventional tillage (CT) and no-till (NT), combined with two cropping systems: rotation (r) and succession (s) of crops. The crop sequence used was: conventional tillage rotation: beans-fallow-maize-fallow-soybean; conventional tillage succession: maize-fallow; no-till rotation: beans-oats-maize-turnip-soybean-vetch; no-till succession: maize-vetch. The experimental design was a random block with four replicates. The soil samples were collected in the layers 0-2.5, 2.5-5, 5-10 and 10-20 cm. The performed analysis were soil density, porosity, stability of aggregates, degree of flocculation, retention of water, infiltration, mechanical strength, and the following chemical properties; total organic carbon, total nitrogen, Ca, Mg, P, K, water pH and Al. The no-till showed better soil aggregation in the surface layer (0-5 cm) compared to conventional tillage, combined with higher levels of total organic carbon and total nitrogen. The microporosity was higher in the no-till in relation to conventional tillage, reflecting the increased water retention in the former treatments. The no-till showed higher levels of nutrients in the surface layer compared to conventional tillage, that was little influenced by cropping systems. The infiltration was higher in no-till with crop succession and crop yields were not affected by tillage and cultivation systems.

Keywords: Soil management. Crop rotation. No-tillage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Distribuição dos tratamentos inteiramente ao acaso em Cambissolo Húmico, Lages – SC. PCr – preparo convencional rotação; PCs – preparo convencional sucessão; SDr – semeadura direta rotação; SDs – semeadura direta sucessão..... 25
- Figura 2 - Densidade do solo (a), porosidade total (b), macroporosidade (c), microporosidade (d), grau de floculação (e) e diâmetro médio ponderado (f) sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre os tratamentos em uma mesma profundidade com base no teste “t” 32
- Figura 3 - Resistência do solo ao penetrógrafo (a) e umidade do solo durante a leitura da resistência (b) sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre os tratamentos em uma mesma profundidade com base no teste “t” 37
- Figura 4 - Figura 4 - Curvas de retenção de água no solo sob diferentes sistemas de manejo nas camadas 0-2,5 cm (a); 2,5-5 cm (b); 5-10 cm (c); 10-20 cm (d), incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008..... 39

Figura 5 -	Figura 5 - Taxa de infiltração de água no solo sob diferentes sistemas de manejo em quatro profundidades, incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas, em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. Média de quatro repetições.....	40
Figura 6 -	Teores de carbono orgânico total (a), nitrogênio total (b), Ca (c), Mg (d), P (e) e K(f), sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre os tratamentos em uma mesma profundidade com base no teste “t”	43
Figura 7 -	Figura 7 - pH em água (a) e teores de Al (b) médios na camada de 0-20 cm, sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages,2008.	47
Figura 8 -	Produção de massa seca de cultivo de inverno de 2007 (a) e massa seca sorgo e soja safra 07/08 (b), sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Coeficientes de correlação Pearson entre os atributos físicos do solo.....	34
Tabela 2 -	Valores médios de umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) nos potenciais matriciais de 0 kPa (saturação), -1 kPa, -6 kPa, -10 kPa (CC), -30 kPa e -100 kPa, na média da camada de 0-20 cm, sob preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008.....	37
Tabela 3 -	Valores médios da taxa de infiltração inicial e final de água, num Cambissolo Húmico sob diferentes sistemas de manejo, incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. Média de quatro repetições.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 IMPORTÂNCIA DA SEMEADURA DIRETA E SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA.....	14
2.2 EFEITO DOS SISTEMAS DE PREPARO NO SOLO.....	15
2.2.1 Atributos físicos do solo.....	15
2.2.2 Atributos químicos do solo.....	19
2.3 EFEITO DOS SISTEMAS DE CULTIVO NO SOLO.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	24
3.2 COLETA DE AMOSTRAS E DETERMINAÇÕES.....	27
3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	31
4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	41
4.3 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS.....	48

CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
APÊNDICES.....	60

INTRODUÇÃO

O solo é indispensável para sobrevivência humana na terra, é o mais valioso recurso natural para a agricultura, e a manutenção das suas características produtivas é indispensável na produção de alimentos. Um papel fundamental do solo também é dedicado a sua participação no ciclo da água, pela retenção e filtragem da mesma.

A degradação do solo resulta em alterações de suas características físicas, químicas e biológicas, perda da capacidade de retenção de água e diminuição dos nutrientes, reduzindo as condições de desenvolvimento das culturas e aumentando a suscetibilidade à ação da erosão hídrica. A degradação do solo está intimamente ligada ao sistema de preparo convencional, o qual promove revolvimento periódico do solo, alterando sua agregação, porosidade, densidade, acelerando a decomposição da matéria orgânica, aumentando as perdas de solo por erosão hídrica, perda da fertilidade e conseqüentemente diminuindo sua capacidade produtiva.

Com a intenção de manter e melhorar a qualidade do solo e evitar as perdas por erosão vem sendo desenvolvido o sistema de semeadura direta, também chamado de agricultura conservacionista, e sua principal característica é manter o solo sempre coberto com vegetação viva, ou morta, além do não revolvimento do solo e prática de rotação de culturas. Muitos efeitos benéficos são proporcionados pela semeadura direta como a ciclagem de nutrientes, menor perda de solo por

erosão, maior infiltração de água, aumento da matéria orgânica, melhoria nas qualidades físicas como a porosidade e o favorecimento da biodiversidade do solo.

Associado ao sistema conservacionista de preparo do solo, os sistemas de cultivo também tem papel importante na qualidade física e química do solo. O uso diversificado de espécies de culturas dentro de um plano de rotação de culturas contribui para exploração diferenciada do solo, facilitando a abertura de canais onde ocorrem as trocas gasosas e de água, a exploração de camadas mais profundas do solo e o resgate de nutrientes não acessíveis por algumas plantas. O efeito conjunto dos sistemas de preparo do solo e sistemas de cultivo pode proporcionar um ambiente no interior do solo mais propício para o bom desenvolvimento das plantas, pela adição de material orgânico e fixação de nitrogênio na ocasião do uso de plantas leguminosas.

A agricultura brasileira foi impulsionada com a adoção do sistema de semeadura direta. A pesquisa muito contribuiu, e continua a contribuir para a comprovação das vantagens oferecidas pelo cultivo com pouco revolvimento do solo, e os agricultores obtiveram facilidades na condução dos cultivos, redução dos custos de produção e lucratividade. Com a consolidação do sistema de semeadura direta após longo tempo de implantação é possível que venham à tona questões de ordem qualitativas referente ao solo que é manejado neste sistema. Após muitos anos consecutivos de condução da semeadura direta é necessário que se conheça a qualidade química, física e biológica do solo submetido a este tratamento, considerando as condições edafoclimáticas locais.

O presente estudo objetivou avaliar atributos físicos e químicos do solo de um experimento de longa duração (12 anos) submetido ao preparo convencional do solo e a semeadura direta associados a dois sistemas de cultivo: sucessão e rotação de

culturas. Busca analisar os processos ocorridos no solo ao longo do tempo, e avaliar uma possível necessidade de revolver o solo no sistema de semeadura direta. Monitorar as características físicas e químicas de um solo pouco profundo, que apresenta altos teores de matéria orgânica naturalmente e possui textura argilosa e que vem sendo cultivado num sistema considerado conservacionista e outro convencional. Avaliar a produtividade e rendimento das culturas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA DA SEMEADURA DIRETA E SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA

O sistema de semeadura direta pode ser considerado como componente ecológico e econômico no conceito de desenvolvimento sustentável aplicado à agricultura, por proporcionar de modo eficiente a redução da erosão, compatibilizando a viabilidade econômica e prudência ecológica (ROMEIRO, 1997).

A base de sustentação do sistema de semeadura direta consiste, além da mobilização reduzida do solo, na rotação de culturas capaz de produzir e manter, por maior período de tempo, grande e diversificada quantidade de massa vegetal na superfície do solo. Este aporte de matéria orgânica na camada superficial do solo altera a dinâmica dos nutrientes e as relações solo/planta.

Termodinamicamente, o solo é um sistema aberto onde ocorrem trocas de matéria e energia com o meio e, portanto, deve ser entendido como um sistema que não atinge o equilíbrio, mas que tende para uma condição estável, dependendo das taxas de adição e remoção de matéria e energia (ADDISCOTT, 1995). Assim, o sistema de semeadura direta, usando rotação de culturas e adição de resíduos, adubação, calagem e restrição de tráfego de máquinas e animais em condições de umidade inadequada, apresenta características que conduzem a uma agricultura sustentável (REICOSKY et al., 1995). Entre as vantagens da semeadura direta

destacam-se o controle da erosão, o acúmulo de matéria orgânica, nitrogênio e cátions (aumento da CTC) e a maior disponibilidade de nutrientes (MIELNICZUK, 1997).

2.2 EFEITO DOS SISTEMAS DE PREPARO NO SOLO

2.2.1 Atributos físicos do solo

A degradação física do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural dos solos ao longo do tempo. A perda de solo por erosão, a redução da matéria orgânica e a compactação são alguns fatores que contribuem para esta degradação (BLAINSKI et al., 2008).

Segundo Klein (2008), a densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros. Essas alterações afetam propriedades físicas e hídricas importantes, como a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração das raízes. É importante a presença de no mínimo 10% de macroporos no solo para evitar a deficiência na aeração do sistema radicular das plantas.

As alterações que ocorrem na estrutura do solo de acordo com o manejo utilizado podem ser verificadas pelas altas densidades do solo que dificultam a penetração das raízes (KIEHL, 1979). O sistema de preparo influencia também a porosidade total, distribuição e diâmetro de poros, porosidade de aeração, capacidade de armazenamento de água e disponibilidade de água para as plantas (KLEIN et al., 1995).

As práticas culturais afetam a estrutura do solo, alterando a densidade e, em consequência, a porosidade, a distribuição do tamanho dos poros e a resistência à penetração. Assim, trabalhos que avaliam a densidade do solo em diferentes manejos, concluem que geralmente em sistema de semeadura direta o solo apresenta densidade mais elevada (KLEIN e BOLLER, 1995). Entretanto, a ação de insetos e decomposição de raízes na semeadura direta promove boa estrutura para o desenvolvimento de plantas, em função da formação de canais ou macroporos onde as raízes podem se desenvolver (STIRZAKER et al., 1996).

O equilíbrio entre macroporos e microporos no solo é de fundamental importância para o desenvolvimento normal do sistema radicular das plantas (LOS, 1997). Assim, haverá uma rede ideal de poros, com ampla variação dos diâmetros, o que é fator chave na qualidade do solo, pois afeta as relações entre drenagem, teor de água disponível às plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes e aeração, afetando a produtividade das culturas (REZENDE, 1997).

A formação e estabilização dos agregados do solo ocorrem mediante atuação de processos físicos, químicos e biológicos. Esses, por sua vez, atuam por mecanismos próprios, nos quais são envolvidas substâncias que agem na agregação e na estabilização. Dentre essas, as principais são: argila, sílica coloidal, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, e compostos orgânicos como exsudatos de plantas e substâncias provenientes da ação de microrganismos (SILVA e MIELNICZUK, 1998).

O aumento na estabilidade de agregados em água pela adoção da semeadura direta em relação ao preparo convencional foi observado por Campos et al. (1995) num Latossolo Vermelho distrófico argiloso na região de Cruz Alta (RS).

Este aumento foi diretamente relacionado com o incremento do teor de carbono orgânico e da atividade biológica no solo não revolvido.

O não revolvimento do solo e a adição dos resíduos das culturas na superfície do solo em semeadura direta desencadeiam inúmeros processos físicos, químicos e biológicos interrelacionados, geralmente sinérgicos, como é o caso dos processos que levam ao aumento da estabilidade dos agregados e do estoque de matéria orgânica no solo. O maior teor de carbono orgânico determina maior estabilidade de agregados e esta, por sua vez, maior proteção física da matéria orgânica; estabelece-se, assim, uma relação causa-efeito entre agregação e matéria orgânica (SIX et al., 1999). Segundo Reichardt (1987), a estrutura do solo pode ser modificada pelas práticas agrícolas, podendo ser melhorada ou degradada.

A resistência do solo à penetração de raízes é considerada por alguns autores como sendo mais sensível do que a densidade do solo para avaliar efeitos de sistemas de manejo do solo (BENGHOUGH e MULLINS, 1990; TORMENA e ROLOFF, 1996). Por outro lado, deve-se considerar que a resistência é inversamente relacionada com a umidade do solo.

A infiltração e a retenção de água no solo são importantes para determinar a disponibilidade de água às raízes. Por isso, o conhecimento dos processos de infiltração, distribuição e armazenamento de água no solo e suas relações com as propriedades do solo são importantes para um eficiente manejo do solo e da água nos cultivos agrícolas (REICHARDT, 1996). A infiltração de água no solo depende de fatores que estão relacionados com as características do solo, como a porosidade, textura, umidade inicial, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade do terreno (CARDURO e DORFMAN, 1988).

O fator mais importante na taxa de infiltração é a cobertura vegetal que esta sobre o solo durante a chuva. Chuvas de alta intensidade, ocorridas em situações que o solo esta desprotegido pela cobertura vegetal, promovem compressão pelo impacto das gotas de chuva, e infiltração torna-se reduzida. Porém em condições de adequada cobertura superficial, o efeito é amenizado (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). O efeito da rotação de culturas no aumento da infiltração de água e melhoria das condições físicas do solo é reconhecido. Abreu et al. (2004) verificaram maior infiltração nas parcelas que receberam rotação com crotalária do que nas parcelas com semeadura direta contínua de soja e nas parcelas com escarificação em um Argissolo Vermelho-amarelo.

A redução na taxa de infiltração de água no solo reflete o grau de degradação do sistema poroso do solo (DALLA ROSA, 1981). Segundo Baver et al. (1972), os macroporos são os principais responsáveis pela infiltração e circulação rápida de água e pela aeração do solo.

Segundo Klein (2008), a dinâmica da água no solo é regida por um sistema de forças que governa a retenção e a movimentação da água no solo. A distribuição do diâmetro dos poros no solo tem papel preponderante na determinação da qualidade física do solo. Os macroporos são os que se esvaziam quando o solo atinge a capacidade de campo (sucção de 10 kPa), equivalendo aos poros com diâmetro superior a 0,05 mm. Os microporos são os poros com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm, que se esvaziam com sucção de até 1500 kPa.

A disponibilidade de água para as culturas é afetada pela estrutura do solo, por determinar o arranjo das partículas e, por consequência, a distribuição do diâmetro dos poros, juntamente com o tipo e quantidade de argila e o teor de matéria orgânica do solo. O efeito benéfico do maior armazenamento de água no

sistema de semeadura direta é evidente em anos com deficiência hídrica. Karunatilake et al. (2000) verificaram maior lâmina de água armazenada na semeadura direta do que no preparo convencional em um ano relativamente seco. Este maior armazenamento de água no plantio direto se deve à maior microporosidade e, conseqüentemente, menor macroporosidade na semeadura direta em relação ao preparo convencional.

2.2.2 Atributos químicos do solo

A semeadura direta é o sistema que mais se aproxima de um sistema ecológico natural, tal como uma floresta ou campo nativo, tendo em vista que há revolvimento reduzido do solo e que se preconiza a manutenção de uma cobertura permanente no solo (PEIXOTO, 1997). Como conseqüência, esse sistema constrói ao longo do tempo um solo estratificado, favorece o acúmulo de matéria orgânica e nutrientes na camada superficial do solo (0-5 cm), formando um gradiente de concentração em profundidade no solo (PEIXOTO e ELTZ, 1986; CIOTTA, 2001).

A semeadura direta representa uma forma de manejo conservacionista, apresentando vantagens como controle da erosão hídrica e melhoria na qualidade do solo e da água. A semeadura direta reduz a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, mantendo e aumentando a mesma (BAYER e MIELNICZUK, 1999; RESCK et al. 1999). Resultados de pesquisa, no entanto, não tem sido conclusivos quanto ao acúmulo de C na semeadura direta (ROSCOE et al., 2006). Alguns trabalhos observaram incrementos significativos nos teores de matéria orgânica na semeadura direta em relação ao preparo convencional (BAYER e MIELNICZUK, 1997; TOGNON et al., 1997; BAYER et al. 2000), em outros trabalhos nenhuma

diferença significativa foi encontrada (MARIA e CASTRO, 1993; ROSCOE e BUURMAN, 2003). Roscoe et al. (2006) afirmam que esta variação nos resultados se deve às diferenças entre condições experimentais e entre os sistemas de preparo. Deve-se considerar os diferentes períodos de implantação, o clima de cada região e histórico de utilização das áreas.

O manejo cultural e biológico no sistema de semeadura direta tem como objetivos a manutenção ou aumento da reserva de nutrientes e de húmus no solo, envolvendo a ciclagem de nutrientes e o manejo da cobertura, equilibrando processos como mineralização/imobilização e decomposição/humificação. Estes objetivos são atingidos a médio e longo prazo, com o somatório dos efeitos de diversas espécies de plantas (PEIXOTO, 1997).

A acidez do solo pode ser natural, devido à pobreza dos materiais de origem desprovidos de bases, ou por condições de pedogênese ou de formação do solo que favoreçam a remoção de elementos químicos do sistema solo. Além disso, os solos cultivados podem ter sua acidez aumentada por erosão, extração de cátions básicos pelas culturas e, principalmente, por lixiviação (Raij, 1991).

A entrada de N no solo via fixação biológica simbiótica, especialmente pelas leguminosas, tem efeito significativo residual na cultura subsequente (MUZILLI, 1986; DERPSCH, 1991), contribuindo em consequência para a formação de uma reserva de N orgânico no solo (PEIXOTO, 1997). A ciclagem do nitrogênio na semeadura direta é mais parecida ao que ocorre em ecossistema natural, onde as etapas de degradação dos resíduos orgânicos para formas inorgânicas ocorrem via biológica, assim pode haver concentração de biomassa nos primeiros 5 ou 10 cm de profundidade, e diminuição gradativa com o aumento da profundidade. A biota (minhocas, insetos, fungos, bactérias, etc.) é mais diversificada e pode influenciar a

reserva de N orgânico, além de ter participação na estrutura do solo, na formação e estabilização de agregados, interferindo na rede de poros (macro e micro), que atuam na taxa de infiltração e retenção de água no perfil do solo e troca de gases, que afetam no desenvolvimento do sistema radicular das plantas (PEIXOTO, 1997).

A eliminação do revolvimento do solo e a aplicação superficial de corretivos e fertilizantes promovem alteração na distribuição de nutrientes na camada arável do solo, em relação ao preparo convencional. Bayer e Mielniczuk (1997), atribuíram à não mobilização do solo a estratificação em profundidade da concentração de Ca, Mg, K e P, o que foi observado após cinco anos de adoção do plantio direto, num Argissolo Vermelho escuro. A concentração de Al em profundidade no solo foi maior no plantio direto do que no preparo convencional. Entretanto, essas diferenças não foram limitantes ao desenvolvimento normal das plantas.

O P no sistema de plantio direto normalmente encontra-se acumulado nos primeiros 5 cm da superfície do solo, sendo que a forma orgânica é favorecida pela própria dinâmica da matéria orgânica neste sistema (PEIXOTO, 1997). O acúmulo de P na forma orgânica é desejável, pois fica protegido do processo de fixação/adsorção, e sua mineralização gradativa permite favorecer a disponibilidade para as culturas (PEIXOTO et al., 1997).

2.3 EFEITO DOS SISTEMAS DE CULTIVO NO SOLO

Os sistemas de cultivo utilizados no manejo do solo, sejam eles rotação ou sucessão de culturas também podem alterar as propriedades físicas (BERTOL et al., 2004) e químicas do solo (BAYER e BERTOL, 1999). Campos et al. (1995), observaram maior atividade microbiana e estabilidade de agregados em Latossolos,

enquanto Albuquerque et al. (1995) observaram maior volume de macroporos e menor densidade do solo nos sistemas de rotação de culturas em relação à sucessões. Burle et al. (1997), obtiveram, no sul do Brasil, uma relação linear entre aporte de resíduos vegetais, durante 11 anos, em diferentes sistemas de culturas e o conteúdo de C do solo, no sistema de plantio direto.

Os sistemas de rotação e sucessão de culturas são fundamentais para a manutenção ou recuperação do conteúdo de matéria orgânica, considerando sua influência na quantidade de resíduos culturais adicionados ao solo anualmente (BAYER e BERTOL, 1999).

A rotação de culturas pode ser definida como a alternância recorrente e planejada de diferentes cultivos no mesmo terreno (CASTRO, 1956). A adoção de um programa de rotação de culturas deve estar apoiado em princípios fundamentais como: efeito sobre a bioestrutura do solo, exigência em nutrientes, benefício mútuo entre as culturas, efeito de excreções radiculares, esgotamento do solo e água; pragas e doenças, e manutenção da cobertura do solo (PRIMAVESI, 1982).

O uso de rotação de culturas com espécies que tenham sistema radicular vigoroso constitui uma alternativa para melhorar a estrutura do solo, especialmente em solos com alta resistência à penetração, onde se criam poros para as raízes da cultura subsequente crescerem (SILVA e ROSOLEM, 2001). Ehlers et al. (1983) também afirmam que em sistema de semeadura direta os canais verticais contínuos servem como rotas, ligando a superfície do solo às camadas mais profundas, proporcionando maior colonização das raízes em profundidade. Silva e Rosolem (2001) indicam a rotação de culturas como alternativa para melhorar a qualidade estrutural do solo, com uso de espécies que tenham sistema radicular vigoroso, com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração.

O uso de plantas de cobertura tornou possível a exploração agrícola de muitos solos arenosos e pobres em nutrientes em muitas regiões do mundo. As leguminosas apresentam a capacidade de fixação simbiótica de nitrogênio do ar e as gramíneas que também contribuem para evitar o deslocamento ou lixiviação de nutrientes do solo, para mobilizar nutrientes fixados como o fósforo e enriquecimento do solo em matéria orgânica (DERPSCH et al., 1990).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi implantado em 1995, em Lages, SC, situado a 27°49' de latitude Sul e 50°20' de latitude Oeste, com altitude média de 937 m, na região do Planalto Sul Catarinense. O clima é mesotérmico úmido com verões amenos, tipo Cfb de acordo com Köppen, com temperatura máxima média anual de 21,7°C e mínima média anual de 11,5°C. A precipitação média anual é de 1.674 mm (BERTOL, 1993). O solo é um Cambissolo Húmico alumínico léptico, derivado de siltitos e argilitos, com textura argilosa, contendo em média 443 g kg⁻¹ de argila, 402 g kg⁻¹ de silte e 155 g kg⁻¹ de areia na camada de 0-30 cm (Bertol et al., 2004).

Os tratamentos avaliados foram dois sistemas de preparo do solo, sendo: preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD), combinados com dois sistemas de cultivo: rotação (r) e sucessão (s) de culturas (Figura 1). O delineamento foi inteiramente casualizado com quatro repetições. As parcelas experimentais dos tratamentos, preparo convencional e semeadura direta mediam 6,5 m de largura por 18,0 m de comprimento. O preparo convencional era realizado com uma aração e duas gradagens na semeadura das culturas de verão, com arado de discos e grade de discos. Durante o inverno as parcelas de preparo convencional permaneciam em pousio e retiravam-se os resíduos da cultura anterior até o ano de 2005; nos anos subsequentes foram mantidos os resíduos da cultura anterior. A semeadura direta

foi conduzida com implantação das culturas com equipamentos de plantio direto sem revolvimento do solo e os resíduos das culturas, com exceção do feijão, eram mantidos na área.

N →

PCs	PCr	PCr	PCr
SDs	SDr	SDr	SDs
SDr	SDr	PCr	PCs
SDs	SDs	PCs	PCs

Figura 1 – Distribuição dos tratamentos inteiramente ao acaso em Cambissolo Húmico, Lages – SC. PCr – preparo convencional rotação; PCs – preparo convencional sucessão; SDr – semeadura direta rotação; SDs – semeadura direta sucessão

Na implantação do experimento o solo recebeu calcário para elevação do pH SMP à 5,8 na quantidade de 780 kg correspondendo à 3,9 Mg/ha em toda a área. O calcário foi incorporado com arado na profundidade de 20 cm. A adubação realizada na implantação e durante o período experimental (1995-2007), foi de 877 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 938 kg ha⁻¹ de K₂O e 702 kg ha⁻¹ de N na semeadura direta e 740 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 820 kg ha⁻¹ de K₂O e 569 kg ha⁻¹ de N no preparo convencional, distribuídos em diferentes cultivos (Apêndice A). Na semeadura direta, os fertilizantes foram aplicados em superfície do solo (em alguns casos foram incorporados com semeadora “saraquá”) e no preparo convencional, foram incorporados após aração e antes das gradagens.

A semeadura das culturas de inverno foi realizada a lanço, nas parcelas de semeadura direta sendo utilizado rolo-faca para melhorar o contato das sementes com o solo. A seqüência nos sistemas de cultivo adotada desde o início do

experimento foi: preparo convencional rotação: feijão-pousio-milho-pousio-soja-feijão-aveia-milho-nabo-soja-ervilhaca; semeadura direta sucessão: milho-ervilhaca.

No período de inverno (2007) as parcelas receberam cultivo de aveia preta e ervilhaca comum, em consórcio. No cultivo de verão, a partir de novembro de 2007 foi cultivada soja no sistema de rotação e sorgo em substituição ao milho no sistema de sucessão. A soja cultivar CD 214 RR, foi semeada com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 12 plantas/m, não foi efetuado inoculação e tratamento de sementes, foi aplicado adubo potássico (KCl) e fosfatado (superfosfato triplo) conforme recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004). O sorgo cultivar BR 501 foi semeado com espaçamento de 0,8 m entre linhas e 16 plantas/m, a adubação aplicada foi cloreto de potássio, fosfato e uréia conforme recomendação da CQFS RS/SC(2004).

3.2 COLETA DE AMOSTRAS E DETERMINAÇÕES

A amostragem de solo foi realizada em fevereiro de 2008, no período de florescimento das culturas de verão. Realizou-se duas coletas em cada parcela totalizando oito repetições cada tratamento. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm, com anéis volumétricos de 4,8 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura para as duas primeiras camadas e anéis de 5 cm de altura para as camadas inferiores. Para as análises físicas do solo foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, para as análises químicas foram coletadas amostras com trado calador, sendo efetuadas 20 sub-amostras por parcela para compor uma amostra composta.

A densidade do solo (D_s) foi determinada, com as amostras indeformadas, pelo método do anel volumétrico. As amostras foram secas, após todas as demais determinações terem sido realizadas, em estufa a 105 °C durante 48 horas. A densidade do solo foi determinada dividindo-se a massa de solo seco pelo volume conhecido da amostra. A densidade de partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

A microporosidade do solo foi determinada na mesa de tensão de areia à sucção de 60 cm, e a porosidade total (PT) calculada pela razão entre a densidade do solo e a densidade de partículas (D_s/D_p). A macroporosidade foi obtida pela diferença entre PT e microporosidade (EMBRAPA, 1997).

Nas amostras deformadas foi determinada a estabilidade de agregados pelo peneiramento úmido de acordo com a metodologia de Kemper e Chepil (1965), representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP).

A argila total (AT) foi determinada pelo método do densímetro, com dispersão em NaOH, e a argila dispersa (AN) em água. Após determinadas as frações granulométricas calculou-se o grau de floculação (GF) através da fórmula:

$$GF = \frac{AT - AN}{AT}$$

A taxa de infiltração de água no solo foi avaliada utilizando cilindros concêntricos com carga hidráulica variável, conforme o método descrito por Forsythe (1975), em agosto de 2008, com uma determinação por parcela. O modelo ajustado pelos dados obtidos é uma exponencial de caimento com três parâmetros, sendo a seguinte equação: $i = y_0 + a^{-b.t}$, onde i = taxa de infiltração de água no solo estimada (cm h^{-1}); t = tempo (h); y_0 , a e b = parâmetros de ajuste.

A resistência do solo foi determinada com uso do penetrógrafo “Falker penetroLOG”, até a profundidade de 20 cm, sendo realizadas leituras a cada 10 mm, com 10 leituras em cada parcela.

As curvas de retenção de água foram obtidas nas amostras indeformadas, e determinadas com base na umidade volumétrica em mesa de tensão de areia para os potenciais de -1, -6 e -10 kPa e em câmara de Richards com placas porosas para os potenciais de -30 e -100 kPa.

As análises químicas realizadas foram carbono orgânico total por combustão úmida, com oxidação com dicromato de potássio e determinação por titulometria; Ca e Mg foram extraídos com solução KCl 1 mol L^{-1} , e determinados por

espectrofotometria de absorção atômica; o Al trocável foi extraído com solução KCl 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria de neutralização com NaOH 0,0125 M; P e K foram extraídos com solução ácida de Mehlich-1, sendo o K determinado por fotometria de chama e o P por colorimetria. O pH do solo foi determinado nas relações 1:1 para pH em água e pH em sal com solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. O índice SMP foi determinado com solução tampão. O nitrogênio total foi extraído com digestão e destilação da amostra e determinado por titulação com solução de H₂SO₄ 0,025M. Para as determinações químicas utilizaram-se as metodologias de Tedesco et al. (1995).

A produção de massa seca das plantas de cobertura de inverno foi avaliada no período de pleno florescimento da ervilhaca e enchimento de grãos da aveia. A área de coleta foi delimitada com uma armação de 50 x 50 cm, sendo duas coletas por parcela. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa a 65°C até atingirem massa constante.

A produtividade das culturas de verão foi avaliada em maio de 2008, no período de colheita da soja e do sorgo. As amostras consistiram em cinco sub-amostras de 1 metro linear por parcela e determinou-se a produção de matéria seca. Para a cultura da soja foi avaliada a produção de grãos e para sorgo foi quantificada a matéria seca da parte aérea.

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e de comparação de médias pelo teste “t”. As relações entre os diferentes atributos foram avaliadas por correlação de Pearson.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A densidade do solo variou entre 1,13 e 1,38 g cm⁻³, com incremento em profundidade em todos os tratamentos (Figura 2a). A SDs apresentou menor densidade nas camadas de 0-2,5 cm e 10-20 cm em relação aos demais tratamentos, enquanto na camada de 5-10 cm não houve diferença entre os tratamentos. Esse comportamento acompanha a diminuição da porosidade total em profundidade, tendo a SDs a maior porosidade total em relação aos demais tratamentos, na camada superficial (Figura 2b). Estes resultados diferem dos obtidos por Bertol et al. (2001) que, no mesmo experimento, observaram maior densidade do solo na semeadura direta, principalmente na primeira camada avaliada, e não verificaram diferença entre os sistemas de cultivo. A menor densidade em semeadura direta em relação ao preparo convencional, pode ser relacionada com o aumento nos teores de carbono orgânico na primeira camada (Figura 6a). No mesmo experimento, Bertol et al. (2001) encontraram teores de carbono orgânico total 25% inferiores aos encontrados no presente trabalho. A estrutura do solo pode ser favorecida pelo incremento de matéria orgânica ao longo dos anos sob semeadura direta na camada superficial, com conseqüente diminuição da densidade do solo (FERNANDES et al., 1983).

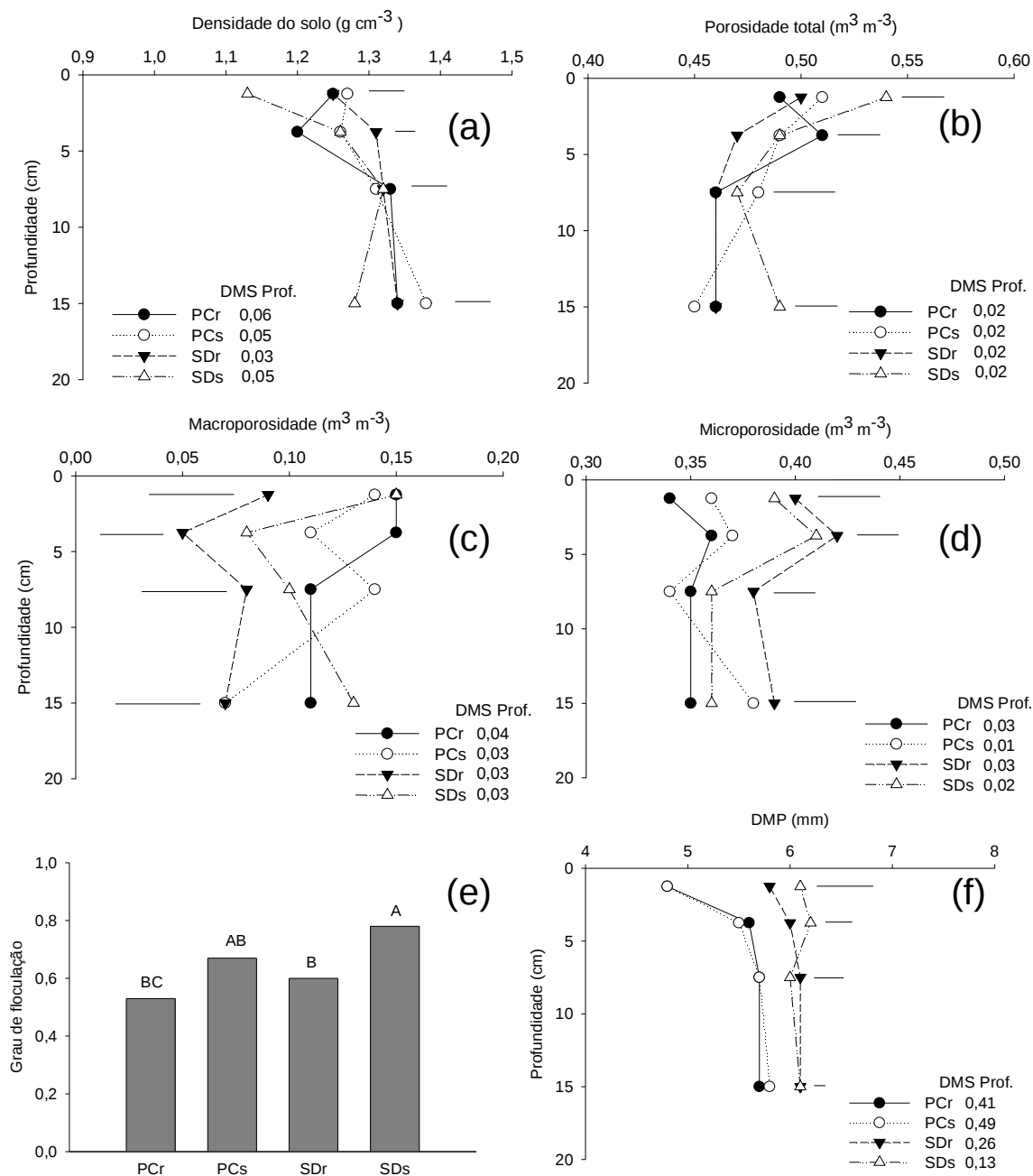


Figura 2 - Densidade do solo (a), porosidade total (b), macroporosidade (c), microporosidade (d), grau de floculação (e) e diâmetro médio ponderado (f) sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre os tratamentos em uma mesma profundidade com base no teste "t". As letras indicam diferenças entre as médias das camadas pelo teste t ($P < 0,05$).

A porosidade total variou entre 0,45 e 0,54 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, tendo sido maior na semeadura direta com sucessão de culturas em relação aos demais tratamentos, na

camada superficial (Figura 2b). Na camada de 2,5-5, cm a SDr teve menor porosidade total em relação aos demais tratamentos que não tiveram diferenças entre si e, na última camada avaliada, a SDs de culturas também teve maior porosidade total que os demais tratamentos.

A microporosidade foi maior na semeadura direta em relação ao preparo convencional (Figura 2d). Esta variável não diferiu entre os sistemas de cultivo no preparo convencional, com exceção da camada inferior, na qual foi maior no PCs em relação a PCr. Na semeadura direta só houve diferença de cultivos na camada de 10 a 20 cm, tendo a SDr apresentado maior microporosidade que a sucessão. A macroporosidade variou de 0,05 a 0,15 m³ m⁻³, tendo a SDr apresentado o menor valor em relação aos demais tratamentos na camada superficial. Na camada 2,5-5 cm, a macroporosidade foi maior no preparo convencional em relação à semeadura direta, sendo que na SDs, o valor desta variável foi maior do que na SDr e, no preparo convencional, a rotação foi maior que a sucessão (Figura 2c). Bertol et al. (2001) não observaram diferença entre os sistemas de cultivo neste atributo físico. Em relação ao sistema de cultivo, a semeadura direta mostrou maior macroporosidade na sucessão em relação à rotação, em todas as camadas avaliadas, com exceção da camada 5-10 cm.

A camada superficial de 0-2,5 cm tem maior volume de macroporos em relação à subsuperfície, independentemente do sistema analisado, diminuindo no perfil do solo, de modo semelhantes aos dados encontrados por Bertol et al. (2000) que trabalharam em um Cambissolo Húmico em Santa Catarina, Stone e Silveira (2001), em Latossolo Vermelho perférico em Goiás, e Silva et al. (2006), em Argissolo Vermelho distrófico no Rio Grande do Sul. A porosidade é o espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo (HILLEL, 1970). A maior

macroporosidade tem sido atribuída a solos logo que tenham recém sofrido o preparo convencional, quando comparado à semeadura direta (HILL, 1990), devido ao revolvimento do solo. A macroporosidade é um dos melhores indicadores de qualidade do solo quando se avalia o manejo, pois é muito sensível às mudanças proporcionadas por práticas de manejo do solo. Reynolds et al. (2002), consideram o valor de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ como volume mínimo de macroporos para garantir adequada aeração do sistema radicular das plantas. Deve-se ressaltar que o fluxo de gases, bem como o movimento de água no solo, estão intimamente relacionados ao volume de macroporos, ou seja, a garantia da oxigenação radicular, bem como a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil dependem, dessa propriedade.

O grau de flocculação das argilas chegou a 0,86 na semeadura direta com sucessão de culturas, não diferindo do PCs (Figura 2e). O maior grau de flocculação nestes tratamentos pode estar associado ao maior teor de carbono orgânico, evidenciado por correlação positiva ($r = 0,42$ $P < 0,01$) (Tabela 1). A matéria orgânica tem maior número de cargas negativas, o que favorece a flocculação das partículas do solo.

Tabela 1 - Coeficientes de correlação Pearson entre os atributos físicos do solo.

Atributo	Mi	PT	Ma	GF	DMP	R Pen	COT
Ds		- 0,85	- 0,62	-0,20	0,10	0,57	- 0,39
Mi			- 0,73				0,52
PT			0,71	0,22	- 0,19	- 0,52	0,36
Ma					- 0,29	- 0,33	
GF					0,24		0,42
DMP						0,37	0,35
R Pen							- 0,36

Mi – microporosidade; PT – porosidade total; Ma – macroporosidade; GF – grau de flocculação; DMP – diâmetro médio ponderado; R Pen – resistência à penetração com penetrógrafo; COT – carbono orgânico total. Somente os coeficientes significativos foram apresentados ($P < 0,05$).

O diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) foi maior na semeadura direta em relação ao preparo convencional, na camada de 0-5 cm, variando de 5,8 a

6,2 mm na semeadura direta, e de 4,8 a 5,7 mm no preparo convencional (Figura 2f). Isso indica boa estabilidade de agregados e alta resistência do solo frente à erosão hídrica. Não houve diferenças entre os sistemas de cultivo, em ambos os sistemas de preparo do solo. No preparo convencional, houve diferenças entre os valores de DMP em profundidade, resultando em menor DMP na primeira camada em relação as demais, devido a ação mais intensa do revolvimento. A SDr também teve este comportamento, tendo menor DMP na primeira camada e maior nas camadas mais profundas. Lima et al. (2008), também observaram aumento no DMP em profundidade, ao analisar sistemas de preparo convencional e semeadura direta em um Planossolo Háplico, em Capão do Leão, RS, enquanto Bertol et al. (2001), não observaram essas diferenças em profundidade num Cambissolo. Esses resultados indicam que o sistema de semeadura direta mantém o solo melhor estruturado, enquanto que o preparo convencional pode danificar a agregação na camada superficial do solo. Estes resultados são explicados pelo revolvimento mecânico periódico realizado no solo no preparo convencional e também pelo menor teor de carbono orgânico nesse sistema de manejo (BAYER e MIELNICZUK, 1997; BERTOL et al., 2000). Os valores de DMP tiveram correlação positiva com os teores de carbono orgânico do solo ($r = 0,35$ e $P < 0,01$) (Tabela 1), o que significa melhor agregação das partículas de solo em condições de maior teor de matéria orgânica. A matéria orgânica do solo funciona como agente cimentante das partículas, facilitando a agregação e melhorando estruturação física.

A resistência do solo avaliada com penetrógrafo variou entre 134 e 1546 kPa, aumentando com a profundidade em todos os tratamentos, com maior valor na SDr na camada de 5-10 cm (Figura 3a). De acordo com Taylor e Gardner (1963), Taylor et al. (1966) e Nesmith (1987), o valor de 2000 kPa é crítico para o desenvolvimento

das raízes das plantas, portanto, os preparos do solo e os sistemas de cultivo estudados não comprometem o desenvolvimento das plantas. A resistência do solo ao penetrógrafo apresentou correlação positiva com o DMP ($r = 0,37$ e $P < 0,01$), como verificado também entre o DMP e o carbono orgânico total (Tabela 1), mostrando que o aumento nos teores de carbono orgânico aumenta a estabilidade de agregados e diminui a resistência do solo. Ribon e Tavares (2008) encontraram relação positiva entre o teor de matéria orgânica do solo e resistência ao penetrômetro, na condição de umidade menor que 20% e abaixo de 0,1 m de profundidade, em um Latossolo Vermelho em Londrina, PR. Carter (1990) e Ribon e Tavares Filho (2004), também observaram relação direta entre a resistência ao penetrômetro e o teor de matéria orgânica do solo.

A resistência do solo pode ser afetada pela umidade. As variações da resistência acompanharam as mudanças de umidade do solo em profundidade. A umidade do solo no momento da leitura da resistência foi maior na semeadura direta do que no preparo convencional (Figura 3b); mas pode-se considerar que o solo estava úmido, portanto em condição favorável para realizar avaliação com penetrógrafo.

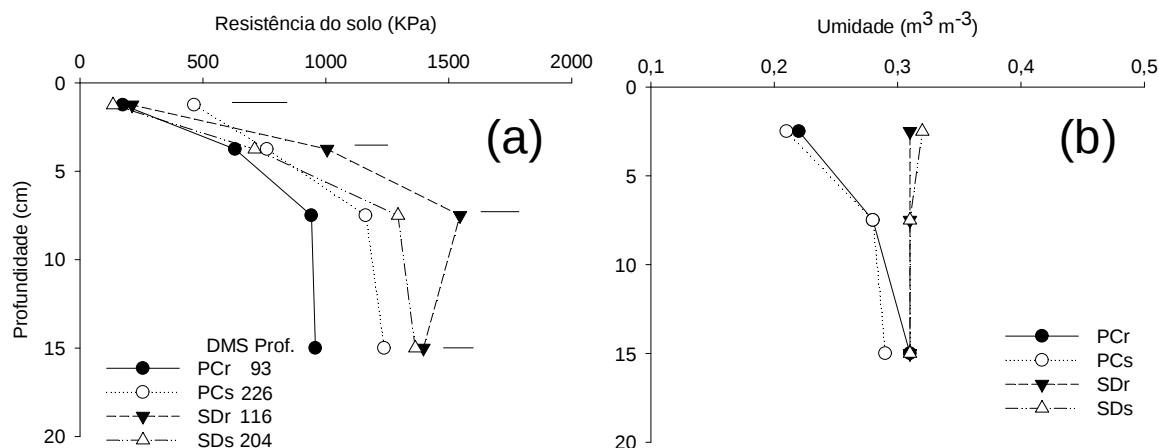


Figura 3 - Resistência do solo ao penetrômetro (a) e umidade do solo durante a leitura da resistência (b) sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre os tratamentos em uma mesma profundidade com base no teste "t".

A SDr teve maior capacidade de retenção de água em condições de saturação na camada de 0-2,5 cm (Apêndice B). Na capacidade de campo (CC), sob tensão de 10 kPa a umidade variou de 0,33 a 0,35 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no preparo convencional e de 0,36 a 0,41 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na semeadura direta, na camada de 0-20 cm (Tabela 2). Quando o solo se encontra na CC, os macroporos estão livres de água e os microporos cheios (KLEIN et al., 2006), representando a quantidade de água presente no solo após a drenagem do excesso da mesma, pela ação da gravidade.

Tabela 2 - Valores médios de umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos potenciais matriciais de 0 kPa (saturação), -1 kPa, -6 kPa, -10 kPa (CC), -30 kPa e -100 kPa, na média da camada de 0-20 cm, sob preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) ou sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008.

Tratamentos	0 kPa	1 kPa	6 kPa	10 kPa	30 kPa	100 kPa
	-----UV $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ -----					
PCr	0,52 b	0,40 b	0,35 c	0,33 c	0,31 c	0,30 c
PCs	0,52 b	0,42 a	0,36 b	0,35 b	0,33 b	0,31 b
SDr	0,52 b	0,43 a	0,39 a	0,38 a	0,36 a	0,35 a
SDs	0,54 a	0,43 a	0,38 a	0,37 a	0,35 a	0,33 a

Letras iguais nas colunas indicam semelhança entre as médias pelo teste t ($P < 0,05$).

A SDs teve a maior retenção de água na condição de saturação, na média dos tratamentos (Figura 4). Na tensão de 1 kPa, o PCr teve a menor retenção de água do que os demais tratamentos e, nas demais tensões, a semeadura direta apresentou maior retenção de água em relação ao preparo convencional, não diferindo entre os sistemas de cultivo. No preparo convencional, o sistema de sucessão de culturas apresentou maior retenção de água para as tensões de 6, 10 e 30 kPa (Tabela 2). Bouma et al. (1977), afirmam que nos microporos a água circula lentamente, por ação de forças capilares, em função do diâmetro reduzido dos poros, sendo, portanto, os responsáveis pela retenção e redistribuição da água no solo. A SDr apresentou maior umidade volumétrica que os demais tratamentos nas tensões 6, 10, 30 e 100 kPa na média das profundidades (Figura 4a e 4b). A microporosidade também foi maior na SDr em relação aos demais tratamentos nas profundidades de 0-2,5 e 10-20 cm (Figura 2d), confirmando a importância dos microporos na retenção de água. Albuquerque et al. (2001), avaliaram as propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho em Lages, SC, e verificaram que o plantio direto armazenou mais água em relação ao preparo convencional, associado a menor quantidade de macroporos em relação ao preparo convencional.

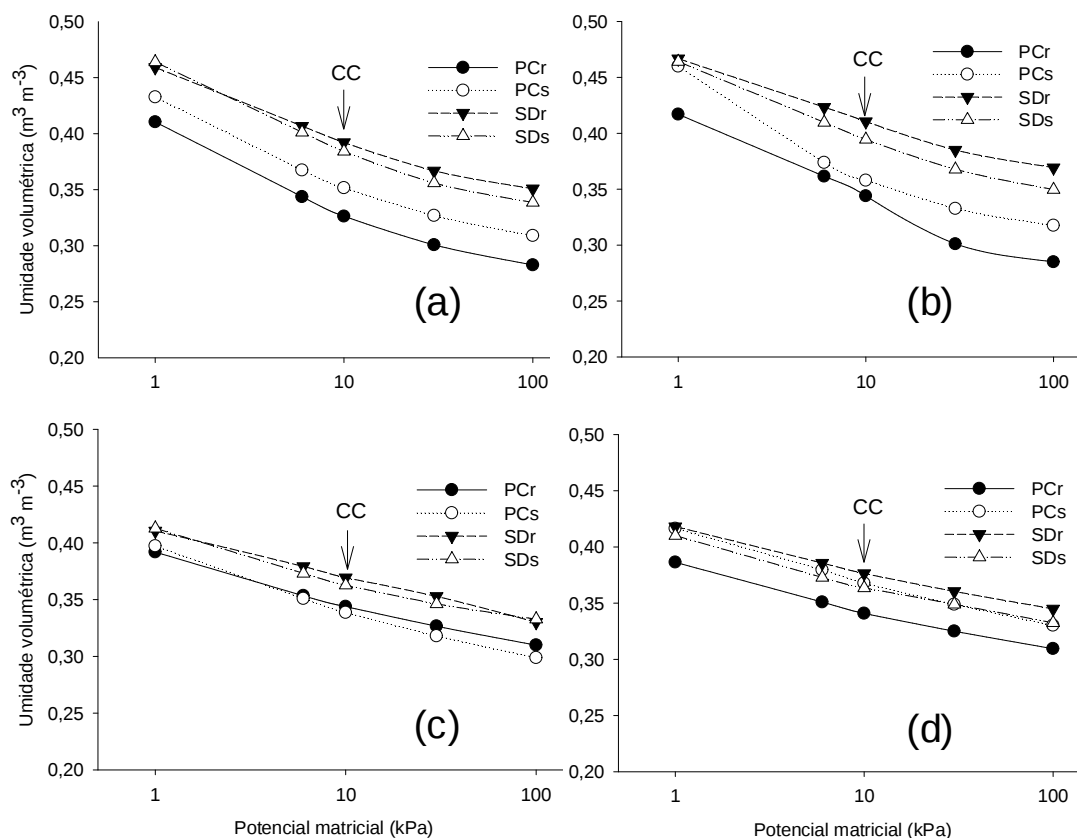


Figura 4 - Curvas de retenção de água no solo sob diferentes sistemas de manejo nas camadas 0-2,5 cm (a); 2,5-5 cm (b); 5-10 cm (c); 10-20 cm (d), incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) ou sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008.

A retenção de água foi maior nas camadas superficiais do solo (0-2,5 e 2,5-5 cm) em relação às subsuperficiais, nas tensões de 0, 1, 6 e 10 kPa. Nas tensões de 30 e 100 kPa não houve diferença na umidade entre as camadas na média geral dos tratamentos. A maior retenção de água nas camadas de 0-10 cm nas menores tensões pode ser atribuída a maior porosidade total também observada nas camadas superficiais em relação às subsuperficiais em todos os tratamentos (Figura 2b).

A infiltração de água no solo foi maior na SDs (Figura 5), condizente com dados de maior porosidade total e menor densidade do solo nesse tratamento

(Figura 2a e 2b), principalmente na camada de 0-2,5 cm. Estas condições favoreceram a infiltração de água no solo pelo maior espaço poroso disponível. Na SDs não houve revolvimento do solo e a sucessão com milho e ervilhaca proporcionou uma exploração radicular continuada ao longo dos períodos de cultivo do solo, favorecendo a continuidade dos poros.

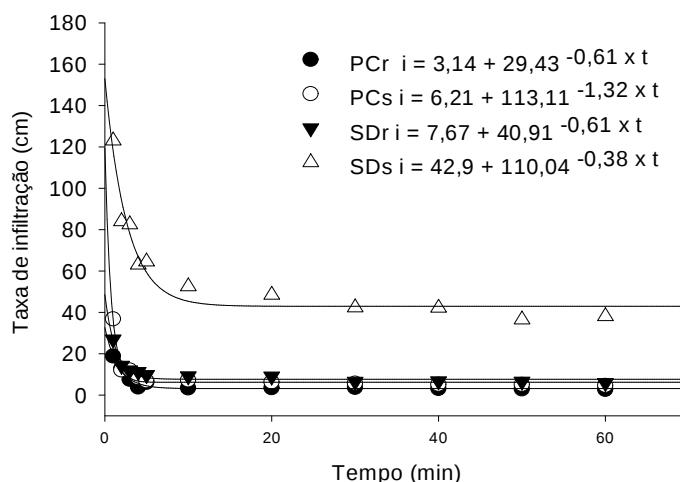


Figura 5 - Taxa de infiltração de água no solo sob diferentes sistemas de manejo em quatro profundidades, incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas, em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. Média de quatro repetições.

As taxas de infiltração inicial e final estão indicadas na tabela 3, mostrando maior infiltração de água na condição de SDs. Uma combinação do efeito da palhada parcialmente decomposta, na superfície do solo, com uma rede de macroporos contínuos, em profundidade, pode aumentar a infiltração de água na semeadura direta comparada ao preparo convencional. O sistema de cultivo em sucessão milho e ervilhaca, sem o revolvimento do solo pode ter melhorado a continuidade dos poros em profundidade, tendo ocorrido, provavelmente uma exploração do solo mais ampla pelo sistema radicular do milho.

Tabela 3 - Valores médios da taxa de infiltração inicial e final de água, num Cambissolo Húmico sob diferentes sistemas de manejo, incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. Média de quatro repetições.

Momento	PCr	PCs	SDr	SDs
		-----cm h ⁻¹ -----		
Inicial	19	37	27	123
Final	3,1	6,2	7,7	42,9

4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os teores de carbono orgânico total e de nitrogênio total foram maiores na semeadura direta em relação ao preparo convencional, em todas as camadas avaliadas, variando de 21 a 46 g kg⁻¹ de C e de 1,6 a 3,8 g kg⁻¹ de N. No sistema de SDs os teores de carbono foram maiores do que no SDr, na camada de 0-5 cm, sem diferença nas demais camadas (Figura 6a). Para nitrogênio, a semeadura direta mostrou maiores teores do que o preparo convencional nas três camadas superiores, não diferindo na última camada avaliada (Figura 6b). No sistema PCs não houve diferença nos teores de carbono orgânico em profundidade. Não houve efeito de sistema de cultivo no preparo convencional para os teores de N, enquanto, na semeadura direta os teores de N total foram maiores na SDs, apenas na camada 0-2,5 cm (Figura 6b). Este comportamento pode ser explicado pela presença de espécies leguminosas na sucessão de culturas, o que promoveu acúmulo de N ao longo dos anos, possibilitando a formação de reserva de N orgânico (PEIXOTO, 1997). A variação de N em profundidade foi maior na semeadura direta em ambos os sistemas de cultivo, ocorrendo decréscimo nos teores em profundidade. No preparo convencional os teores de N foram mais uniformes em profundidade, o que se deve ao efeito do preparo do solo, que distribuiu os nutrientes na camada

revolvida, além de influenciar a quantidade deste elemento em virtude da sequência de culturas adotada. Bayer e Bertol (1999), em experimentos no mesmo tipo de solo observaram teores maiores de N no sistema de semeadura direta em relação ao preparo convencional. Para o carbono orgânico não se observaram modificações nos teores no preparo convencional quando se compara com teores da avaliação realizada em 2001, no mesmo experimento (ALMEIDA et al., 2005). É importante considerar que até 2005 se removiam os resíduos culturais de terreno no preparo convencional. Mesmo mantendo os restos culturais na área nestes três últimos anos, não foi possível aumentar o teor de carbono no solo periodicamente revolvido no preparo convencional. Já a semeadura direta aumentou os teores de carbono em relação à avaliação feita em 2001, principalmente na camada de 0 a 15 cm. Esta elevação foi superior, inclusive à condição natural de campo nativo que apresentava em 2001 teor médio de $28,2 \text{ g kg}^{-1}$ de CO na camada de 0 a 20 cm de profundidade (ALMEIDA et al., 2005). Isso ocorre devido ao maior aporte de resíduos culturais ao longo dos cultivos. Castro Filho et al. (1998), observaram teores maiores de carbono orgânico sob semeadura direta em relação ao preparo convencional, em um experimento de longa duração em um Latossolo em Londrina. Isso ocorreu devido ao fato do sistema de semeadura direta preservar a matéria orgânica do solo e principalmente, por reduzir sua taxa de decomposição.

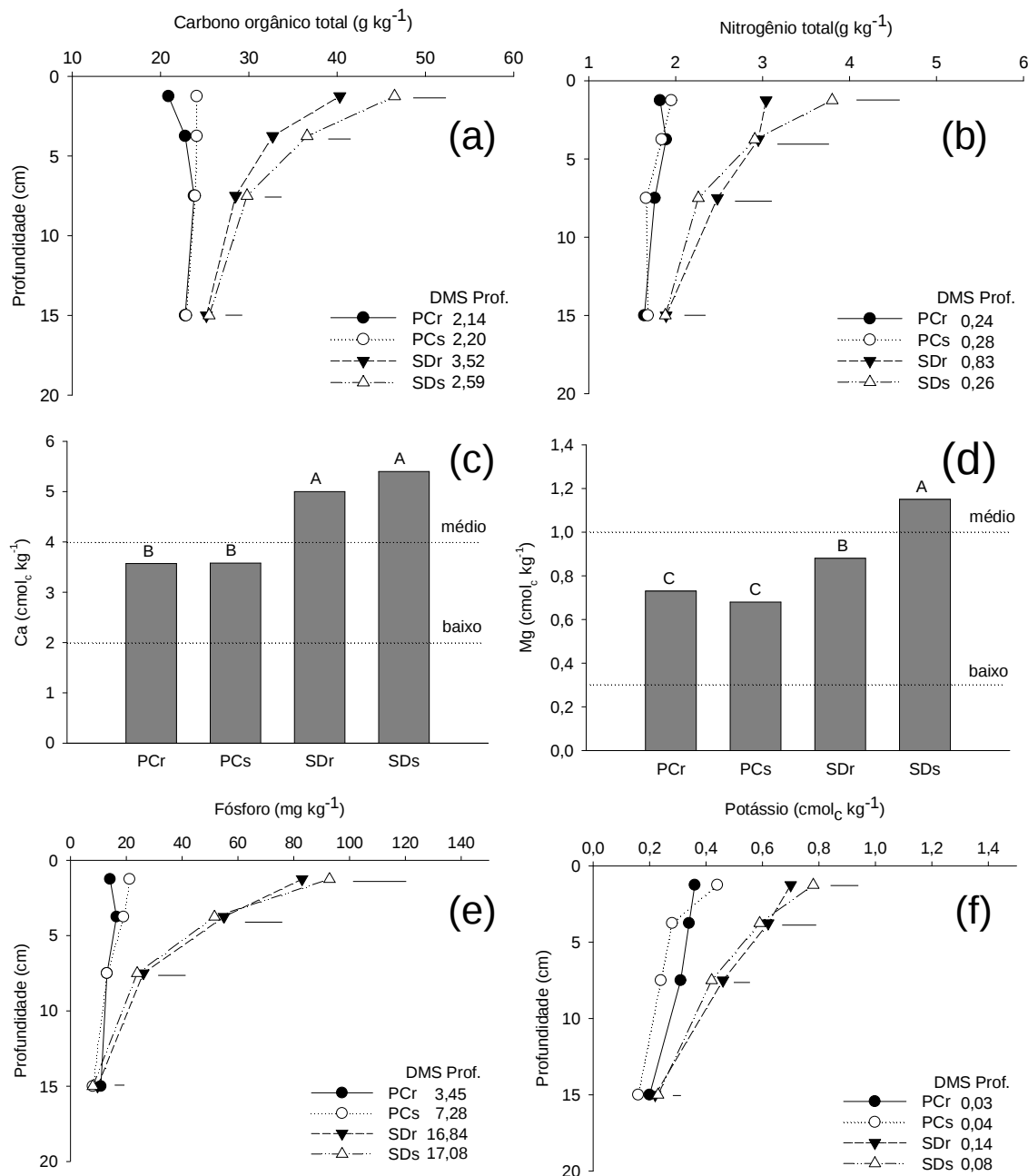


Figura 6 - Teores de carbono orgânico total (a), nitrogênio total (b), Ca (c), Mg (d), P (e) e K(f), sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre os tratamentos em uma mesma profundidade com base no teste "t". As letras indicam diferenças entre as médias das camadas pelo teste t ($P < 0,05$).

Na semeadura direta o teor de carbono orgânico foi mais alto nas camadas superficiais decrescendo em profundidade, enquanto no preparo convencional os teores foram mais uniformes entre as camadas (Figura 6a). Isso se deve ao acúmulo e manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo no sistema de semeadura direta, e pelo revolvimento do solo no preparo convencional, o qual incorpora os resíduos vegetais, distribuindo-os mais uniformemente, além de acelerar sua decomposição (BERTOL et al., 2004; SILVA et al., 2006). Bayer e Scheneider (1999), observaram redução em torno de 70% dos teores de matéria orgânica na camada superficial (0-2,5 cm) do solo, em lavouras sob preparo convencional em relação às de semeadura direta, num período de 3 a 7 anos.

Os teores de Ca foram maiores na semeadura direta do que no preparo convencional, não diferindo entre os sistemas de cultivo na média das camadas avaliadas. Os níveis de Ca variaram de 3,3 a 3,9 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no preparo convencional e de 4,9 a 6,2 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na semeadura direta (Figura 6c). Os níveis deste elemento ficaram superiores ao nível considerado crítico pela CQFS-RS/SC (2004) que é de 2 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Neste mesmo experimento, Almeida et al. (2005) não observaram diferenças entre os tratamentos na camada até 5 cm de profundidade. A presença de maiores teores de Ca no sistema de semeadura direta pode ser explicada pela maior quantidade de matéria orgânica neste sistema, proporcionando maior quantidade de cargas negativas e maior CTC (capacidade de troca de cátions). Segundo Peixoto et al. (1997) a fração mineral pouco contribui para a CTC, e a matéria orgânica é o componente coloidal que mais interfere na capacidade de troca catiônica do solo.

Os teores de Mg variaram de 0,7 a 0,8 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no preparo convencional e de 0,8 a 1,3 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na semeadura direta (Figura 6d). O tratamento SDs teve o

maior teor de Mg, equivalendo à SDr, apresentando teores considerados altos pela CQFS-RS/SC (2004). No preparo convencional não houve diferença entre os sistemas de cultivo, e também não houve diferenças em profundidade em nenhum tratamento. No mesmo experimento, Almeida et al. (2005) não observaram variações significativas entre os tratamentos de preparo convencional e semeadura direta.

Os teores de P e K apresentaram comportamento semelhante, diminuindo em profundidade. O teor de P variou de 8 a 21 mg kg⁻¹ no preparo convencional e de 8 a 93 mg kg⁻¹ na semeadura direta (Figura 6e), enquanto os teores de K variaram de 0,2 a 0,4 cmol_c kg⁻¹ no preparo convencional e de 0,2 a 0,8 cmol_c kg⁻¹ na semeadura direta (Figura 6f). A semeadura direta teve teores maiores de P em relação ao preparo convencional. Não houve diferenças entre os sistemas de cultivo. Em todos os tratamentos os níveis de P ficaram acima do nível crítico (9 mg kg⁻¹) considerado pela CQFS-RS/SC (2004). Em profundidade, houve diminuição no teor de P em todos os tratamentos, sendo este fato mais evidente na semeadura direta, onde os teores foram muito maiores nas primeiras camadas em relação à subsuperfície. No preparo convencional os teores foram menores do que na semeadura direta e mais uniformes em profundidade.

As altas concentrações de P na superfície do solo em sistemas de semeadura direta (Figura 6e), tem sido observadas freqüentemente (ELTZ et al., 1989; DE MARIA e CASTRO, 1993; BAYER e MIELNICZUK, 1997; FRAZÃO et al., 2008), fato atribuído a não-incorporação dos adubos fosfatados, à baixa mobilidade desse nutriente no perfil do solo e ao menor contato desses adubos com a fração mineral do solo, que diminui a adsorção de P (MUZILLI, 1983). O acúmulo de P nas camadas superficiais também pode estar associado a deposição de resíduos culturais, o que favorece a redistribuição de formas orgânicas do elemento que são

suscetíveis ao processo de degradação (SANTOS e TOMM, 2003). Ainda, à aplicação de adubos fosfatados em superfície, sem incorporação ao solo na semeadura direta.

Os teores de K na camada de 0-10 cm foram maiores na semeadura direta em relação ao preparo convencional, variando de 0,16 a 0,78 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 6f), sem diferenças entre os sistemas de cultivo. Em profundidade houve redução nos teores de K, sendo este fato mais evidente na semeadura direta, enquanto, no preparo convencional os teores foram mais uniformes em profundidade. Os teores de K se mantiveram acima do nível crítico de 0,15 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CQFS-RS/SC, 2004).

As altas diferenças nos teores de P e K entre os preparos do solo (SD e PC), também pode ser atribuída às adubações recebidas ao longo dos cultivos, onde a semeadura direta recebeu 137 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 118 kg ha^{-1} de K_2O a mais do que o preparo convencional (Apêndice A).

O pH em água do solo variou entre os sistemas de cultivo (Figura 7a), tendo sido maior nos sistemas com rotação de cultura em relação a sucessão em ambos os sistemas de preparo avaliados. Isso pode ser explicado pela maior diversidade de culturas utilizadas no sistema de rotação, sendo que, na semeadura direta foram utilizadas seis espécies de plantas na rotação e no preparo convencional, mesmo com pousio no inverno utilizaram-se três espécies na rotação. Na sucessão apenas duas espécies foram utilizadas na semeadura direta e uma no preparo convencional. Isso resultou em maior acúmulo de material orgânico no sistema de rotação de culturas. Quando a matéria orgânica do solo é mineralizada, o material orgânico é transformado em substâncias orgânicas (ácidos orgânicos e húmus) e mineralizado (nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais, gás carbônico, água etc.),

acarretando em aumento das cargas negativas e do pH do solo (HECKLER et al., 1998), dentre outros aspectos positivos.

Diversos autores constataram valores mais baixos de pH em sistema de semeadura direta nas camadas mais superficiais do solo (BLEVINS et al., 1983; CIOTTA et al., 2002). Isso pode ser atribuído à acidificação ocasionada pela decomposição dos restos culturais e liberação de ácidos orgânicos (BAYER, 1992), bem como ao efeito acidificante provocado pela utilização contínua de adubos nitrogenados amoniacais (BLEVINS et al., 1983; CIOTTA et al., 2002).

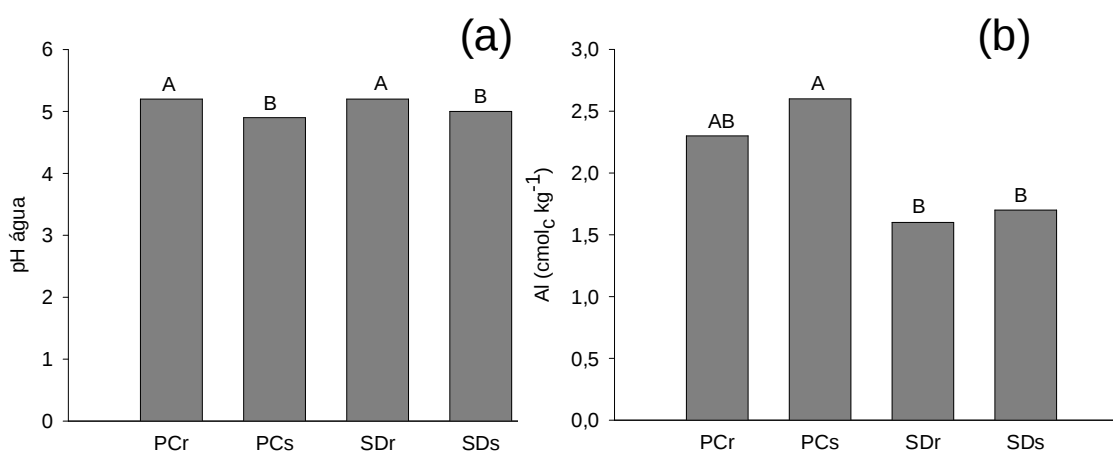


Figura 7 - pH em água (a) e teores de Al (b) médios na camada de 0-20 cm, sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages, 2008. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste t.

O pH se manteve próximo a 5,0, na média geral, estando abaixo do valor de 5,5 registrado quando o experimento foi instalado. Esse comportamento deve-se a acidificação natural que ocorre no solo ao longo dos cultivos.

Os teores de alumínio variaram de 2,1 a 2,8 cmol_c kg⁻¹ no preparo convencional e de 1,1 a 2 cmol_c kg⁻¹ na semeadura direta (Figura 7b). Os menores teores de Al trocável na semeadura direta podem ser explicados pelo efeito do

aporte e produção de material orgânico nesse sistema, que podem ter complexado o Al, o que também foi constatado por Ciotta et al. (2002) em um Latossolo Bruno. Nesse mesmo experimento, Almeida et al. (2005) não encontrou diferença significativa para este elemento entre os sistemas de preparo do solo.

4.3 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

A produtividade de massa seca das plantas de cobertura de inverno (aveia e ervilhaca), no ano de 2007 variou de 4,2 a 6,0 Mg ha⁻¹ (Figura 8a), sem diferença entre os tratamentos. As culturas de verão, sorgo e soja, conduzidas nos sistemas de sucessão e rotação de culturas respectivamente não apresentaram diferenças de produtividade em relação ao sistema de preparo do solo (Figura 8b). A produtividade média de soja na semeadura direta foi de 1651 kg ha⁻¹ e no preparo convencional foi de 1402 kg ha⁻¹. A produtividade média de massa seca de sorgo foi de 9070 kg ha⁻¹ no preparo convencional e 10150 kg ha⁻¹ na semeadura direta. Este comportamento pode ser atribuído a adubação aplicada em ambos os sistemas de preparo do solo, a condição climática favorável ao bom desenvolvimento das culturas, pois não ocorreu períodos de estiagem, o que poderia prejudicar a cultura na condição de preparo convencional, já que este sistema de preparo tem menor retenção de água.

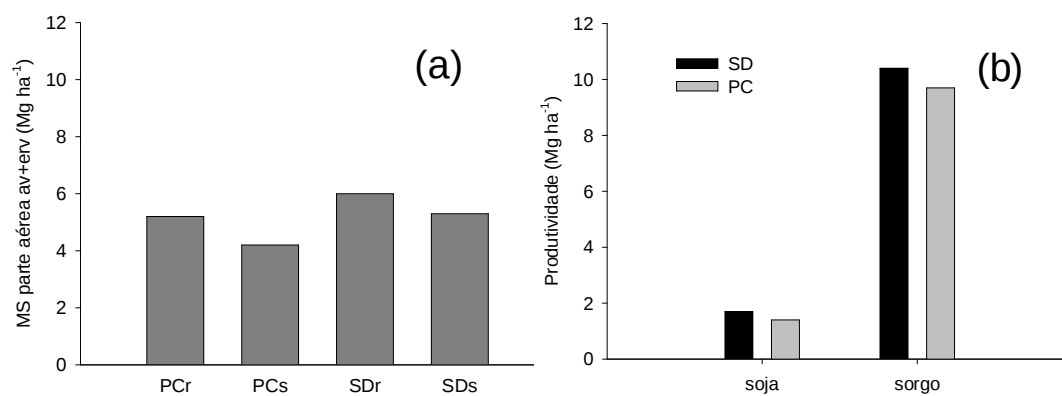


Figura 8 - Produção de massa seca das plantas de cobertura de inverno (aveia+ervilhaca) de 2007 (a) e massa seca sorgo e grãos de soja safra 07/08 (b), sob diferentes sistemas de manejo incluindo preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação (r) e sucessão (s) de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages.

CONCLUSÕES

- 1- A semeadura direta após doze anos de cultivo mantém as propriedades físicas do solo adequadas ao desenvolvimento das plantas. Tem maior microporosidade, retenção e disponibilidade de água para as plantas em relação ao preparo convencional, não havendo necessidade de interromper a semeadura direta.
- 2- A melhor agregação do solo associada aos maiores teores de carbono orgânico, principalmente na camada superficial, ocorre na semeadura direta quando comparada ao convencional, o que se relaciona com a proteção física do solo ocasionada pela cobertura e resíduos que evita as perdas por erosão.
- 3- Os sistemas de cultivo interferem nos atributos físicos do solo. A densidade é menor só na camada superficial e a porosidade total e infiltração de água são maiores na sucessão de culturas em semeadura direta na camada superficial, quando comparada à rotação de culturas.
- 4- A dinâmica dos nutrientes é afetada pelo sistema de preparo do solo, porém, os sistemas de cultivo não interferem; os maiores teores de nutrientes são encontrados na semeadura direta.
- 5- A produtividade das culturas de verão (grãos e massa seca) e produção de massa seca do cultivo de inverno não apresenta efeito de preparo e cultivo do solo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco arenoso em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 519-531, 2004.

ADDISCOTT, T. M. Eutropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, v. 46, p. 161-168, 1995.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 115-119, 1995.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 717-723, 2001.

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**, v. 29, p. 437-445, 2005.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. New York: John Wiley, 1972. 498p.

BAYER, C. Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas. Porto Alegre, 1992. 172 p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 9-26.

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**, v 23, p. 687-694, 1999.

BAYER, C.; SCHENEIDER, N. G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teotônia. **Ciência Rural**, v. 29, p.165-166, 1999.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Tillage and cropping system effects on organic matter storage in Acrisol soil in southern Brasil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, n. 41, p. 341-358, 1990.

BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC) – 1ª aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, p. 515-521, 1993.

BERTOL, I., SCHICK, J., MASSARIOL, J. M., REIS, E. F., DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30, n.1, p.91-95, 2000.

BERTOL, I; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n.3, p. 555-560, 2001.

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 Ciencia do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

BERTONI; J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J. & GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 975-983, 2008.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; SMITH, M.S.; FRYE, W. W. & CORNELIUS, P. L. Changes in soils properties after 10 years continuous non-tillage and conventionally tilled corn. **Soil and Tillage Research**, v. 3, p. 135-146, 1983.

BOUMA, J. et.al. The function of different types of macroporos during saturated flow through four swelling soil horizons. **Soil Science Society of America Journal**, n. 41, p. 945-950, 1977.

BURLE, M. L.; MIELNICKZUK, J. & FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, v. 190, p. 309-316, 1997.

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**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Brasília: PRONI/MA, 1988. 216 p.

CARTER, M. R. Relations of strength properties to bulk density and macroporosity in cultivated loamy sand to loam soils. **Soil and Tillage Research**, 15, p.257-268, 1990.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua realção 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**, n. 22, p. 527-538, 1998.

CASTRO, F. S. **Conservacion de suelos**. Barcelona, Salvat, 1956. 298p.

CIOTTA, M. N. **Componentes químicos do solo influenciados por sistemas de preparo e modos de calagem em experimento de longa duração**. 2001. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages

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

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - 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.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico)**. 1981. 138p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

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**, v. 17, p. 471-477, 1993.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N. & KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina, IAPAR/GTZ, 1991. 272p. (IAPAR/GTZ, Sonderpublikation der GTZ, N245).

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F. & BOHN, W. Penetration resistance and root growth of oats tilled and untilled loess soil. **Soil and Tillage Research**, v. 3, p. 261-275, 1983.

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

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

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**, v. 7, p.329-333, 1983.

FORSYTE, W. **Física de suelos: manual de laboratório**. San José: Internacional de Ciências Agrícolas, 1975. 209p.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C.C.; CERRI, C. E.P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 5, 2008.

HECKLER, J.C.; HERNANI, L.C. & PITOL, C.. Palha. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C. & FONTES, C. Z. **Sistema de plantio direto**. Brasília, Embrapa Agropecuária Oeste, 1998.p. 38-49.

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

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 231p.

KARUNATILAKE, U.; van ES, H. M. & SCHINDELBECK, R. R. Soil and maize response to plow and no-tillage after alfafa-to-maize conversion on a clay loam soil in New York. **Soil and Tillage Research**, v. 55, p. 31-42, 2000.

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. (Agronomy Monograph, 9)

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relação solo-planta**. São Paulo, Ceres, 1979.262p.

KLEIN, V. A.; BOLLER, W.; CANDATEN, A.; BORTOLOTTI, R. R. & DALPAZ, R. C. Avaliação de escarificadores e resposta da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 307-311, 1995.

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes métodos de manejos de solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 25, p. 395-398, 1995.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.646–650, 2006.

KLEIN, W. A. **Física do Solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008, 212p.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S.; CRUZ, L. E. C. Atributos físicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1849-1855, 2008.

LOS, C. J. Plantio direto na integração agricultura pecuária. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: IAPAR, 1997, p. 2-8.

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**, v. 17, p. 471-477, 1993.

MIELNICZUK, J. A sustentabilidade agrícola e o plantio direto. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa, IAPAR, 1997, p. 9-14.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 95-102, 1983.

MUZILLI, O. **A adubação verde como alternativa para a melhoria da fertilidade do solo e racionalização do uso de fertilizantes**. Londrina. IAPAR, 1986.14p. (IAPAR, Informe de Pesquisa, n. 68).

NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. **Soil Science Society of America Journal**, n. 51, p. 183-186, 1987.

PEIXOTO, R. T. G & ELTZ, F. L. F. Avaliação da fertilidade do solo em plantio direto na região dos Campos Gerais, Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 18, Londrina, PR, 1986. **Resumos**. Campinas, Soc. Bras. Ci. Solo, 1986. P.56.

PEIXOTO, R. T. G. Manejo orgânico da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In : PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa, IAPAR, 1997, p. 186-205.

PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. **Plantio Direto**: o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa: IAPAR, 1997.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**: agricultura em regiões tropicais. 5 ed. São Paulo: Nobel, 1982. 541p.

RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Ed. Ceres, Potafos.1991. 343p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manoel. 1987. 188p.

REICHARDT, K. Infiltração da água no solo. In: **Dinâmica da matéria e energia em ecossistemas**. 2 ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996, p.317-352.

REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W.; DOUGLAS. C.L. & RASMUNSEN, P.E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal of Soil Water Conservation**, v. 50, p. 252-261,1995.

RESCK, D. V. S.; VASCONCELOS, C. A.; VILELA, L.; MACEDO, M. C.M. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, R.;KIMBEL, J. M.; STEWART, B. A. (Ed). **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC, 1999. P. 169-196. (Advances in Soil Science).

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p. 131-146, 2002.

REZENDE, J. O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas (compac disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Anais....**Rio de Janeiro:SBCS; Embrapa, 1997.

RIBON, A. A. & TAVARES FILHO, J. Model propositions for the estimation of the physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 47. P.25-31, 2004.

RIBON, A. A. & TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 1817-1825, 2008.

ROMEIRO, A. R. Agricultura sustentável e tecnologia. In : PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: IAPAR, 1997, p. 2-8.

ROSCOE, R; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, 304p.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função dos sistemas de cultivo e manejo do solo. **Ciência Rural**, v.33, p.477-486, 2003.

SILVA, R. H. & ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 253-260, 2001.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; ROSA, J. D.; 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**, v. 30, p.329-337, 2006.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.22, p.311-317, 1998.

STIRZAKER, R. J.; PASSIOURA, J. B.; WILMS, Y. Soil structure and plant growth: impact of bulk density and biopores. **Plant and Soil**, v. 185, p. 151-162, 1996.

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**, n. 25, p.395-401, 2001.

SIX, J. ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1350-1358, 1999.

TAYLOR, H. M. & GARDNER, H.R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength soil. **Soil Science**, v. 96, p. 153-156, 1963.

TAYLOR, H. M.; ROBERTSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 18-22, 1966.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.174p.

TOGNON, A. A.; DEMATÊ, J. A. M.; MAZZA, J. A. Alterações nas propriedades químicas de Latossolos Roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 271-278, 1997.

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

APÊNDICES

- APÊNDICE A- Valores médios de umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) nos potenciais matriciais de 0 kPa(saturação), -1 kPa, -6 kPa, -10 kPa (CC), -30 kPa e -100 kPa, nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm sob quatro sistemas de manejo: PCr - preparo convencional com rotação de culturas PCs – preparo convencional com sucessão de culturas SDr – semeadura direta com rotação de culturas e SDs – semeadura direta com sucessão de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages – SC.
- APÊNDICE B - Histórico de cultivo e adubações realizadas em um experimento com dois sistemas de preparo e dois sistemas de cultivo do solo, em um Cambissolo Húmico – Lages, SC no período de 1995 a 2007. Cultivos: P – pousio E – ervilhaca A – aveia NF – nabo forrageiro M – milho S – soja F – feijão. Adubações: SFT – super fosfato triplo KCl – cloreto de potássio.
- APÊNDICE C - Resultados dos atributos avaliados.

APÊNDICE A – Histórico de cultivo e adubações realizadas em um experimento com dois sistemas de preparo e dois sistemas de cultivo do solo, em um Cambissolo Húmico – Lages, SC no período de 1995 a 2007. Cultivos: P – pousio; E – ervilhaca; A – aveia; NF – nabo forrageiro; M – milho; S – soja; F – feijão. Adubações: SFT – super fosfato triplo; KCl – cloreto de potássio.

ANO	CULTIVO				ADUBAÇÃO (kg/1000m ²)	
	Preparo convencional		Semeadura direta		Preparo convencional	Semeadura direta
	Sucessão	Rotação	Sucessão	Rotação		
10/95	M	M	M	M	12,5 SFT 10 KCl	12,5 SFT 10 KCl
05/96	P	P	A	A	---	10 SFT 8 KCl
10/96	M	F	M	F	20 (5-25-25)	20 (5-25-25)
05/97	P	P	E	A	---	25 (5-20-10)
10/97	M	M	M	M	30 (5-25-25)	30 (5-25-25)
05/98	P	P	E	NF	---	20 (5-25-25)
10/98	M	S	M	S	30 (5-20-10) – S 8 SFT, 10 KCl – R	30 (5-20-10) - S 8 SFT, 10 KCl - R
05/99	P	P	E	E	---	---
10/99	M	F	M	F	10 SFT, 6 KCl - S 2 SFT, 4 KCl - R	10 SFT, 6 KCl - S 2 SFT, 4 KCl - R
05/00	P	P	E	A	---	---
10/00	M	M	M	M	16,7 SFT, 16,7 KCl	16,7 SFT, 16,7 KCl
05/01	P	P	E	NF	---	---
10/01	M	S	M	S	15 STF 15 KCl	15 STF 15 KCl
05/02	P	P	E	E	---	---
10/02	M	F	M	F	30 (5-30-25)	30 (5-30-25)
05/03	P	P	E	A	---	---
10/03	M	M	M	M	7 SFT 10 KCl	7 SFT 10 KCl
05/04	P	P	E	NF	---	---
10/04	M	S	M	S	30 (2-25-25)	30 (2-25-25)
05/05	P	P	E	E	---	---
10/05	M	F	M	F	25 (6-24-10)	25 (6-24-10)
05/06	P	P	E	A	---	---
10/06	M	M	M	M	8 SFT 12 KCl	8 SFT 12 KCl
Total					740 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ 820 kg ha ⁻¹ K ₂ O	877 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ 938 kg ha ⁻¹ K ₂ O

APÊNDICE B – Valores médios de umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) nos potenciais matriciais de 0 kPa (saturação), -1 kPa, -6 kPa, -10 kPa (CC), -30 kPa e -100 kPa, nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm sob quatro sistemas de manejo: PCr - preparo convencional com rotação de culturas; PCs – preparo convencional com sucessão de culturas; SDr – semeadura direta com rotação de culturas e SDs – semeadura direta com sucessão de culturas em um Cambissolo Húmico, Lages – SC

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0-2,5	2,5-5,0	5-10	10-20
0 kPa – saturação				
PCr	0,569 Ab	0,574 Aa	0,491 B	0,473 B
PCs	0,549 Ab	0,553 Aab	0,501 B	0,484 B
SDr	0,587 Aab	0,541 Bb	0,483 C	0,490 C
SDs	0,615 Aa	0,564 Bab	0,495 C	0,501 C
1 kPa				
PCr	0,410 ABc	0,417 Ab	0,391 AB	0,386 Bb
PCs	0,432 ABbc	0,459 Aa	0,397 b	0,397 Ba
SDr	0,459 Aab	0,466 Aa	0,410 B	0,418 Ba
SDs	0,463 Aa	0,464 Aa	0,412 B	0,410 Bab
6 kPa				
PCr	0,343 b	0,361 b	0,353 b	0,351 b
PCs	0,367 ABb	0,373 Ab	0,350 Bb	0,397 Aab
SDr	0,406 ABa	0,423 Aa	0,379 Ba	0,385 Ba
SDs	0,401 ABa	0,409 Aa	0,373 Bab	0,372 Bab
10 kPa				
PCr	0,326 c	0,344 b	0,344 bc	0,341
PCs	0,351 bc	0,357 ABb	0,338 Bc	0,367 A
SDr	0,392 ABa	0,410 Aa	0,369 Ba	0,376 B
SDs	0,384 ab	0,394 a	0,362 ab	0,363
30 kPa				
PCr	0,300 c	0,301 b	0,326 bc	0,325 b
PCs	0,326 Bbc	0,332 ABb	0,318 Bc	0,394 Aab
SDr	0,366 ABa	0,385 Aa	0,352 Ba	0,360 Aba
SDs	0,356 ab	0,367 a	0,346 ab	0,348 ab
100 kPa				
PCr	0,282 c	0,305 b	0,309 ab	0,309 b
PCs	0,308 Bbc	0,317 ABb	0,298 Bb	0,330 Aab
SDr	0,350 a	0,369 a	0,362 a	0,344 a
SDs	0,338 ab	0,349 a	0,332 ab	0,332 ab

APÊNDICE C – Resultado dos atributos físicos avaliados. Continua.

Trat	Prof	Rep	DS	MI	PT	MA	GF	DMP	RP
			g cm ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----				mm	kPa
PCr	1	1	1,24	0,35	0,50	0,15	0,228	4,80	235,4
PCr	1	2	1,05	0,28	0,43	0,14	0,496	5,46	235,4
PCr	1	3	1,28	0,33	0,53	0,20	0,511	5,38	206,5
PCr	1	4	1,24	0,34	0,50	0,16	0,601	5,17	206,5
PCr	1	5	1,28	0,35	0,51	0,16	0,396	3,41	107,9
PCr	1	6	1,19	0,35	0,43	0,08	0,664	5,51	107,9
PCr	1	7	1,28	0,38	0,48	0,09	0,678	4,48	148,2
PCr	1	8	1,24	0,36	0,45	0,09	0,511	4,67	148,2
PCr	2	1	1,04	0,32	0,42	0,10	0,494	5,38	688,1
PCr	2	2	1,21	0,36	0,49	0,13	0,493	5,62	688,1
PCr	2	3	1,42	0,37	0,56	0,19	0,797	5,51	595,8
PCr	2	4	1,46	0,39	0,62	0,23	0,392	5,79	595,8
PCr	2	5	1,15	0,33	0,46	0,13	0,493	5,85	551,5
PCr	2	6	1,16	0,34	0,44	0,11	0,579	5,76	551,5
PCr	2	7	1,37	0,40	0,56	0,16	0,709	5,77	688,6
PCr	2	8	1,23	0,39	0,51	0,12	0,677	5,83	688,6
PCr	3	1	1,25	0,68	0,50	0,17	0,491	5,12	1039,4
PCr	3	2	1,43	0,70	0,58	0,23	0,313	5,89	1039,4
PCr	3	3	1,40	0,48	0,55	0,32	0,526	5,44	746,7
PCr	3	4	1,38	0,69	0,55	0,21	0,492	5,99	746,7
PCr	3	5	1,26	0,66	0,50	0,18	0,493	5,98	1000,1
PCr	3	6	1,28	0,94	0,53	0,07	0,598	6,13	1000,1
PCr	3	7	1,33	0,79	0,53	0,14	0,592	5,85	980,3
PCr	3	8	1,39	0,74	0,57	0,20	0,708	5,97	980,3
PCr	4	1	1,21	0,65	0,48	0,16	0,491	5,54	1123,6
PCr	4	2	1,47	0,74	0,59	0,23	0,308	5,86	1123,6
PCr	4	3	1,43	0,74	0,57	0,21	0,511	5,66	865,2
PCr	4	4	1,40	0,75	0,55	0,18	0,232	5,92	865,2
PCr	4	5	1,27	0,65	0,49	0,17	0,511	5,75	935,7
PCr	4	6	1,30	0,69	0,53	0,19	0,598	5,80	935,7
PCr	4	7	1,43	0,83	0,57	0,16	0,707	6,03	906,0
PCr	4	8	1,43	0,77	0,56	0,18	0,733	5,81	906,0
PCs	1	1	1,23	0,36	0,42	0,06	0,842	5,09	1160,2
PCs	1	2	1,32	0,38	0,48	0,10	0,393	4,21	1160,2
PCs	1	3	1,26	0,36	0,48	0,12	0,631	3,60	179,5
PCs	1	4	1,32	0,39	0,50	0,10	0,646	4,55	179,5
PCs	1	5	1,29	0,39	0,49	0,10	0,737	4,64	290,4
PCs	1	6	1,28	0,35	0,51	0,16	0,857	5,90	290,4
PCs	1	7	1,27	0,36	0,47	0,11	0,734	5,04	226,5
PCs	1	8	1,19	0,34	0,48	0,14	0,882	5,48	226,5
PCs	2	1	1,24	0,38	0,48	0,10	0,676	5,72	4865,1
PCs	2	2	1,28	0,35	0,52	0,17	0,601	5,90	4865,1
PCs	2	3	1,41	0,39	0,56	0,17	0,595	5,43	760,1
PCs	2	4	1,23	0,38	0,48	0,11	0,529	4,85	760,1
PCs	2	5	1,31	0,38	0,52	0,15	0,711	5,08	819,4
PCs	2	6	1,28	0,37	0,52	0,15	0,858	6,11	819,4
PCs	2	7	1,31	0,38	0,53	0,16	0,736	5,42	702,4
PCs	2	8	1,23	0,37	0,50	0,13	0,707	6,09	702,4

APÊNDICE C – Resultado dos atributos físicos avaliados. Continuação.

Trat	Prof	Rep	DS	MI	PT	MA	GF	DMP	RP
			g cm ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----				mm	kPa
PCs	3	1	1,26	0,75	0,49	0,12	0,699	5,98	7265,9
PCs	3	2	1,34	0,71	0,54	0,19	0,599	6,30	7265,9
PCs	3	3	1,40	0,78	0,55	0,17	0,637	5,61	1112,9
PCs	3	4	1,21	0,68	0,47	0,14	0,683	5,39	1112,9
PCs	3	5	1,37	0,71	0,53	0,18	0,735	5,98	1116,9
PCs	3	6	1,18	0,69	0,43	0,09	0,825	6,19	1116,9
PCs	3	7	1,31	0,69	0,51	0,17	0,708	5,34	1256,8
PCs	3	8	1,30	0,72	0,55	0,19	0,710	5,26	1256,8
PCs	4	1	1,23	0,83	0,49	0,08	0,546	5,97	6966,0
PCs	4	2	1,39	0,73	0,55	0,19	0,392	5,92	6966,0
PCs	4	3	1,40	0,76	0,57	0,20	0,552	5,77	1155,3
PCs	4	4	1,31	0,70	0,53	0,18	0,682	5,90	1155,3
PCs	4	5	1,42	0,80	0,56	0,17	0,735	5,56	1244,0
PCs	4	6	1,46	0,79	0,53	0,15	0,546	5,88	1244,0
PCs	4	7	1,36	0,83	0,55	0,14	0,185	5,83	1312,6
PCs	4	8	1,36	0,75	0,54	0,18	0,733	5,97	1312,6
SDr	1	1	1,45	0,19	0,57	0,38	0,569	4,96	240,9
SDr	1	2	1,07	0,36	0,42	0,06	0,146	5,87	240,9
SDr	1	3	1,21	0,38	0,48	0,10	0,343	6,28	290,7
SDr	1	4	1,32	0,42	0,54	0,12	0,755	6,08	290,7
SDr	1	5	1,30	0,41	0,50	0,09	0,884	5,69	97,1
SDr	1	6	1,15	0,45	0,45	0,00	0,903	6,20	97,1
SDr	1	7	1,17	0,38	0,47	0,08	0,734	5,87	218,6
SDr	1	8	1,39	0,45	0,59	0,14	0,708	6,24	218,6
SDr	2	1	1,30	0,44	0,50	0,06	0,144	5,92	990,3
SDr	2	2	1,33	0,44	0,53	0,09	0,258	5,56	990,3
SDr	2	3	1,26	0,39	0,52	0,12	0,342	5,96	1070,8
SDr	2	4	1,29	0,46	0,48	0,02	0,497	6,23	1070,8
SDr	2	5	1,32	0,43	0,55	0,11	0,895	5,94	1020,9
SDr	2	6	1,35	0,43	0,53	0,09	0,903	6,16	1020,9
SDr	2	7	1,20	0,39	0,50	0,11	0,731	6,16	939,4
SDr	2	8	1,33	0,40	0,51	0,11	0,562	6,14	939,4
SDr	3	1	1,34	0,82	0,54	0,14	0,343	6,15	1339,1
SDr	3	2	1,32	0,77	0,52	0,15	0,530	5,79	1339,1
SDr	3	3	1,41	0,73	0,58	0,23	0,407	6,05	1451,0
SDr	3	4	1,32	0,83	0,54	0,14	0,552	6,21	1451,0
SDr	3	5	1,35	0,77	0,54	0,17	0,530	6,24	1748,8
SDr	3	6	1,34	0,77	0,53	0,15	0,733	6,26	1748,8
SDr	3	7	1,29	0,71	0,53	0,18	0,677	6,26	1645,2
SDr	3	8	1,38	0,80	0,57	0,18	0,466	6,12	1645,2
SDr	4	1	1,26	0,87	0,51	0,08	0,336	6,00	1296,0
SDr	4	2	1,32	0,87	0,53	0,11	0,598	6,31	1296,0
SDr	4	3	1,32	0,70	0,50	0,16	0,409	6,18	1279,6
SDr	4	4	1,36	0,77	0,55	0,17	0,560	6,20	1279,6
SDr	4	5	1,40	0,77	0,55	0,17	0,854	6,11	1496,1
SDr	4	6	1,36	0,78	0,53	0,15	0,731	6,25	1496,1

APÊNDICE C – Resultado dos atributos físicos avaliados. Conclui.

Trat	Prof	Rep	DS	MI	PT	MA	GF	DMP	RP
			g cm ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----				mm	kPa
SDr	4	7	1,31	0,78	0,53	0,15	0,732	6,14	1517,4
SDr	4	8	1,36	0,75	0,55	0,18	0,562	6,20	1517,4
SDs	1	1	1,25	0,39	0,52	0,13	0,345	6,35	145,9
SDs	1	2	1,22	0,48	0,48	0,01	0,868	6,22	145,9
SDs	1	3	1,16	0,35	0,31	0,08	0,776	5,98	122,9
SDs	1	4	1,02	0,37	0,39	0,02	0,798	6,24	122,9
SDs	1	5	1,19	0,39	0,46	0,07	0,905	6,11	63,2
SDs	1	6	1,20	0,39	0,46	0,07	0,913	6,25	63,2
SDs	1	7	1,10	0,40	0,46	0,05	0,913	6,02	193,3
SDs	1	8	1,10	0,45	0,43	0,08	0,881	5,81	193,3
SDs	2	1	1,29	0,41	0,50	0,09	0,344	6,29	775,1
SDs	2	2	1,28	0,44	0,50	0,05	0,869	6,16	775,1
SDs	2	3	1,44	0,42	0,58	0,16	0,817	6,18	671,6
SDs	2	4	1,33	0,39	0,55	0,15	0,819	6,23	671,6
SDs	2	5	1,29	0,38	0,52	0,14	0,912	6,22	364,8
SDs	2	6	1,19	0,42	0,50	0,08	0,755	6,18	364,8
SDs	2	7	1,20	0,39	0,49	0,11	0,757	6,30	1029,1
SDs	2	8	1,27	0,43	0,47	0,04	0,753	6,27	1029,1
SDs	3	1	1,34	0,74	0,51	0,15	0,774	6,17	1493,5
SDs	3	2	1,29	0,81	0,51	0,11	0,678	5,78	1493,5
SDs	3	3	1,38	0,85	0,64	0,22	0,817	6,14	996,0
SDs	3	4	1,31	0,67	0,52	0,19	0,747	6,25	996,0
SDs	3	5	1,25	0,72	0,49	0,13	0,911	6,21	1163,7
SDs	3	6	1,28	0,72	0,53	0,17	0,733	5,97	1163,7
SDs	3	7	1,33	0,79	0,53	0,14	0,756	6,10	1520,1
SDs	3	8	1,35	0,78	0,55	0,17	0,774	6,09	1520,1
SDs	4	1	1,45	0,81	0,57	0,17	0,463	6,22	1117,8
SDs	4	2	1,23	0,69	0,47	0,13	0,677	6,23	1117,8
SDs	4	3	1,41	0,76	0,56	0,19	0,818	6,28	1269,4
SDs	4	4	1,37	0,70	0,54	0,19	0,817	6,10	1269,4
SDs	4	5	1,25	0,89	0,51	0,07	0,884	5,99	1503,0
SDs	4	6	1,23	0,71	0,48	0,14	0,733	6,21	1503,0
SDs	4	7	1,28	0,76	0,52	0,15	0,710	6,18	1564,3
SDs	4	8	1,34	0,77	0,52	0,14	0,729	6,22	1564,3

Trat = tratamento (PCr = preparo convencional com rotação de culturas; PCs = preparo convencional com sucessão de culturas; SDr = semeadura direta com rotação de culturas; SDs = semeadura direta com sucessão de culturas); **Prof** = profundidade (1 = 0-2,5cm, 2 = 2,5-5cm, 3 = 5-10cm, 4 = 10-20cm); **Rep** = repetição; **DS** = densidade do solo; **MI** = microporosidade; **PT** = porosidade total; **GF** = grau de floculação; **DMP** = diâmetro médio ponderado; **RP** = resistência à penetração (penetrógrafo).

APÊNDICE D – Resultado dos atributos químicos avaliados. Continua

Trat	Prof	Rep	C _{org} g kg ⁻¹	N total g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	K -----cmol _c kg ⁻¹ -----	Ca	Mg	Al	pH água
PCr	1	1	18,29	1,71	9,35	0,35	2,55	0,60	3,73	5,19
PCr	1	2	18,29	2,48	12,21	0,37	3,15	0,68	3,04	5,27
PCr	1	3	21,71	1,71	16,10	0,38	2,55	0,74	2,51	5,27
PCr	1	4	19,71	1,71	15,32	0,39	4,12	0,82	1,73	5,49
PCr	1	5	24,00	1,57	17,92	0,36	3,88	0,82	1,82	5,34
PCr	1	6	20,00	1,64	16,36	0,36	4,00	0,86	1,99	5,38
PCr	1	7	21,71	2,13	12,47	0,30	3,39	0,62	2,34	5,27
PCr	1	8	23,71	1,64	14,03	0,39	4,48	0,74	1,73	5,34
PCr	2	1	18,86	1,99	11,69	0,33	2,67	0,60	3,30	5,19
PCr	2	2	22,29	1,50	14,81	0,31	3,15	0,70	2,60	5,38
PCr	2	3	21,94	2,20	20,26	0,31	3,64	0,72	2,25	5,47
PCr	2	4	21,94	1,92	19,48	0,39	3,88	0,82	1,65	5,52
PCr	2	5	22,46	2,13	22,34	0,34	4,00	0,86	1,82	5,41
PCr	2	6	23,66	2,06	18,70	0,36	4,12	0,90	1,99	5,45
PCr	2	7	24,69	1,71	10,65	0,30	3,76	0,68	2,17	5,35
PCr	2	8	26,57	1,64	14,55	0,39	4,36	0,72	3,30	5,34
PCr	3	1	22,97	1,92	12,21	0,28	2,67	0,58	3,21	5,10
PCr	3	2	22,63	1,50	12,21	0,29	3,27	0,70	2,69	5,35
PCr	3	3	22,29	1,78	17,14	0,33	3,52	0,72	2,25	5,21
PCr	3	4	23,31	1,50	14,03	0,34	4,00	0,82	1,65	5,45
PCr	3	5	24,51	2,06	15,84	0,33	4,24	1,04	1,82	5,60
PCr	3	6	24,17	1,78	15,06	0,36	4,12	0,92	1,99	5,34
PCr	3	7	24,69	1,71	7,79	0,26	3,64	0,66	2,25	5,13
PCr	3	8	25,89	1,85	10,65	0,34	4,12	0,72	1,56	5,22
PCr	4	1	19,54	1,57	7,27	0,16	1,70	0,38	3,99	5,18
PCr	4	2	19,20	1,43	7,79	0,17	2,55	0,58	3,38	4,97
PCr	4	3	21,94	1,99	14,81	0,18	3,15	0,68	2,78	5,43
PCr	4	4	23,31	1,71	9,87	0,21	3,52	0,80	2,17	5,39
PCr	4	5	25,20	1,50	16,10	0,25	4,12	0,86	1,99	5,37
PCr	4	6	25,20	1,50	12,73	0,21	3,76	0,86	2,43	5,34
PCr	4	7	25,03	1,71	8,83	0,22	3,88	0,70	2,43	5,11
PCr	4	8	23,31	1,71	10,13	0,25	4,48	0,74	1,73	5,21
PCs	1	1	23,14	2,13	22,86	0,51	4,00	0,86	1,99	4,86
PCs	1	2	24,00	2,27	18,44	0,56	4,36	1,00	1,13	4,98
PCs	1	3	24,86	2,34	31,95	0,46	2,79	0,58	2,69	4,90
PCs	1	4	27,71	1,85	25,19	0,42	2,67	0,52	2,78	4,32
PCs	1	5	26,00	1,92	11,95	0,36	3,88	0,68	1,39	5,15
PCs	1	6	24,00	1,78	14,55	0,34	4,48	0,74	2,25	5,02
PCs	1	7	24,29	1,85	25,97	0,48	2,55	0,50	3,30	4,70
PCs	1	8	18,86	1,50	18,70	0,39	2,06	0,42	4,08	4,83
PCs	2	1	25,71	2,20	18,18	0,23	4,12	0,84	1,82	5,27
PCs	2	2	26,40	1,92	13,25	0,33	4,12	0,90	1,30	5,04
PCs	2	3	24,69	1,64	13,25	0,30	2,55	0,60	2,86	4,92
PCs	2	4	23,83	1,57	19,48	0,31	3,03	0,54	3,12	4,80
PCs	2	5	25,71	1,99	9,61	0,25	4,73	0,82	1,47	5,15
PCs	2	6	23,14	2,20	22,86	0,24	4,24	0,72	2,51	5,14
PCs	2	7	23,14	1,64	11,95	0,30	2,30	0,50	3,73	4,78
PCs	2	8	20,23	1,57	43,90	0,29	1,94	0,38	4,34	4,85
PCs	3	1	26,40	1,85	14,29	0,30	4,24	0,92	1,65	5,27

APÊNDICE D – Resultado dos atributos químicos avaliados. Continuação

Trat	Prof	Rep	C _{org} g kg ⁻¹	N total g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	K	Ca cmol _c kg ⁻¹	Mg cmol _c kg ⁻¹	Al	pH água
PCs	3	2	25,89	1,85	11,69	0,25	4,48	0,96	2,78	5,08
PCs	3	3	22,63	1,57	9,35	0,26	2,79	0,62	2,95	4,84
PCs	3	4	24,51	1,43	12,47	0,24	3,15	0,58	3,04	4,94
PCs	3	5	25,89	1,71	8,83	0,23	4,12	0,72	1,56	5,17
PCs	3	6	24,51	1,78	6,49	0,20	5,45	0,86	2,43	5,20
PCs	3	7	21,09	1,71	26,23	0,21	2,91	0,54	3,56	5,01
PCs	3	8	20,74	1,43	15,58	0,24	1,94	0,42	4,16	4,90
PCs	4	1	23,83	2,13	9,61	0,19	3,88	0,84	2,25	5,32
PCs	4	2	25,71	1,99	8,83	0,21	4,61	0,98	1,30	5,38
PCs	4	3	22,97	1,99	5,45	0,17	2,79	0,64	3,12	4,88
PCs	4	4	21,94	1,64	7,79	0,15	2,67	0,58	3,30	4,94
PCs	4	5	24,51	1,43	10,65	0,17	5,45	0,92	1,56	5,27
PCs	4	6	22,80	1,78	8,31	0,14	3,88	0,70	2,86	5,04
PCs	4	7	22,29	1,08	7,27	0,15	3,03	0,58	3,73	4,89
PCs	4	8	19,89	1,43	6,49	0,15	1,70	0,40	4,60	4,71
SDr	1	1	38,57	3,60	94,29	0,51	4,00	0,78	2,08	5,18
SDr	1	2	39,71	2,69	62,60	0,60	4,24	0,92	2,17	5,28
SDr	1	3	38,29	3,46	83,64	0,61	4,73	0,82	1,91	5,15
SDr	1	4	30,29	2,13	47,27	0,54	3,52	0,66	2,43	5,16
SDr	1	5	38,86	1,57	60,78	0,79	5,82	0,86	0,87	5,27
SDr	1	6	45,71	3,95	117,40	0,94	6,30	0,94	0,61	5,26
SDr	1	7	49,14	3,74	117,40	0,87	8,36	1,22	0,26	4,95
SDr	1	8	42,29	3,18	80,78	0,78	7,27	1,22	0,26	5,58
SDr	2	1	18,17	2,76	61,04	0,42	3,88	0,76	2,78	5,06
SDr	2	2	32,06	2,41	43,38	0,49	4,12	0,82	2,34	5,25
SDr	2	3	30,34	5,35	43,64	0,51	4,12	0,74	2,43	5,09
SDr	2	4	27,09	2,34	45,97	0,50	3,64	0,62	2,34	5,25
SDr	2	5	31,03	1,64	35,58	0,63	5,33	0,82	1,39	5,34
SDr	2	6	37,71	3,39	70,39	0,63	5,45	0,84	1,21	5,25
SDr	2	7	36,34	3,11	85,19	1,01	6,55	1,00	0,61	5,39
SDr	2	8	34,46	2,62	55,06	0,83	6,91	1,14	0,43	5,50
SDr	3	1	30,34	2,20	31,43	0,36	4,24	0,84	2,60	5,11
SDr	3	2	27,94	4,51	18,96	0,39	4,00	0,80	2,43	5,18
SDr	3	3	27,09	2,27	24,68	0,43	3,39	0,62	2,78	5,10
SDr	3	4	30,17	2,27	47,27	0,51	3,76	0,64	2,60	5,10
SDr	3	5	28,29	2,13	15,84	0,43	5,70	0,90	1,21	5,32
SDr	3	6	30,00	2,27	23,64	0,46	5,45	0,86	1,39	5,25
SDr	3	7	27,43	2,13	34,81	0,64	5,94	0,90	0,87	5,33
SDr	3	8	26,91	2,06	12,47	0,46	6,55	1,18	0,35	5,83
SDr	4	1	26,06	2,27	9,87	0,17	4,24	0,96	2,25	4,16
SDr	4	2	26,57	2,13	9,61	0,21	4,24	0,90	2,25	5,16
SDr	4	3	24,51	1,71	8,57	0,20	3,88	0,80	2,43	5,03
SDr	4	4	24,86	1,85	16,36	0,29	3,64	0,70	2,43	4,98
SDr	4	5	25,89	1,85	7,53	0,21	5,45	0,94	1,56	5,23
SDr	4	6	25,20	1,71	11,69	0,21	5,45	0,98	1,21	5,56
SDr	4	7	26,57	1,85	9,61	0,28	5,58	0,98	1,04	5,35
SDr	4	8	22,29	1,78	4,94	0,26	6,55	1,38	0,52	5,51
SDs	1	1	48,29	3,60	80,00	0,91	5,70	1,04	1,13	4,81
SDs	1	2	45,43	3,88	75,06	0,73	5,82	0,96	1,91	4,79

APÊNDICE D – Resultado dos atributos químicos avaliados. Conclui.

Trat	Prof	Rep	C _{org} g kg ⁻¹	N total g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	K	Ca cmol _c kg ⁻¹	Mg	Al	pH água
SDs	1	3	41,43	3,32	132,21	0,66	4,97	0,76	1,99	4,74
SDs	1	4	41,14	3,46	115,58	0,91	5,82	0,92	1,13	4,90
SDs	1	5	46,86	3,60	114,81	0,76	8,73	2,08	1,30	4,90
SDs	1	6	52,29	4,23	89,35	0,73	11,76	2,43	0,69	4,92
SDs	1	7	50,86	4,30	76,36	0,83	5,33	0,90	0,69	4,88
SDs	1	8	45,71	4,09	59,74	0,76	6,79	1,12	0,69	5,00
SDs	2	1	34,63	2,41	38,44	0,65	4,97	0,96	1,56	5,11
SDs	2	2	39,09	3,04	59,22	0,51	4,36	0,78	2,25	5,07
SDs	2	3	33,09	2,83	77,40	0,52	4,12	0,68	2,60	4,84
SDs	2	4	35,31	3,25	64,94	0,57	4,36	0,76	1,99	4,89
SDs	2	5	36,00	2,90	59,22	0,62	6,55	1,80	2,25	4,94
SDs	2	6	38,74	2,83	33,77	0,85	7,76	1,86	1,56	5,09
SDs	2	7	38,57	3,18	45,45	0,51	7,39	1,42	1,13	4,75
SDs	2	8	37,37	2,90	34,55	0,51	6,06	1,02	1,13	5,08
SDs	3	1	30,00	2,20	12,99	0,43	4,12	0,96	1,56	5,31
SDs	3	2	32,57	2,34	45,45	0,47	4,12	0,82	2,51	4,92
SDs	3	3	30,17	2,27	47,79	0,42	3,64	0,64	2,78	5,05
SDs	3	4	26,57	2,06	24,94	0,44	3,39	0,64	2,43	5,07
SDs	3	5	28,80	2,27	18,70	0,32	5,82	1,72	2,34	5,20
SDs	3	6	30,17	2,20	13,25	0,53	6,79	1,66	1,91	5,26
SDs	3	7	31,37	2,48	12,21	0,39	5,33	1,00	1,56	5,10
SDs	3	8	28,97	2,27	16,10	0,43	5,82	1,04	1,13	5,22
SDs	4	1	26,91	2,20	5,97	0,24	4,85	1,10	1,39	5,38
SDs	4	2	26,40	1,85	10,91	0,25	3,39	0,80	2,25	5,32
SDs	4	3	23,66	1,85	15,58	0,24	3,39	0,62	2,95	4,95
SDs	4	4	24,00	1,64	6,75	0,22	3,76	0,74	2,17	5,17
SDs	4	5	25,20	1,57	3,38	0,20	7,39	2,00	1,99	5,12
SDs	4	6	26,57	2,13	10,39	0,25	6,30	1,80	1,99	5,36
SDs	4	7	25,03	1,89	6,49	0,25	5,33	1,00	1,99	5,19
SDs	4	8	26,74	1,99	5,19	0,21	5,45	1,08	1,30	5,27

Trat = tratamento (PCr = preparo convencional com rotação de culturas; PCs = preparo convencional com sucessão de culturas; SDr = semeadura direta com rotação de culturas; SDs = semeadura direta com sucessão de culturas); **Prof** = profundidade (1 = 0-2,5cm, 2 = 2,5-5cm, 3 = 5-10cm, 4 = 10-20cm); **Rep** = repetição; **C_{org}** = carbono orgânico total; **N** = nitrogênio total; **P** = fósforo; **K** = potássio; **Ca** = cálcio; **M** = magnésio; **Al** = alumínio.