

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**PERDAS DE SOLO E ÁGUA POR EROÇÃO HÍDRICA
EM SISTEMAS DE CULTURAS OLEAGINOSAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Paulo Luis Guth

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**PERDAS DE SOLO E ÁGUA POR EROSÃO HÍDRICA EM
SISTEMAS DE CULTURAS OLEAGINOSAS**

por

Paulo Luis Guth

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Flávio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, RS, Brasil

2010

G984p Guth, Paulo Luis, 1978-
Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas / Paulo Luis Guth. – Santa Maria, 2010. 83 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.
"Orientador: Prof. Flávio Luiz Foletto Eltz"

1. Ciência do solo 2. Produtividade de grãos 3. Erosão hídrica 4. Sistemas de culturas oleaginosas I. Eltz, Flávio Luiz Foletto II. Título

CDU: 631.58

Ficha catalográfica elaborada por
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM SISTEMAS
DE CULTURAS OLEAGINOSAS**

elaborada por
Paulo Luis Guth

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Flávio Luiz Foletto Eltz, Ph.D.
(Presidente/Orientador)

Thomé Lovato, Dr. (UFSM)

Neroli Pedro Cogo, Ph.D. (UFRGS)

Santa Maria, 30 de março de 2010.

À Dulcinéia, minha esposa querida, por acompanhar todos os passos que dei durante o mestrado, pelo incentivo ao estudo, e pela compreensão nos momentos que me afastei.

A meus pais Rui e Irena, que sempre me incentivaram a dar continuidade aos estudos.

A minhas irmãs Elizabete (*in memoriam*) e Andrea, e aos meus sobrinhos Laura e Leonardo.

A meus sogros Odete e Valdecir e a minha cunhada Viviane.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Flávio Luiz Foletto Eltz, pelo incentivo a ingressar no mestrado, pela orientação e acima de tudo a amizade durante todo este período e a sua família que muitas vezes suportou a minha interferência em seus momentos de lazer.

Ao Prof. e amigo Thomé Lovato, que desde a graduação vem me incentivando a estudar e dar continuidade à pesquisa.

Ao Prof. Dalvan José Reichert, que quando solicitada a sua ajuda ou opinião, mesmo assumindo responsabilidades administrativas, sempre se mostrou presente e disposto a contribuir.

Ao meu amigo Elizeu Jonas Didoné, que quando acadêmico de graduação em agronomia, trabalhou como bolsista em todas as atividades desenvolvidas e que foram necessárias para se chegar até aqui.

Ao Eng. Agrônomo e amigo Luiz Eugênio Jacobs, por suas excelentes contribuições no andamento das atividades de pesquisa.

Aos funcionários da UFSM, em especial ao Luiz Marchiotti Fernandes, bibliotecário, que incansavelmente desempenha atividades importantes em seu setor, que viabilizam a publicação de muitas teses e dissertações.

Aos professores do departamento de solos, que contribuem para o crescimento individual e coletivo de muitos alunos de graduação e pós-graduação.

Aos colegas de pós-graduação e acadêmicos, pelo companheirismo e amizade no decorrer destes dois anos de convivência, em especial ao Emerson Dalla Chieza.

Aos meus eternos amigos(as) Andréia, Vinicius, Igor, Alex e Leandro que compartilharam momentos importantes de suas vidas e que contribuíram de forma significativa para o crescimento de um grupo e seus ideais.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela minha aceitação como pós-graduando, por dispor de um quadro de professores e uma estrutura adequada.

À CAPES, pela bolsa que me permitiu a realização do curso.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO
Universidade Federal de Santa Maria

PERDAS DE SOLO E ÁGUA POR EROÇÃO HÍDRICA EM SISTEMAS DE CULTURAS OLEAGINOSAS

Autor: Paulo Luis Guth

Orientador: Flávio Luiz Foletto Eltz

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de março de 2010.

A sustentabilidade da produção de oleaginosas está na dependência das práticas agrícolas, sendo a erosão a mais preocupante forma de degradação do solo. Desta forma, desenvolveu-se um estudo no campus da UFSM, cidade de Santa Maria, entre outubro de 2007 e outubro de 2009, com o objetivo de avaliar as perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de rotação de culturas oleaginosas e plantas de cobertura. O clima da região é do tipo “Cfa”, com precipitação média anual de 1686 mm. O solo com declividade de 6,5% é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico. A unidade experimental constitui-se de uma parcela com dimensões de 3 m de largura e 15 m de comprimento. O delineamento experimental é inteiramente casualizado, com duas repetições. Os tratamentos consistem de três rotações: R1 (soja, aveia preta + ervilhaca, mamona + amendoim e canola), R2 (mamona + amendoim, nabo, girassol e aveia preta + ervilhaca) e R3 (girassol, canola, soja e nabo). Determinou-se o rendimento da massa seca das culturas de verão e inverno, e a produção de grãos das culturas oleaginosas de verão. Realizou-se a amostragem e medição da enxurrada de cada chuva, sendo as perdas de solo e água calculadas, utilizando-se o programa computacional Excel. Os resultados de perdas de solo foram expressos em kg ha^{-1} e as perdas de água em % em relação à chuva. O índice de erosividade (EI_{30} , $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$), foi determinado pelo programa Chuveros, a partir do qual se obteve a erosividade acumulada para cada período das culturas. Procedeu-se também a caracterização física (D_p , D_s , P_t , macro e microporosidade, DMG, DMP e distribuição do tamanho dos agregados em água), nas profundidades de 0-8 e 8-16 cm, e química (MO, macro e micronutrientes) nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm. Aos valores obtidos, foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos. Observa-se que a canola, quando comparada às demais culturas de inverno, apresenta uma redução significativa da MS no inverno de 2008 (R3) e também no inverno de 2009 (R1). Verifica-se que são superiores à produtividade de grãos das culturas da R2 (verão 2007/06) e R1 (verão 2008/09), ambas constituídas pelo consórcio entre mamona + amendoim, elevando significativamente o total de grãos produzido neste consórcio. Verifica-se em 2009, uma tendência de diminuição da D_s , DMP e agregados de maior tamanho, favorecendo as classes de menor tamanho. As alterações nas características químicas podem ser atribuídas à aplicação de corretivos e as modificações nos teores de MO que ocorrem em profundidade. As perdas de solo e água aumentam na medida em que diminui a MS adicionada pelas culturas. Mesmo que se considere a R3, onde se obteve as maiores perdas de solo (4641 kg ha^{-1}) e água (23,33%), observa-se que os valores obtidos neste trabalho são baixos. A produção de grãos da soja e do girassol é significativamente menor que o cultivo consorciado da mamona com o amendoim.

Palavras-chave: produtividade de grãos; erosão hídrica; atributos físicos do solo; atributos químicos do solo.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

SOIL AND WATER LOSSES BY WATER EROSION IN OF OLEAGINOUS CROPS SYSTEMS

AUTHOR: Paulo Luis Guth

ADVISOR: Flavio Luiz Foletto Eltz

Date and Place of Defense: Santa Maria, March, 30th, 2010

The sustainability of vegetable oils production is in the dependence of the agricultural practices, being the erosion the most preoccupying form of soil degradation. In this way, was carried out a study in the UFSM campus, city of Santa Maria, between October of 2007 and October of 2009, with the objective to evaluate the soil and water losses by water erosion in systems of rotation of oleaginous crops and covering plants. The region climate is "Cfa" type, with 1686 mm annual medium precipitation. The soil with steepness of 6.5% is classified as Argissolo Vermelho distrófico arênico. The experimental unit is constituted of plots with dimensions of 3 m of width and 15 m of length. The experimental design is entirely random, with two repetitions. The treatments consist of three rotations: R1 (soybean, black oat/vetch, castor bean/peanut and canola), R2 (castor bean/peanut, oilseed radish, sunflower and black oat/vetch) and R3 (sunflower, canola, soybean and oilseed radish). Was determined the dry mass yield of summer and winter crops, and the grains yield of the oleaginous summer crops. Was done the sampling and measurement of runoff of each rain, being the soil and water losses calculated using the software Excel. The results of soil losses were expressed in kg ha^{-1} and the water losses in percent in relation to the rain. The erosivity index (EI_{30} , $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) was determined with the software Chuveros, from which was obtained the accumulated erosivity for each period of the crops. Was also proceeded the physical characterization (D_p , D_s , P_t , macro and microporosity, DMG, DMP and distribution of the aggregates size in water), in the depths of 0-8 and 8-16 cm, and chemistry (organic matter, macro and micronutrients) in the depths of 0-5 and 5-20 cm. To the obtained values, the test of Tukey was applied for comparison of the treatments averages. It is observed that canola, when compared to others winter crops, showed a significant decrease in dry mass in 2008 winter (R3) and also in winter of 2009 (R1). It is verified that are greater the productivity of grains of the crops of R2 (summer 2007/06) and R1 (summer 2008/09), both constituted by the consortium among castor bean/peanut, elevating significantly the total of grains produced in this consortium, comparing to single crop of soybean and sunflower. It is verified in 2009, a tendency of decrease of D_s , DMP and larger aggregates, favoring the minor classes. The alterations in the chemical characteristics can be attributed to the application of lime and the modifications in the tenors of organic matter that happen in depth. The soil and water losses increase in the measure in that it decreases to dry mass added by the crops. Even if is considered R3, where it was obtained the largest soil losses (4641 kg ha^{-1}) and water (23.33%), it is observed that the values obtained in this work are low. Soybean and sunflower grain yield is significantly smaller than the consorciated castor bean and peanut crops.

Key-words: grain yield; water erosion; soil physical attributes; soil chemical attributes

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Composição granulométrica (areia, silte e argila) e teores de carbono (C) dos horizontes A1, A2 e A3 do Argissolo Vermelho Distrófico arênico.	37
TABELA 2 - Rotações de culturas inseridas no experimento.....	38
TABELA 3 - Produção média de massa seca das culturas usadas nas rotações 1, 2 e 3.....	44
TABELA 4 - Produtividade média de grãos das culturas de verão, das rotações 1, 2 e 3.	45
TABELA 5 - Densidade de partícula (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macro (Mac) e micro (Mic) porosidades, para as rotações R1, R2 e R3, nas profundidades de 0-8 e 8-16 cm, nos anos de 2007 e 2009.	48
TABELA 6 - Distribuição percentual de agregados por classe de tamanho, DMG e DMP entre as rotações 1, 2 e 3, nas profundidades de 0-8 e 8-16 cm, para os anos de 2007 e 2009.	51
TABELA 7 - pH (1:1), MO (%), P e K (mg dm ⁻³), Ca, Mg e Al (Cmol dm ⁻³) para as rotações R1, R2 e R3, nos anos de 2007 e 2009, nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm.	52
TABELA 8 - Perdas de solo (kg ha ⁻¹) e água (%) no período de 10/12/07 à 02/05/08.....	55
TABELA 9 - Perdas de solo (kg ha ⁻¹) e água (%) no período de 28/05/08 à 03/11/08.....	57
TABELA 10 - Perdas de solo (kg ha ⁻¹) e água (%) no período de 28/10/08 à 20/04/09.	58
TABELA 11 - Perdas de solo (kg ha ⁻¹) e água (%) no período de 21/04/09 à 24/10/09.	59
TABELA 12 - Totais das perdas de solo (kg ha ⁻¹) e perdas de água (%), para o período de 10/12/07 a 24/10/09.	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Hipóteses do trabalho	11
1.2 Objetivo geral	12
1.2.1 Objetivos específicos	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Erosão do solo e fatores que o afetam.....	13
2.2 Cultivo de oleaginosas sob plantio direto	17
2.3 Influência dos sistemas de rotação de culturas sobre as características químicas e físicas do solo.....	23
2.4 Efeito da matéria orgânica sobre as características químicas e físicas do solo.....	27
2.5 Características químicas e físicas do solo cultivado sob plantio direto (PD)	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 Caracterização da área experimental	36
3.2 Unidades experimentais	37
3.3 Delineamento experimental e rotações	37
3.4 Condução do experimento	39
3.5 Determinações	40
3.5.1 Rendimento de matéria seca das culturas de verão e inverno	40
3.5.2 Rendimento de grãos das culturas oleaginosas.....	41
3.5.3 Medição e amostragem da enxurrada e cálculo das perdas de solo e água	41
3.5.4 Índice de erosividade	42
3.5.5 Caracterização química e física do solo	42
3.6 Análise estatística.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Massa seca (MS) e produtividade das culturas.....	44
4.2 Parâmetros físicos do solo em 2007 e 2009	47
4.3 Parâmetros químicos do solo em 2007 e 2009	51
4.4 Perdas de solo e água.....	54
5 CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma grande variedade de culturas oleaginosas que permitem a extração de óleo, o qual tem emprego amplo na indústria, inclusive para a obtenção de biocombustíveis. Entre as várias oleaginosas com potencial para produção de biodiesel pode-se destacar a soja, amendoim, girassol, babaçú, canola, mamona e algodão (VARGAS et al., 1998). A sustentabilidade econômica, energética e ambiental da produção de óleos vegetais está na dependência das práticas agrícolas que serão utilizadas nos sistemas de produção das diferentes espécies, sendo que a erosão é a mais preocupante forma de degradação do solo, principalmente quando causada pela água e a enxurrada a ela associada. Práticas que envolvem manejo de solo e das culturas induzem alterações nas propriedades do solo, principalmente na sua estrutura. Desta forma a interferência antrópica modifica a estrutura original do solo e a partir desta são agravados os processos erosivos, aumentando a lixiviação por escoamento superficial, as perdas de matéria orgânica e nutrientes.

A cobertura por resíduos culturais e a rugosidade superficial constituem as condições físicas de superfície do solo mais importantes do ponto de vista de redução da erosão hídrica. A cobertura é fundamental na dissipação da energia cinética das gotas da chuva, na medida em que o manejo do solo elimina a cobertura vegetal, sua superfície fica exposta à ação do impacto das gotas de chuva e da enxurrada, alterando a rugosidade superficial, a porosidade e a taxa de infiltração de água. A desagregação dos agregados de solo em frações menores faz com que estas, ao se acomodarem junto à superfície, obstruam os poros, resultando em baixos valores de infiltração, facilitando a desagregação e o transporte de solo pela enxurrada. A erosão hídrica, por ser seletiva, preferencialmente transporta os sedimentos de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos, sobretudo de colóides minerais e orgânicos.

A modernização agrícola por muitas vezes predispõe o solo a um manejo inadequado, acentuando a erosão hídrica, a degradação, e o decréscimo da produtividade das culturas. Optar por sistemas de manejo conservacionistas, que têm como princípio a manutenção de cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo, tem-se destacado como uma estratégia eficaz quando se refere à sustentabilidade dos sistemas agrícolas nas regiões tropicais e subtropicais. Uma alternativa para melhorar a qualidade estrutural do solo refere-se ao uso de rotação de culturas com espécies que tenham sistema radicular vigoroso, com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros por onde as raízes da cultura

subseqüente possam crescer. A rotação de culturas e a adubação verde, quando manejadas sob plantio direto, podem promover melhorias em solos fisicamente degradados, diminuindo os processos erosivos e recuperando as suas condições químicas e biológicas.

Segundo Teixeira et al. (2000), ao longo do tempo, sistemas de rotação ou sucessão de culturas sob plantio direto podem promover mudanças físicas, químicas e biológicas no solo, cujos efeitos se refletirão no aproveitamento de nutrientes pelas plantas e conseqüentemente aumento na produtividade das mesmas. A eficácia do sistema de plantio direto tem relação com a quantidade e a qualidade de resíduos produzidos pelas plantas de cobertura, bem como a persistência desses resíduos sobre o solo e a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes. Desta forma o plantio direto constitui-se em alternativas para aumentar a capacidade de dreno de CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento global (AMADO et al., 2001).

Sistemas de manejos conservacionistas, que aliam o menor revolvimento de solo com a manutenção da cobertura com palha, afetam positivamente diversas características do solo, interferindo por sua vez na distribuição das raízes, com reflexos no crescimento da parte aérea, interagindo conseqüentemente no rendimento de grãos das espécies em cultivo. Para que tais melhorias possam ser comprovadas torna-se necessário conduzir experimentos por vários anos, envolvendo espécies tanto de inverno como de verão, em diferentes sistemas de rotação de culturas (FONTANELI et al., 2000).

1.1 Hipóteses do trabalho

1. Há influência positiva da rotação de culturas e das culturas de cobertura sobre a produtividade das culturas de verão.
2. Ocorre diminuição das perdas de solo e água de acordo com a quantidade de massa seca adicionada pelas diferentes culturas.
3. Ocorre melhoria das condições físicas e químicas do solo proporcionadas pelas culturas de cobertura, bem como manejo das culturas.

1.2 Objetivo geral

Avaliar as perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas de oleaginosas e plantas de cobertura para a produção de óleos vegetais, bem como verificar a influência das rotações de culturas e culturas de cobertura sobre a produtividade de grãos das culturas de verão.

1.2.1 Objetivos específicos

Realizar a avaliação química e física do solo antes da implantação das culturas e no encerramento das atividades do trabalho.

Quantificar as perdas de água e solo provocadas pela erosão hídrica, nos diferentes sistemas de rotação de culturas oleaginosas e plantas de cobertura.

Avaliar a quantidade de massa seca adicionada pelas culturas oleaginosas e plantas de cobertura.

Quantificar a produção de grãos da cultura da soja, amendoim, girassol e mamona.

Verificar a influência das rotações de culturas e culturas de cobertura sobre a produtividade de grãos das culturas de verão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Erosão do solo e fatores que o afetam

A erosão é a mais preocupante forma de degradação do solo, principalmente quando causada pela água e a enxurrada a ela associada. Foi uma das principais causas da queda de florescentes impérios e apesar dos esforços dos cientistas de solo e profissionais de agronomia, a erosão continua sendo a principal causa da degradação do solo. A degradação do solo ocorre em geral a partir da interferência antrópica sobre este recurso natural (SILVA et al., 2005a), sendo a erosão, a lixiviação, a compactação do solo e a perda de matéria orgânica (MO), exemplos de processos degradativos em sistemas agrícolas (BEZDICEK et al., 1996). Smith e Wischmeier (1962) ressaltam que quatro fatores e suas inter-relações são considerados determinantes da taxa de erosão hídrica: o clima, principalmente a precipitação pluviométrica; o solo, principalmente sua resistência à desagregação, a topografia, notadamente o grau do declive e o comprimento de rampa; e a cobertura do solo. Qualquer um destes fatores pode sozinho, determinar um problema capaz de provocar erosão hídrica e como os três primeiros fatores não podem ser modificados facilmente, a cobertura do solo e o manejo das culturas, assumem um importante papel no que se refere ao controle da erosão provocada pela chuva. A vulnerabilidade ou a suscetibilidade do solo à erosão, resulta da interação de fatores químicos, físicos, biológicos e mineralógicos do solo (VOLK; COGO, 2008), sendo o teor de MO, a estrutura e a permeabilidade do solo as características que mais se relacionam com sua erodibilidade intrínseca (WISCHMEIER; SMITH, 1978; HUDSON, 1995).

Na medida em que o manejo do solo, nas diversas atividades humanas, elimina a cobertura vegetal, sua superfície fica mais exposta à ação do impacto das gotas de chuva e da enxurrada. Desta forma, tanto o impacto das gotas de chuva quanto à enxurrada contribuem para modificar as condições físicas da superfície do solo, alterando a rugosidade superficial, a porosidade e a taxa de infiltração de água (ALBUQUERQUE et al., 2002). A erosão hídrica que ocorre no solo tem como causa inicial o impacto direto das gotas de chuva sobre sua superfície, onde inicia a primeira fase da erosão, conhecida como desagregação. Segundo Bahia et al. (1992), o desprendimento ou desagregação das partículas ocorre pelo efeito

integrado da energia de impacto das gotas da água e da força cisalhante do escoamento superficial constituindo, assim, o estágio inicial e mais importante do processo da erosão hídrica pluvial. O aumento da resistência à desagregação do solo em superfície ocorre em função do aumento da estabilidade dos agregados em água e da consolidação do solo (ELTZ et al., 1989). A desagregação dos agregados de solo em frações menores faz com que estas, ao se acomodarem junto à superfície, obstruam os poros, resultando em baixos valores de infiltração (LE BISSONNAIS, 1996; LE BISSONNAIS; ARROUYAS, 1997), facilitando a desagregação e o transporte de solo pela enxurrada (ALBUQUERQUE et al., 2000). O transporte destas partículas pela água que se movimenta na superfície do solo é aumentado pela ausência de obstáculos como resíduos vegetais. A deposição das partículas erodidas provoca o assoreamento do leito de rios, barragens e baixadas, além da poluição ambiental (VEIGA; AMADO, 1991). A redução da capacidade do fluxo em transportar o material erodido, deve-se a redução da energia cinética desse fluxo, pela perda de velocidade, provocada pelo aumento da tortuosidade do fluxo devido aos resíduos (BRAIDA, 1994).

O conhecimento da intensidade, duração e frequência das chuvas de uma região é de suma importância para o planejamento agrícola. Edwards e Owens (1991), avaliando dados de perdas de solo em nove microbacias durante 28 anos, concluíram que apenas cinco grandes chuvas foram responsáveis por 66% das perdas de solo ocorridas e que o período de retorno estimado para estas chuvas foi superior a 100 anos. Dentre os fatores que afetam a erosão, a chuva apresenta grande variabilidade no tempo e no espaço, sendo que a erosividade da chuva pode ser determinada pelo parâmetro EI_{30} (MEHL et al., 2001). O índice EI_{30} representa o produto da energia cinética total da chuva ($MJ\ ha^{-1}$) pela intensidade máxima ($mm\ h^{-1}$) com base num período contínuo de 30 min de chuva (CASSOL et al., 2008). Este índice é considerado adequado para as condições do Rio Grande do Sul (MORAIS et al., 1988), pois apresenta correlações significativas com a chuva e perdas de solo. Silva et al. (2005b), ao analisarem o efeito da porcentagem de cobertura do solo e da energia cinética decorrente de chuvas simuladas sobre as perdas de solo entre sulcos, concluíram que o aumento da porcentagem de cobertura do solo, para as intensidades de precipitação adotadas, possibilitou diminuição expressiva nas perdas de solo. Concluíram também que o potencial erosivo das chuvas intensas é dissipado pelo aumento da cobertura do solo, passando o processo de erosão a ser dominado pelo efeito erosivo do escoamento superficial, o qual ocorre por maior período nas chuvas menos intensas, por apresentarem maior duração.

A erosão hídrica do solo ocasiona também a perda de nutrientes (FAVARETTO, 2002; BERTOL et al., 2003; GUADAGNIN, 2003), sendo que a concentração de determinado

nutriente na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada por sua vez pelo tipo de solo, pelas adubações e pelo tipo de manejo empregado (SCHICK et al., 2000b; GUADAGNIN, 2003). A erosão hídrica, por ser seletiva, preferencialmente transporta os sedimentos mais finos, de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos, sobretudo de colóides minerais e orgânicos e normalmente enriquecidos de elementos minerais (BERTOL et al., 2007). Quando se compara os sistemas conservacionistas, em relação à diminuição das perdas de nutrientes, com o sistema convencional, observa-se a eficácia do primeiro, em diminuir o total de nutrientes perdidos por erosão hídrica (SEGANFREDO et al., 1997; BERTOL et al., 2003; GUADAGNIN, 2003). Grant e Lafond (1993) salientam que um bom planejamento da rotação de culturas pode melhorar a resistência do solo à erosão e à degradação. Segundo Amado et al. (1989), 20% de cobertura do solo podem reduzir em até 50% as perdas de solo, comparados com o solo descoberto. Esta redução é tanto maior quanto maior for à quantidade de resíduos vegetais ou culturais na superfície (REICHERT; CABEDA, 1992).

O uso de espécies de cobertura do solo e de adubação verde tem permitido um maior controle da erosão, através da melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (VENTURA; WATANABE, 1993). Neste contexto, a prática de plantio direto (PD) com utilização de adubos verdes, por atender dois princípios fundamentais, que são a mínima mobilização do solo e a manutenção dos resíduos sobre a superfície, destaca-se como sistema eficaz no controle da erosão hídrica. O aporte de material orgânico pelos adubos verdes em sistemas de produção conservacionistas, além do efeito sobre a proteção do solo promove incrementos nos teores de MO, promovendo a retenção e a disponibilidade de nutrientes e conseqüentemente promove melhorias na produtividade das culturas.

Dentre as variáveis primárias que influenciam a erosão hídrica do solo, a cobertura e a rugosidade superficial são as mais importantes, sendo responsáveis por, praticamente, toda a retenção e armazenagem de água e dos sedimentos da erosão na superfície do solo (COGO, 1981; ONSTAD, 1984; KAMPHORST et al., 2000). A palha aumenta a tortuosidade do fluxo superficial da água, diminuindo a velocidade e capacidade de desagregação e transporte dos sedimentos, determinando uma redução na erosão hídrica e a recuperação do potencial produtivo do solo (DEBARBA, 1993), pois forma uma rede, semelhante a um filtro, a qual provoca a deposição de sedimentos, especialmente os de maior diâmetro, transportados pela enxurrada (COGO et al., 1984; BERTOL et al., 1997b). Segundo Volk e Cogo (2008), devido sua maior capacidade de regeneração, maior produção de fitomassa e maior densidade do sistema radicular, as gramíneas têm recebido atenção especial no que se refere à agregação do

solo, pelo efeito que exercem na aglutinação de suas partículas e na estabilização dos agregados resultantes. As leguminosas, no entanto, destacam-se pela natureza de sua fitomassa, que apresenta baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), portanto de fácil decomposição pelos microrganismos do solo, o que também vai contribuir no processo de aglutinação de suas partículas (TISDALL; OADES, 1982).

A ação erosiva da chuva é ainda maior onde a cobertura protetora do solo é totalmente removida, expondo as superfícies desnudas à ação direta do impacto das gotas de chuva. O preparo do solo pelo método convencional mobiliza totalmente a superfície, eleva a rugosidade superficial, aumentando também a porosidade total (Pt) da camada preparada (COGO, 1981), porém num curto espaço de tempo, predispõe a superfície do solo ao selamento superficial (DULEY, 1939). Com o passar do tempo, a rugosidade superficial criada pelo preparo neste sistema de manejo tende a diminuir, reduzindo, conseqüentemente, a capacidade do solo de reter e infiltrar água na superfície, o que aumenta a enxurrada e a erosão hídrica (BERTOL et al., 1997a), acentuando-se o transporte de sedimentos minerais e orgânicos (SCHICK et al., 2000a; MELLO et al., 2003) e também nutrientes (SCHICK et al., 2000b; BERTOL et al., 2003). Cogo et al. (2003), ao avaliarem as perdas de solo e água, concluíram que as perdas de solo foram maiores no preparo convencional, intermediárias no preparo reduzido e menor no PD, enquanto as perdas de água foram todas muito mais baixas e similares, mas tendendo a serem maiores no preparo convencional, intermediárias no PD e menor no preparo reduzido.

Silva et al. (2005a), avaliando perdas de solo e água em Cambissolo e Latossolo, encontrou perdas médias anuais de solo de 205,65 e 14,90 t ha⁻¹ para estes solos, respectivamente. Estes elevados valores de perdas de solo, principalmente no Cambissolo, devem-se à desagregação propiciada pelo preparo inicial (uma aração e duas gradagens). Albuquerque et al. (2002), ao avaliarem os efeitos do manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas sobre as perdas por erosão hídrica, encontraram perdas médias anuais de solo de 0,3 e 58,5 t ha⁻¹ para os tratamentos em área com cobertura morta e área desmatada, respectivamente. As perdas de água da chuva na forma de enxurrada geralmente são menos influenciadas pelo efeito da cobertura e manejo do solo do que as perdas de solo (MELLO et al., 2003), já que este apresenta capacidade-limite de absorção de água.

Há muitas décadas, vários pesquisadores têm observado o efeito da cobertura vegetal na redução da erosão e do escoamento superficial. Konhke e Bertrand (1959), discutindo o efeito de coberturas vegetais no processo erosivo, concluem que “o tamanho e a forma das folhas da vegetação determinam o tamanho da gota que atingirá o solo”. Segundo Eltz (1977),

plantas de hábito prostrado protegem melhor o solo do que plantas eretas, do mesmo modo que folhas largas protegem melhor do que folhas estreitas, sendo a quantidade de folhas um fator importante a ser considerado. Porém cabe destacar que a cobertura do solo pelos resíduos que ficam acamados sobre o solo é mais eficaz no controle da erosão do que a cobertura proporcionada pela copa das plantas, pois estas, mesmo interceptando as gotas de chuva, permitem que elas, ao precipitarem da copa, adquiram energia cinética suficiente para provocar erosão se o solo estiver descoberto (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Segundo Ellison (1947), o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo descoberto é responsável por 95% da erosão hídrica. Desta forma, a chuva modifica as condições físicas da superfície do solo e esta quando combinada com a enxurrada, reduz a rugosidade superficial e, conseqüentemente, a retenção e a infiltração superficiais de água no solo. Isso favorece o selamento superficial, refletindo-se em maiores perdas de água e solo por erosão hídrica, principalmente nos solos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal (BURWELL; LARSON, 1969; JOHNSON et al., 1979; COGO, 1981).

2.2 Cultivo de oleaginosas sob plantio direto

O Brasil possui uma grande variedade de culturas oleaginosas que permitem a extração de óleo, o qual tem amplo emprego na indústria, inclusive para a obtenção de biocombustíveis. Entre as várias oleaginosas com potencial para produção de biodiesel destacam-se a soja, amendoim, girassol, babaçu, canola, mamona e algodão (VARGAS et al., 1998). A sustentabilidade ambiental e econômica da produção de biodiesel está na dependência das práticas agrícolas que serão utilizadas nos sistemas de produção das diferentes espécies.

As práticas agrícolas adotadas no cultivo das espécies produtoras de biodiesel são aspectos determinantes da eficiência econômica, energética e ambiental do processo de obtenção de biodiesel. Diversos estudos foram conduzidos (SILVA; ROCHA, 1994), sendo obtidos resultados que comprovam a aptidão do Estado do Rio Grande do Sul para a produção de girassol e a integração da cultura em sistemas de rotação com soja e cereais de inverno. Em experimento com épocas de semeadura do girassol, foi observado que uma mesma cultivar pode variar o teor de óleo de 42 a 36%, diminuindo com o atraso da época de semeadura de agosto-setembro para dezembro. Resultados de pesquisa apontam que a semeadura do cedo

proporciona melhores rendimentos de grãos e óleo (SILVEIRA et al., 1990). Isto se deve a menor incidência de pragas e doenças, maior duração do período de enchimento de grãos e melhores condições ambientais (ALMEIDA, 1990). A cultura do girassol torna-se atrativa para os produtores, pois além de se obter bons rendimentos de grãos (2 t ha^{-1}), também proporciona melhorias na estrutura e fertilidade dos solos, por apresentar um sistema radicular que atinge até 2 m de profundidade (AGRIANUAL, 2006) e por contribuir na ciclagem de nutrientes, pois segundo Tosi et al. (1975), as produções de fitomassa dessa espécie variam de 4,43 a $5,88 \text{ t ha}^{-1}$.

Segundo Guterres et al. (1988) e Sfredo et al. (1984), o período em que ocorre maior taxa de absorção de nutrientes, na cultura do girassol, é na fase imediatamente após a formação do botão floral até o florescimento. A deficiência de nitrogênio (N) causa a desordem nutricional, sendo este o elemento que mais limita a produção do girassol, enquanto seu excesso ocasiona decréscimo na porcentagem de óleo (ROBINSON, 1978). Segundo Vranceanu (1977), doses elevadas do nutriente podem aumentar consideravelmente a incidência de pragas e doenças, afetando conseqüentemente a produção de grãos. O girassol extrai grandes quantidades de N, fósforo (P) e potássio (K) do solo, quando comparado com as culturas de soja, trigo e milho (CORDEIRO, 1979; MACHADO, 1979; GUTTERRES et al., 1988), sendo que, dessas culturas, somente a soja extrai mais N que o girassol (VRANCEANU, 1977).

Dentre as oleaginosas cultivadas com objetivos comerciais, a mamona também se apresenta como uma cultura resistente ao clima adverso, quando se verificam perdas totais em outras culturas, servindo desta forma, como alternativa de trabalho e de renda principalmente para o pequeno agricultor (BELTRÃO et al., 2003). Apesar da cultura da mamona apresentar elevada plasticidade fenotípica e ampla adaptação a vários ambientes (WEISS, 2000), sua produtividade está diretamente relacionada com a disponibilidade hídrica, temperatura, fotoperíodo e umidade relativa do ar, principalmente durante a fase reprodutiva, desde a floração dos ráceros primários até a maturação dos terciários (MOSHKIN, 1986; KUMAR, 1997). É considerada uma planta de dias longos, tendo bom desenvolvimento em regiões com fotoperíodo superior a 12 horas, o que favorece a formação de flores femininas e aumenta o rendimento (WEISS, 2000). A faixa ideal de temperatura para o desenvolvimento da mamona varia entre 20°C e 30°C (MOSHKIN, 1986), temperaturas maiores do que 35°C reduzem o teor de óleo e proteína da semente, enquanto que temperaturas médias inferiores a 15°C diminuem o teor de óleo e alteram suas características (MOSHKIN, 1986; WEISS, 2000). No Rio Grande do Sul, normalmente não ocorrem temperaturas maiores do que 40°C , mas são

comuns temperaturas inferiores a 10 °C no inverno. O período livre de geadas varia de 139 dias, nos Campos de Cima da Serra, há 243 dias na Depressão Central (WREGGE et al., 2007). Seus grãos apresentam cerca de 48% de óleo (MELHORANÇA; STAUT, 2005), com boa perspectiva de utilização como fonte energética na produção de biocombustível (SEVERINO et al., 2005). Para que se atinja boa produtividade, esta cultura necessita ser cultivada em solos muito férteis, porém o conhecimento científico sobre o uso de fertilizantes para essa cultura é incipiente e carece de aperfeiçoamento e adaptação a diferentes regiões (SEVERINO et al., 2005, 2006). Severino et al. (2006), ao avaliarem a adubação com macro e micro nutrientes na cultura da mamona, concluíram que a adubação promoveu aumento de produtividade da cultivar BRS Nordestina, com destaque para a adubação nitrogenada, e o teor de óleo foi influenciado positivamente pelo aumento das doses de P, Silva et al. (2006), ao avaliarem a adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona sob PD, obtiveram produtividade média de fitomassa de 6.915 kg ha⁻¹. Estes mesmos autores destacam que esta cultura torna-se uma interessante opção para rotação de culturas, principalmente aos pequenos produtores, visto que a escolha da espécie vegetal também deve ser feita a fim de obter grande produção de biomassa. Silva et al. (2007), ao avaliarem a influência da época de plantio sobre a produtividade da mamona, observaram que todas as cultivares apresentaram maior produção de grãos por planta na semeadura de 10 de novembro, sendo que para a variedade Lyra obtiveram-se produtividade de 1.505 kg ha⁻¹, no município de Pelotas (RS). Estes mesmos autores concluíram que em semeadura tardia os híbridos são mais indicados, devido à sua precocidade.

Com sistema radicular pivotante, que atinge grandes profundidades, conferindo grande área de absorção de água e nutrientes, a cultura da mamona pode alcançar produtividades superiores a 2.000 kg ha⁻¹ quando solteira e mais de 1.000 kg ha⁻¹ quando consorciada (SILVA et al., 2004). Estes autores salientam que em função da baixa área foliar, espaçamentos e estrutura da planta, os processos erosivos tendem a se agravar durante o desenvolvimento da cultura. Para minimizar estes efeitos, além da manutenção da palha na superfície, o uso do consórcio com outras culturas também é uma estratégia eficiente. Pillon (2007), ao avaliar algumas características físicas de um Argissolo Vermelho sob cultivo solteiro de mamona, concluiu que a área com produção de mamona apresenta maior degradação da qualidade do solo, pois possui maior densidade e menores valores de macroporosidade (Mac) e de Pt, em comparação as demais áreas. Valores elevados de densidade do solo (Ds) ou camadas compactadas podem influenciar o desenvolvimento radicular da mamona. Savi Filho et al. (1998) salientam que o sistema radicular da mamona,

mesmo que denso, é sensível à compactação em camadas subsuperficiais. Como consequência, a planta explora apenas a camada superficial do solo, minimizando a sua capacidade de tolerância à seca e diminuindo sua produção.

Dentre as culturas indicadas para o consórcio com a mamona está o amendoim. Araújo Filho et al. (2004), ao avaliarem a influência de épocas de semeadura sobre o consórcio da mamoeira com amendoim, observaram um efeito competitivo entre o consórcio quando a semeadura das espécies ocorreu na mesma época, diminuindo-se de forma linear à medida que se distanciou a época de semeadura do amendoim. Estes mesmos autores então concluíram que a competição entre a mamona e amendoim é mais amenizada quando maior for o intervalo entre a semeadura das duas espécies, sendo a mamona mais produtiva quando cultivada solteira.

Estudos realizados por Bolonhezi et al. (2007) com a cultura do amendoim solteiro, em sistema de manejo conservacionista do solo e sistema convencional, mostram que em PD a variedade IAC-Caiapó apresentou rendimentos de 2708 kg ha⁻¹ com vagem e de 1756 kg ha⁻¹ de grãos sem vagem. A cultivar IAC Caiapó com ciclo de 130–140 dias (GODOY et al., 2003), apresenta resistência a algumas doenças foliares (GODOY et al., 1999), fato que contribui para aumentos no rendimento desta cultura.

Somando-se ao bom rendimento de grãos, a cultura do amendoim apresenta também bons rendimentos de fitomassa e por ser uma leguminosa, seus resíduos apresentam elevados teores de nutrientes, principalmente o N. Em estudo realizado por Rodrigues Filho et al. (1986), onde se avaliou o acúmulo de fitomassa e nutrientes em plantas de amendoim, Cultivar Tatuí-76, obteve-se um rendimento de 3.639,4 kg ha⁻¹ de fitomassa seca. Avaliando-se os teores de nutrientes, obteve-se um acúmulo de 129, 2 kg ha⁻¹ de N aos 120 dias após o plantio. Além das características já citadas, a cultura do amendoim tem alto potencial de produção de óleo, pois segundo Kasai et al. (1998), os teores de óleo nos grãos variam entre 45 a 50%.

O amendoim é uma espécie que tolera acidez do solo (ADAMS; PEARSON, 1970), mas a baixa disponibilidade de cálcio (Ca) afeta sua produção, pela necessidade desse nutriente na zona de desenvolvimento dos frutos (WALKER, 1975), que absorvem Ca da solução do solo (SUMNER et al., 1988). Em solos com deficiência de Ca o crescimento vegetativo e das folhas é reduzido (RODRIGUES FILHO et al., 1988). Caires (1990) observou, com altas doses de calcário, aumento do peso da fitomassa seca dos caules, mas não das folhas. A aplicação de calcário aumenta ainda o número de ginóforos (REED; BRADY, 1948), que se correlacionam com a produção (NAKAGAWA; ROSOLEM, 1982). Embora o

crescimento radicular do amendoim seja menos afetado que o de outras espécies em solos ácidos (ADAMS; PEARSON, 1970), a elevação do pH ou do teor de Ca melhora o crescimento (INOUE et al., 1988) e o peso da raiz (REDDY; PATIL, 1980). Quaggio et al. (1982) observaram que quando o nível de Ca no solo foi superior a $15,0 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ e a saturação por bases (V) superior a 40%, não houve resposta à aplicação de calcário, enquanto Caires (1990) observou esse efeito com maiores valores de Ca ($20,0 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$) e de V (58%). Em solos com baixo pH e V, aumentos na produtividade em função da calagem podem ser observados (NAKAGAWA et al., 1993) ou não (ROSSETTO, 1993). A resposta do amendoim à calagem tem sido atribuída ao aumento da disponibilidade de Ca no solo (WALKER, 1975; QUAGGIO et al., 1982) e da absorção de nitrogênio pelas plantas (ROSOLEM; CAIRES, 1998). O aumento da absorção de N pode ser consequência de maior mineralização de N orgânico do solo em função da elevação do pH (ROSOLEM et al., 1990), de melhor distribuição do sistema radicular devido à correção do subsolo ácido (CAIRES; ROSOLEM, 1991) ou de maior eficiência da fixação simbiótica do N_2 em decorrência da menor acidez do solo (BLAMEY; CHAPMAN, 1982). Na cultura do amendoim, a calagem pode aumentar o crescimento da parte aérea das plantas, sem causar alteração no desenvolvimento da parte frutífera (CAIRES; ROSOLEM, 1996). Caires e Roselem (2000), ao avaliarem os efeitos da calagem e da aplicação de cobalto e molibdênio nas sementes sobre a nodulação do amendoim e sua influência na absorção de N, concluíram que a calagem aumenta a absorção de N pelo amendoim, provavelmente por causar melhoria na fixação simbiótica do N_2 em decorrência da formação de maior número de nódulos na planta.

Leonel et al. (2007), ao avaliarem a relação da compactação com a cultura do amendoim, concluíram que a produtividade do amendoim decresceu linearmente com o aumento da compactação do solo, pois além do impedimento mecânico ao crescimento radicular, há o impedimento à penetração do ginóforo no solo, que é uma característica específica do amendoim de frutificar sob a superfície do solo. O ginóforo penetra no solo, pois necessita de ausência de luz e de absorção de nutrientes para a formação do fruto (MELOUK; SHOKES, 1995). No entanto, em solos compactados, o impedimento mecânico dificulta sua penetração e a formação do fruto, por causa da maior proximidade e coesão das partículas. Estas características conduzem ao mito técnico de que o preparo do solo é essencial para viabilizar o cultivo comercial da cultura do amendoim (SHOLAR et al., 1995). Bolonhezi et al. (2007), ao avaliarem algumas características agronômicas de diferentes cultivares de amendoim, em sistema conservacionista de manejo do solo, concluíram que o

índice de rendimento de grãos aumenta de 6,5 a 9% no sistema PD, em relação ao convencional.

Rodrigues Filho et al. (1996), trabalhando com adubação verde na cultura do amendoim, concluíram que a utilização de mucuna preta como adubação verde promove maiores produções de amendoim em casca, com rendimentos representando um acréscimo de 64% em relação à semeadura contínua de amendoim, de forma que esta prática deva ser recomendada. Em termos de fertilidade do solo, recomenda-se para dar preferência àqueles corrigidos por adubações de culturas anteriores (LASCA, 1986), pois o amendoim aproveita bem o efeito residual, sendo excelente para sistemas de rotações de culturas (QUAGGIO; GODOY, 1996).

Dentre as oleaginosas cultivadas no verão, a soja ganha grande destaque em relação às demais, pois quase 90% da produção de óleo no Brasil provém dessa leguminosa. O rendimento de grãos de soja tem sido influenciado pelos resíduos de aveia branca e colza (SANTOS et al., 1989). Santos e Reis (1991) verificaram efeitos negativos de resíduos de colza sobre soja, sob PD, diminuindo a produtividade. Este efeito negativo da colza sobre a produtividade da soja também foi verificado por Santos et al. (2001), em Passo Fundo, RS. Santos et al. (2006), ao avaliarem o rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo do solo e de rotação de culturas, concluíram que a soja cultivada após aveia branca, aveia preta e trigo pode ser incluída, sem prejuízo, pois apresenta rendimentos médios superiores a 2700 kg ha⁻¹. Em outros trabalhos, quando a soja foi cultivada sob PD, os rendimentos de grãos foram mais elevados com um (trigo/soja e ervilhaca/milho) ou dois verões (trigo/soja, linho/soja e ervilhaca/milho) de rotação de culturas (SANTOS et al., 1997; 1998).

A calagem é uma prática indispensável para a obtenção de alta produtividade em solos ácidos tropicais (PEARSON, 1975). Sua importância para a cultura da soja deve-se aos seus efeitos sobre a neutralização da acidez do solo, ao aumento do pH (RAIJ et al., 1977), à redução do alumínio e manganês tóxicos (MASCARENHAS et al., 1982), ao aumento da absorção de N, P, K e S (QUAGGIO et al., 1993), ou ainda pelo fato de fornecer Ca e Mg como nutrientes (MASCARENHAS et al., 1976). No sistema de PD, a correção da acidez do solo é realizada mediante distribuição do calcário na superfície, sem incorporação. Recentes trabalhos têm apresentado respostas pouco expressiva da soja à aplicação de calcário na superfície e altas produtividades da cultura (CAIRES et al., 1998; PÖTTKER; BEN, 1998) em solos ácidos, sob PD.

A canola é alternativa de inverno para o Estado, principalmente pela quebra da sucessão de gramíneas no período do inverno, com seu ciclo curto, aproximadamente 100 dias, e que pode ser semeada no mês de maio. Apresenta de 40 a 46% de óleo em seus grãos, valores consideravelmente maiores que o da soja que apresenta apenas 18%. Além de produzir óleo de excelente qualidade, esta cultura apresenta grande potencial de ciclagem de nutrientes, sendo indicada em sistemas de rotações de culturas. Outra cultura de inverno que pode ser uma fonte de óleo é o nabo forrageiro, pois apresenta 36 a 40% de óleo nas sementes, propicia melhorias nos atributos químicos e físicos do solo, portanto, servindo como opção altamente rentável para os produtores de grãos. Lima et al. (2007), avaliando o comportamento do nabo forrageiro, obtiveram valores de 5.480,5 kg ha⁻¹ de fitomassa seca, com relação C/N de 29,2. Devido a isto se observa o rápido retorno dos nutrientes dos resíduos de nabo forrageiro para o solo (CRUSCIOL et al., 2005). Este mesmo autor afirma que o nabo forrageiro foi responsável por efeitos positivos na fertilidade do solo e na estrutura de agregados.

As utilizações de sistemas de manejos conservacionistas, que aliam o menor revolvimento de solo com a manutenção da cobertura com palha, afetam positivamente diversas características do solo, interferindo por sua vez na distribuição das raízes, com reflexos no crescimento da parte aérea, interagindo conseqüentemente no rendimento de grãos das espécies em cultivo (FRANZLUEBBERS et al., 1994; KLEPKER; ANGHINONI, 1995; DA ROS et al., 1997; FRANCHINI et al., 2000). Para que tais melhorias possam ser comprovadas torna-se necessário conduzir experimentos por vários anos, envolvendo espécies tanto de inverno como de verão, em diferentes sistemas de rotação de culturas (HERNÁZ et al., 1995; FONTANELI et al., 2000).

2.3 Influência dos sistemas de rotação de culturas sobre as características químicas e físicas do solo

A modernização agrícola por muitas vezes predispõe o solo a um manejo inadequado, acentuando a erosão hídrica, a degradação, e o decréscimo da produtividade das culturas. Optar por sistemas conservacionistas, que têm como princípio a manutenção de cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo, tem-se destacado como estratégia eficaz quando se refere à sustentabilidade dos sistemas agrícolas nas regiões tropicais e subtropicais (CAIRES et al.,

2006), principalmente quando associado à rotação de culturas e uso de plantas de cobertura que podem promover melhorias na qualidade química (BAYER; MIELNICZUK, 1997; BAYER et al., 1998) e física do solo (ALBUQUERQUE et al., 1995; TORMENA et al., 2004; ARGENTON et al., 2005). Rotação é a alternância de espécies vegetais no tempo, observando-se um período mínimo da espécie na referida área e segundo Calegari et al. (2002), “as espécies a serem incluídas na rotação devem ser criteriosamente selecionadas de acordo com as condições ambientais e de cobertura de solo”. Neste sentido, sistemas de cultivo eficientes visando à diminuição do processo erosivo do solo e recuperação de suas características físicas, químicas e biológicas são buscados regionalmente, dos quais um dos promissores consiste em alternar plantas de cobertura do solo com potencial de proteção (AITA et al., 2001), com espécies para produção de grãos.

Segundo Teixeira et al. (2000), ao longo do tempo, sistemas de rotação ou sucessão de culturas sob PD podem promover mudanças físicas, químicas e biológicas no solo, cujos efeitos se refletirão no aproveitamento de nutrientes pelas plantas e conseqüentemente aumento na produtividade das mesmas. A eficácia do sistema de PD tem relação com a quantidade e a qualidade de resíduos produzidos pelas plantas de cobertura, bem como a persistência desses resíduos sobre o solo e a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes (TORRES, 2003). Borkert et al. (2003), ao estimarem a quantidade de nutrientes que retornam ao solo após a mineralização dos tecidos de plantas de cobertura, observaram que em sistemas de rotação de culturas, quanto maior for a diversificação de espécies maior será a quantidade de nutrientes reciclados por essas espécies e disponibilizados para a cultura seguinte. Estes mesmos autores concluem que a rotação de culturas comerciais com espécies para cobertura vegetal do solo sob semeadura direta é fundamental para a implantação e a continuidade de sistemas produtivos sustentáveis, mediante eficiente reciclagem de nutrientes.

Neste contexto, o sistema de PD torna-se um importante instrumento para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva de solos que vinham sendo manejados convencionalmente ou ainda de áreas degradadas. Cabe destacar que além dos benefícios já citados, os sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de carbono (C) no solo se constituem em alternativas para aumentar a capacidade de dreno de CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento global (AMADO et al., 2001; BAYER et al., 2006).

O fato de não se revolver o solo, aliado à adição de C orgânico por meio do cultivo de adubos verdes, e a manutenção dos resíduos em superfície favorecem a decomposição lenta e gradual desses resíduos, liberando compostos orgânicos que estimulam a formação e a

estabilidade dos agregados no solo, melhorando sua estrutura (BERTOL et al., 2004). Bruce et al. (1990), ao trabalharem com rotação de culturas sobre três sistemas de manejo, observaram os efeitos da rotação sobre as características físicas do solo, somente no sistema PD. Os mesmos autores concluíram que o preparo do solo eliminou os efeitos benéficos da rotação de culturas sobre as características físicas do solo. Spera et al. (2007), ao avaliarem os efeitos de sistemas de manejo de solo e rotação de culturas sobre alguns atributos físicos, concluíram que a Ds sob rotação de culturas foi menor que sob a monocultura soja/trigo, indicando o efeito benéfico desta prática agrícola sobre a estrutura do solo. Wohlenberg et al. (2004), ao avaliarem a estabilidade de agregados em experimentos de longa duração, concluíram que as seqüências de culturas com sucessão de gramíneas com leguminosas apresentam maior agregação. Pillon et al. (2007), ao trabalharem com a cultura da mamona solteira, concluíram que a área com produção de mamona apresenta maior degradação da qualidade do solo, pois possui maior Ds e menores valores de Mac e de Pt em comparação as demais áreas.

Em contrapartida aos efeitos benéficos do PD, as mobilizações do solo, necessárias ao sistema de cultivo convencional, modificam adversamente a estrutura do solo, afetando as relações entre as fases sólidas, líquida e gasosa, tornando a camada arável pulverizada e a subsuperficial compactada (DENARDIN; KOCHHANN, 1997). Cruz et al. (2003), ao compararem as mudanças das características físicas do solo sob PD em relação ao plantio convencional (PC), concluíram que o sistema de PD não apresentou melhorias significativas na agregação do solo em relação ao PC. Estes mesmos autores concluíram também que o PD, apresentou maior índice de carbono orgânico (CO) na camada de 0,10 m, não se refletindo em aumento no diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados. Teixeira et al. (2000), ao avaliarem a influência de diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em PD sobre os atributos físicos de um Argissolo após três anos, concluíram que na camada de 0-10 cm, não houve diferença significativa e no decorrer do tempo, houve tendência de diminuição da Ds, DMP e percentagem de agregados de maior tamanho, favorecendo os de menor tamanho. Segundo Bayer et al. (2000), as alterações nos estoques de MO são lentas, o que, associado aos curtos períodos experimentais, dificulta a visualização do seu comportamento a médio e longo prazo.

A adubação verde, quando inserida em sistemas de rotação de culturas sob PD, tornou-se uma prática eficiente na melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, sendo que as leguminosas são as preferidas, pela capacidade de aproveitamento do N do ar, sistema radicular profundo e grande produção de biomassa. Os adubos verdes ou plantas de

cobertura a serem inseridos na rotação, podem ser implantados em cultivo singular ou associações. Segundo Calegari et al. (2002), pode-se fazer uso do consórcio de leguminosas mais gramíneas ou gramíneas mais crucíferas, que além de apresentarem um importante efeito melhorador das características físicas do solo (agregação, estruturação, descompactação), produzem um resíduo de relação C/N intermediária que favorecerá uma mineralização paulativa do N, além de promover ao longo do tempo maior equilíbrio e acúmulo de carbono (C) no perfil do solo. Beutler et al. (1997) verificaram que o consórcio aveia + ervilhaca, produziu em média 4268 kg ha⁻¹ de massa seca, o que indica ser este consórcio uma boa alternativa para a cobertura do solo. Em função disto, neste sistema observa-se uma diminuição nas perdas de solo e acréscimo no teor de matéria orgânica no solo (GONÇALVES; CERETTA, 1999). Segundo Ceretta et al (2002), a taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação C/N do tecido, por isso espécies não gramíneas como ervilhaca e nabo forrageiro possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas com gramíneas como aveia preta. Porém as leguminosas, quando combinada a outras espécies, sejam em sucessão ou rotação de culturas, podem aumentar de forma significativa a retenção de C e N no solo (AMADO et al., 2001). Na avaliação da decomposição de resíduos culturais de aveia-preta, ervilhaca e nabo forrageiro, Aita e Giacomini (2003) observaram que, ao final de 30 dias após manejo das culturas, 81, 57 e 75% da massa seca, respectivamente, permaneciam na superfície do solo, quando cultivados de forma solteira. Estes resultados mostram que parte do estoque de nutrientes torna-se disponível para as plantas em um intervalo curto, contribuindo com a elevação da produtividade das culturas subseqüentes (SOUZA; MELO, 2000) e diminuindo os impactos ambientais gerados pela produção industrial desses fertilizantes, o que envolve alto consumo de combustíveis fósseis, com significativa emissão de gases para a atmosfera (AMADO et al., 2001; ZANATTA et al., 2007).

Estudos demonstram os efeitos benéficos das plantas de cobertura nas propriedades do solo e no rendimento das culturas, decorrentes principalmente da produção de fitomassa, acúmulo e posterior liberação de nutrientes, pela decomposição da palhada (AITA; GIACOMINI, 2003; ESPÍNDOLA et al., 2006; BOER et al., 2007). Os resíduos vegetais contêm macro e micronutrientes em formas orgânicas lábeis, que podem tornar-se disponíveis para a cultura subseqüente, mediante o processo de mineralização da MO (AMADO et al., 2002; CALEGARI, 2004; CARVALHO et al., 2004).

A utilização de leguminosas em sistemas de culturas associada ao sistema PD também contribui para o aumento dos estoques de N total do solo (POUDEL et al., 2001; DIEKOW et

al., 2005) como resultado da maior entrada de N no solo pela fixação biológica realizada pelas leguminosas somada à menor taxa de mineralização do N orgânico em sistema PD (BAYER; MIELNICZUK, 1997; LOVATO et al., 2004), podendo recuperar a capacidade de fornecimento de N pelo solo às culturas. Mesmo assim a matéria orgânica do solo, que constitui a principal fonte de N para as plantas, não consegue atender a alta demanda de N pelas culturas comerciais, principalmente em solos degradados, onde o baixo conteúdo de MO torna a disponibilidade de N ainda menor. Por essa razão, a adição de fertilizantes nitrogenados minerais ou a utilização de leguminosas torna-se necessária para aumentar a disponibilidade de N em agroecossistemas (PEOPLES et al., 1995).

Segundo Wohlenberg et al. (2004), as plantas podem recuperar solos degradados pela ação de suas raízes e parte aérea, sendo algumas espécies mais eficientes que outras. Existe um estreito relacionamento entre as condições físicas e químicas com o desenvolvimento dos vegetais. Do ponto de vista agrícola, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes, sendo que a manutenção de um bom estado de agregação e estabilidade de agregados é condição primordial para garantir altas produtividades agrícolas (CORRÊA, 2002). Segundo Nuernberg et al. (1986), o cultivo de plantas que produzem grande volume de raízes profundas e que mantêm boa cobertura do solo, com crescimento inicial rápido e agressivo, pode recuperar solos fisicamente degradados. Diante destes aspectos, a formação e destruição da estrutura do solo, bem como a melhoria das propriedades químicas através de práticas adequadas, é um dos principais objetivos do manejo dos solos.

2.4 Efeito do MO sobre as características químicas e físicas do solo

A MO é considerada a principal característica indicadora da qualidade do solo, por apresentar forte inter-relação com quase todas as características físicas, químicas e biológicas do solo (MOREIRA et al., 2006). Segundo Diekow (2003), a MO é um importante componente do ciclo terrestre do carbono (C), estando intimamente relacionada com o funcionamento normal desse na natureza. A busca por sistemas conservacionistas, que minimizem as emissões de gases do efeito estufa e que contribuam para a manutenção da qualidade química e física do solo, tem relacionado à MO como importante índice na avaliação dos impactos das práticas agrícolas sobre o meio ambiente (LEITE et al., 2003).

No sistema de PD, a manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície é de fundamental importância, principalmente se estes resíduos apresentarem decomposição mais lenta, proporcionando proteção ao solo por maior período de tempo. O conteúdo de MO do solo é resultado do balanço entre a adição de resíduos orgânicos e a perda de MO, onde as perdas estão relacionadas principalmente a processos de oxidação biológica pela ação dos microrganismos ou por processos erosivos gerados pela ação das chuvas. Cabe destacar que, mesmo representando uma pequena fração do total da MO, os microrganismos são responsáveis pelos processos de mineralização, contendo uma quantidade considerável de nutrientes (N, P, S, Zn e Cu) potencialmente disponíveis para as plantas (JENKINSON, 1988). A degradação da MO ocorre de forma rápida, já a reconstrução do seu conteúdo é lento e dependente da adoção de sistemas de culturas com alta adição de resíduos vegetais ao solo e de um sistema de preparo baseado no mínimo revolvimento (BAYER et al., 2000). A degradação da MO em solos arenosos se processa de forma mais rápida quando comparada a solos mais argilosos, porque ocorre uma menor ligação dos componentes orgânicos com os constituintes coloidais minerais, e, portanto, menor proteção física, facilitando sua decomposição microbiana (BAYER et al., 2000).

Manter ou incrementar o estoque de MO tornou-se um dos requisitos fundamentais para garantir melhorias na qualidade do solo, sob o ponto de vista da sua fertilidade e na sustentabilidade dos sistemas de produção. Considerando que plantas diferenciam-se entre si no que se refere agregação do solo, Da Ros et al. (1997), Amado et al. (2001) e Aita et al. (2001) constataram que a fitomassa de leguminosas têm potencial para suprir, não só o CO₂, mas também contribuir para melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo. Estudos sobre níveis de MO e teores de C, P, K, Ca e Mg em áreas submetidas a diferentes sistemas de manejo de solo e rotação de culturas, demonstram que os resultados obtidos em PD foram positivos e consistentes quando as rotações de cultura incluíam plantas de coberturas, especialmente leguminosas (BERTOL et al., 2004; SISTI et al., 2004). Santos et al. (2008), ao avaliarem o efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade de solo após vinte anos de cultivo, concluíram que no PD houve acúmulo de MO, P extraível e K trocável, na camada 0-0,05 m e que o teor de MO e os teores de P e de K diminuiriam progressivamente da camada 0-0,05 m para a camada 0,15-0,20 m.

A MO provém em sua maior parte da vegetação, que quando em grandes quantidades e manejados adequadamente, exercem ação protetora contra a desagregação do solo pela chuva por aumentarem a formação e a estabilidade dos agregados (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990). A estabilidade dos agregados ocorre em função da aproximação e

cimentação de partículas, de natureza mineral e orgânica, através de mecanismos físicos (ciclos de umedecimento e secagem), químicos (floculação de minerais, precipitação de óxidos de ferro e alumínio, presença de cátions polivalentes e interação das partículas minerais e orgânicas) e biológicos (ação das plantas e microrganismos) (SILVA; MIELNICZUK, 1998). A intensidade destes mecanismos influencia a resistência das unidades estruturais perante as forças desagregantes (KEMPER; CHEPIL, 1965). Em condições de alta produção de fitomassa e adição de resíduos, são favorecidos os mecanismos biológicos envolvidos na estabilização dos agregados (BASSO; REINERT, 1998), pois a agregação é afetada pela MO, que ajuda a cimentação (BAVER et al., 1973). A partir do efeito da MO sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas outras características físicas do solo, como a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e a infiltração de água, entre outras. Estes efeitos variam também, em função da qualidade e do manejo dado aos resíduos (FERREIRA, 2000). O mesmo autor destaca que o uso de gramíneas e leguminosas, ou do consórcio entre ambas, podem contribuir na melhoria da estrutura do solo, trazendo benefícios como o aumento da porosidade e aeração, bem como a capacidade de retenção de água no solo, pela formação de galerias, após o apodrecimento das raízes.

A influência da MO sobre a agregação, é um processo dinâmico, sendo necessário um contínuo acréscimo de material orgânico, para manter uma estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas (WOHLENBERG et al., 2004). Estes mesmos autores, ao avaliarem a dinâmica da agregação de um solo franco arenoso em sistemas de cultura em rotação e sucessão, verificaram em seus resultados, que o mecanismo dominante de estabilização dos agregados está relacionado com o teor de MO. E à medida que estes teores diminuem, principalmente pelo preparo excessivo ou baixo aporte de material orgânico pelos sistemas de cultivos, decresce a estabilidade dos agregados. Ao se adicionar grande quantidade do material orgânico no solo, a atividade microbiana é intensificada, resultando em produtos (agentes cimentantes) que proporcionam a formação e estabilização de agregados (CAMPOS et al., 1995). Grandes quantidades de resíduos vegetais com relação C/N moderada podem ajudar a estabilizar a estrutura do solo por períodos maiores, atribuindo-se esse efeito ao reforço interno dos agregados originado das secreções bacterianas. Isto foi constatado por Campos et al. (1995), os quais relataram que os compostos orgânicos e a ação microbiana têm atuação na estabilidade de agregados, pela alta correlação apresentada entre o conteúdo de CO e a atividade microbiana com o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados.

Uma das alternativas para se obter um aumento da MO é a adição constante de material orgânico pelos adubos verdes e culturas comerciais. Como consequência, ocorre redução na lixiviação de nutrientes, aumento da capacidade de retenção de água no solo, culminando com a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (CALEGARI et al., 1992). Especialmente em solos arenosos, o PD aumenta a estabilidade de agregados conforme Silva et al. (2006). Flores et al. (2008), ao trabalharem com a recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema PD em Argissolo Vermelho, concluíram que o PD neste solo recuperou a estabilidade da estrutura, observada pelo aumento do DMG, mas não os atributos relacionados à densidade e porosidade do solo. Wohlenberg et al. (2004), ao avaliarem a evolução da estabilidade e da distribuição do tamanho dos agregados de um Argissolo, verificaram que a distribuição dos agregados em classes de diâmetro reflete o comportamento do DMG. A maior percentagem de agregados na classe de 8,00 a 4,76 mm ocorreu nos tratamentos que mantinham o solo coberto e com maior teor de MO. Estes autores afirmam que as variações nas percentagens de agregados por classe de tamanho são dinâmicas e que a MO e o desenvolvimento de raízes são os principais agentes responsáveis pela formação de agregados maiores.

A MO está diretamente relacionada ao ciclo do C e N, e o conteúdo destes elementos no solo, estão relacionados à sua qualidade. Por serem ambos componentes da MO, os teores de N e C são intimamente associados, o que se altera são os mecanismos de adição e de perda destes elementos no sistema. Os solos degradados pelo cultivo e com baixos teores de C são deficientes em N, o que limita a recuperação dos estoques de C no solo, principalmente em sistemas constituídos apenas por gramíneas (CANELLAS et al., 2003). O esforço em quantificar o C orgânico tanto em teores totais como também em seus diferentes compartimentos no solo (LEITE et al., 2004), tornou-se importante, pois o solo tanto em ambientes naturais ou manejados, pode retardar ou incrementar a transferência de C para a atmosfera, permitindo que seja retido na MO por tempo mais prolongado, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (WATSON et al., 2000; BROMICK; LAL, 2005), além de melhoria da sua qualidade pelo aumento na agregação, porosidade, infiltração e retenção de água, aeração, capacidade de troca de cátions (CTC), balanço de N, entre outras (SIX et al., 2000).

2.5 Características químicas e físicas do solo cultivado sob PD

Entre os sistemas de manejo de solo praticados no Sul do Brasil, o PD destaca-se como o mais conservacionista, pela mínima mobilização do solo, adoção da prática da rotação de culturas e manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície que o mesmo promove (SPERA, 2007). Como consequência deste sistema de manejo observa-se a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações no rendimento das culturas (ARGENTON et al., 2005). Conforme Reinert (1997 apud CRUZ et al., 2003) a perda de condições desejáveis do solo, relacionadas com o crescimento de plantas e ambiente, tem sido considerada como degradação do solo, tendo esta definição relação com a perda da capacidade produtiva dos solos, em função da diminuição de nutrientes, MO e mudanças em atributos físicos. No sistema de PD, os principais benefícios visualizados referem-se principalmente no controle da erosão hídrica, no acúmulo de MO e de nutrientes no solo (BAYER et al., 2000).

Alguns atributos do solo podem se destacar quando se pretende avaliar os efeitos de sistemas de rotações em relação à erosão hídrica. Karlen e Stott (1994) destacam os teores de MO, Ds, Mac, microporosidade (Mic) e Pt. Características como porosidade e densidade, bem como capacidade de retenção e infiltração de água, segundo BAYER e MIELNICZUK (1999), são afetadas indiretamente pela agregação.

O uso de sistemas de manejo de solo que determinem menor intensidade de mobilização, comparado ao sistema convencional, e que proporcionem acúmulo de resíduos na superfície do solo, em áreas anteriormente degradadas pelo preparo inadequado, está possibilitando a recuperação dos atributos físicos do solo (DA ROS et al., 1997). Porém compactação do solo é comumente verificada nestes sistemas, independente do teor de argila (REICHERT et al., 2003), sendo esta uma consequência normal (SILVA et al., 2000). Segundo Freitas (1994), esta é a maior limitação à alta produtividade das culturas em todo o mundo, pois afeta diretamente o crescimento das raízes, diminui a capacidade de infiltração de água no solo, reduz a translocação de nutrientes, resultando em uma pequena camada a ser explorada pelas raízes. Spera et al. (2007), ao avaliarem o efeito de sistemas de manejo e rotação de culturas sobre alguns atributos físicos do solo, verificaram que o solo sob PD apresentou uma tendência de aumento da Ds e Mic, e menores valores de Pt e Mac. Porém quando os mesmos autores apresentam os efeitos destas características sobre o rendimento, observaram que não estão afetando negativamente o rendimento das culturas e que a cultura

do trigo, soja e milho apresentaram maior rendimento de grãos sob manejos conservacionistas de solo. Secco et al. (2004) observaram que níveis elevados de compactação prejudicaram os atributos físicos do solo, mas não a produtividade da soja, em um Latossolo cultivado sob PD e rotação de culturas. Estes resultados mostram que a compactação torna-se importante, somente quando atinge limites críticos, prejudicando o crescimento radicular, confinando as raízes acima da camada compactada ou em partes do perfil (UNGER; KASPAR, 1994).

Em sistema de PD, o efeito negativo da compactação pode ser compensado por outras características que são benéficas neste sistema, como por exemplo, poros contínuos formados pelos cultivos anteriores, conforme Bouma (1991). Neste contexto, Kochhann et al. (1999) sustentam que a suposição de que a continuidade do sistema PD implicaria em problemas de degradação estrutural do solo na camada superficial nem sempre é comprovada. Voorhees e Lindstrom (1984) afirmaram que o PD necessita de três a quatro anos para ser considerado como estabelecido, já Reinert et al. (1990) sugerem um tempo bem maior, superior a 10 anos. Marcolan et al. (2007), ao avaliarem a recuperação dos atributos físicos de um Argissolo em função do revolvimento, concluíram que houve necessidade de um período de quatro anos de cultivo do solo sob PD para o retorno da estabilidade de agregados à condição original.

Silveira e Stone (2001) observaram que a D_s sob PD pode diminuir com o passar dos anos, devido ao aumento da MO na camada superficial, melhorando inclusive a estrutura do solo. Estudos com maior duração indicam melhorias no solo com rotação de culturas e introdução de plantas de cobertura. Após sete anos de uso de rotação de culturas, Albuquerque et al. (1995) observaram redução em $0,07 \text{ Mg m}^{-3}$ da densidade na camada de 0,01 a 0,086 m em um Latossolo Vermelho-Escuro. Nascimento et al. (2005) não observaram diferenças em atributos físicos de um Luvisolo após a introdução de plantas de cobertura cultivadas por três anos.

Para preservar a qualidade do solo e eliminar a necessidade de mobilizações nesse sistema, é recomendado o uso da rotação de culturas, a qual diminui a densidade, aumenta a porosidade e a estabilidade de agregados do solo, conforme constatado por Wohlenberg et al. (2004), em Argissolo Vermelho-Amarelo. Neste contexto, plantas de cobertura que apresentem sistema radicular abundante e vigoroso, podem ser consideradas uma alternativa aos métodos mecânicos de descompactação (ABREU et al., 2004), proporcionando benefícios adicionais por reciclarem nutrientes no perfil e adicionarem MO ao solo. Voorhees e Lindstrom (1984) observaram mudanças significativas na estrutura do solo sob PD com sucessão de culturas após a escarificação, mas o tratamento sem escarificação e com rotação

de culturas teve maior capacidade de suportar restrições físicas, associado ao maior acúmulo de CO na camada superficial do solo em relação ao PD escarificado.

Segundo Arshad et al. (1996), o valor mínimo de densidade para solos arenosos acima do qual haveria restrição ao desenvolvimento de raízes é de 1,70-1,75 Mg m⁻³. A densidade normalmente é maior na camada superficial, causada pelo não revolvimento do solo e pressão mecânica exercida pelo trânsito de máquinas e equipamentos, porém em alguns tipos de solo e/ou sistemas de manejo, esses valores podem não diferir com a profundidade (ELTZ et al., 1989) ou apresentarem valores maiores na subsuperfície do que na superfície. Loss et al. (2009), ao avaliarem os atributos químicos e físicos de um Argissolo sob PD, verificaram que os menores valores de Ds ocorreram na camada de 0-5 cm. Esse fato é devido principalmente, a constante adição de MO e do menor revolvimento a que as áreas são submetidas (SILVEIRA NETO et al., 2006; ARAÚJO et al., 2007).

A estrutura do solo também pode ser considerada como uma das propriedades mais susceptíveis às modificações antrópicas (ALLISON, 1973), sendo a degradação da estrutura do solo a causa da perda de condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal, predispondo o solo à erosão hídrica acelerada (ALBUQUERQUE et al., 1995). Neste sentido, o solo que é submetido ao cultivo tende a perder a estrutura original, pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na Ds (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

No que se refere à dinâmica da agregação e distribuição de tamanho de agregados sob PD, Wohlenberg et al. (2004), ao avaliarem a influência de sistemas de culturas sobre a agregação de um Argissolo totalmente susceptível à desagregação, concluíram que as seqüências de culturas influenciaram diferenciadamente a agregação do solo, dependendo da época do ano e tempo de estabelecimento dos sistemas de culturas. Silva et al. (2006), ao avaliarem as modificações das propriedades físicas relacionadas com a estrutura e agregação e teor de CO de um Argissolo, após 17 anos observaram baixos valores de carbono orgânico do solo, podendo estar relacionados com a textura franco-argilo-arenosa (elevado teor de areia), que confere menor proteção física da MO, facilitando a ação microbiana (BAYER et al., 2000). Comparando-se os sistemas submetidos ao cultivo com rotação ou sucessão, também se diferenciam as propriedades físicas do solo. Em Latossolos Vermelho-Escuros, Campos et al. (1995) observaram maior atividade microbiana e estabilidade dos agregados em solos submetidos à rotação de culturas, enquanto Albuquerque et al. (1995) observaram maior volume de macroporos e menor Ds, nos sistemas de rotações de culturas comparados às sucessões.

Cabe destacar ainda que as alterações nas condições químicas de solos cultivados tais como concentração e tipo de íons na solução do solo (RENGASAMY, 1983), variações do pH do solo e da concentração crítica de flocculação das partículas, podem causar modificações na dispersão da fração argila, degradando desta forma a estrutura original do solo (BENITES; MENDONÇA, 1998). Rengasamy (1983) verificou menor dispersão de argila em solos com maiores teores de Ca e Mg, enfatizando que cátions polivalentes formam pontes de cátions com partículas carregadas negativamente, aumentando a agregação do solo. As mudanças na estabilidade de agregados e outros atributos físicos do solo, decorrentes da calagem e da adubação, podem estar ligados a dois mecanismos principais. O primeiro deles refere-se ao efeito direto de tais práticas, que modificam a composição química da solução do solo. Assim, as alterações no pH, na força iônica da solução e nos tipos de íons presentes, influenciariam significativamente a dispersão ou flocculação dos colóides, interferindo, por consequência, na agregação das partículas do solo (SETA; KARATHANASIS, 1997). O segundo mecanismo refere-se ao efeito indireto da adição de calcário e adubos ao solo, que favoreceria a produção de fitomassa das culturas, levando a uma maior adição de MO, que incrementaria a atividade microbiana e a estabilidade dos agregados (HAYNES, 1984).

O PD resulta em maiores teores de MO na camada superficial do solo em relação ao sistema de PC, isto tem sido constatado por vários autores (KLEPKER; ANGHINONI, 1995; BAYER; MIELNICZUK, 1997) e a explicação para este comportamento está relacionada ao maior aporte de material orgânico em superfície. Além da MO, a maior parte dos estudos indica que o PD promove o aumento de nutrientes nas camadas superficiais do solo e a elevação dos valores de pH do solo (BAYER; MIELNICZUK, 1997; FRANCHINI et al., 2000). Teixeira et al. (2003) verificaram alterações nos valores de pH do solo e dos teores e distribuição de CO, Cu, Mn, Zn e Fe em Argissolo, submetido há quinze anos ao sistema de PD e diferentes preparos convencionais, verificaram também maiores valores de pH em água e teores de CO, Cu, Mn e Zn nos primeiros 5 cm do solo sob PD. Santos et al. (2003), ao avaliarem o efeito dos sistemas de manejo e de cultivo do solo na fertilidade do solo, após oito anos de cultivo, concluíram que os níveis de MO e os teores de P e K diminuíram progressivamente da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm, em todos os sistemas de manejo e cultivo do solo.

A MO interage com a fase mineral, interferindo na dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta, exercendo um papel importante na manutenção da fertilidade do solo, bem como das propriedades físicas e biológicas (MENDONZA et al., 2000; SILVA et al., 2000). Neste sentido, em razão do efeito positivo alcançado pela interação entre adubo mineral e adubação

verde, é possível obter rendimentos maiores do que pelos seus empregos isolados (JERANYAMA et al., 2000). Segundo Vaughan e Ord (1985), a importância das frações humificadas na dinâmica dos elementos no solo, se estende também às interações com os fertilizantes, que podem ter sua efetividade aumentada ou reduzida, além de ser amortecidos os efeitos adversos de altas doses; o que regula as condições de nutrição mineral de plantas. Dentre os nutrientes que devem estar presentes no solo, o N pode ser considerado o maior limitante ao crescimento das plantas nos trópicos. Desta forma, torna-se necessário inserir os adubos verdes em sistemas de rotação, capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) de forma eficiente, pois este elemento pode proporcionar contribuições consideráveis na viabilidade econômica e sustentabilidade dos sistemas de produção (BODDEY et al., 1997), por reduzir a necessidade da aplicação de N sintético.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em área pertencente ao Departamento de Solos do Centro de Ciências Rurais, localizada no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria, região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, compreendida pelas coordenadas geográficas 29° 45' de latitude sul e 53° 42' de longitude oeste de Greenwich. A altitude é de aproximadamente 96 m acima do nível do mar e o solo apresenta declividade de 6,5%.

O clima da região é do tipo "Cfa", ou seja, subtropical úmido sem estiagens, de acordo com a classificação climática de Köppen. A precipitação média anual é 1686 mm (COGO et al., 2006), sendo que em maio, junho e outubro ocorrem as maiores precipitações, já em novembro, dezembro e março ocorrem as menores precipitações do ano. A temperatura média anual é 19,3°C, sendo junho o mês mais frio, com temperaturas médias mínimas de 9,3° C e janeiro é o mês mais quente, com temperaturas médias máximas de 31,5° C. O clima desta região também se caracteriza por apresentar estação seca não bem definida (MORENO, 1961).

O solo pertence à unidade de mapeamento São Pedro, descrito, mapeado e classificado como um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, apresentando em sua composição granulométrica (tabela 1) mais de 70% de areia e menos de 19% de argila, sendo desta forma altamente susceptíveis a erosão. Esta unidade caracteriza-se por apresentar solos profundos, avermelhados, textura superficial franco-arenosa, friável, e bem drenados. Estes solos são ácidos, com saturação de bases abaixo da média, pobres em MO e na maioria dos nutrientes. A unidade São Pedro é encontrada nas regiões da Depressão Central e parte da Campanha do Rio Grande do Sul, cobrindo uma área de 6.675 km², representando, aproximadamente, 2,48% da área do estado (BRASIL, 1973).

Tabela 1 - Composição granulométrica (areia, silte e argila) e teores de carbono (C) dos horizontes A1, A2 e A3 do Argissolo Vermelho Distrófico arênico.

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA				C
Símbolo	Profundidade	Areia grossa (2- 0,20)	Areia fina 0,20- 0,05)	Silte (0,05- 0,002)	Argila (<0,002)	
	cm	mm			(%)	
A1	0-25	46	30	12	15	0,69
A2	25-65	43	32	10	12	0,69
A3	65-100	34	26	11	29	0,60

Fonte: Brasil, 1973

3.2 Unidades experimentais

A unidade experimental constituiu-se de uma parcela com dimensões de 3 m de largura e 15 m de comprimento no sentido do declive, delimitadas nas laterais e na parte superior, com chapas de metal galvanizadas, com 0,20 m de altura, introduzidas no solo a uma profundidade de 0,10 m. Na parte inferior de cada parcela havia uma calha coletora de enxurrada ligada, através de um conduto de PVC de 0,075 m de diâmetro, a um tanque com capacidade de 1000 litros.

3.3 Delineamento experimental e rotações

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com duas repetições por tratamento, sendo estas caracterizadas de três tipos de rotações de cultura. O período experimental foi desenvolvido de outubro de 2007 a outubro de 2009. Na tabela 2 são apresentadas as rotações culturais estudadas.

Tabela 2 - Rotações (1, 2 e 3) de culturas inseridas no experimento.

Período	R1	R2	R3
Novembro 2007 – Abril 2008	soja	mamona + amendoim	girassol
Mai 2008 – Outubro 2009	aveia preta + ervilhaca	nabo	canola
Novembro 2008 – Abril 2009	mamona + amendoim	girassol	soja
Mai 2009 – Outubro 2009	canola	aveia preta + ervilhaca	nabo

Pode-se observar na tabela 2, que a cultura do nabo não antecede em nenhum tratamento a cultura da mamona, em função da ocorrência de doenças fúngicas na cultura do nabo, que pode causar danos à cultura da mamona. Observa-se também na tabela 2, com exceção do consórcio aveia preta + ervilhaca, que todas as culturas utilizadas nas rotações são oleaginosas. Desta forma na rotação R3 procurou-se cultivar ao máximo plantas oleaginosas de verão (soja e girassol) e inverno (canola e nabo), cujos grãos podem ser colhidos com a finalidade de extração de óleo vegetal. Na R3, procurou-se também testar a influência da canola sobre a cultura da soja, pois segundo Santos e Reis (1991) existem efeitos negativos de resíduos de canola sobre soja, sob plantio direto, diminuindo a produtividade. Na rotação 1 (R1) também se procurou potencializar o uso de oleaginosas, porém a cultura do girassol foi substituída pelo consórcio entre mamona + amendoim, já a cultura do nabo foi substituída pelo consórcio aveia preta + ervilhaca, podendo-se observar a inserção das leguminosas na rotação e nos consórcios. Na rotação 2 (R2), utilizou-se dos mesmos consórcios da R1 (mamona + amendoim e aveia preta + ervilhaca), porém manteve-se na rotação o girassol e o nabo forrageiro, em detrimento da soja e da canola respectivamente. Observa-se na tabela 2, que em todas as rotações estão inseridas culturas oleaginosas, cuja finalidade é a obtenção de óleo vegetal, principalmente na R3 onde as culturas de verão e inverno podem ser usadas com este propósito. Nas R1 e R2, além de estarem inserida as oleaginosas, procurou-se potencializar o uso das leguminosas, principalmente nos consórcios.

3.4 Condução do experimento

No período anterior ao início do presente trabalho (inverno de 2007), cada parcela já estava sendo cultivada com as culturas previstas para cada rotação (R1, R2 e R3). Desta forma

nas parcelas 1 e 4 (R1) estavam sendo cultivadas com canola, as parcelas 2 e 5 (R2) com o consórcio aveia preta + ervilhaca e as parcelas 3 e 6 (R3) com a cultura do nabo. Estas culturas de inverno estavam sendo manejadas dentro dos princípios do PD, desta forma seus resíduos encontravam-se espalhados sobre a superfície do solo.

Após o início das atividades (verão 2007/08), as culturas de verão e inverno foram cultivadas em plantio direto, inclusive para a cultura do amendoim, a adubação das mesmas baseou-se na recomendação da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo (SBCS-NRS, 2004). Foram utilizados para correção da área os fertilizantes sulfato de potássio (K_2O) e o super-fosfato simples (P_2O_5), ambos apresentando em sua constituição mais de 10% de enxofre, sendo este último elemento necessário para a cultura da canola prevista na rotação. Em função das estiagens ocorridas antes da semeadura e durante o ciclo de desenvolvimento das culturas de verão e inverno, tiveram-se atrasos na semeadura e estabelecimento das culturas. Desta forma, a semeadura das culturas de inverno, ocorreu entre 15 de abril e 15 de maio, já nas culturas de verão a semeadura ocorreu entre outubro e novembro, sendo que a soja teve seu plantio no final de novembro e as demais culturas de verão no início de outubro.

As culturas de inverno, utilizadas nas rotações (R1, R2 e R3) em 2007, 2008 e 2009 foram às seguintes:

Canola (Variedade Iola 43 precoce) – com o auxílio de uma enxada foram abertos sulcos transversais ao declive do terreno, no espaçamento de 17 cm entre linhas, utilizando-se 6 kg ha⁻¹ de semente. A adubação na semeadura foi feita aplicando-se 50 kg ha⁻¹ de P, 48 kg ha⁻¹ de K e 15 kg ha⁻¹ de N. A adubação de cobertura foi realizada 40 dias após a semeadura, sendo aplicados 65 kg ha⁻¹ de N.

Nabo forrageiro – a semeadura foi a lanço em cobertura e incorporado com o auxílio de uma enxada. Utilizou-se uma densidade de sementes de 30 kg ha⁻¹, sendo aplicados na semeadura 45 kg ha⁻¹ de P, 60 kg ha⁻¹ de K e 10 kg ha⁻¹ de N. A adubação de cobertura foi realizada 30 dias após a emergência das plantas, onde se aplicou 48 kg ha⁻¹ de N.

Aveia preta + Ervilhaca – a semeadura foi feita a lanço e incorporada com o auxílio de uma enxada. Utilizou-se uma densidade de sementes de 45 kg ha⁻¹ de aveia e 44 kg ha⁻¹ de ervilhaca. Foram aplicados na semeadura 50 kg ha⁻¹ de P e 60 kg ha⁻¹ de K. A adubação nitrogenada é dispensada quando se tem o consórcio entre gramíneas e leguminosas de estação fria, desde que a gramínea do consórcio não apresente sintomas de deficiência de nitrogênio.

As culturas de verão utilizadas nas rotações (R1, R2 e R3) em 2007, 2008 e 2009 foram às seguintes:

Soja (Variedade Coodetec 219) – semeada em linhas transversais ao declive, com auxílio de semeadora manual, no espaçamento de 45 cm entre linhas, 18 plantas/m linear, num total de 400.000 plantas/ha. A adubação foi realizada a lanço, utilizando-se 45 kg ha⁻¹ de P e 84 kg ha⁻¹ de K.

Girassol (Variedade Aguará 3) – seguindo a mesma metodologia de semeadura utilizada pra soja, esta cultura foi semeada com espaçamento de 45 cm entre linhas e com 5 plantas/m linear. A adubação durante a semeadura foi feita em cobertura, aplicando-se 45 kg ha⁻¹ de P, 55 kg ha⁻¹ de K e 10 kg ha⁻¹ de N, o restante do N (50 kg ha⁻¹), foi aplicado em cobertura, 30 dias após a emergência das plantas.

Mamona (Variedade Lyra) + amendoim (Variedade IAC-Caiapó) – Para a semeadura deste consórcio, com o auxílio de uma enxada foram abertas covas para deposição das sementes. A mamona foi semeada num espaçamento de 1,5 m entre linhas e 1 m na linha, já o amendoim foi semeado entre as linhas da mamona num espaçamento de 50 cm entre linhas e 15 sementes/m linear, em 5 covas por metro. A adubação deste consórcio foi feita com base nas necessidades da cultura do amendoim, já que a mamona tem um ciclo mais longo e aproveita boa parte dos nutrientes ciclados na palha do amendoim. Desta forma aplicaram-se em cobertura 45 kg ha⁻¹ de P e 72 kg ha⁻¹ de K.

3.5 Determinações

3.5.1 Rendimento de matéria seca das culturas de verão e inverno

As coletas das amostras de tecido vegetal, para determinação da matéria seca das culturas de cobertura de inverno e das culturas de verão, foram realizadas na época de pleno florescimento das culturas. Para as culturas semeadas a lanço (aveia preta + ervilhaca e nabo forrageiro), as coletas foram feitas com auxílio de um quadro de 0,25 m² lançado aleatoriamente em 3 locais por parcela. Para as culturas semeadas em linhas (soja, canola e amendoim), coletou-se 3 amostras de 1 m linear em locais diferentes da parcela. Para a cultura da mamona, coletaram-se aleatoriamente as plantas existentes em 3 covas de locais diferentes da parcela. Estas amostras foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos identificados e colocadas para pré-secagem em estufa solar por 1 semana. Após a secagem,

foram trituradas, identificadas e secas em estufa a 65°C até peso constante, sendo os resultados expressos em kg ha⁻¹ de matéria seca.

3.5.2 Rendimento de grãos das culturas oleaginosas

O rendimento de grãos foi determinado na cultura do girassol, soja e no consórcio mamona + amendoim. A canola e o nabo forrageiro também são culturas oleaginosas, mas devido à maturação desuniforme, o fato de serem semideicentes e a desuniformidade gerada pelo replantio, principalmente da canola, não foi possível determinar a produtividade destas culturas. Para as demais oleaginosas, a determinação da produtividade seguiu a mesma metodologia adotada para coleta de massa seca das respectivas culturas, sendo que para a mamona foi necessária a marcação das plantas para posterior coleta dos grãos. Para esta cultura foram realizadas coletas semanais dos grãos, até a finalização do ciclo, que coincidiu com a semeadura das culturas de inverno. Desta forma, a produtividade das culturas de verão foi expressa em kg ha⁻¹, sendo os grãos secos em estufa a 65 °C, com produtividade ajustada para 13% de umidade. Para a cultura da mamona, a produtividade dos grãos foi determinada com a casca em função da ausência de um sistema de trilha adequado.

3.5.3 Medição e amostragem da enxurrada e cálculo das perdas de solo e água

Após cada chuva erosiva, foi medida a altura da enxurrada nos tanques de coleta e retirada de amostras em duplicata em vidros de 300 ml para determinação da concentração de solo e água, seguindo metodologia descrita por Veiga e Wildner (1993). As duas amostras coletadas após cada chuva que tenha causado enxurrada foram acondicionadas em vidros devidamente identificados e secos em estufa a 50 °C para secagem até peso constante.

Para os cálculos das perdas de solo e água, foi utilizado o programa computacional Excel 5.0 (planilha eletrônica de dados), sendo os resultados de perdas de solo expressos em kg ha⁻¹ e as perdas de água em % em relação à chuva ca. Para melhor interpretação dos resultados, para cada rotação (R1, R2 e R3), somou-se as perdas de solo e água ocorridas, durante o ciclo das culturas e ainda dentro do ciclo de cada cultura subdividiu-se em três

períodos, coincidindo respectivamente com o período de semeadura e estabelecimento das culturas, pleno florescimento e maturação dos grãos, e finalização do ciclo das culturas.

3.5.4 Índice de erosividade

O índice de erosividade (EI_{30} , MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), que expressa o potencial da chuva em provocar a erosão do solo, foi calculado segundo critérios propostos por Cabeda (1976), cujas unidades foram transformadas para o sistema internacional segundo Foster et al. (1981). Cabeda (1976) sugere que sejam selecionadas as chuvas individuais e as erosivas, considerando chuva individual aquela que apresente um intervalo entre chuvas de no mínimo 6 horas com precipitação inferior a 1 mm, e erosiva quando a precipitação total for igual ou superior a 10 mm ou quando for igual ou superior a 6 mm em 15 minutos ou menos de chuva.

Os dados de precipitação foram obtidos na estação meteorológica da UFSM, distante aproximadamente 1 km da área experimental. Pelo programa Chuveros, elaborado pelo Prof. Elemar Antonino Cassol, da UFRGS, foi calculada a erosividade de cada chuva, a partir da qual se obteve a erosividade acumulada para cada período das culturas. A data de semeadura para cada cultura não foi exatamente à mesma data de cada período, coincidindo com a melhor época de semeadura para cada cultura.

3.5.5 Caracterização química e física do solo

A caracterização química e física do solo nos diferentes tratamentos foi realizada antes da semeadura das culturas do verão de 2007/08 e no encerramento da condução dos experimentos, no inverno de 2009. Para coletas das amostras selecionaram-se aleatoriamente três pontos de cada parcela, onde se realizou as coletas de solo para as determinações físicas e químicas.

Para a caracterização química, determinaram-se os teores de matéria orgânica, P, K, Ca e Mg por métodos descritos em Tedesco et al. (1995) nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm.

A caracterização física foi feita nas profundidades de 0-8 e 8-16 cm, para as seguintes determinações: densidade de partículas pelo método do balão volumétrico modificado

(MBV_{mod}), descrito por Gubiani et al. (2006), densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade pelo método da mesa de tensão, todos descritos por EMBRAPA (1997). A distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água foi feita pelo método de Kemper e Chepil (1965).

3.6 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de Tukey (probabilidade de 5%) para comparação das médias dos tratamentos e a análise de regressão simples, com auxílio do pacote estatístico SOC – EMBRAPA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa seca (MS) e produtividade das culturas

A produção média de MS das culturas de verão e inverno usadas nas rotações (R) 1, 2 e 3, assim como os totais de MS de cada rotação no período considerado, pode ser observada na tabela 3. Observa-se que a canola, quando comparada às demais culturas de inverno, apresenta uma redução significativa da MS no inverno de 2008 (R3) e também no inverno de 2009 (R1). Para as demais rotações e períodos, assim como para o total de MS produzida em cada rotação, não foram observadas diferenças significativas. Apesar de se observar uma diferença a mais na MS no verão de 2007/08 de 35 e 30% quando se compara o consórcio mamona + amendoim com a cultura do girassol e com a soja, respectivamente.

Tabela 3 - Produção de massa seca (kg ha⁻¹) das culturas usadas nas rotações 1, 2 e 3.

PERÍODO	R1	R2	R3
Novembro 2007 – Abril 2008 ³	4624a	6580 ¹ a	4304a
Maio 2008 – Outubro 2009 ⁴	5165a	4687a	1237b
Novembro 2008 – Abril 2009 ⁵	5371 ² a	5343a	5402a
Maio 2009 – Outubro 2009 ⁶	2535b	3190a	3416a
Total	17696a	19802a	14360a

R1: soja, aveia preta + ervilhaca, mamona + amendoim e canola; R2: mamona + amendoim, nabo, girassol e aveia preta + ervilhaca; R3: Girassol, canola, soja e nabo. Letras minúsculas iguais na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%). ¹Mamona (2632 kg ha⁻¹) + Amendoim (3948 kg ha⁻¹). ²Mamona (1579 kg ha⁻¹) + Amendoim (3792 kg ha⁻¹). ³Verão 2007/08. ⁴Inverno 2008. ⁵Verão 2008/09. ⁶Inverno 2009.

Em relação ao total de MS de cada rotação, também não se observa diferenças significativas (tabela 3). No entanto, ao comparar a R2 com a R3 e R1, verifica-se uma diferença a mais na MS de 28 e 11%, respectivamente. O fato destas rotações não diferirem estatisticamente, pode ser atribuído além do erro amostral, ao pequeno número de repetições de cada rotação, pois aumenta o quadrado médio do erro (QME), que por sua vez aumenta a diferença mínima significativa (DMS) entre as rotações. Foram observadas DMS de 3267 kg entre as rotações no verão 2007/08 e de 5665 kg entre os totais de MS das rotações. Desta

forma, o pequeno número de repetições e conseqüente aumento da DMS, impossibilitaram a ocorrência de diferenças significativas entre as rotações em cada período e também no que se refere aos seus totais.

Na tabela 4, observa-se que é significativamente superior à produtividade de grãos das culturas da R2 (verão 2007/08) e R1 (verão 2008/09), pois ambas são constituídas pelo consórcio entre mamona + amendoim, o que eleva significativamente o total de grãos deste consórcio, em relação ao cultivo solteiro da soja e do girassol. O total de grãos produzidos em cada rotação, não diferiu significativamente, porém observa-se uma diferença a mais de 11% na produtividade total, quando se compara a R1 com a R2 e de 42% na comparação entre a R1 com a R3. O fato do total de grãos produzidos em cada rotação não diferir estatisticamente, está relacionado também ao pequeno número de repetições de cada rotação.

Tabela 4 - Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) das culturas de verão das rotações 1, 2 e 3.

PERÍODO	R1	R2	R3
Novembro 2007 – Abril 2008 ³	2476b	4675 ¹ a	2020b
Novembro 2008 – Abril 2009 ⁴	5278 ² a	2240b	2506b
Total	7754a	6916a	4526a

R1: soja e mamona + amendoim; R2: mamona + amendoim e girassol; R3: Girassol e soja. Letras minúsculas iguais na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%). ¹ Mamona (2505 kg ha⁻¹) + Amendoim (2170 kg ha⁻¹). ² Mamona (2308 kg ha⁻¹) + Amendoim (2970 kg ha⁻¹). ³Verão 2007/08. ⁴Verão 2008/09.

Ao avaliar as culturas usadas nas rotações, observa-se que a MS produzida pela cultura da soja R1 (4624 kg ha⁻¹) e R3 (5402 kg ha⁻¹) (tabela 3), verão 2007/08 e 2008/09 respectivamente, são inferiores ao valor encontrado por Bataglia et al. (1976), que obteve MS de 5632 kg ha⁻¹. Da mesma forma ocorre com a produtividade de grãos da cultura da soja. Pode-se observar na tabela 4 que os valores encontrados são inferiores aos obtidos por Santos et al. (2006), que obteve rendimentos médios superiores a 2700 kg ha⁻¹. A baixa produção de MS e produtividade desta cultura pode ser atribuída ao efeito negativo da cultura da canola exerce sobre a soja, quando cultivada anteriormente, conforme verificado por Santos e Reis (1991).

A cultura da mamona consorciada com amendoim apresentou valores de MS (2632 e 1579 kg ha⁻¹) (tabela 3) inferiores ao sistema de cultivo solteiro, pois Silva et al. (2006) trabalhando com cultivo solteiro da mamona, obtiveram rendimentos de MS de 6915 kg ha⁻¹ para esta cultura. Este fato pode estar relacionado ao efeito competitivo entre a mamona e o

amendoim (ARAÚJO FILHO et al., 2004). Porém a produtividade de grãos da cultura da mamona (2505 e 2308 kg ha⁻¹) alcançou valores superiores ao esperado para o cultivo consorciado e solteiro, pois segundo Silva et al. (2004), o cultivo solteiro da mamona pode alcançar valores superiores a 2000 kg ha⁻¹, já o cultivo consorciado pode ultrapassar os 1000 kg ha⁻¹. Desta forma a alta produtividade de grãos obtida na cultura da mamona pode ser atribuída ao efeito residual do consórcio aveia preta + ervilhaca que antecede esta cultura, pois a adubação nitrogenada em cobertura não foi realizada pelo fato da cultura da mamona estar consorciada com o amendoim.

Na cultura do amendoim, consorciada com a mamona, pode-se observar na tabela 3 que os valores de MS (3948 e 3792 kg ha⁻¹) são elevados, comparados ao valor (3639 kg ha⁻¹) obtido por Rodrigues Filho et al. (1986) para esta cultura quando solteira. A produtividade de grãos da cultura do amendoim (2170 e 2970 kg ha⁻¹) também foi elevada (tabela 4), pois Bolonhezi et al. (2007), trabalhando com cultivo solteiro do amendoim, obteve rendimentos de 2708 kg ha⁻¹. Cabe destacar que a elevada produção de MS (tabela 3) e de grãos (tabela 4) obtidas na cultura do amendoim, mesmo quando consorciada com a mamona, podem ser atribuídas ao efeito residual das culturas anteriores. No verão de 2007/08 e 2008/09, as culturas que antecedem o consórcio mamona + amendoim, são constituídas pelo consórcio aveia preta + ervilhaca.

A MS da cultura do girassol pode variar entre 4430 a 5880 kg ha⁻¹ (TOSI et al., 1975), ao se observar a tabela 3, verifica-se que na R3 (verão 2007/08) o valor de MS (4304 kg ha⁻¹) está abaixo do encontrado por este autor, já na R2 (verão 2008/09) a MS (5343 kg ha⁻¹) está próxima ao valor máximo (5880 kg ha⁻¹) que esta cultura pode alcançar. Já a produtividade de grãos da cultura do girassol (tabela 4) em ambas as rotações R3 (verão 2007/08) e R2 (verão 2008/09), foi de 2020 e 2240 kg ha⁻¹ respectivamente. Estes valores estão acima do esperado para esta cultura, pois segundo dados do Agriannual (2006), 2000 kg ha⁻¹ é considerado um bom rendimento de grãos para a cultura do girassol.

Dentre as culturas de inverno das rotações, estão o nabo forrageiro e a canola, ambas oleaginosas com potencial de produção de óleo vegetal, porém em função da desuniformidade de maturação do nabo, o fato da canola ser semi-deiscente e pela indisponibilidade de um sistema de trilha adequado no momento da colheita, não se avaliou a produtividade de grãos das mesmas. Para a cultura da canola, obtiveram-se baixos valores de MS em função da desuniformidade na germinação e também na maturação fisiológica das plantas. A baixa produção de MS desta cultura, no inverno de 2008 (1237 kg ha⁻¹), também pode ser atribuída ao ataque de formigas, sendo que apenas as plantas de canola foram atacadas, fato este não

visualizado no inverno de 2009 (R1), onde ocorreu um aumento na produtividade de MS (2535 kg ha⁻¹) da canola (tabela 3). Este aumento também pode ser atribuído ao efeito dos resíduos do consórcio mamona + amendoim, que antecede esta cultura, pois se obteve neste consórcio uma produção total de MS de 5371 kg ha⁻¹, deste total a cultura do amendoim é responsável por 70% da MS adicionada. Rodrigues Filho, et al. (1986), avaliou o acúmulo de fitomassa e nutrientes em plantas de amendoim e obteve rendimento de 3639 kg ha⁻¹ de fitomassa seca, sendo que nesta obteve-se um acúmulo de 129 kg ha⁻¹ de N aos 120 dias após o plantio. Estes valores mostram o potencial da cultura do amendoim, em termos de rendimento de fitomassa, principalmente por ser uma leguminosa, seus resíduos apresentam elevados teores de nutrientes, principalmente o N.

Para a cultura do nabo forrageiro, observam-se na tabela 3 valores de MS (4687 e 3416 kg ha⁻¹) inferiores ao encontrado (5480 kg ha⁻¹) por Lima et al. (2007). O consórcio aveia preta + ervilhaca, quando comparado aos resultados de Beutler et al. (1997), que obteve rendimentos de MS de 4268 kg ha⁻¹, apresentou produção de MS superior (5165 kg ha⁻¹) no inverno de 2008, e inferior (3190 kg ha⁻¹) no inverno de 2009, sendo este consórcio uma boa alternativa para a cobertura do solo.

Observa-se na tabela 3 que a produtividade total de MS, em ordem decrescente, ocorreu na R2 (19802 kg ha⁻¹), R1 (17696 kg ha⁻¹) e R3 (14360 kg ha⁻¹). Já a produtividade de grãos total das rotações (tabela 4), em ordem decrescente, foi R1 (7754 kg ha⁻¹), R2 (6916 kg ha⁻¹) e R3 (4526 kg ha⁻¹). Este fato pode ser atribuído à alta produtividade de grãos, proporcionada pelo consórcio entre a mamona + amendoim e ao efeito residual da MS, pois em R1 e R2 potencializou-se o uso das leguminosas na rotação e nos consórcios. Estas rotações (R1 e R2) apresentaram as maiores produções de MS, e seus resíduos vegetais contêm macro e micro nutrientes, que podem tornar-se disponíveis para a cultura subsequente, mediante a mineralização da MO. Desta forma os resultados de produtividade de grãos, estão de acordo com a primeira hipótese deste trabalho, onde se esperava uma influência positiva da rotação de culturas e das culturas de cobertura sobre a produtividade das culturas de verão.

4.2 Parâmetros físicos do solo em 2007 e 2009

Ao comparar as culturas nas rotações em cada ano, observa-se na tabela 5, que tanto no ano de 2007 quanto em 2009, não ocorreram diferenças significativas nos parâmetros

avaliados entre as rotações, com exceção da macroporosidade (Mac) na R3 na profundidade de 8-16 cm, que em 2007 apresentou valores significativamente menores, quando comparada a R1 e R2 no mesmo ano. Isto demonstra que a área onde se instalou o experimento, em 2007, encontrava-se em condições uniformes quanto às características físicas aqui avaliadas. Como todos os sistemas de rotações (R1, R2 e R3) apresentavam a inclusão de leguminosas, bem como o uso de plantas de cobertura como o nabo (R2 e R3) e o consórcio aveia preta + ervilhaca (R1 e R2), também não foi possível visualizar diferenças (tabela 5) entre as rotações em 2009.

Tabela 5 - Densidade de partícula (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macro (Mac) e micro (Mic) porosidades, para as rotações R1, R2 e R3, nas profundidades de 0-8 e 8-16 cm, nos anos de 2007 e 2009.

Rotações	Dp -----(g cm^{-3})-----	Ds	Pt -----%-----	Mac	Mic
2007					
0-8 cm					
R1	2,66aA	1,55aA	45,80aA	13,77aA	32,02aA
R2	2,59aA	1,52aA	45,63aA	13,18aB	32,45aA
R3	2,63aA	1,51aA	46,83aA	15,35aA	31,48aA
8-16 cm					
R1	2,67aA	1,83aA	37,30aA	14,13aA	23,17aB
R2	2,63aA	1,75aA	38,62aA	14,02aA	24,59aA
R3	2,63aA	1,83aA	36,02aA	10,32bA	25,69aA
2009					
0-8 cm					
R1	2,59aA	1,45aA	43,61aA	13,96aA	29,64aA
R2	2,66aA	1,56aA	41,07aA	14,36aA	26,71aA
R3	2,63aA	1,51aA	42,19aA	14,84aA	27,34aA
8-16 cm					
R1	2,65aA	1,58aB	39,94aA	11,85aB	28,08aA
R2	2,66aA	1,69aA	36,17aA	11,00aA	25,15aA
R3	2,67aA	1,70aA	35,92aA	11,12aA	24,89aA

R1: soja, aveia preta + ervilhaca, mamona + amendoim e canola; R2: mamona + amendoim, nabo, girassol e aveia preta + ervilhaca; R3: Girassol, canola, soja e nabo. Letras minúsculas comparam as rotações no mesmo ano e maiúsculas comparam as rotações em anos diferentes, e quando iguais na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

De forma geral, pode-se observar na tabela 5, que tanto em 2007 quanto em 2009, os valores de microporosidade (Mic) são superiores a Mac na profundidade de 8-16 cm, esta diferença é maior ainda na profundidade de 0-8 cm. Verifica-se também que os valores de

porosidade total (Pt), em ambos os anos, são superiores na camada de 0-8 cm, quando comparada à camada de 8-16 cm. Os maiores valores de Pt e Mic observados na camada de 0-8 cm estão relacionados aos menores valores de densidade do solo (Ds) encontrados nesta profundidade.

Observa-se também na tabela 5, que em ambas as profundidades os valores de Mac estão acima de 10%, tanto em 2007 quanto em 2009, com exceção da R3 na profundidade de 8-16 cm em 2007, onde o valor encontrado (10,32%) se aproxima muito do valor de Mac (10%) considerado por Taylor e Ashcroft (1972) como restritivo ao crescimento e produtividade das plantas. Este fato pode ter relação com as alterações na produção de MS (tabela 3) e produtividade (tabela 4) encontrados na R3, quando comparada a R1 e R2.

Ao comparar os valores de Ds encontrados na profundidade de 0-8 cm com a profundidade 8-16 cm, verifica-se que em 2007 e 2009 os valores de Ds foram menores em superfície, estando de acordo com os resultados encontrados por Loss et al. (2009). Esse fato é devido principalmente, a constante adição de MO e do menor revolvimento a que as áreas são submetidas (ARAÚJO et al., 2007). Segundo Arshad et al. (1996), o valor mínimo de densidade para solos arenosos acima do qual haveria restrição ao desenvolvimento de raízes é de 1,70-1,75 Mg m⁻³, sendo que valores maiores (R1 e R3) ou iguais (R2) a 1,75 Mg m⁻³ são encontrados em 2007 na profundidade de 8-16 cm em todas as rotações.

Comparando a Ds encontrada em 2007 em ambas as profundidades, com os valores de Ds encontrados em 2009 (tabela 5), observa-se alterações da mesma em todas as rotações, principalmente na profundidade de 8-16 cm, sendo que ocorre uma diminuição significativa apenas para a R1. Na R1, com a diminuição em 21% na Ds na profundidade de 8-16 cm, também ocorre o aumento significativo de 21% da Mic e diminuição de 16% da Mac. Na R2, comparando-se os valores encontrados em 2007 com os de 2009, verifica-se um aumento significativo da Mac de 9% para a profundidade de 0-8 cm, estas alterações das porosidades, podem estar relacionadas à alteração ocorrida na Ds, onde a mesma passou de 1,52 em 2007 para 1,56 g cm⁻³ em 2009. Já para a R3, comparando-se os valores de 2007 com os de 2009 (tabela 5), não se observa alterações significativas, porém na profundidade de 8-16 cm verifica-se que a Ds, se mantém dentro do valor considerado restritivo ao crescimento radicular conforme Arshad et al. (1996), podendo juntamente com a Mac, ser os parâmetros que restringiram a produção de MS e produtividade de grãos nesta rotação. Estes resultados mostram que a compactação torna-se importante, somente quando atinge limites críticos, podendo prejudicar o crescimento radicular, conforme Unger e Kaspar (1994).

Na R1, a diminuição da Ds na profundidade de 8-16 cm, pode estar relacionada aos benefícios gerados pelos consórcios entre aveia preta + ervilhaca e mamona + amendoim. Na R2, onde se utilizou dos mesmos consórcios da R1 e se inseriu ao sistema a cultura do nabo, também foram verificadas melhorias da Ds e Mac. Já na R3, onde não se explorou os consórcios, mas mantiveram-se na rotação plantas leguminosas e crucíferas, não ocorreram alterações significativas nos parâmetros até então avaliados, porém ocorreu uma diminuição em 7% da Ds na profundidade de 8-16 cm, tendo reflexos sobre a Mac, que em 2007 (profundidade de 8-16 cm), encontrava-se próximo ao limite crítico (10%) estabelecido por Taylor e Ashcroft (1972), o mesmo não foi verificado em 2009, ocorrendo uma melhoria para estes parâmetros. Estes resultados (tabela 5) mostram que o fato de não se revolver o solo, aliado à adição de C orgânico por meio do cultivo de adubos verdes, e a manutenção dos resíduos em superfície favorecem a decomposição lenta e gradual desses resíduos, liberando compostos orgânicos que estimulam melhorias na estrutura do solo (BERTOL et al., 2004).

No que se refere ao potencial das diferentes plantas em manter ou melhorar as características físicas do solo, cabe destacar o papel importante das leguminosas, pois as melhorias nos parâmetros físicos (tabela 5), verificadas em R1 e R2, podem ser atribuídas a sua inserção na rotação e nos consórcios, tendo reflexos sobre a MS (tabela 3) e produtividade (tabela 4). Os resultados apresentados na tabela 5 estão de acordo com a terceira hipótese deste trabalho, onde a melhoria das condições físicas do solo seriam proporcionadas pelas culturas de cobertura e manejo das culturas. Ferreira (2000) destaca que o uso de gramíneas e leguminosas, ou do consórcio entre ambas, podem contribuir na melhoria da estrutura do solo.

Ao comparar as culturas nas rotações em cada ano, observa-se na tabela 6, que tanto no ano de 2007, quanto em 2009, não ocorreram diferenças significativas nos parâmetros avaliados entre as rotações. Na tabela 6, pode se observar que tanto em 2007 quanto em 2009, os valores de DMG, DMP e agregados de maior tamanho (8-4,76 mm), também são maiores na profundidade de 0-8 cm.

Na tabela 6, ao comparar os valores obtidos em ambas as profundidades em 2007, com os de 2009, verifica-se uma diminuição significativa do DMP na R1 (profundidade de 8-16 cm) e uma redução significativa dos agregados de classe intermediária (4,76-2 e 2-1 mm) em ambas profundidades, conseqüentemente ocorre um aumento dos agregados de menor tamanho (<0,21 mm) na profundidade de 8-16 cm. Em R2 e R3, também ocorrem reduções significativas nos agregados de tamanho intermediário (2-1 mm) na profundidade de 8-16 cm. As alterações verificadas na tabela 6, não estão de acordo com a terceira hipótese deste trabalho, pois se esperava uma melhoria das condições físicas, proporcionadas pelas culturas

de cobertura e manejo das culturas. As alterações que podem ser visualizadas nas tabelas 5 e 6 estão de acordo com as conclusões de Teixeira et al. (2000), que verificou uma tendência, muitas vezes não significativa, de diminuição da Ds, DMP e agregados de maior tamanho, favorecendo as classes de menor tamanho. As melhores condições físicas verificadas na profundidade de 0-8 cm (tabela 5 e 6) estão relacionadas justamente aos maiores teores de MO em superfície, pois de acordo com Santos et al. (2008), no PD ocorre um acúmulo de MO em superfície, sendo que estes teores diminuem progressivamente com o aumento de profundidade.

Tabela 6 - Distribuição percentual de agregados por classe de tamanho, DMG e DMP entre as rotações 1, 2 e 3, nas profundidades de 0-8 e 8-16 cm, para os anos de 2007 e 2009

Ano	R ¹	Prof. ²	DMG	DMP	8-4,76	4,76-2	2-1	1-0,21	<0,21
		cmmm.....	mm.....				
2007	R1	0 a 8	0,93aA	2,60aA	29,18aA	15,02aA	6,72aA	22,08aA	26,96aA
2007	R2	0 a 8	0,70aA	1,79aA	17,29aA	12,53aA	7,28aA	18,57aA	44,28aA
2007	R3	0 a 8	1,25aA	3,09aA	39,09aA	15,33aA	5,80aA	20,13aA	19,62aA
2007	R1	8 a 16	0,70aA	2,30aA	28,90aA	8,81aA	5,71aA	29,65aA	26,91aB
2007	R2	8 a 16	0,62aA	1,50aA	15,31aA	11,28aA	7,45aA	37,48aA	28,44aA
2007	R3	8 a 16	0,73aA	1,97aA	22,45aA	9,78aA	7,80aA	32,80aA	27,13aA
2009	R1	0 a 8	0,73aA	2,67aA	36,16aA	7,12aB	1,38aB	9,28aA	46,04aA
2009	R2	0 a 8	0,37aA	1,41aA	15,60aA	7,48aA	1,88aA	13,26aA	61,76aA
2009	R3	0 a 8	0,80aA	2,55aA	33,18aA	8,54aA	1,96aA	12,48aA	43,82aA
2009	R1	8 a 16	0,26aA	0,96aB	9,58aA	4,56aB	2,16aB	16,18aA	67,51aA
2009	R2	8 a 16	0,46aA	1,30aA	13,02aA	7,09aA	3,19aB	20,92aA	55,76aA
2009	R3	8 a 16	0,25aA	0,75aA	4,96aA	5,64aA	3,18aB	20,65aA	65,53aA

R1: soja, aveia preta + ervilhaca, mamona + amendoim e canola; R2: mamona + amendoim, nabo, girassol e aveia preta + ervilhaca; R3: Girassol, canola, soja e nabo. Letras minúsculas comparam as rotações no mesmo ano e maiúsculas comparam as rotações em anos diferentes, e quando iguais na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%). ¹ Rotações. ² Profundidade.

4.3 Parâmetros químicos do solo em 2007 e 2009

Os atributos químicos apresentados na tabela 7 demonstram que as parcelas onde foram instalados os sistemas de rotações de culturas, apresentavam diferenças significativas para os parâmetros MO e K, na profundidade de 0-5 cm em 2007, sendo que na R1 estes

valores eram significativamente maiores que em R2 e R3, fato que pode ter contribuído para elevar produtividade de grãos das culturas de verão da R1 (tabela 4). Na profundidade de 5-20 cm, não se observa diferenças entre as rotações em 2007, sendo que em 2009, ambas as profundidades não apresentaram diferenças.

Tabela 7 - Caracterização química do solo para as rotações R1, R2 e R3, nos anos de 2007 e 2009, nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm.

Características	2007					
	0-5 cm			5-20 cm		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
pH (1:1)	4,7aB	4,6aB	4,7aB	4,4aA	4,5aB	4,5aA
MO (%)	2,4aA	1,9bA	1,9bA	1,3aA	1,3aA	1,2aA
P (mg dm ⁻³)	23,3aB	19,5aB	18,5aA	9,2aA	8,8aB	7,9aA
K (mg dm ⁻³)	104aB	74bA	85bA	30aB	30aA	30aA
Ca (Cmol dm ⁻³)	2,5aB	2,1aB	2,0aB	1,6aA	1,5aB	1,5aB
Mg (Cmol dm ⁻³)	1,2aB	1,1aA	1,0aA	1aA	0,7aA	0,7aA
Al (Cmol dm ⁻³)	0,5aA	0,6aA	0,7aA	1,7aA	1,4aA	1,4aA
2009						
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
pH (1:1)	6aA	5,9aA	5,8aA	5,1aA	5,2aA	5,1aA
MO (%)	2,7aA	3aA	2,2aA	1,8aA	1,6aA	1,4aA
P (mg dm ⁻³)	78,5aA	69,4aA	61,3aA	23,4aA	28,0aA	17,1aA
K (mg dm ⁻³)	164aA	122aA	110aA	56aA	56aA	60aA
Ca (Cmol dm ⁻³)	5,4aA	5,4aA	4,5aA	2,8aA	2,7aA	2,2aA
Mg (Cmol dm ⁻³)	2,1aA	2,8aA	1,7aA	0,8aA	1aA	0,7aA
Al (Cmol dm ⁻³)	0,0aA	0,0aB	0,0aB	1,0aA	0,6aA	0,9aA

R1: soja, aveia preta + ervilhaca, mamona + amendoim e canola; R2: mamona + amendoim, nabo, girassol e aveia preta + ervilhaca; R3: Girassol, canola, soja e nabo. Letras minúsculas comparam as rotações no mesmo ano e quando iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam as rotações em anos diferentes, e quando iguais na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Observa-se também na tabela 7, que tanto em 2007 quanto em 2009, os parâmetros químicos pH, MO, P, K, Ca e Mg foram mais elevados na profundidade de 0-5 cm, quando comparada à profundidade de 5-20 cm, estando de acordo com os resultados obtidos por Santos et al. (2008). A explicação para a elevação dos teores de nutrientes e menores teores de Al, encontrados na profundidade de 0-5 cm em 2007 e 2009, está relacionada ao maior aporte de material orgânico em superfície, proporcionado pelo plantio direto (PD). Pois além da MO, estudos indicam que o PD promove o aumento de nutrientes nas camadas superficiais do solo e a elevação dos valores de pH do solo (FRANCHINI et al., 2000).

Quando se compara os valores obtidos em 2007 com os obtidos em 2009 (tabela 7), observam-se modificações na maioria das vezes significativas nas características avaliadas em superfície (0-5 cm), com exceção do Al que sofreu reduções significativas de 2007 para 2009. Estas alterações ocorrem em função da aplicação de corretivos, como calcário dolomítico, sulfato de potássio (K_2O) e o super-fosfato simples (P_2O_5), podendo também ter contribuído para estas alterações nos atributos químicos, as modificações nos teores de MO que ocorreram em ambas as profundidades. De acordo com os estudos feitos por (AITA; GIACOMINI, 2003), as plantas de cobertura exercem efeitos benéficos sobre as propriedades do solo, pois seus resíduos contêm macro e micro nutrientes em formas orgânicas lábeis, que podem tornar-se disponíveis para a cultura subsequente, mediante o processo de mineralização da MO. Este fato pode ter contribuído para a elevação da produtividade das culturas em R1 e R2, pois são as rotações que mais adicionaram MS (tabela 3) e que tiveram maiores incrementos de MO, de 2007 para 2009, em ambas as profundidades (tabela 7). Estudos sobre níveis de MO e teores de C, P, K, Ca e Mg em áreas submetidas a diferentes sistemas de manejo de solo e rotação de culturas, demonstram que os resultados obtidos em PD foram positivos e consistentes quando as rotações de cultura incluíam plantas de coberturas, especialmente leguminosas como adubo verde (BERTOL et al., 2004; SISTI et al., 2004).

As alterações significativas verificadas na profundidade de 5-20 cm, quando se compara o ano de 2007 com 2009, principalmente quando se trata de características como o pH, P e Ca, podem ser atribuídos a vários fatores, dentre os quais a atividade biológica de plantas e microorganismos. A decomposição dos resíduos vegetais a partir da superfície do solo origina compostos orgânicos hidrossolúveis, os quais têm sido apontados com sendo os responsáveis pela complexação de Ca nas camadas superficiais, seguido de migração no perfil do solo (GATIBONI et al., 2003).

Cabe destacar que na R2, onde ocorreu à maioria das alterações na profundidade de 5-20 cm, foi onde se adicionou mais MS (tabela 3) pelas plantas de cobertura (nabo, aveia preta + ervilhaca) e culturas comerciais (girassol, mamona/amendoim), sendo que a MO sofreu alterações em todas as rotações para a profundidade de 5-20 cm. Esta interação com a fase mineral, interferindo na dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta, exercendo um papel importante na manutenção da fertilidade do solo, bem como das propriedades biológicas (MENDONZA et al., 2000). As melhorias nas condições químicas do solo em ambas as profundidades (tabela 7), podem ser atribuídas também ao efeito das culturas de cobertura e ao manejo das culturas, estando de acordo com a terceira hipótese deste trabalho.

4.4 Perdas de solo e água

Quando se compara as perdas de solo entre as culturas do verão 2007/08 (tabela 8) com as perdas de solo das culturas do inverno de 2008 (tabela 9), observa-se maiores perdas no inverno de 2008, período em que justamente ocorreu maior precipitação, porém com chuvas menos erosivas quando comparado ao verão 2007/08. Já na comparação entre o verão 2008/09 (tabela 10) e inverno 2009 (tabela 11), observa-se maiores perdas de solo no verão e maiores precipitações e EI_{30} no inverno de 2009, o mesmo foi verificado por Beutler et al. (2003), que obteve maiores perdas de solo na primavera/verão quando comparado ao outono/inverno. Comparando-se o verão de 2007/08 (tabela 8) com o de 2008/09 (tabela 10), observam-se maiores perdas de solo e água no verão de 2008/09 e maior EI_{30} e precipitação no verão de 2007/08. Na comparação entre o inverno de 2008 (tabela 9) com o inverno de 2009 (tabela 11), observam-se maiores perdas de solo e água no primeiro, estando estas relacionadas justamente ao maior EI_{30} e precipitação obtida neste período. Verifica-se nestes resultados, que existem variações nas perdas de solo, influenciadas principalmente por variações na erosividade das chuvas e intervalo entre chuvas. Este mesmo comportamento foi verificado por Beutler et al. (2003), que verificaram variações nas perdas de solo e água entre os períodos de primavera/verão e outono/inverno.

As perdas de água em geral apresentam o mesmo comportamento das perdas de solo, porém se observa menores variações nas perdas de água (tabela 8), o que também pode ser visualizado nas tabelas 9, 10 e 11. Tal comportamento pode ser explicado pela variação no volume de chuvas e, ainda, pelo fato do solo apresentar um limite de infiltração de água, dependente da sua capacidade, a partir da qual as diferenças nas perdas de água tendem a diminuir, especialmente nas chuvas de grande volume, em decorrência do aumento da umidade do solo (BERTOL et al., 1994). Na tabela 12, pode-se observar que as perdas de água foram maiores na R3, R1 e R2 respectivamente, sendo maiores justamente nas rotações que menos adicionaram MS (tabela 3). Assim, houve uma tendência de diminuição das perdas de água com o aumento da MS e conseqüentemente da cobertura do solo, o que também foi observado por Schick et al. (2000a). Pois Duley (1939) relata que a menor cobertura do solo facilita o selamento da superfície, diminuindo a capacidade de infiltração da água no solo. Cabe salientar que as perdas de água da chuva na forma de enxurrada geralmente são menos influenciadas pelo efeito da cobertura e manejo do solo do que as perdas de solo (MELLO et al., 2003), já que este apresenta capacidade-limite de absorção de água.

Comparando-se as perdas de solo e água obtidas no 1º período (estágio inicial de desenvolvimento das culturas), com o 2º período (pleno florescimento). Observa-se na tabela 8 que as perdas de solo e água são superiores no 1º período, quando comparado aos demais. Este comportamento ocorre devido a menor cobertura do solo proporcionada pelas culturas, já que as mesmas se encontram em estágio inicial de desenvolvimento. Na tabela 9, observa-se maiores perdas de solo no 2º período em detrimento ao primeiro, mesmo ocorrendo maior EI₃₀ no 1º período. Este comportamento justifica-se pelo fato de ocorrer maior precipitação e intervalos menores entre as chuvas no 2º período. Na tabela 10 observa-se maiores perdas de solo e água no 2º período, fato que está relacionado justamente a ocorrência de uma maior precipitação e EI₃₀. Na tabela 11 observam-se maiores perdas de solo e água no 2º período, sendo que a maior precipitação e EI₃₀ ocorrem no 1º período. Este comportamento ocorre devido ao pequeno intervalo entre as chuvas verificadas no 2º período.

Tabela 8 - Perdas de solo (kg ha⁻¹) e água (%) no período de 10/12/07 à 02/05/08.

Culturas	1º Período ¹		2º Período ²		3º Período ³		Total	
	Solo	Água	Solo	Água	Solo	Água	Solo	Água
SOJA	269ab	15,05a	8a	1,15a	2a	0,45a	279ab	16,65a
MAM/AMEN⁴	163b	14,85a	2a	0,3a	1a	0,25a	166b	15,4a
GIRASSOL	473a	15,1a	12a	1,55a	3a	0,5a	487a	17,15a

1 = período de 10/12/07 à 11/01/08, chuva: 182mm, EI₃₀ – 1045,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹; 2 = período de 16/01/08 à 01/03/08, chuva: 225,8mm, EI₃₀ – 939,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹; 3 = período de 22/03/08 à 02/05/08, chuva 139,4mm, EI₃₀ – 645,2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Total: chuva: 547,2mm e EI₃₀ – 2630,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%)

⁴MAMONA/AMENDOIM

Observa-se também na tabela 8, que as perdas de solo são significativamente superiores na cultura do girassol no 1º período, quando comparada com a soja e com o consórcio mamona + amendoim. Tendo reflexos sobre o aumento significativo no total de solo perdido por esta cultura, que quando comparada à soja teve 75% de aumento na perda de solo, e quando comparado ao consórcio mamona + amendoim teve aumento de 193% nas perdas de solo. Este comportamento não está relacionado apenas a MS adicionada pelas culturas, mas também a dificuldades durante o estabelecimento da cultura do girassol, já que a mesma teve que ser semeada duas vezes em função de estiagens. Pode também estar

relacionada ao hábito de crescimento das mesmas, pois segundo Eltz (1977), plantas de hábito prostrado protegem melhor o solo do que plantas eretas, do mesmo modo que folhas largas protegem melhor do que folhas estreitas, sendo a quantidade de folhas um fator importante a ser considerado. Porém cabe destacar que as gotas de chuva interceptadas pela copa das plantas, ao precipitarem da mesma, adquirem energia cinética suficiente para provocar erosão se o solo estiver descoberto (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A cultura do girassol apresenta hábito de crescimento ereto, o mesmo ocorre com a cultura da soja, porém a estatura da planta da soja é menor, isto também pode ter relação com as maiores perdas de solo na cultura do girassol quando comparada à soja. Desta forma, as menores perdas verificadas no consórcio mamona/amendoim podem estar relacionadas ao hábito de crescimento prostrado da cultura do amendoim. Silva et al. (2004) destacam que em função da baixa área foliar, espaçamentos e estrutura da planta da mamona, os processos erosivos tendem a se agravar durante o desenvolvimento da cultura. Para minimizar estes efeitos, além da manutenção da palha na superfície, o uso do consórcio com outras culturas também é uma estratégia eficiente.

Dentre os fatores considerados determinantes na taxa de erosão hídrica, conforme discutido por Smith e Wischmeier (1962), a cobertura do solo, o manejo das culturas e o comprimento do declive podem ser alterados. Além do manejo do solo em plantio direto e comprimento do declive, adotados igualmente para todas as rotações, a cobertura do solo proporcionada pelos resíduos vegetais é de grande importância, sendo a redução das perdas proporcionais ao aumento da quantidade de resíduos vegetais ou culturais na superfície (REICHERT; CABEDA, 1992). Este comportamento pode ser observado na tabela 8, pois os totais de perdas de solo foram significativamente maiores na cultura do girassol (R3), soja (R1) e mamona + amendoim (R2) respectivamente. Observa-se na tabela 3, que a produção de MS destas culturas (verão 2007/08) está na ordem inversa das perdas de solo, ou seja, quanto maior a produção de MS menores são as perdas de solo. Este mesmo comportamento pode ser observado na tabela 9, onde as rotações que menos perderam solo e água (R1 e R2), foram justamente as que mais adicionaram MS (tabela 3) no período considerado (inverno de 2008).

Na tabela 9 observa-se um aumento significativo nas perdas de solo e água na cultura da canola durante o estágio inicial de desenvolvimento (1º período). Conseqüentemente ocorre um aumento de 47 e 109% no total de água perdida nesta cultura, quando comparada com a cultura da aveia preta + ervilhaca e do nabo respectivamente. As maiores perdas verificadas na cultura da canola, podem ser atribuídas à desuniformidade na germinação e também devido à necessidade de ressemeadura desta cultura. As perdas de solo não diferiram estatisticamente durante o inverno de 2008, podendo este fato, estar relacionado à elevação da

DMS, conforme já discutido anteriormente. Já que se observa (tabela 9) uma diferença a menos no total de perdas de solo de 68% quando se compara a cultura do nabo com a canola, e de 132% quando se compara o consórcio aveia preta + ervilhaca com a canola.

Tabela 9 - Perdas de solo (kg ha^{-1}) e água (%) no período de 28/05/08 à 03/11/08.

Culturas	1º Período ¹		2º Período ²		3º Período ³		Total	
	Solo	Água	Solo	Água	Solo	Água	Solo	Água
AV + ER⁴	30b	6,35b	649a	2,10a	389a	7,75a	1068a	16,20ab
NABO	12b	2,45b	827a	1,30a	638a	7,60a	1477a	11,35b
CANOLA	308a	12,00a	1379a	3,55a	788a	8,20a	2475a	23,75a

1 = período de 28/05/08 à 07/07/08, chuva: 233 mm, $\text{EI}_{30} = 751,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; 2 = período de 21/07/08 à 10/09/08, chuva: 304 mm, $\text{EI}_{30} = 699,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; 3 = período de 11/10/08 à 03/11/08, chuva 262 mm, $\text{EI}_{30} = 955,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Total: chuva: 799 mm e $\text{EI}_{30} = 2407,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%)

⁴AVEIA PRETA + ERVILHACA

Na tabela 10 (verão 2008/09), pode-se observar que as perdas de solo seguem a mesma tendência observada na tabela 9 (inverno 2008), sendo que as perdas de solo e água foram significativamente maiores na cultura da soja (R3) e mamona + amendoim (R1), e menores na cultura do girassol (R2), durante o 2º período. Tendo reflexos sobre o total de perda de solo, pois se observa um aumento significativo de 60% quando se compara o consórcio mamona + amendoim com o girassol, e de 154% quando se compara a soja com o girassol. Este comportamento não pode ser justificado em função da produção de MS destas culturas, pois os valores encontrados são muito próximos (tabela 3). Porém para a R3, o aumento significativo nas perdas de solo, pode ter ocorrido em função do efeito inibidor que a cultura da canola exerce sobre a cultura da soja, conforme verificado por Santos e Reis (1991), podendo reduzir na produtividade de grãos e de MS na cultura da soja. Na R2 (verão 2008/09), se obteve as menores perdas de solo e água, quando comparada a R1 e R3, este comportamento pode estar associado ao bom desenvolvimento da cultura do girassol no período em consideração, já que ocorrem incrementos na MS (tabela 3) e produtividade (tabela 4) desta cultura, quando se compara o verão de 2008/09 com o de 2007/08. Também pode estar associado às alterações verificadas na Ds (profundidade 8-16 cm) e Mac (tabela 5) (profundidade 0-8 cm), sendo que as mesmas passaram de $1,75\text{-}1,69 \text{ g cm}^{-3}$ e de $13,18\text{-}$

14,36% respectivamente. Cabe destacar que a cultura do girassol além de proporcionar bons rendimentos de grãos (2 t ha^{-1}), também proporciona melhorias na estrutura e fertilidade dos solos, por apresentar um sistema radicular que atinge até 2 m de profundidade (AGRIANUAL, 2006) e por apresentar alta produção de fitomassa Tosi et al. (1975), que varia de 4,43 a $5,88 \text{ t ha}^{-1}$. Estando esta associada à redução da capacidade do fluxo em transportar o material erodido, devido à redução da energia cinética desse fluxo, pela perda de velocidade, provocada pelo aumento da tortuosidade (BRAIDA, 1994).

Tabela 10 - Perdas de solo (kg ha^{-1}) e água (%) no período de 28/10/08 à 20/04/09.

Culturas	1º Período ¹		2º Período ²		3º Período ³		Total	
	Solo	Água	Solo	Água	Solo	Água	Solo	Água
MAM + AMEN⁴	8a	2,75a	587b	4,90ab	222a	19,70a	817ab	27,45a
GIRASSOL	1a	0,55a	482b	3,75b	28a	8,15a	512b	12,60a
SOJA	3a	1,00a	1145a	5,95a	153a	18,10a	1302a	25,15a

1 = período de 28/10/08 à 28/12/08, chuva: 10 mm, $\text{EI}_{30} - 25,7 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; 2 = período de 29/12/08 à 27/02/09, chuva: 231 mm, $\text{EI}_{30} - 830,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; 3 = período de 28/02/09 à 20/04/09, chuva 85 mm, $\text{EI}_{30} - 174,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Total: chuva: 326 mm e $\text{EI}_{30} - 1030,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%)

⁴MAMONA + AMENDOIM

No inverno de 2009 (tabela 11), não se obteve diferenças significativas para as perdas de solo e água, apesar de a cultura da canola ter baixa produção de MS, quando comparada às demais (tabela 3). Cabe destacar que o aumento significativo nas perdas de solo e água verificadas na cultura da canola durante o inverno de 2008, quando comparada com o nabo e com o consórcio aveia preta + ervilhaca, esteve relacionado à baixa produção de MS (tabela 3), desuniformidade na germinação e também a necessidade de ressemeadura. No inverno de 2009, se observa um aumento de 99% na MS quando se compara ao ano de 2008. Este fato, associado às melhores condições de germinação da canola podem ter contribuído para que não ocorressem diferenças nas perdas durante o inverno de 2009.

Tabela 11 - Perdas de solo (kg ha⁻¹) e água (%) no período de 21/04/09 à 24/10/09.

Culturas	1º Período ¹		2º Período ²		3º Período ³		Total	
	Solo	Água	Solo	Água	Solo	Água	Solo	Água
CANOLA	2a	0,75a	26a	14,20a	101a	6,35a	130a	21,15a
AV + ER⁴	1a	0,30a	21a	12,95a	100a	8,55a	121a	21,85a
NABO	2a	0,85a	29a	16,40a	137a	10,00a	167a	27,25a

1 = período de 21/04/09 à 30/06/09, chuva: 127 mm, EI₃₀ – 280,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹; 2 = período de 01/07/09 à 21/08/09, chuva: 80 mm, EI₃₀ – 166,0 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹; 3 = período de 22/08/09 à 24/10/09, chuva 349 mm, EI₃₀ – 935,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Total: chuva: 556 mm e EI₃₀ – 1382,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%)

⁴AVEIA PRETA + ERVILHACA

Na tabela 12, observa-se que não existe diferença significativa entre as rotações, para os parâmetros perdas de solo e água. O fato destas rotações não diferirem estatisticamente, conforme anteriormente já comentado, tem relação com pequeno número de repetições de cada rotação, que aumenta o quadrado médio do erro (QME) que por sua vez eleva a diferença mínima significativa (DMS) entre as rotações. Desta forma ao comparar as perdas de solo obtidas em R2, com a R1 e R3, observa-se um aumento de 39 e 104% respectivamente. Já para as perdas de água, ao comparar R2 com a R1 e R3, observa-se um aumento em 33 e 52% respectivamente. As diferenças nas perdas de solo e água, além de estar relacionadas às diferenças na produção de MS (tabela 3), também pode estar relacionada ao uso dos consórcios entre mamona + amendoim e aveia preta + ervilhaca, inseridos em R2 e R1. O uso de espécies de cobertura do solo e de adubação verde permite um maior controle da erosão, através da melhoria das propriedades do solo (VENTURA; WATANABE, 1993), sendo que as leguminosas, quando inseridas nos consórcios em R1 e R2, destacam-se pela natureza de sua fitomassa, que apresenta baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), portanto de fácil decomposição pelos microrganismos do solo, o que também vai contribuir no processo de aglutinação de suas partículas (TISDALL; OADES, 1982), aumentando a infiltração de água e conseqüentemente diminui as perdas. Cabe destacar também que o hábito de crescimento das plantas também tem efeito sobre a redução das perdas de solo. Segundo Eltz (1977), plantas de hábito prostrado, como as encontradas em R1 e R2 (amendoim e ervilhaca) protegem melhor o solo do que plantas eretas (mamona, girassol e soja).

Em relação aos totais de perdas de solo obtidos em R1, R2 e R3 (tabela 12), no período de 2 anos, pode-se afirmar que os valores obtidos são baixos, mesmo que se considere a rotação 3 onde se obteve totais de perdas de solo mais elevadas (4641 kg ha⁻¹). Pois segundo Lombardi Neto e Bertoni (1975), as perdas toleráveis para o tipo de solo em estudo seriam de 9060 kg/ha/ano, valor este muito acima dos encontrados nesta pesquisa. Já Albuquerque et al. (2002), ao avaliarem os efeitos do manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas sobre as perdas por erosão hídrica de um solo Bruno, encontraram valores médios anuais de perdas de solo de 300 kg ha⁻¹ para os tratamentos em área com cobertura morta, sendo que este valor é inferior aos encontrados nesta pesquisa. Valores de perdas de solo inferiores aos obtidos nesta pesquisa também foram encontrados por Hernani et al. (1997), neste estudo os autores concluíram que o plantio direto foi o sistema mais eficiente no controle de perdas de solo e de água, obtendo perdas de 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Dentre as rotações, na R3 ocorreram as maiores perdas de solo e água (tabela 12), possivelmente em função da menor produção de MS (tabela 3) e também foi à rotação em que se obtiveram as menores produtividades de grãos (tabela 4) pelas culturas de verão. Observando a tabela 7, verificam-se na R3 menores valores de pH, MO, P, K, Ca e Mg na profundidade de 0-5 cm em 2009, podendo-se afirmar que dentre as rotações, a R3 foi mais degradada quando se compara com a R1 e R2.

Tabela 12 - Totais das perdas de solo (kg ha⁻¹) e água (%), para o período de 10/12/07 à 24/10/09.

Rotações	Perdas de solo	Perdas de água
R1	3160a	20,37a
R2	2278a	15,32a
R3	4641a	23,33a

R1: soja, aveia preta + ervilhaca, mamona + amendoim e canola; R2: mamona + amendoim, nabo, girassol e aveia preta + ervilhaca; R3: Girassol, canola, soja e nabo. Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%). Total: chuva: 2228,2 mm e EI₃₀ – 7451,2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

Os totais de perdas de solo e água apresentados na tabela 12, estão de acordo com a segunda hipótese deste trabalho, pois se esperava uma diminuição das perdas de solo e água com o aumento da quantidade de MS adicionada pelas diferentes culturas.

5 CONCLUSÕES

1. Sistemas de rotação de culturas entre oleaginosas de verão e adubos verdes de inverno contribuem para o aumento da massa seca adicionada ao sistema, principalmente quando se potencializa o uso de leguminosas nos consórcios.
2. A produção de grãos da soja e do girassol é significativamente menor que o cultivo consorciado da mamona com o amendoim.
3. Não ocorreram diferenças significativas nos parâmetros físicos avaliados entre os sistemas de rotações estudados.
4. Verificou-se em todos os sistemas de rotações, no decorrer de dois anos, uma tendência muitas vezes não significativa de diminuição da Ds, DMP, DMG e agregados de maior tamanho, favorecendo as classes de agregados de menor tamanho.
5. Na camada superficial do solo, verifica-se em todos os sistemas de rotações, melhores condições físicas e químicas, quando comparada a camada mais profunda.
6. As alterações nos valores de pH, P, K e Ca, verificadas na profundidade de 5-20 cm podem ser atribuídas à atividade biológica de plantas e microorganismos, pois na R2 onde ocorreu a maioria das alterações, foi onde mais se adicionou massa seca pelas culturas de verão e inverno.
7. Quanto maior a adição de MS pelas culturas de verão e inverno menores são as perdas de solo e água.
8. A R2 e R1 são as que menos perderam solo e água, estando este fato relacionado à utilização dos consórcios entre mamona/amendoim e aveia/ervilhaca.
9. As perdas de solo obtidas em todos os sistemas de rotações foram baixas, devido à cobertura do solo proporcionada pelos resíduos manejados sob PD.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L. et al. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco arenoso em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, jun. 2004.

ADAMS, J. F.; PEARSON, R. W. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 1, p. 9-14, Jan./Feb. 1970.

AGRIANUAL: Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, FNP Consultoria e Comércio, 2006. p. 421-462.

AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-165, jan./mar. 2001.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, jul./ago. 2003.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. 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, n. 1, p. 115-119, jan./mar. 1995.

ALBUQUERQUE, A. W. et al. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 136-. 141, jan./abr. 2002.

ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 141-151, jan./mar. 2000.

ALLISSON, F. E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam: Elsevier Science, 1973. p. 315-345.

ALMEIDA, M. L. de. **Resposta de girassol à densidade em duas épocas de semeadura e dois níveis de adubação**. 1990. 123 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

AMADO, T. J. C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 189-197, abr./jun. 2001.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 241-248, abr./jun. 2002.

AMADO, T. J. C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 189-197, jan./mar. 2001.

AMADO, T. J. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas do solo por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 251-257, maio/ago. 1989.

ARAUJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, set./out. 2007.

ARAÚJO FILHO, J. O. T. et al. Influência de épocas de plantio sobre o consórcio da mamoeira com o amendoim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 2004. 1 CD-ROOM

ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, maio/jun. 2005.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DOTAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.

BAHIA, V. G. et al. Fundamentos de erosão do solo. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25-31, set./out. 1992.

BASSO, C. J.; REINERT, D. J. Variação da agregação induzida por plantas de cobertura de solo no inverno e plantio direto de milho em um solo podzólico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 567-571, out./dez. 1998.

BATAGLIA, O. C. et al. Acúmulo de matéria seca e nutrientes, em soja cultivar Santa-Rosa. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 2, p. 237-247, jul. 1976.

BAVER, L. D., GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de Suelos**. Mexico: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1973. 529 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 235-239, abr./jun. 1997.

_____. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p. 9-26. v.1.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, Mar. 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 23-28, jan./mar. 1998.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, Apr. 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 99-107, jan./mar. 2000.

BELTRÃO, N. E. de M. et al. **Mamona**: árvore do conhecimento e sistemas de produção para o semi-árido brasileiro. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. 19 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 70).

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p. 215-221, abr./jun. 1998.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, jan./mar. 2004.

BERTOL, O. J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, jul./ago. 2007.

BERTOL, I. et al. Nutrients losses by water erosion. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 581-586, maio/jun. 2003.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; MIQUELLUTI, D. J. Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 199-206, 1997a.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 409-418, jul./set. 1997b.

BERTOL, I. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 267-271, maio/ago. 1994.

BEUTLER, A. N. et al. Fornecimento de nitrogênio por plantas de cobertura de inverno e de verão para o milho em sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 555-560, out./dez. 1997.

BEUTLER, J. F. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 509-517, maio/jun. 2003.

BEZDICEK, D. F.; PAPENDICK, R. I.; LAL, R. Introcution: importance of soil quality to health and sustentable land management. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.1-8. (SSSA. Special publication, 49).

BLAMEY, F. P. C.; CHAPMAN, J. Soil ameriolation effects on peanut growth, yield and quality. **Plant and Soil**, The Hague, v. 65, p. 319-334, 1982.

BODDEY, R. M. et al. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 29, n. 12, p. 787-799, Dec. 1997.

BOER, C. A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, set. 2007.

BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A.; MARTINS, A. L. M. Sistemas conservacionistas de manejo do solo para amendoim cultivado em sucessão à cana crua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 939-947, jul. 2007.

BORKERT, C. M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, jan. 2003.

BOUMA, J. **Influence of soil macroporosity on environmental quality.**, San Diego: Elsevier, 1991, p.1-37. (Advances in Soil Science, v. 46).

BRAIDA, J. A. Relações da erosão em entressulcos com resíduos vegetais em cobertura e erosão em sulcos em um solo Podzólico Vermelho Escuro. 1994. 152 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: 1973. 431 p. (Boletim técnico, 30).

BROMICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma : an international journal of soil science**, .Amsterdam, v. 24, n. 1, p. 3-22, Jan. 2005.

BRUCE, R. R.; LANGDALE, G. W. ; DILLARD, A. L. Tillage and crop rotation effect on characteristics of a sandy surface soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 6, p.1744-1747, Nov./Dec. 1990.

BURWELL, R. E.; LARSON, W. E. Infiltration as influenced by tillage-induced random roughness and pore space. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 33, n. 3, p. 449-452, May/June 1969.

CAIRES, E. F. et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 27-34, jan./mar. 1998.

CAIRES, E. F. et al. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 87-98, jan./fev. 2006.

CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Root growth of peanut cultivars and soil acidity. In: WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; MURRMANN, R. P. (Ed.) **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer, 1991. p. 239-243.

CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Efeitos da calagem sobre o índice de área foliar e a acumulação de matéria seca em genótipos de amendoim. **Científica: revista de ciências agrárias**, v. 24, n. 1, p. 115-126, jan./jun. 1996.

CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Nodulação e absorção de nitrogênio pelo amendoim em resposta à calagem, cobalto e molibdênio. **Scientia Agricola** Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 337-341, jun. 2000.

CAIRES, E. F. **Resposta diferencial de genótipos de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) à calagem**. 1990. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1990.

CAIRES, E. F. et al. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 87-98, jan./fev. 2006.

CALEGARI, A. et al. **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro, As-PTA, 1992. 346 p.

CALEGARI, A. Alternativa de rotação de culturas para plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 80, p. 62-70, 2004.

CALEGARI, A. et al. Rotação de Culturas e Plantas de Cobertura: Caracterização das principais espécies utilizadas como adubos verdes. **Agroecologia hoje**, Botucatu, v. 2, n. 14, p. 14-19, maio/jun. 2002.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 121-125, abr./jun. 1995.

CANELLAS, L. P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, set./out. 2003.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolo Roxo submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 99-105, jan./abr. 1990.

CARVALHO, M. A. C. et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verde no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 47-53, jan. 2004.

CASSOL, E. A. et al. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1239-1251, maio/jun. 2008.

CABEDA, M. S. V. **Computation of storm EI values**. West Lafayette: Purdue University, USA, 6 p., 1976. (não publicado).

CERETTA, C. A. et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 49-54, jan./fev. 2002.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 2, p. 368-373, Mar./Apr. 1984.

COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope length on erosion and related parameters**. 1981. 381 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Purdue University, West Lafayette, 1981.

COGO, N. P.; LEVIEN. ; SCHAWARZ. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753, jul./ago. 2003.

COGO, C. M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade das chuvas em Santa Maria, RS, determinada pelo índice EI₃₀. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, n. 3, p. 309-317, set./dez. 2006.

CORDEIRO, D. S. et al. Calagem adubação e nutrição mineral. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Ecologia, manejo e adubação da soja**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1979. p. 19-62. (Circular Técnica, 2).

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 2, p. 203-209, fev. 2002.

CRUZ, A. C. R. et al. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, nov./dez. 2003.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005.

DA ROS, C. O. et al. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, abr./jun. 1997.

DEBARBA, L. **Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo**. 1993. 150 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Pesquisa de desenvolvimento em sistema plantio direto no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1997. 1 CD-ROOM

DIEKOW, J. et al. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 87-95, Mar. 2005.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

DULEY, F. L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 4, n. 1, p. 60-64, Jan./Feb. 1939.

EDWARDS, W. M.; OWENS, L. B. Large storm effects on total soil erosion. **Journal of Soil Water Conservation**, Chicago, v. 46, n. 1, p.75-78, Jan./Feb. 1991.

Ellison, W. D. **Studies of raindrop erosion**. Agricultural Engineering, St Joseph, v. 25, n. 4, p. 131-181, Apr. 1947.

ELTZ, F. L. P. **Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais**. I. Solo da unidade de mapeamento São Jerônimo – primeira etapa experimental. 1977. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.

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**, Campinas, v.13, n. 2, p. 259-267, maio/ago. 1989.

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

ESPINDOLA, J. A. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 321-328, mar./abr. 2006.

FAVARETTO, N. **Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium related to water quality and plant nutrition**. West Lafayette: Purdue University, 2002. 150 p.

FERREIRA, T. N.; SCHWARZ, R. A.; STRECK, E. V. **Solos: manejo integrado e ecológico - elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 95 p.

FLORES, C A.. et al. Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2164-2172, Nov. 2008.

FONSECA, G. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura, Pesquisa Agropecuária tropical, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 22-30, Mar. 2007.

FONTANELI, R. S. et al. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens de inverno, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, nov. 2000.

FOSTER, G. R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation.**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-9, 1981.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 459-467, abr./jun. 2000.

FRANZLUEBBERS, A. J. et al. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 6, p. 1639-1645, Nov./Dec. 1994.

FREITAS, L. A. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J.N (Ed). **Experiências de plantio direto no Cerrado**. Goiânia: APDC, 1994. p. 199-213.

GATIBONI, L. C. et al. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 283-290, abr. 2003.

GODOY, I. J. de et al. **Cultivares de amendoim IAC**: novas opções para o mercado de confeitaria. Campinas: Instituto Agrônômico, 2003. 10 p. Folder.

GODOY, I. J. de et al. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade de cultivares de amendoim em três níveis de controle de doenças foliares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1183-1191, jul. 1999.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 307-313, out./dez. 1999.

GRANT, C. A.; LAFOND, G. F. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, n. 1, p. 223-232, Jan./Apr. 1993.

GUADAGNIN, J. C. **Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2003.

GUBIANI, P. I; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo: exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 664-668, abr./jun. 2006.

GUTERRES, J. F.; BARNI, N. A.; COMIN, C. M. V. Nutrição e adubação. In: **Girassol**: indicações para o cultivo no Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1988. 66 p.

HAYNES, R. J. **Lime and phosphate in the soil-plant system**. San Diego: Elsevier, 1984. p. 249-315. (Advances in Agronomy, v. 37).

HERNÁZ, J. L. et al. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, n. 4, p. 183-198, 1995.

HERNANI, L. C. et al. Perdas por erosão e rendimentos de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados, MS, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 667-676, Out./Dez. 1997.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**. 3rd ed. Ames: State University Press, 1995. 391 p.

INOUE, K.; YOKATA, H.; YAMADA, Y. Effect of Ca in the medium on root growth under low pH conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 34, n. 3, p. 359-374, July/Sept. 1988.

JENKINSON, D. S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: WILSON, J. B. (Ed.). **Advances in nitrogen cycling**. Wallingford: CAB International, 1988. p. 368-386.

JERANYAMA, P. et al. Relay-intercropping of sunnhemp and cowpea into a smallholder maize system in Zimbabwe. **Agronomy Journal**, v. 92, n. 2, p. 239-244, 2000.

JOHNSON, C. B.; MANNERING, J. V. ; MOLDENHAUER, W. C. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n. 4 p. 772-777, July/Aug. 1979.

KAMPHORST, E. C. et al. Predicting depression storage from soil surface roughness. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 5, p. 1749-1758, Sept./Oct. 2000.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. et al.(Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1994. p. 53-72. (Special publication, 35).

KASAI, F. S.; ATHAYDE, M. L. F.; GODOY, I. J. Adubação fosfatada e épocas de colheita do amendoim: efeitos na produção de óleo e de proteína . **Bragantia**, Piracicaba, v. 57, n. 1, jan./mar. 1998.

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).

_____. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-509.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 395-401, set./dez. 1995.

KOCHHANN, R. A. et al. **É necessária a descontinuidade do sistema plantio direto após dez anos de adoção?** Embrapa Trigo : Passo Fundo, 1999. 10 p. (Embrapa Trigo, Comunicado Técnico Online, 43.). Acessado em 18.01.2010. On line. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co43.htm.

KOHNKE, H., BERTRAND, A. R. **Soil Conservation**. New York: McGraw-Hill. 1959. 233 p.

KUMAR, P. V. et al. Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans (*Ricinus communis* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 88, n. 1-4, p. 279-289, Dec. 1997.

LASCA, D. H. C. Amendoim (*Arachis hypogaea*). In: COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL. **Manual técnico das culturas**. Campinas: CATI, 1986. p. 64-80 (Manual, 8).

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 47, n. 4, p. 425-437, Oct./Dec. 1996.

LE BISSONNAIS, Y.; ARROUYAS, D. Aggregate stability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 48, n. 1, p. 39-49, Jan./Mar. 1997.

LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, out./dez. 2003.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A. Simulação pelo Modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um Argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 347-358, mar./abr. 2004.

LEONEL, C. L. et al. Relação da compactação do solo com a cultura do amendoim. **Bioscience Journal**, Uberlândia, n. 2, p. 70-81, Apr./June 2007.

LIMA, J. D. et al. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 60-63, Mar. 2007.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. 12 p. (IAC. Boletim técnico, 28).

LOSS, A. et al. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 68-75, Jan. 2009.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, jan./fev. 2004.

MACHADO, P. R. **Absorção de nutrientes por duas variedades de girassol (*Helianthus annuus*, L) em função da idade e adubação em condições de campo**. 1979. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

MARCOLAN, A. L. et al. Recuperação de atributos físicos de um Argissolo em função do seu revolvimento e do tempo de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 571-579, maio/jun., 2007.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Efeitos da calagem nas características químicas do solo e na nutrição de soja em Latossolo Roxo distrófico. **Bragantia**, Campinas, v. 35, p. 273-278, 1976.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Efeito do corretivo sobre soja cultivada em solo de cerrado contendo Al e Mn. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2., 1981, Brasília. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1982. p. 567-573.

MEHL, H. U. et al. Caracterização dos padrões de chuva ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 475-483, mar./abr. 2001.

MELHORANÇA, A. L.; STAUT, L. A. **Indicações técnicas para a cultura da mamona no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 65 p.

MELLO, E. L. et al. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 901-909, abr./jun. 2003.

MENDONZA, H. N. S. et al. Propriedades químicas e biológicas de solo de Tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1 p. 201-207, mar./abr. 2000.

MELOUK, H. A.; SHOKES, F. M. Relação da compactação do solo com a cultura do amendoim. **Biosciences of Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 70-81, Apr./June, 1995.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 839-847, Sept./Oct. 2006.

MORAIS, L. F. B.; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 485-493, abr./jun. 1988.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 625 p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46 p.

MOSHKIN, V. A. **Castor**. Moskow: Kolos, 1986. 315 p.

NASCIMENTO, J. T. et al. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 825-831, set./out. 2005.

NAKAGAWA, J. et al. Efeitos de fontes de fósforo e da calagem na produção de amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 421-431, abr. 1993.

NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A. Correlação entre algumas características da planta da cultivar "Tatu" de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Ecosistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, p. 5-7, 1982.

NUERNBERG, N. J.; STAMMEL, J. G.; CABEDA, M. S. V. Efeito de siccção de culturas e tipos de adubaço em característias físicas de um solo da encosta Sul-Rio-Grandense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 3, p. 185-190, set./dez. 1986.

ONSTAD, C. A. Depressional storage on tilled soil surfaces. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v. 27, n. 3, p. 729-732, May/June 1984.

PEARSON, R. W. **Soil acidity and liming in the humid tropics**. Cornell: International Agriculture, 1975. 66 p. (Bulletin, 30).

PEOPLES, M. B.; HERRIDGE, D. F. ; LADHA, J. K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? **Plant and Soil**, v. 174, n. 1-2, p. 3-28, July 1995.

PILLON et al. Monitoramento da qualidade física de um Argissolo sob Plantio Direto de Milho e de Mamona, Embrapa Clima Temperado: Pelotas, 2007. 23 p. (Embrapa Clima Temperado, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46). Acessado em 30.01.2010. On line. Disponível em: http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/boletins/boletim_46.pdf

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotaço de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 675-684, out./dez. 1998.

POUDEL, D. D. et al. Impacts of cropping systems on soil nitrogen storage and loss. **Agricultural Systems**, New York, v. 68, n. 3, p. 253-268, June 2001.

QUAGGIO, J. A.; GODOY, I. J. Amendoim. In: RAIJ, B. et al. (Ed.) **Recomendações de adubaço e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico ; Fundação IAC, 1996. p. 192. (Boletim técnico, 100).

QUAGGIO, J. A. et al. Respostas da soja à aplicaço de calcário e gesso e lixiviaço de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 375-383, mar. 1993.

QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. van. Efeitos da aplicaço de calcário e gesso sobre a produço de amendoim e lixiviaço de bases do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 6, n. 3, p. 186-194, set./dez. 1982.

RAIJ, B. van et al. Efeito de níveis de calagem na produço de soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 28-31, jan./abr. 1977.

REED, J. F.; BRADY, N. C. Time and method of supplying calcium as affecting production of peanuts. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, v. 40, p. 980-996, 1948.

REDDY, S. C. S.; PATIL, S. V. Effect of calcium and sulphur and certain minor nutrient elements on the growth yield and quality of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). **Oleagineux**, Paris, v. 35, n. 11, p. 507-510, nov. 1980.

REICHERT, J. M.; CABEDA, M. S. V. Salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, n. 3, p. 389-396, maio/jun. 1992.

REICHERT, J. M. et al. Compactação do solo em sistema de plantio direto: limites críticos e mitigação. In: COUTO, E. G.; BUENO, J. F. (Eds). **Os (des)caminhos do uso da água na agricultura brasileira**. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2003. 501 p.

REICHERT, J. M. et al. Agregação de um planossolo sistematizado há um ano e sob cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 837-844, Jun. 2006.

REINERT, D. J. et al. Temporal variation in structural stability induced by tillage. In: EASTERN CANADA SOIL STRUCTURE WORKSHOP, 1990, Guelph. **Proceedings...** Windsor: Canadian Society of Soil Science, 1990. p. 63-72. v. 1.

RENGASAMY, P. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed red-brown earths. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 723-732, 1983.

ROBINSON, R. G. Production and culture. In: CARTER, J. F. (Ed.) **Sunflower science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1978. p. 89-143.

RODRIGUES FILHO, F. S. O.; FEITOSA, C. T.; GERIN, M. A. N. Omissão de macronutrientes em plantas de amendoim. **Bragantia**, Campinas, v. 47, n. 2, p. 305-312, 1988.

RODRIGUES FILHO, F. S. O.; GODOY, I. J.; FEITOSA, C. T. Acúmulo da matéria seca e nutrientes em plantas de amendoim cultivar Tatui-76. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n. 1, p. 61-66, jan./abr. 1986.

RODRIGUES FILHO, F. S. O. et al. Adubação verde e orgânica para o cultivo do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 88-93, jan./abr. 1996.

ROSOLEM, C. A.; CAIRES, E. F. Yield and nitrogen uptake of peanuts as affected by lime, cobalt and molybdenum. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 5, p. 827-835, May 1998.

ROSOLEM, C. A. et al. Nitrogen in soil and cotton growth as affected by liming and N fertilizer. In: WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; MURRMANN, R. P. (Ed.) **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer, 1990. p. 321-325.

ROSSETTO, C. A. V. **Efeito do momento de colheita e da calagem na produção e qualidade de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cv. Botutatu**. 1993, 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1993.

SANTOS, H. P. dos, PEREIRA, L. R., REIS, E. M. Rotação de culturas. XXIV. Efeitos das culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agronômicas de plantas de soja, num período de cinco anos. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 17., 1989, Porto Alegre. **Soja: Resultados de pesquisa 1988-1989...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1989. 119 p. 100-115.

SANTOS, H. P. dos, REIS, E. M. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre a estatura de plantas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 5, p. 729-735, maio, 1991.

SANTOS, H. P. dos et al. Efeitos de métodos de preparo de solo no inverno e de rotação de culturas no rendimento de grãos de soja. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 62-76, jan. 2001.

SANTOS, H. P. dos.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 477-486, maio/jun. 2003.

SANTOS, E. de A.; KLIEMANN, H. J. Disponibilidade De Fósforo De Fosfatos Naturais Em Solos De Cerrado E Sua Avaliação Por Extratores Químicos, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 3, p. 139-146, Set. 2005.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; SPERA, S. T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 21-29, jan./fev. 2006.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B., SANDINI, I. Efeitos de culturas de inverno e de sistema de rotação de culturas sobre algumas características da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 11, p. 1141-1146, nov, 1997.

SANTOS, H. P. dos. et al. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 441-454, 2008.

SAVI FILHO, A. Mamona. In: FAHL, J. I. et al. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6. ed. Campinas: IAC, 1998, 396 p. (Boletim técnico, 200).

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 287-291, abr./jun. 1997.

SETA, A. K.; KARATHANASIS, A. D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. **Geoderma: Geoderma : an international journal of soil science**, Amsterdam, v. 74, n. 6, p. 255-266, 1997.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 437-447, mar./abr. 2000b.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 427-436, abr./jun. 2000a.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, set./out. 2004.

SEVERINO, L. S. et al. **Crescimento e produtividade da mamoneira sob fertilização química em região semi-árida**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 20 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 62).

SFREDO, G. J.; CAMPOS, R. J.; SARRUGE, J. R. **Girassol: nutrição mineral e adubação**. Londrina: Embrapa Soja, 1984. 36 p.

SHOLAR, J.; MOZINGO, R. W.; BEASLEY JUNIOR, J. Peanut cultural practices. In: PATEE, H. E.; STALKER, H. T. (Ed.). **Advances in peanut science**. Stillwater: American Peanut Research and Education Society, p. 354-382, 1995.

SILVA, V. R. et al. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 795-801, set./out. 2000.

SILVA, S. D. dos A. et al. Avaliação de cultivares de mamona em pelotas - RS, safra 2003/04. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, A. M. da. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez. 2005a.

SILVA, D. da. et al. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho-amarelo utilizando simulador de chuva **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 409-419, maio/ago. 2005b.

SILVA, I. F. da; MIELNICZUK, J. Sistema de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n.3, p. 311-317, jul./set.1998.

SILVA, M. A. S. da et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo vermelho sob sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 327-337, abr./jun. 2006.

SILVA, P. R. F. da; ROCHA, A. B. Exigências térmicas e características agronômicas de cultivares comerciais experimentais de girassol na depressão central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 55-58, jan./mar. 1994.

SILVA, P. R. F. da; ALMEIDA, M. L. de. Resposta de girassol a densidade em duas épocas de semeadura e dois níveis de adubação. II Características de planta associadas à colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 9, p. 1365-1271, set. 1994.

SILVA, S. D. dos A. et al. **A cultura da mamona no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 115 p. (Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção, 11).

SILVEIRA, E. P. et al. Época de semeadura do girassol no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 109-720, abr. 1990.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e matéria orgânica afetados pela rotação de cultura e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 387-394, abr. 2001.

SISTI, C. P. J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, Mar. 2004.

SILVEIRA NETO, A. N. et al. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 1-20, 2006.

SIX, J. et al. A re-evaluation of the enrich labile soil organic matter fraction. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 51, n. 2, p. 283-293, Apr./June, 2000.

SMITH, D. D.; WISCHMEIER, W. H. **Rainfall erosion.**, San Diego: Elsevier, 1962. p. 109-48. (Advances in Agronomy, v. 14).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sobre diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 885-896, out./dez. 2000.

SPERA, S. T. et al. Efeito de sistemas de manejo em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 13, n. 1-2, p. 61-68, jan./dez. 2007.

SUMNER, M. E. et al. On the Ca nutrition of peanut (*Arachis hypogaea* L.). I. Conceptual model. **Journal of Fertilizer Issues**, Manchester, v. 5, n. 3, p. 97-102, July/Sept. 1988.

TAYLOR, S. A. ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology: The physics of irrigated and nonirrigated soils**. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 532 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TEIXEIRA, C. F. A. et al. Atributos físicos da camada superficial de um Argissolo Amarelo Distrófico Típico afetados por sistemas de cultivo em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 6, n. 2, p. 176-180, abr./jun. 2000.

TEIXEIRA, I. R. et al. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 119-126, jan. 2003.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 141-163, June 1982.

TORMENA, C. A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, nov./dez. 2004.

TORRES, J. L. R. **Estudo das plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no cerrado, na região de Uberaba-MG**. 2003. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

TOSI, H. et al. Avaliação do girassol (*Helianthus annuus*) como planta para a ensilagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 39-48, jan./abr. 1975.

UNGER, W. P.; KASPAR, T. C. Soil compaction and root growth: A review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 5, p. 759-766, Sept./Oct. 1994.

VARGAS, R. M.; SCHUCHARDT, M.; SERCHELI, R.; **Journal Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 199, Jan./Feb. 1998.

VAUGHAN, D.; ORD, B.G. Soil organic matter: a perspective on its nature, extraction, turnover and role in soil fertility. In: VAUGHAN, D.; MALCOLM, R.E. (Ed.). **Soil organic matter and biological activity**. Boston: Martinus & Junk, 1985. p. 34. (Developments in plant and soil sciences, 16).

VEIGA, M.; WILDNER, L. P. **Manual para la instalacion y conduccion de experimentos de perdida de suelos**. Santiago: FAO, GCP/RLA/107/JPN, 1993. 34 p. (Documento de campo, 1).

VEIGA, M.; AMADO, T. J. C. Preparo do solo. In: **Manual de uso, manejo e conservação do solo**. Florianópolis: Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento 1991. 292 p.

VENTURA, W.; WATANABE, I. Green manure production of *Azolla microphylla* and *Sesbania rostrata* and their long-term effects on rice yields and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 15, n. 4, p. 241-248, 1993.

VOLK, L. B. da S.; COGO, N. P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, jul./ago. 2008.

VOORHEES, W. B.; LINDSTROM, M. J. Long-term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 152-156, Jan./Feb. 1984.

VRANCEANU, A. V. **El girassol**. Madrid: Mundi-Prensa, 1977. 379 p.

WALKER, M. E. Calcium requirements for peanuts. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, n. 3, p. 299-313, May/June 1975.

WATSON, R. T. et al. **Land use, land use change and forestry**: A special report of the IPCC. Cambridge: University Press, 2000. 377 p.

WEISS, E. A. **Oilseed crops**. London: Blackwell Science, 2000. 364 p.

WISCHMEIR, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning**. Washington, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).

WOHLENBERG, E. V. et al. Dinâmica da agregação de um solo Franco-Arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, set./out. 2004.

WREGE, M. S. et al. **Zoneamento agroclimático para mamona no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 30 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 192).

WÜNSCHE, A.; DENARDIN, J. E. **Conservação e manejo dos solos**. In: Planalto Riograndense, considerações gerais. Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1980. 17 p. (EMBRAPA, CNPT, Circular técnica, 2).

ZANATTA, J. A. et al. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 510-519, June 2007.