

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

CARBONO ORGÂNICO E POLISSACARÍDEOS EM
AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO
EM SEQÜÊNCIAS DE CULTURAS SOB SEMEADURA DIRETA

Márcio dos Reis Martins
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Julho de 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

CARBONO ORGÂNICO E POLISSACARÍDEOS EM
AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO
EM SEQÜÊNCIAS DE CULTURAS SOB SEMEADURA DIRETA

Márcio dos Reis Martins

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2008

M386c Martins, Márcio dos Reis
Carbono orgânico e polissacarídeos em agregados de um latossolo vermelho eutrófico em seqüências de culturas sob semeadura direta / Márcio dos Reis Martins. -- Jaboticabal, 2008
xiii, 45 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008
Orientador: José Eduardo Corá
Banca examinadora: Álvaro Pires da Silva, Carolina Fernandes
Bibliografia

1. Teor de carbono. 2. Manejo do solo. 3. Sistema de semeadura direta. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.417.1

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO: CARBONO ORGÂNICO E POLISSACARÍDEOS EM AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO EM SEQUÊNCIAS DE CULTURAS SOB SEMEADURA DIRETA

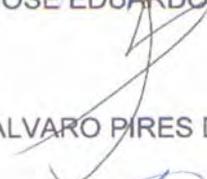
AUTOR: MÁRCIO DOS REIS MARTINS

ORIENTADOR: Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) pela Comissão Examinadora:



Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ

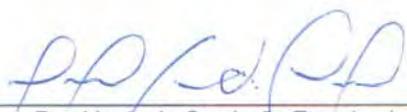


Dr. ÁLVARO PIRES DA SILVA



Dra. CAROLINA FERNANDES

Data da realização: 24 de julho de 2008.



Presidente da Comissão Examinadora
Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MÁRCIO DOS REIS MARTINS, nascido em Itamogi, estado de Minas Gerais, em 5 de janeiro de 1982, é engenheiro agrônomo formado em janeiro de 2006 pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), unidade da Universidade Estadual Paulista (UNESP), câmpus de Jaboticabal. cursou o ensino fundamental na Escola Estadual “Minas Gerais” e o ensino médio na Escola Estadual “José Soares de Araújo”, ambas em Itamogi. Durante a preparação para o vestibular de ingresso na Agronomia foi aluno do projeto “Cursinho Equipe”, organizado por discentes da Universidade de São Paulo de Ribeirão Preto, no ano de 2000. Durante a graduação foi integrante do Programa de Educação Tutorial (PET). Realizou estágios extracurriculares nas áreas de Máquinas Agrícolas no Departamento de Engenharia Rural da FCAV; de fruticultura no Centro Nacional de Pesquisa em Mandioca e Fruticultura da EMBRAPA no município de Cruz das Almas, BA e fez o estágio curricular de graduação na empresa Cargill Agrícola S.A. no município de Sapezal, MT. Iniciou estágio no laboratório de física do solo em 2002 no Departamento de Solos e Adubos da FCAV, quando foi bolsista de iniciação científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Ingressou no curso de mestrado em Agronomia na FCAV, área de concentração em Produção Vegetal, em agosto de 2006, como bolsista do CNPq.

“Só sei que nada sei”.

Sócrates

***Aos meus pais
dedico***

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias pela excelente formação e pela estrutura oferecida para a realização do curso de Mestrado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor José Eduardo Corá, pela oportunidade de realização deste trabalho, pela brilhante orientação oferecida, pela amizade e pelos valiosos conselhos.

A todos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da FCAV-UNESP pelo precioso auxílio na condução do experimento no campo.

Ao Prof. José C. Barbosa do DCE/FCAV pela orientação nas análises estatísticas.

Ao professor Fernando de Ávila do DMVP/FCAV por ceder as dependências de seu laboratório para o uso da autoclave.

Aos funcionários do DSA/FCAV: Célia, Maria Inês, Afonso, Dejair, Mauro, Luís e Ademir, Cláudia.

A todos professores que contribuíram para a formação durante o curso de mestrado.

Aos colegas de República Renato, José Marcos e Celso, pelo convívio agradável, pelos conselhos e pelas horas de descontração no decorrer do curso.

Aos colegas de pós-graduação Adolfo, Ricardo, José Marcos, Getúlio, Marcos pelo convívio, sugestões e auxílio na condução do experimento de campo.

Às professoras Mara e Carolina pelas brilhantes sugestões durante o exame de qualificação.

À Fabiana pelo apoio, amizade, companheirismo, compreensão e amor durante todos os momentos desde o início do mestrado.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Caracterização da área experimental	14
3.2. Amostragem do solo	16
3.3. Análise de estabilidade de agregados com uso de múltiplas peneiras	17
3.4. Análise de estabilidade de agregados com uso de única peneira	18
3.5. Análises químicas	19
3.6. Análises estatísticas.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Estabilidade de agregados.....	23
4.2. Teor de carbono orgânico e polissacarídeos nos agregados do solo	24
4.3. Distribuição de carbono orgânico e polissacarídeos nas classes de agregados.....	31
4.4. Relação entre atributos químicos e de agregação do solo	32
5. CONCLUSÕES.....	34
6. REFERÊNCIAS.....	35

LISTAS DE FIGURAS

Página

Figura 1. Extensão da área (região hachurada) no território brasileiro com ocorrência de inverno seco e temperaturas relativamente altas	4
Figura 2. Representação do modelo de Monnier para descrição da influencia da decomposição de resíduos orgânicos no solo sobre a estabilidade de agregados (EA) do solo (Adaptado de ABIVEN, 2004).....	8
Figura 3. Processos de influência da planta sobre a agregação do solo	10
Figura 4. Vista aérea do experimento em junho de 2008. Jaboticabal, SP.	14
Figura 5. Médias mensais dos parâmetros climáticos na área do experimento (1971–2006).....	15
Figura 6. Faixas de seqüências de culturas de verão e inverno em um bloco experimental.....	16
Figura 7. Extração de polissacarídeos do solo com solução de ácido sulfúrico.....	20
Figura 8. Análise fenol-sulfúrica para construção da reta padrão de concentrações de glicose por absorbância	21
Figura 9. Extração de polissacarídeos do solo com solução de ácido sulfúrico diluído (polissacarídeos menos a celulose).....	22
Figura 10. Teor de carbono orgânico total e polissacarídeos em diferentes classes de tamanho de agregados do solo	31

LISTAS DE TABELAS

Página

Tabela 1. Porcentagem de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho e diâmetro médio ponderado (DMP), calculados a partir da análise com múltiplas peneiras, e índice de estabilidade de agregados (IEA), calculado a partir da análise com única peneira, em seqüências de culturas de verão ou inverno	23
Tabela 2. Teor de carbono orgânico total (COT) em agregados do solo em diferentes seqüências de culturas de verão ou inverno	25
Tabela 3. Teor de polissacarídeos totais (PST) e de carbono constituinte de PST (valores entre parênteses) em agregados do solo em diferentes seqüências de culturas de verão ou inverno	27
Tabela 4. Teor de polissacarídeos extraídos em ácido diluído (PAD) e de carbono constituinte de PAD (valores entre parênteses) em agregados do em diferentes seqüências de culturas de verão ou inverno	28
Tabela 5. Relação entre atributos químicos (X) e de agregação do solo (Y)	32

LISTAS DE ABREVIATURAS

AEA: porcentagem de agregados estáveis em água

AF: seqüência de cultivos de arroz/feijão/algodão/feijão no verão

APU: antes do peneiramento úmido

COT: Carbono orgânico total

CV: coeficiente de variação

DMP: diâmetro médio ponderado de agregados

IEA: índice de estabilidade de agregados

MV: monocultura de milho no verão

PAD: polissacarídeos extraídos em ácido diluído

RV: cultivos intercalados ano a ano de soja e milho no verão

SSD: sistema de semeadura direta

SV: monocultura de soja no verão

CARBONO ORGÂNICO E POLISSACARÍDEOS EM AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO EM SEQÜÊNCIAS DE CULTURAS SOB SEMEADURA DIRETA

RESUMO – A adaptação do sistema de semeadura direta (SSD) depende da escolha adequada da seqüência de culturas, que devem contribuir para melhorar os atributos solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de seqüências de culturas na agregação do solo e no teor de carbono orgânico e polissacarídeos em diferentes classes de agregados estáveis em água de um Latossolo Vermelho eutrófico sob SSD. Um experimento foi implantado em 2002 em Jaboticabal, SP. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro seqüências de culturas de verão e sete culturas de inverno. As seqüências de culturas de verão, semeadas em outubro/novembro, foram: monocultura de milho; monocultura de soja; cultivos intercalados ano a ano de soja e milho; seqüência de cultivos de arroz/feijão/algodão/feijão. As culturas de inverno, semeadas em fevereiro/março, repetidas todos os anos nas mesmas parcelas, foram: milho, girassol, nabo forrageiro, milheto, feijão guandu, sorgo granífero e crotalária. A amostragem do solo foi realizada após o quarto ano de condução do experimento, em outubro de 2006. O cultivo de milho em monocultura no verão favoreceu a formação de agregados estáveis em água com diâmetro entre 6,30–2,00 mm e proporcionou o maior teor de COT e PAD nessa classe de tamanho de agregados. Isso indica que a influência das culturas sobre a estabilidade de agregados foi intermediada pelos teores de COT e PAD. Não foi verificada diferença na agregação do solo entre culturas de inverno utilizadas. Os maiores teores de COT, PST e PAD foram verificados nos agregados com diâmetro entre 2,00–1,00 mm e os menores teores nos agregados <0,25 mm.

Palavras-Chave: Agregação do solo, Carboidratos do solo, Estrutura do solo, Matéria orgânica do solo, Rotação de culturas

ORGANIC CARBON AND POLYSACCHARIDES IN AGGREGATES OF AN RHODIC OXISOL IN CROP SEQUENCES UNDER NO-TILLAGE

SUMMARY – A better performance of the no-tillage system in tropical regions depends on the choice of suitable crop sequences in summer and winter. These crops should contribute to improvement of soil properties. The objective of this work was to assess crop sequences effects on soil aggregation and organic carbon and polysaccharide contents in water-stable aggregate size classes of a Rhodic Oxisol under no-tillage. An experiment was established in Jaboticabal town, São Paulo state, in 2002. Treatments were constituted for a combination of four crop sequences in summer and seven crop sequences in the winter. Crop sequences in the summer were: corn monoculture (CC); soybean monoculture (SS); soybean/corn/soybean/corn sequence (SC) and rice/bean/cotton/bean sequence (RB), seeded in October/November. Winter crops were: corn, sunflower, oilseed radish, millet, pigeonpea, sorghum and sunn hemp, seeded in February/March. Soil sampling took place after fourth year after experiment implantation, in October 2006. The MV sequence in summer increased the percentage of 6,30–2,00 mm water-stable aggregates and provided the highest total organic carbon and diluted-acid-extractable polysaccharides contents in the same aggregate size class. These results suggest that crop effects on soil aggregate stability can be mediated by total organic carbon and diluted-acid-extractable polysaccharides. The winter crops do not influence soil aggregation. The highest and lowest total organic carbon, total polysaccharides and diluted-acid-extractable polysaccharides contents was verified, respectively, in 2,00–1,00 mm and <0,25 mm water-aggregate soil size classes.

Keywords: Crop rotation, Soil aggregation, Soil carbohydrates, Soil organic matter, Soil structure

1. INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta (SSD) é utilizado em aproximadamente 100 milhões de hectares no mundo (FEBRAPDP, 2008). Apesar disso, o SSD ainda necessita ser mais bem adaptado às regiões tropicais, com inverno quente e seco, comuns nas regiões sudeste e centro-Oeste do Brasil. Para isso, a escolha de culturas adaptadas para compor o sistema assume fundamental importância. Deve-se levar em consideração, para essa escolha, além do retorno econômico, a manutenção e/ou melhoria dos atributos químicos e físicos do solo que contribuam para a sua capacidade produtiva.

No SSD, o manejo físico do solo é praticamente restrito à ação das culturas na estrutura do solo. Isso está relacionado à alteração de compostos orgânicos que atuam como agentes cimentantes dos agregados. A decomposição de resíduos vegetais, a liberação de exudatos pelos sistemas radiculares das plantas e a influência que as plantas exercem sobre os microorganismos do solo, são formas de influência das plantas sobre a agregação do solo. Por sua vez, os microorganismos influenciam indiretamente a estabilidade dos agregados do solo por meio da liberação de compostos orgânicos (gomos e mucilagens) ou diretamente, como a junção de pequenos agregados por hifas de fungos.

A influência do manejo do solo sobre a estabilidade de seus agregados é condicionada ao tamanho dos agregados. Na estabilização de microagregados há forte participação de constituintes minerais, como os hidróxidos de ferro e alumínio. Na estabilização de macroagregados (agregados >0,25 mm), há importante participação de agentes cimentantes orgânicos, possíveis de serem alterados por fatores como o sistema de semeadura ou a rotação de culturas. Os agentes cimentantes orgânicos de agregados do solo podem ser classificados em: persistentes, que são componentes aromáticos associados aos cátions metais polivalentes e polímeros fortemente sorvidos; temporários, principalmente raízes e hifas de fungos; e transientes, constituídos principalmente por polissacarídeos.

Em alguns trabalhos, foi demonstrado que os polissacarídeos facilmente hidrolisáveis representam os agentes cimentantes mais ativos na agregação de partículas do solo.

Em condições tropicais, já foi demonstrada a influência da matéria orgânica total na estabilidade de agregados do solo. Entretanto, pouco foi estudado sobre a influência de polissacarídeos ou de suas frações facilmente hidrolisáveis na estabilidade de agregados do solo. A influência do manejo do solo no aumento da estabilidade de agregados de solos tropicais, em decorrência do aumento de agentes cimentantes orgânicos no solo, pode ocorrer de uma maneira diferente daquela para solos de regiões temperadas.

Correlações positivas entre estabilidade de agregados e teor de polissacarídeos do solo foram verificadas em vários países, principalmente naqueles de regiões temperadas e/ou com o solo sob sistema convencional de preparo. Portanto, pesquisas são necessárias para elucidação do papel de polissacarídeos na estabilidade de agregados de solos tropicais submetidos ao SSD.

A hipótese do presente trabalho é que as culturas em SSD, sob condições de clima tropical com inverno quente e seco, influenciam a agregação do solo e essa influência é intermediada pela produção de polissacarídeos e carbono orgânico no solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de seqüências de culturas na agregação do solo e no teor de carbono orgânico e polissacarídeos em diferentes classes de agregados estáveis em água de um Latossolo Vermelho eutrófico sob SSD.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O manejo do solo é o conjunto de operações realizadas com o objetivo de propiciar condições favoráveis à semeadura, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas, por tempo ilimitado (EMBRAPA, 2004). É uma prática que tem sido utilizada há milhares de anos e sua história se confunde com a própria história da humanidade (SZMRECSÁNYI, 1977; OLIVEIRA, 1989).

Por volta dos séculos XVIII e XIX, o crescimento populacional e a queda da fertilidade dos solos no continente europeu, após séculos de cultivo intensivo, causaram, dentre vários problemas, a escassez de alimentos (OLIVEIRA, 1989; ROMEIRO, 1992). Conseqüentemente, houve nessa época a intensificação da adoção de sistemas de rotação de culturas com plantas forrageiras (leguminosas e gramíneas). As atividades de pecuária e agricultura se integraram (ROMEIRO, 1992). Esta fase é conhecida como Primeira Revolução Agrícola ou Primeira Revolução Verde e é um marco histórico da evolução de técnicas de manejo do solo visando a melhoria da qualidade de seus atributos (ROMEIRO, 1992).

No Brasil, a intensificação da agricultura resultou em forte degradação dos solos. Isso foi intensificado principalmente após a década de 60 (GONZALEZ & COSTA, 1998).

No sul do Brasil, o uso intensivo do solo com preparo superficial excessivo e queima de resíduos vegetais proporcionavam grande quantidade de perdas do solo por erosão. Isso modificou as características originais dos solos (MACHADO & BRUM, 1978; CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990) e foi um dos principais motivos para a consolidação do sistema de semeadura direta (SSD) naquela região.

O SSD é o processo de semeadura em solo minimamente revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas com largura e profundidade suficientes para sua adequada cobertura e contato com o solo (MUZILI, 1991).

No Brasil, a adoção desse sistema foi possível devido à intensificação do uso de herbicidas e a evolução de sua tecnologia. Destaca-se, nesse contexto, o uso do 2,4-D

na década de 1940, do paraquat na década de 1950 e do glifosato nas últimas décadas (AMARANTE JÚNIOR et al., 2003; BROMILOW, 2003). Além disso, a importação de tecnologias dos Estados Unidos na década de 1960, principalmente referente à adaptação de semeadoras, contribuiu para a consolidação do SSD no Brasil após a década de 1970 (IEA, 2008).

Após essa fase de introdução do SSD no sul do Brasil, o sistema tem se expandido para outras regiões brasileiras com condições edafoclimáticas diferentes daquelas da região sul. A implantação do sistema tem acontecido em regiões onde há concentração de chuvas no período do verão e temperaturas relativamente altas no inverno. Considerando-se a classificação climática do Brasil baseando-se nos critérios de Köppen (1936), é possível verificar que essas condições climáticas possuem ampla ocorrência no Brasil (Figura 1).



Figura 1. Extensão da área (região hachurada) no território brasileiro com ocorrência de inverno seco e temperaturas relativamente altas.

Portanto, essa expansão trouxe a necessidade de melhor adaptação do SSD para essas condições.

A adaptação do SSD depende essencialmente da escolha das culturas mais adequadas para cada região. Além de fatores relacionados à adaptação fisiológica das culturas, como o fotoperiodismo, vários outros fatores são levados em consideração para escolha de culturas. Dentre eles, destacam-se o retorno econômico, a disponibilidade de sementes, prevenção de problemas fitossanitários, adequação da propriedade e potencial de melhoria de atributos do solo. A escolha correta de uma cultura ou de uma seqüência temporal de culturas, em diferentes épocas do ano ou em anos sucessivos, pode proporcionar melhorias em atributos relacionados à estrutura do solo. Essa melhoria é dependente da alteração do conteúdo de matéria orgânica no solo, um dos seus principais reservatórios na natureza.

O conteúdo global de carbono estimado para camada de 1 m de solo a partir da superfície é de 1200 e 1500 Gt, enquanto a estimativa para quantidade de carbono na vegetação é de aproximadamente 600 Gt e na atmosfera é de 720 Gt (ESWARAN et al., 1993; SKJEMSTAD et al., 1998). Dessa quantidade global, uma importante fração está associada às partículas minerais da camada mais superficial. Esse carbono proporciona condições físico-químicas adequadas ao crescimento do sistema radicular das plantas e dos microorganismos do solo.

Segundo OADES & WATERS (1991), a matéria orgânica é o principal agente estabilizante de agregados do solo. EDWARDS & BREMNER (1967) sugerem um modelo no qual as unidades elementares da estrutura, chamadas de microagregados (<0,25 mm), são agrupadas em macroagregados estáveis pela ação cimentante de frações lábeis da matéria orgânica. Os agentes cimentantes de microagregados são compostos de material orgânico mais recalcitrante e constituintes inorgânicos (TISDALL & OADES, 1982; DUIKER et al, 2003).

Os agentes cimentantes orgânicos do solo podem ser classificados em transientes, constituídos principalmente por polissacarídeos; temporários, principalmente raízes e hifas de fungos; e persistentes, como os componentes aromáticos resistentes associados com cátions metais polivalentes e polímeros fortemente sorvidos (TISDALL & OADES, 1982).

Como fonte desses agentes cimentantes orgânicos, são importantes todas as plantas, vivas ou mortas influenciando, dessa forma, a estrutura do solo (ANGERS & CARON, 1998). Vários mecanismos de influência das plantas sobre a estrutura do solo são conhecidos, principalmente aqueles relacionados à influência sobre a agregação do solo (ABIVEN, 2004; ABIVEN et al., 2007, 2008).

Os efeitos das plantas sobre a estabilidade de agregados do solo são freqüentemente atribuídos à influência das plantas sobre as diferentes frações da matéria orgânica do solo. Dentre essas frações são conhecidas a biomassa de microorganismos (TISDALL & OADES, 1979; MILLER & JASTROW, 1990; ABIVEN et al., 2007, 2008), os compostos hidrofóbicos (CAPRIEL et al. 1990) e os polissacarídeos facilmente hidrolisáveis (ANGERS & MEHUYS, 1989; LIU et al, 2005).

A influência das plantas sobre o crescimento de fungos no solo também é um importante processo indireto de ação sobre a estabilidade de agregados do solo. Os fungos de hifas formam um grupo a parte em potencial de agregação do solo (DEGENS et al., 1996). Hifas de fungos podem agir na agregação do solo devido à camada de material amorfo, provavelmente polissacarídico, no qual grande número de partículas do solo ficam aderidas (TISDALL & OADES, 1982; DEGENS et al., 1996). Segundo ABIVEN (2004), os fungos são os microorganismos dominantes da camada superficial do solo. Eles se desenvolvem sobre um amplo espectro de substratos e são os principais agentes presentes durante a decomposição da celulose e da lignina no solo formando ramificações no solo por meio do crescimento de hifas. A ação dessas ramificações ocorre por um mecanismo denominado como “cross-linking” (DEGENS et al., 1996). Por esse mecanismo as hifas juntam grandes partículas, como os grãos de areia ou macroagregados (>0,25 mm). Nesse caso, a estabilidade dos agregados depende da resistência à tração que as hifas possuem para manter as partículas juntas. Além disso, uma parte das hifas de fungos é composta por materiais recalcitrantes, como a quitina e a glomalina, o que lhes permite permanecer no solo mesmo após a morte dos fungos (ZHU & MILLER, 2003).

Uma outra forma de influência indireta das plantas na agregação do solo ocorre pela produção de compostos hidrofóbicos durante a formação de agregados a partir de

fragmentos de resíduos vegetais no solo. Esses compostos impedem a entrada rápida de água nos agregados, o que diminui a destruição deles (CAPRIEL et al. 1990; PICCOLO & MBAGWU, 1999).

Além disso, o secamento do solo pelas raízes também pode agir sobre a estabilidade de agregados do solo conjuntamente com o material orgânico cimentante produzido na rizosfera. O secamento que ocorre na zona de produção de mucilagem contribui para a maior eficiência dos agentes cimentantes por meio do aumento da sorção de materiais em superfícies coloidais (CARON et al., 1992).

Além desses efeitos, os sistemas radiculares de muitas espécies de plantas formam um denso emaranhado em solos (ANGERS & CARON, 1998), cujo o efeito na formação de agregados estáveis do solo é bem conhecido (BRADFIELD, 1937; TISDALL & OADES 1982; SILVA & MIELNICZUK, 1997). Além disso, a estabilidade de agregados do solo também é favorecida pelo comprimento de raízes (THOMAS et al., 1986; MILLER & JASTROW, 1990).

Por outro lado, as raízes também podem ter um efeito de diminuição do tamanho dos agregados no solo. A penetração de raízes pode proporcionar a fragmentação do solo visto que isso cria zonas de falha (WHITELEY & DEXTER, 1983). A maior proporção de pequenos agregados em solos vegetados que em solos não vegetados podem ser resultado da quebra de grandes agregados pela penetração de raízes (MATERECHERA et al., 1994).

Em trabalho desenvolvido por SILVA & MIELNICZUK (1997) em solos do Rio Grande do Sul (Latosolo Vermelho eutroférico e Argissolo Vermelho distrófico) e cultivados sob sistema convencional de semeadura com soja, trigo, setária, capim-pangola, siratro, e em SSD com aveia e milho, foi verificado que a densidade de raízes apresentou alta correlação com a estabilidade de agregados do solo. Esse efeito foi atribuído às renovações periódicas do sistema radicular das plantas e a ação de exudatos no solo.

A proteção física proporcionada por resíduos das culturas também possui influência sobre a agregação do solo (WOHLENBERG et al., 2004; MULUMBA & LAL,

2008). Plantas vivas ou resíduos vegetais sobre a superfície do solo absorvem a energia cinética das gotas de chuva, reduzindo a destruição de agregados superficiais.

Além disso, durante a decomposição de resíduos vegetais são sintetizados vários tipos de substâncias que podem agir na cimentação de partículas minerais do solo. A magnitude desse efeito é relacionada à facilidade de decomposição do material (TISDALL et al., 1978; OADES, 1984). Um modelo desenvolvido por Monnier (1965), citado por ABIVEN et al., (2008), nomeado de “Pouloud”, foi proposto para prever a estabilidade de agregados em função das características de um substrato orgânico em decomposição no solo. Esse modelo é representado pela seguinte função log-normal:

$$EA(t) = A \cdot \exp \left[- \frac{\ln \left(\frac{t}{B \cdot C} \right)^2}{2} \right]$$

em que EA é a estabilidade de agregados como uma função do tempo t e A , B e C são os parâmetros de formato, escala e magnitude da função. Graficamente, esse modelo é representado pela Figura 2.

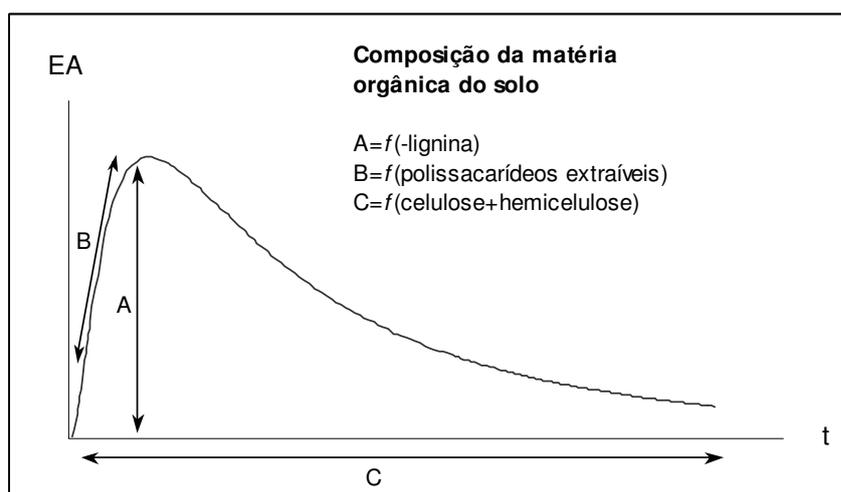


Figura 2. Representação do modelo de Monnier para descrição da influência da decomposição de resíduos orgânicos no solo sobre a estabilidade de agregados (EA) do solo (Adaptado de ABIVEN, 2004).

Portanto, a facilidade de decomposição do material vegetal, representada pelos parâmetros *A*, *B* e *C* do modelo apresentado na Figura 2, é um dos principais parâmetros que influenciam a estabilidade de agregados do solo e está relacionada à natureza do material vegetal (BRADY, 1989). Dessa forma, a quantidade e a qualidade da biomassa são fatores diretamente relacionados às culturas que influenciam a estabilidade de agregados do solo.

GOLCHIN et al. (1994) apresentaram um modelo para a formação e estabilização de agregados durante a decomposição de resíduos vegetais. Eles propuseram que pequenos fragmentos de resíduos vegetais em contato com o solo são colonizados inicialmente por microorganismos que adsorvem partículas minerais, o que é favorecido pela produção de exudatos. Dessa forma, ao redor de fragmentos de resíduos vegetais, colônias de microorganismos podem se estabelecer e criar uma rede capaz de estabilizar agregados da ordem de milímetros (DE LEO et al., 1997). Mesmo após a morte dos microorganismos, os constituintes orgânicos dos restos celulares ainda continuam adsorvidos à fase mineral do solo, contribuindo para a estabilidade de agregados do solo (CHANTIGNY et al., 1997).

Em trabalhos recentes realizados no Brasil, foi verificada a influência de culturas sobre a estabilidade de agregados do solo. Em trabalho desenvolvido por CUNHA et al. (2007) em Goiás, em um Latossolo Vermelho distrófico com 614 g kg^{-1} de argila, 78 g kg^{-1} de silte e 308 g kg^{-1} de areia, foi verificado que a associação de soja com a braquiária contribuiu para aumentar a estabilidade dos agregados do solo.

No estado do Mato Grosso do Sul, SALTON et al. (2008) verificaram que sistemas de manejo do solo com pastagem permanente ou em rotação com lavoura sob SSD favoreceram a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com lavouras ou com lavouras em rotação com pastagens em ciclos maiores que três anos. Em comparação ao solo da condição natural, verificou-se naquele trabalho que o diâmetro médio ponderado dos agregados foi semelhante ao solo submetido à rotação lavoura-pastagem em ciclos de dois anos ou com pastagem permanente.

Uma síntese dos principais processos de influência das plantas sobre a estabilidade de agregados do solo é apresentada na Figura 3.

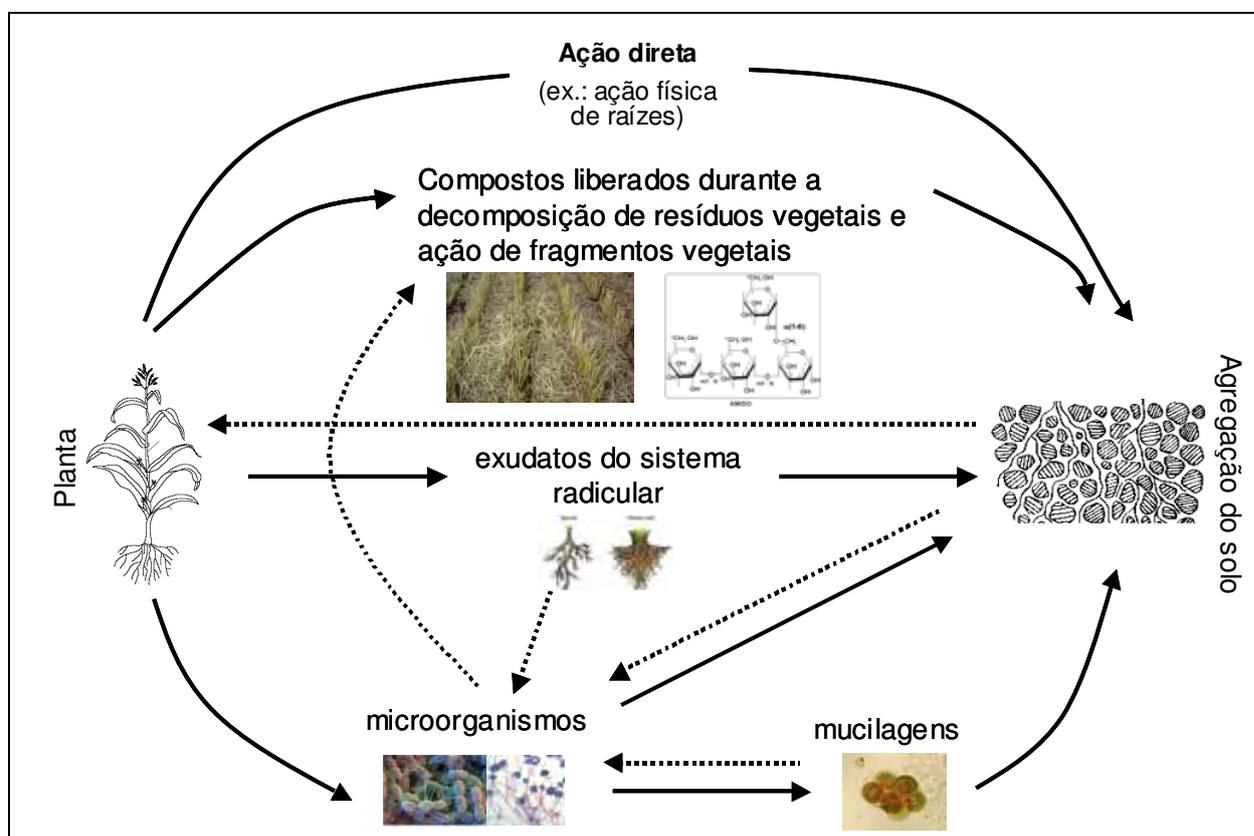


Figura 3. Processos de influência da planta sobre a agregação do solo.

Na maioria dos processos representados na Figura 3, destaca-se a participação direta ou indireta de uma representativa fração da matéria orgânica: os carboidratos. Eles estão presentes nas estruturas das células microbianas e vegetais e são importantes constituintes das substâncias produzidas por ambos tipos de células, tais como gomas e mucilagens.

Na natureza, os carboidratos são as biomoléculas mais abundantes. Cada ano, a fotossíntese converte mais que 100 Gt de CO_2 e H_2O em carboidratos na forma de celulose e outros produtos de plantas. Polímeros de carboidratos insolúveis servem como elementos de proteção e de estrutura nas paredes celulares de microorganismos e plantas (NELSON & COX, 2000).

Carboidratos são predominantemente poliidroxialdeídos ou poliidroxicetonas, ou substâncias que produzem tais substâncias por hidrólise. A maioria dos carboidratos pode ser representada pela fórmula $(\text{CH}_2\text{O})_n$. Também podem conter N, P e S. Existem três classes de tamanho de carboidratos: monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Monossacarídeo, ou açúcar simples, consiste de uma unidade de poliidroxialdeído ou poliidroxicetona, sendo que o mais abundante na natureza é o açúcar de seis carbonos D-glicose, também conhecido com dextrose. Oligossacarídeo consiste de uma curta cadeia de unidades de monossacarídeos agrupadas por ligações chamadas glicosídicas. Os polissacarídeos são polímeros de açúcar contendo mais de 20 unidades de monossacarídeos. A celulose e o amido são os dois mais abundantes polissacarídeos vegetais, sendo que ambos são compostos por unidades de D-glicose, diferindo apenas no tipo de ligação glicosídica. Isso lhes confere diferentes papéis biológicos e diferentes resistências à modificação estrutural de suas cadeias por agentes químicos, físicos ou microbiológicos (NELSON & COX, 2000).

No solo, o grupo dos polissacarídeos é o principal representante dos carboidratos. Os outros grupos são muito transientes por serem rapidamente degradados pela atividade microbiana do solo ou lixiviados do solo pela água da chuva ou irrigação. Polissacarídeos representam aproximadamente um quarto da matéria orgânica no solo (OADES, 1978).

Além da celulose e do amido, outros polissacarídeos como a pectina, a inulina, o glicogênio e quitina também estão freqüentemente presentes no solo. Polissacarídeos são fortemente adsorvidos por argilas cauliníticas e montmoriloníticas no solo. Essa adsorção pode ocorrer tanto nas superfícies dos minerais quanto em espaços interlamelares dos minerais (PARFITT & GREENLAND, 1970).

Os polissacarídeos são ligados às argilas por pontes de hidrogênio formadas entre os grupos OH dos polissacarídeos e átomos de oxigênio da fase sólida do solo (KOHL & TAYLOR, 1961). Íons, como Fe^{3+} , Al^{3+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ , participam da adsorção de polissacarídeos às argilas (EDWARDS & BREMNER, 1967; DONTSOVA & BIGHAM, 2005). Essa adsorção pode estar relacionada à ligação de polissacarídeos

aniônicos por meio desses cátions às cargas negativas das argilas (DONTSOVA & BIGHAM, 2005).

O fato dos microorganismos não serem facilmente movimentados junto com o movimento da água no solo indica que eles são ligados às argilas do solo ou substâncias húmicas. Esse mecanismo pode ser favorecido pela produção de mucilagens no solo, que é um material predominantemente constituído de polissacarídeos. Isso também pode explicar a junção de plaquetas de argila às células microbianas do solo (OADES, 1984).

Uma outra evidencia da ação cimentante de polissacarídeos foi verificada em trabalho desenvolvido por CHESHIRE et al. (1983). Esses autores verificaram que a oxidação seletiva de polissacarídeos no solo por periodato causou desagregação do solo tanto maior quanto mais intensa foi a oxidação.

Polissacarídeos extracelulares microbianos são encontrados na rizosfera de plantas e podem agir como material cimentante da mesma forma que os polissacarídeos de origem vegetal (ANGERS & CARON, 1998; ROBERSON et al., 1991). Polissacarídeos extracelulares são bioprodutos originários da utilização de carbono dos resíduos vegetais pelos microorganismos do solo e podem ter suas quantidades alteradas rapidamente e significativamente em resposta ao aumento da quantidade de carbono no solo (ROBERSON et al., 1991).

A taxa de metabolismo de carboidratos no solo é influenciada por substâncias fúlvicas não sacarídicas associadas (CHESHIRE et al. 1992). Dessa forma, a influência de diferentes resíduos vegetais sobre a fração fúlvica da matéria orgânica também pode contribuir para a modificação no teor e ação cimentante de polissacarídeos no solo.

A ausência de um estoque de substâncias orgânicas menos lábeis no solo pode resultar em uma ação muito transiente dos carboidratos sobre a agregação do solo. Essa hipótese foi levantada por ADESODUN et al. (2001), que verificaram um aumento no diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo com o passar do tempo, após adição de fertilizante (480 kg ha^{-1} de NPK 12:12:17), resíduos de arroz (10 t ha^{-1}) e esterco bovino (10 t ha^{-1}), e diminuição nos teores de carboidratos solúveis em ácido, solúveis em água quente e solúveis em água fria. Os autores verificaram que a

estabilidade de agregados variou fracamente tanto com as frações de carboidratos quanto com carbono orgânico do solo. Nesse caso, foi concluído que os estoques de carboidratos no solo não foram muito efetivos como agentes estabilizantes de agregados no solo.

Por outro lado, em parte inicial de um estudo conduzido por CHANEY & SWIFT (1984), envolvendo 26 solos no Reino Unido, esses autores verificaram que os teores de areia, silte, argila, nitrogênio, ferro e capacidade de troca de cátions, não influenciaram a estabilidade de agregados do solo. Na segunda parte do trabalho, estudando a relação de componentes da matéria orgânica e a agregação em 120 solos, os autores verificaram alta correlação dos teores de carboidratos do solo com a estabilidade de agregados dos solos.

Estudos dessa natureza, porém em condições edafoclimáticas tropicais, podem contribuir para a elucidação da alteração da agregação do solo em sistemas de manejo específicos. A alteração de conteúdos de polissacarídeos no solo por culturas organizadas temporalmente em esquemas de rotação ou sucessão pode ser o principal processo para se manter ou melhorar a estrutura do solo sob SSD.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em 2002 em Jaboticabal, SP, em latitude $21^{\circ}14'S$, longitude $48^{\circ}17'W$ e altitude de 550 metros (Figura 4).



Figura 4. Vista aérea do experimento em junho de 2008. Jaboticabal, SP.

O clima do local é classificado, segundo critérios de KÖPPEN (1936), como Aw, denominado clima tropical de inverno seco, no qual a temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C e a do mês mais frio é inferior a 18 °C. A precipitação anual média (1971–2006) é de 1417 mm, com distribuição anual mostrando concentração no período de outubro-março e relativa seca no período de abril-setembro (Figura 5).

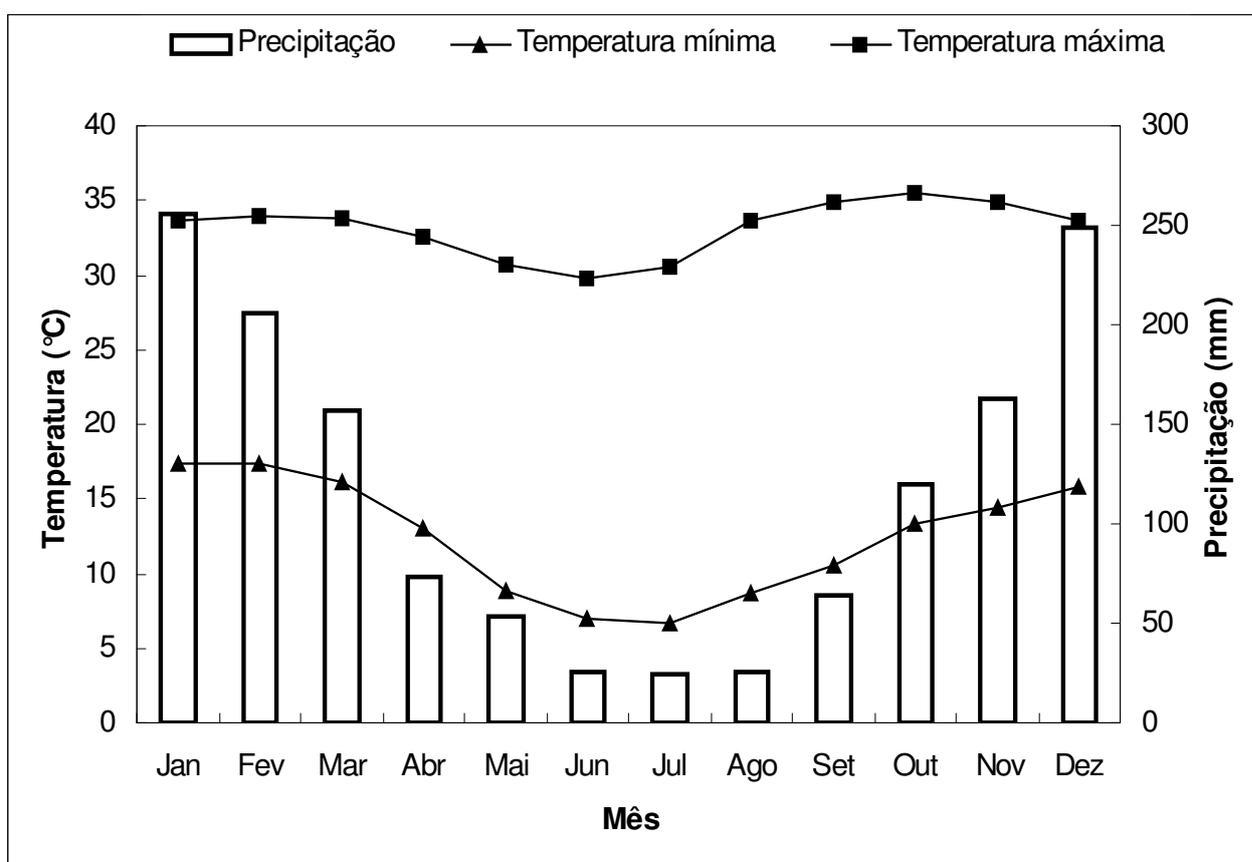


Figura 5. Médias mensais dos parâmetros climáticos na área do experimento (1971–2006)

O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho eutrófico, de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). Na camada de 0–20 cm, os teores médios de argila, silte e areia, foram de 555, 63 e 381 g kg⁻¹, respectivamente, determinados pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos, casualizados em faixas, foram constituídos pela combinação de quatro seqüências de culturas de verão e sete culturas de inverno, totalizando 28 parcelas por bloco experimental. Cada parcela teve 40 m de comprimento por 15 m de largura (600 m²). A bordadura foi constituída de 10 m no início e no final do comprimento e 2,5 m de cada lateral, constituindo uma parcela útil de 20 x 10 m.

As seqüências de culturas de verão, semeadas em outubro/novembro, foram: monocultura de milho (*Zea mays* L.) (MV); monocultura de soja (*Glicine max* (L.) Merrill) (SV); cultivos intercalados ano a ano de soja e milho (RV); seqüência de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.)/feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)/algodão (*Gossypium hirsutum* L.)/feijão (AF). As culturas de inverno, semeadas em fevereiro-março e repetidas em todos os anos nas mesmas parcelas, foram: milho, girassol (*Helianthus annuus* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leake), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária (*Crotalaria juncea* L.), semeadas em fevereiro-março. A Figura 6 mostra a distribuição das parcelas em um bloco experimental.

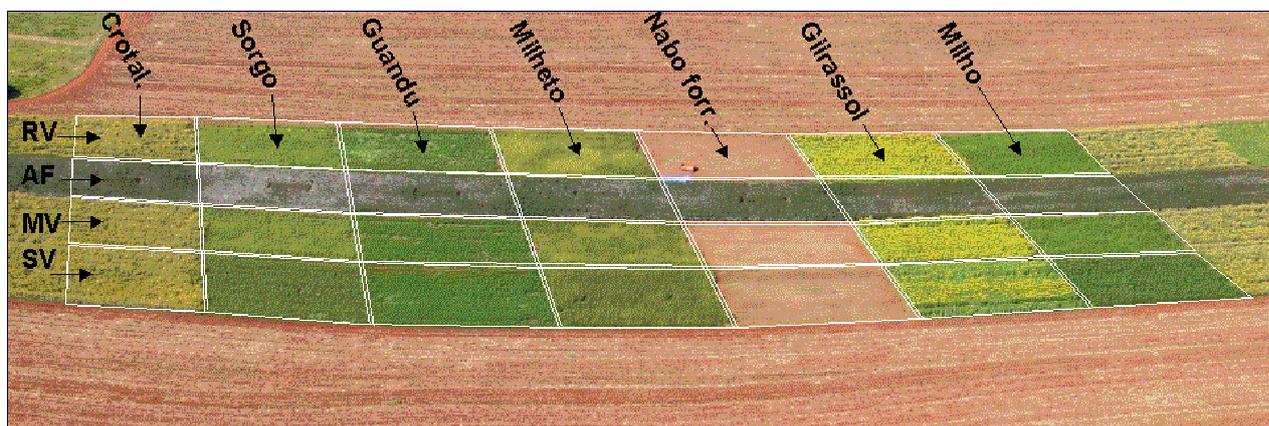


Figura 6. Faixas de seqüências de culturas de verão e inverno em um bloco experimental.

3.2. Amostragem do solo

A amostragem do solo foi realizada após o quarto ano de condução do experimento, em 20 de outubro de 2006, antes da semeadura das culturas de verão do ano agrícola 2006/2007. Em cada parcela, foram coletadas, aleatoriamente, com uma pá reta, 20 sub-amostras de solo na camada de 0–5 cm de profundidade para compor uma amostra composta. A coleta e o transporte ocorreram de modo a minimizar a destruição dos agregados coletados.

3.3. Análise da estabilidade de agregados com uso de múltiplas peneiras

As amostras compostas foram destorroadas e peneiradas manualmente na mesma umidade em que foram obtidas do campo. Os agregados que passaram pela peneira com abertura de 6,30 mm e que ficaram retidos em peneira com abertura de 2,00 mm foram secos ao ar por 48 h. Esse material foi utilizado para a determinação da estabilidade de agregados em água usando uma modificação do método de YODER (1936). Para tal, 20 g de agregados com diâmetros entre 6,30–2,00 mm foram transferidos para um conjunto de três peneiras. A superior com aberturas de 2,00 mm foi encaixada sobre outras duas peneiras com aberturas de 1,00 mm e 0,25 mm, formando um conjunto em ordem decrescente de acordo com suas respectivas aberturas. O jogo de peneiras com os agregados foi diretamente imerso em água em aparelho para a oscilação vertical (YODER, 1936) durante 15 min, ajustado para 31 ciclos min^{-1} , com amplitude de oscilação de 35 mm. As análises de cada amostra foram realizadas em triplicata.

Os agregados retidos em cada peneira e a fração que passou pela peneira de menor abertura de malha (<0,25 mm) durante o peneiramento úmido foram transferidos para cápsulas de alumínio previamente taradas. Esse material foi levado para estufa à temperatura de 40 °C por 48 h. Em seguida, foi realizada a pesagem e o solo foi armazenado para posteriores determinações de carbono orgânico total e polissacarídeos. Para correção de umidade, 1 g de cada uma dessas frações foi levado para estufa a 105 °C por 24 h.

Além disso, considerando-se que partícula primária não deve ser considerada como agregado (KEMPER & ROSENAU, 1986), foi feita a subtração das quantidades de

areia com diâmetro maior que o limite inferior de cada classe de tamanho de agregados estáveis em água. Para determinação dessas quantidades, 2 g das frações retidas em cada peneira foram transferidos para frascos para a dispersão lenta em agitador rotatório de Wiegner, a 60 ciclos por min, por 16 h, usando 100 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹. Posteriormente, a suspensão foi passada nas mesmas peneiras que retiveram os agregados durante o peneiramento úmido. Os materiais retidos nessas peneiras foram transferidos para béqueres, levados para estufa a 105 °C por 24 h e pesados.

Com os dados de peso de agregados retidos em cada peneira, umidade das amostras e teor de areia, calculou-se a proporção de agregados estáveis em água de cada classe de tamanho (w_i) em relação à massa inicial das amostras.

O diâmetro médio ponderado (DMP) foi calculado de acordo com os procedimentos descritos por KEMPER & ROSENAU (1986), da seguinte forma:

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^4 (x_i \cdot w_i)$$

em que, x_i é o diâmetro médio de agregados da i -ésima classe de tamanho.

Quando o coeficiente de variação (CV) dos valores de DMP referentes às três replicatas de cada amostra foi maior que 10%, repetiu-se a análise de estabilidade de agregados.

3.4. Análise da estabilidade de agregados com uso de uma única peneira

Um segundo método, mais rápido e mais simples que o primeiro, foi utilizado para determinação da estabilidade de agregados em água. O método proposto nesse caso foi o descrito por KEMPER & ROSENAU (1986). Nesse caso, parte das amostras compostas coletadas no campo foram secas à sombra por 24 h e peneiradas. Os agregados que passaram pela peneira com aberturas de 2,00 mm e que foram retidos em peneira com aberturas de 1,00 mm foram separados para análise. Dessa amostra, foi pesada uma alíquota de 4 g e transferida para peneira com aberturas de 0,25 mm. Essa peneira foi

levada para oscilação vertical em água no mesmo aparelho utilizado no método descrito anteriormente, porém, ajustado para 35 ciclos min^{-1} , com amplitude de oscilação de 1,3 cm, durante 3 min.

Após a análise, os agregados retidos na peneira com aberturas de 0,25 mm foram transferidos para latas de alumínio, previamente taradas. Posteriormente, as latas com os agregados foram levadas à estufa a 105 °C por 24 h. Também foi realizada a correção de umidade e de areia >0,25 mm, seguindo os mesmos procedimentos descritos no 3.3.

Com os dados de massa de agregados retidos na peneira com aberturas de 0,25 mm e a massa de areia >0,25 mm, calculou-se o índice de estabilidade de agregados (IEA), em porcentagem, como descrito por KEMPER (1965), da seguinte forma:

$$\text{IEA} = 100 \cdot \frac{(\text{massa de agregados} > 0,25 \text{ mm}) - (\text{massa de areia} > 0,25 \text{ mm})}{(\text{massa da amostra seca}) - (\text{massa de areia} > 0,25 \text{ mm})}$$

Foram repetidas as análises das amostras cujo coeficiente de variação entre os valores de IEA das três replicatas foi maior que 10%.

3.5. Análises químicas

Os teores de carbono orgânico total (COT), polissacarídeos totais (PST) e polissacarídeos extraídos em ácido diluído (PAD), foram determinados nas amostras do solo antes do peneiramento úmido (agregados com diâmetro entre 6,30–2,00 mm) e nos agregados estáveis em água após serem submetidos ao peneiramento úmido nas classes com diâmetros entre 6,30–2,00 mm; 2,00–1,00 mm; 1,00–0,25 mm e <0,25 mm. Para avaliar a correlação entre IEA e COT, PST e PAD, também foi feita a determinação dos teores desses três atributos químicos agregados entre 2,00–1,00 mm antes da análise de estabilidade de agregados com uso de única peneira.

O teor de COT foi determinado pelo método de WALKLEY & BLACK (1934) e os teores de polissacarídeos, pelo método proposto por LOWE (1993).

Para a determinação dos teores de PST no solo, utilizou-se um pré-tratamento das amostras com H_2SO_4 12 mol L^{-1} , à temperatura ambiente, seguida por hidrólise com H_2SO_4 0,5 mol L^{-1} . Para isso, 0,5 g de solo foi transferido para erlenmeyer de 250 mL, ao qual foram adicionados 4 mL de H_2SO_4 12 mol L^{-1} . Depois de 2 h de repouso, foram adicionados 92 mL de água destilada para diluição da solução de H_2SO_4 a 0,5 mol L^{-1} . Logo em seguida, o frasco foi autoclavado por 1 h a 103 kPa, produzindo temperatura de aproximadamente 121 °C. Depois de frio, o conteúdo foi filtrado em papel-filtro quantitativo de filtragem lenta para um balão volumétrico de 250 mL. Utilizou-se água destilada para lavar os resíduos até completar o volume do balão. Um esquema dessa parte inicial da determinação de polissacarídeos é apresentado na Figura 7.

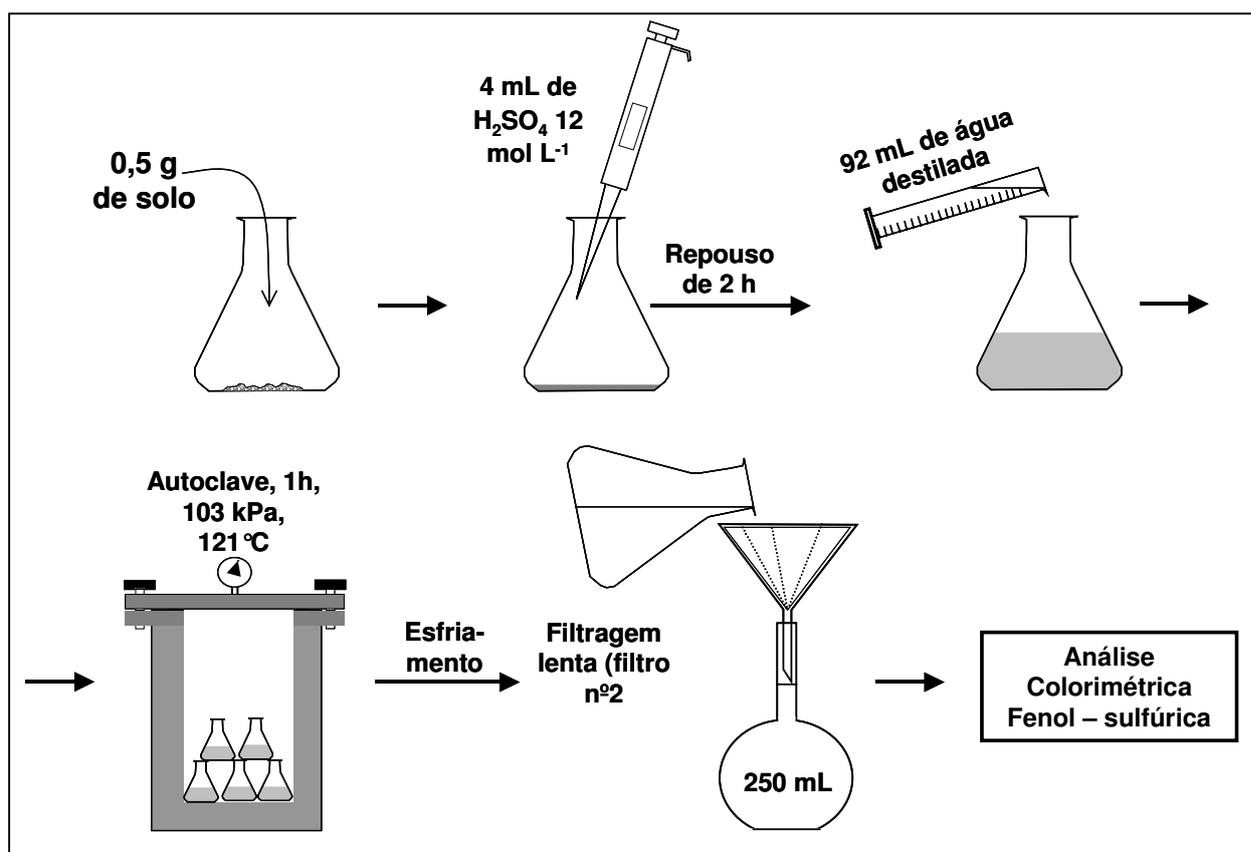


Figura 7. Extração de polissacarídeos do solo com solução de ácido sulfúrico.

Desse conteúdo, foi pipetado 1 mL e transferido para um tubo de ensaio e, logo em seguida, foi adicionado 1 mL de solução de fenol a 5% (massa/volume), seguido pela adição de 5 mL de H_2SO_4 concentrado (96%, massa/massa). Depois de 10 min de repouso, os tubos de ensaio foram colocados em bandeja com água (25–30 °C) por 25 min. As soluções tiveram suas absorvâncias medidas em um espectrofotômetro a 490 nm. A conversão dos valores de absorvância em polissacarídeos, em g kg^{-1} , foi realizada a partir de um curva padrão construída com valores de absorvância e concentrações iniciais conhecidas de glicose. Essa segunda parte da determinação de polissacarídeos é apresentada na Figura 8.

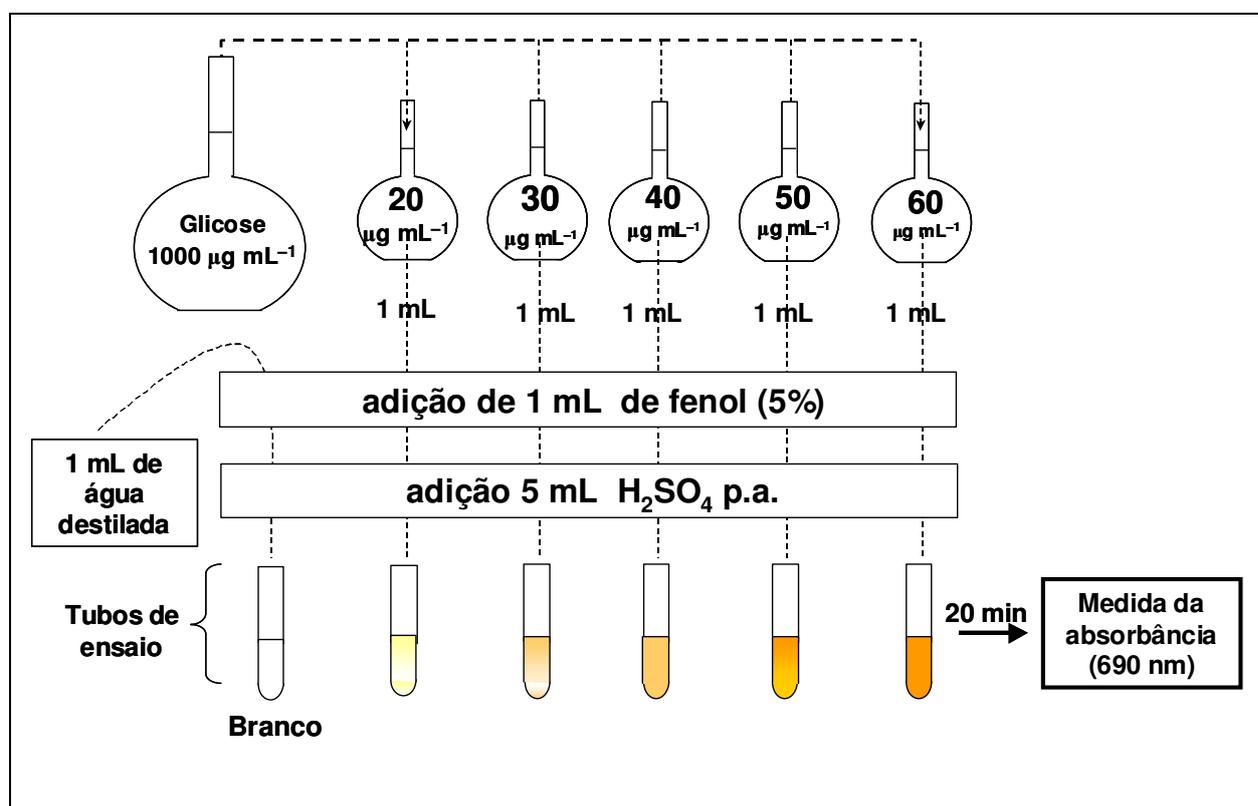


Figura 8. Análise fenol-sulfúrica para construção da reta padrão de concentrações de glicose por absorvância.

Para determinação do teor de polissacarídeos extraídos em ácido diluído (polissacarídeos menos a celulose), foram seguidos os mesmos procedimentos

utilizados para determinação de polissacarídeos totais, exceto o pré-tratamento das amostras com H_2SO_4 12 mol L^{-1} com posterior diluição, que foi substituída pela adição direta de H_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ao erlenmeyer contendo a alíquota $0,5 \text{ g}$ de solo (Figura 9).

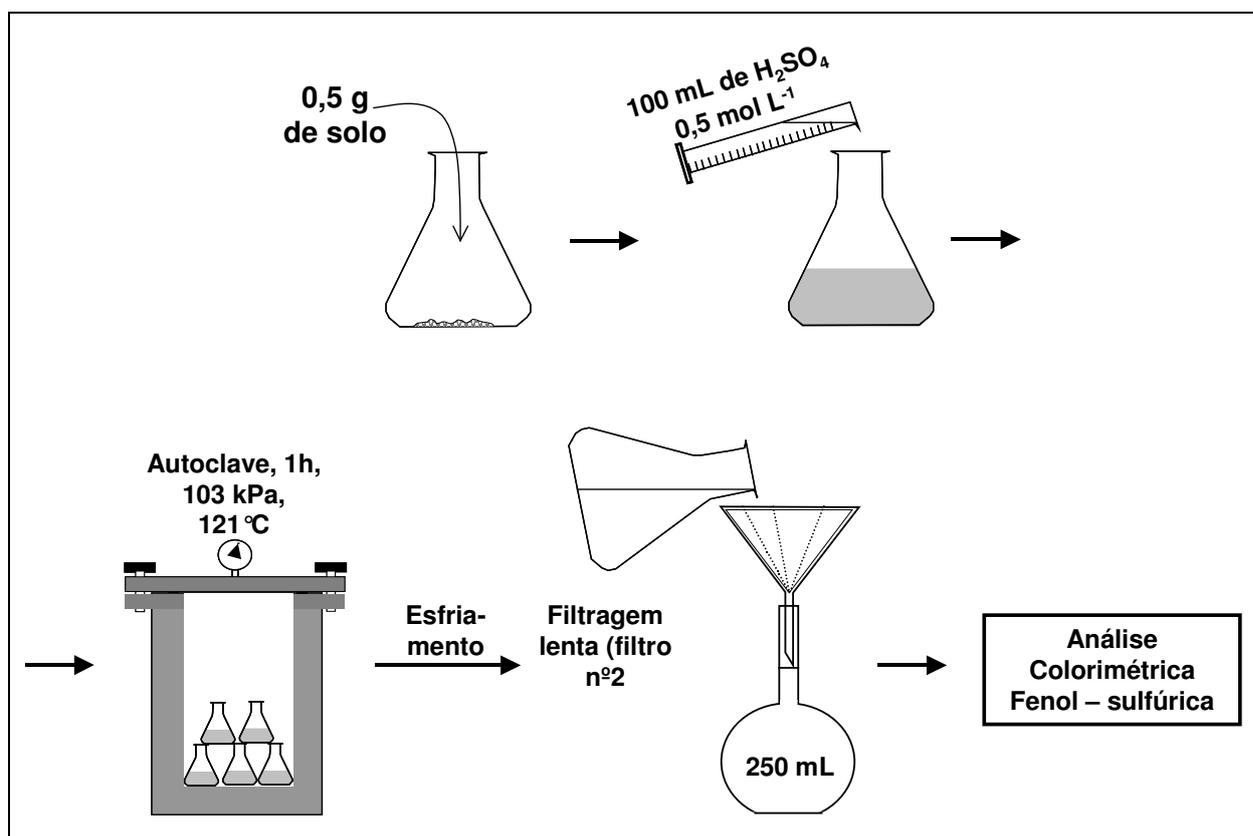


Figura 9. Extração de polissacarídeos do solo com solução de ácido sulfúrico diluído (polissacarídeos menos a celulose).

3.6. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Foram realizados testes de correlação de Pearson entre os atributos de agregação do solo (porcentagem de agregados do solo estáveis em água em diferentes classes de tamanho, IEA e DMP) e atributos químicos do solo (COT, PST e PAD).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estabilidade de agregados

Verifica-se que, após o peneiramento úmido, 41,1%, no máximo, de agregados com diâmetros entre 6,30–2,00 mm ficaram estáveis em água (Tabela 1).

Tabela 1. Porcentagem de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho e diâmetro médio ponderado (DMP), calculados a partir da análise com múltiplas peneiras, e índice de estabilidade de agregados (IEA), calculado a partir da análise com única peneira, em seqüências de culturas de verão ou inverno

Tratamento	Agregados estáveis em água (mm)				IEA	DMP
	6,30–2,00	2,00–1,00	1,00–0,25	< 0,25		
	%					Mm
<i>Culturas de verão (V)</i>						
MV ^a	41,1 a ^b	12,3	23,0	23,6 b	79,9 a	2,06 a
SV	34,0 ab	13,7	26,8	25,5 b	75,4 b	1,82 ab
RV	33,2 ab	12,3	26,7	27,7 b	72,5 c	1,77 ab
AF	26,4 b	12,2	29,4	32,1 a	68,2 c	1,50 b
Teste F	9,91 ^{**}	1,47 ^{ns}	3,21 ^{ns}	18,43 ^{**}	20,80 ^{**}	10,10 ^{**}
CV (%)	26	22	25	14	3	19
<i>Culturas de inverno (I)</i>						
Milho	33,7	12,5	25,4	28,3	71,6	1,78
Girassol	34,2	10,8	27,3	27,8	71,7	1,79
Nabo forrageiro	32,3	14,3	26,7	26,7	74,4	1,75
Milheto	33,4	11,2	27,2	28,2	73,8	1,76
Feijão guandu	31,6	12,9	27,1	28,3	72,4	1,71
Sorgo	36,9	12,8	25,4	25,0	77,4	1,91
Crotalária	33,6	13,8	26,3	26,3	76,8	1,80
Teste F	0,43 ^{ns}	2,23 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,40 ^{ns}
CV (%)	26	23	16	22	5	19
<i>Interação V×I</i>						
Teste F	1,30 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,19 ^{ns}

^a MV: monocultura de milho no verão; SV: monocultura de soja no verão; RV: rotação soja/milho no verão; AF: rotação arroz/feijão/algodão/feijão no verão. ^b Valores seguidos por letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ^{**} $P < 0,05$; ^{ns} não significativo; ^{*} $P < 0,05$; ^{ns} não significativo.

O maior valor da razão de variância F para IEA em comparação com DMP mostram que a análise usando o método rápido proposto por KEMPER & ROSENAU (1986), com uso de agregados com diâmetros entre 2,00–1,00 mm sobre peneira com aberturas de 0,25 mm, possui maior sensibilidade aos efeitos das diferentes seqüências de culturas.

4.2. Teor de carbono orgânico e polissacarídeos nos agregados do solo

Assim como ocorreu para os atributos de agregação, não foram verificadas interações entre os efeitos de seqüências de culturas de verão e de inverno sobre os teores de COT e de polissacarídeos nos agregados do solo (Tabela 2).

Os maiores teores de COT nos agregados do solo antes do peneiramento úmido foram verificados nas seqüências MV e SV e os menores teores na seqüência AF (Tabela 2). Depois do peneiramento úmido, os teores de COT nos agregados estáveis em água das classes de tamanho entre 6,30–2,00 mm, 2,00–1,00 mm e 1,00–0,25 mm não foram influenciados pelas seqüências de culturas de verão. Na classe de agregados estáveis em água <0,25 mm, os maiores teores de COT foram verificados na seqüência SV.

A cultura da crotalária no inverno proporcionou os maiores teores de COT nos agregados antes do peneiramento úmido e o milho proporcionou os menores. Entretanto, não foram verificados efeitos das culturas de inverno nos teores de COT nos agregados estáveis em água depois do peneiramento úmido.

O teor de PST nos agregados do solo não foi influenciado pelas seqüências de culturas de verão (Tabela 3). No entanto, o cultivo de sorgo e feijão guandu no inverno proporcionou os maiores teores de PST em agregados antes do peneiramento úmido em comparação à cultura do milho no inverno. Os teores de PST em agregados estáveis em água depois do peneiramento úmido não foram influenciados pelas seqüências de culturas.

Tabela 2. Teor de carbono orgânico total (COT) em agregados do solo em diferentes seqüências de culturas de verão ou inverno

Tratamento	Agregados APU ^a	Agregados estáveis em água (mm)			
		6,30–2,00	2,00–1,00	1,00–0,25	< 0,25
g kg ⁻¹					
<i>Culturas de verão (V)</i>					
MV	21,8 a ^b	26,3	26,6	20,2	12,6 ab
SV	21,9 a	26,2	27,4	20,2	13,6 a
RV	20,1 ab	25,0	25,8	19,4	12,1 b
AF	19,2 b	23,8	25,5	18,8	11,8 b
Teste F	6,32 [*]	3,17 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,76 ^{ns}	19,51 ^{**}
CV (%)	11	12	12	12	9
<i>Culturas de inverno (I)</i>					
Milho	19,3 b	23,3	25,3	19,7	12,2
Girassol	20,1 ab	24,3	26,9	20,2	12,5
Nabo forrageiro	20,1 ab	25,5	27,1	21,0	12,9
Milheto	21,1 ab	25,4	25,8	18,9	12,2
Feijão guandu	21,3 ab	26,2	26,5	19,6	12,4
Sorgo	21,5 ab	26,6	26,7	19,3	12,5
Crotalária	21,8 a	26,1	25,9	19,0	12,8
Teste F	3,80 [*]	2,56 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,79 ^{ns}
CV (%)	8	10	9	11	8
<i>Interação V×I</i>					
Teste F	1,05 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,03 ^{ns}

^a APU: antes do peneiramento úmido com diâmetros entre 6,30-2,00 mm; MV: monocultura de milho no verão; SV: monocultura de soja no verão; RV: rotação soja/milho no verão; AF: rotação arroz/feijão/algodão/feijão no verão. ^b Valores seguidos por letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ^{*} $P < 0,05$; ^{ns} não significativo.

Tabela 3. Teor de polissacarídeos totais (PST) e de carbono constituinte de PST (valores entre parênteses) em agregados do solo em diferentes seqüências de culturas de verão ou inverno

Tratamento	Agregados APU ^a	Agregados estáveis em água (mm)			
		6,30–2,00	2,00–1,00	1,00–0,25	< 0,25
g kg ⁻¹					
<i>Culturas de verão (V)</i>					
MV	12,9 (5,2) ^b	14,6 (5,8)	15,8 (6,3)	14,5 (5,8)	9,2 (3,7)
SV	12,5 (5,0)	13,9 (5,6)	15,0 (6,0)	13,1 (5,2)	8,9 (3,6)
RV	11,4 (4,6)	12,8 (5,1)	13,9 (5,6)	12,9 (5,2)	7,8 (3,1)
AF	11,5 (4,6)	13,0 (5,2)	13,5 (5,4)	12,5 (5,0)	8,2 (3,3)
Teste F	1,72 ^{ns}	2,29 ^{ns}	2,71 ^{ns}	3,79 ^{ns}	4,25 ^{ns}
CV (%)	22	19	20	16	17
<i>Culturas de inverno (I)</i>					
Milho	10,9 (4,6) b	12,5 (5,0)	14,0 (5,6)	13,3 (5,3)	8,2 (3,3)
Girassol	11,5 (4,8) ab	13,3 (5,3)	14,9 (6,0)	13,7 (5,5)	8,4 (3,4)
Nabo forrageiro	12,1 (5,0) ab	13,5 (5,4)	14,7 (5,9)	14,0 (5,6)	8,7 (3,5)
Milheto	12,4 (5,0) ab	13,9 (5,6)	14,9 (6,0)	13,2 (5,3)	8,8 (3,5)
Feijão guandu	12,6 (5,0) a	14,1 (5,6)	14,8 (5,9)	13,1 (5,2)	8,7 (3,5)
Sorgo	12,7 (5,1) a	14,3 (5,7)	14,8 (5,9)	13,0 (5,2)	8,4 (3,4)
Crotalária	12,5 (5,0) ab	13,5 (5,4)	13,8 (5,5)	12,5 (5,0)	8,5 (3,4)
Teste F	3,90 [*]	2,38 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,80 ^{ns}	0,92 ^{ns}
CV (%)	9	10	14	9	8
<i>Interação V×I</i>					
Teste F	1,50 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,97 ^{ns}

^a APU: antes do peneiramento úmido; MV: monocultura de milho no verão; SV: monocultura de soja no verão; RV: rotação soja/milho no verão; AF: rotação arroz/feijão/algodão/feijão no verão. ^b Valores entre parênteses se referem à quantidade de carbono constituinte de polissacarídeos considerando a proporção (em massa) C:CH₂O = 0,40. Valores seguidos por letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). * $P < 0,05$; ^{ns} não significativo

Os maiores teores de PAD nos agregados antes do peneiramento úmido e nos agregados estáveis em água depois do peneiramento úmido foram verificados na seqüência MV, com exceção à classe de agregados <0,25 mm, em que os teores de PAD não foram influenciados pelas culturas de verão (Tabela 4).

Não foram verificadas diferenças entre as culturas de inverno em relação a influência sobre os teores de PAD nos agregados do solo antes e depois do peneiramento úmido.

A distribuição anual de chuvas característica da região pode ter contribuído para que não houvesse influência das culturas de inverno nos atributos avaliados, pois é um

fator determinante na produção de biomassa pelas culturas (DOORENBOS & KASSAM, 1979). As precipitações se concentraram durante o ciclo das culturas de verão, com 70% das chuvas no período entre outubro e fevereiro (Figura 5). Por outro lado, durante o ciclo das culturas de inverno, houve escassez de água, acarretando em menor produção de biomassa. Conseqüentemente, houve menor quantidade de agentes cimentantes no solo proporcionado pelas culturas de inverno. Além disso, não houve semeadura das culturas de inverno no penúltimo ano antes da amostragem do solo, o que foi ocasionado pelo atraso do ciclo de culturas do verão, contribuindo para a menor influência das culturas de inverno. Os menores teores de COT e PST nos agregados do solo antes do peneiramento úmido podem ser explicados pela sensibilidade do milho à escassez de água.

É possível observar uma semelhança de resultados de IEA ou DMP e teores de PAD nos agregados do solo (Tabelas 1 e 4). Isso pode ser verificado pelos maiores valores para ambos atributos observados em MV e pelos menores valores verificados em AF. Isso indica que PAD intermediou a influência das seqüências de culturas verão sobre a estabilidade de agregados do solo. Essa ação está de acordo com outros trabalhos que mostram a ação de polissacarídeos facilmente hidrolisáveis sobre a estabilidade de agregados do solo (HAYNES & SWIFT, 1990; ROBERSON et al., 1995; LIU et al., 2005). Essa ação pode ser atribuída à adsorção dos polissacarídeos nos minerais de argila (PARFITT & GREENLAND, 1970; GU & DONER, 1992; WATTEL-KOEKKOEK et al., 2001), principalmente na presença de cátions divalentes no solo.

Em trabalho desenvolvido por LIU et al. (2005) em um Gleysol no Canadá, com 297 g kg⁻¹ de argila, 668 g kg⁻¹ de silte e 35 g kg⁻¹ de areia, após 8 meses de cultivo de culturas de cobertura em sistema convencional de preparo do solo, foi verificado, em comparação com os resultados obtidos no presente trabalho, menores teores de COT (17,4–19,9 g kg⁻¹), de PST (8,95–10,75 g kg⁻¹) e de PAD (7,34–10,21 g kg⁻¹). Além disso, a faixa de variação do teor de PST obtida no presente trabalho é diferente daquela obtida por SPACCINI et al. (2004), que verificaram ampla faixa de variação (3,5–32,6 g kg⁻¹) em solos da Nigéria (Cambissolo e Argilssolos) de floresta, com cultivo de milho, arroz, ou incorporados com vários tipos de resíduos orgânicos, tais

como esterco bovino ou ramos e folhas de espécies como gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq). Walp) e feijão guandu. Por outro lado, DALAL & HENRY (1988) verificaram reduzida variação do teor de carboidratos (3,1–6,6 g kg⁻¹) em solos da Austrália (Cambisols e Vertisols), incorporados com resíduos de trigo.

Tabela 4. Teor de polissacarídeos extraídos em ácido diluído (PAD) e de carbono constituinte de PAD (valores entre parênteses) em agregados do solo em diferentes seqüências de culturas de verão ou inverno

Tratamento	Agregados APU ^a	Agregados estáveis em água (mm)			
		6,30–2,00	2,00–1,00	1,00–0,25	< 0,25
g kg ⁻¹					
<i>Culturas de verão (V)</i>					
MV	11,7 (4,7) a	12,6 (5,0) a ^b	13,5 (5,4) a	12,5 (5,0) a	7,9 (3,2)
SV	11,1 (4,4) ab	11,5 (4,6) ab	12,2 (4,9) ab	10,9 (4,4) ab	7,6 (3,0)
RV	9,8 (3,9) ab	10,7 (4,3) b	11,2 (4,5) b	10,1 (4,0) b	6,8 (2,7)
AF	9,4 (3,8) b	10,9 (4,4) ab	11,4 (4,6) b	11,0 (4,4) ab	7,1 (2,8)
Teste F	5,12*	5,05*	6,34*	5,69*	2,65 ^{ns}
CV (%)	20	16	16	17	18
<i>Culturas de inverno (I)</i>					
Milho	9,9 (4,0)	11,2 (4,5)	11,9 (4,8)	11,1 (4,4)	7,3 (2,9)
Girassol	10,2 (4,1)	11,0 (4,4)	12,3 (4,9)	11,3 (4,5)	7,3 (2,9)
Nabo forrageiro	10,2 (4,1)	11,2 (4,5)	11,6 (4,6)	11,7 (4,7)	7,4 (3,0)
Milheto	10,6 (4,2)	11,3 (4,5)	12,8 (5,1)	11,4 (4,6)	7,5 (3,0)
Feijão guandu	10,9 (4,4)	11,6 (4,6)	12,1 (4,8)	11,3 (4,5)	7,4 (3,0)
Sorgo	10,9 (4,4)	12,5 (5,0)	12,5 (5,0)	10,7 (4,3)	7,1 (3,0)
Crotalária	10,8 (4,3)	11,1 (4,4)	11,3 (4,5)	10,5 (4,2)	7,5 (3,0)
Teste F	1,32 ^{ns}	1,70 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,67 ^{ns}
CV (%)	11	12	18	11	8
<i>Interação V×I</i>					
Teste F	1,13 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,07 ^{ns}	1,15 ^{ns}

^a APU: antes do peneiramento úmido; MV: monocultura de milho no verão; SV: monocultura de soja no verão; RV: rotação soja/milho no verão; AF: rotação arroz/feijão/algodão/feijão no verão. ^b Valores entre parênteses se referem à quantidade de carbono constituinte de polissacarídeos considerando a proporção (em massa) C:CH₂O = 0,40. Valores seguidos por letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ** $P < 0,05$; * $P < 0,05$; ^{ns} não significativo.

Além dos diferentes tipos de fontes de polissacarídeos no solo, a diferente natureza e quantidade de minerais de argila associados aos compostos orgânicos em diferentes solos pode ser um dos principais fatores que explica a diferença entre os resultados de outros trabalhos e do presente trabalho. DONTSOVA & BIGHAM (2005) observaram um aumento de duas vezes na sorção de um polissacarídeo (xantana) em superfícies de caulinita em relação à superfície de esmectita. Esses autores também verificaram que a sorção desse polissacarídeo aos minerais de argila se relacionou com outras propriedades, tais como a área superficial dos minerais e capacidade de troca de cátions. Dessa forma, a variação desses atributos em diferentes solos pode explicar as diferentes relações entre carboidratos e atributos de agregação nos diferentes trabalhos.

Considerando a proporção em massa C:CH₂O em carboidratos igual a 0,40, é possível verificar que, no presente trabalho, a quantidade de carbono constituinte de PST representou, em média, 23% do COT (Tabelas 2 e 3). Por sua vez, PST foi constituído em 81–90% por PAD. Esses resultados indicam grande participação de polissacarídeos de cadeias não-celulósicas no solo. Dessa forma, polissacarídeos facilmente hidrolisáveis originários dos resíduos vegetais, como a pectina e o amido, e de microorganismos, como a dextrana e a xantana, representaram a maior parte dos polissacarídeos do solo.

A composição química do material que origina polissacarídeos é um dos principais fatores que influenciam seus teores no solo (OADES, 1984). WISNIEWSKI & HOLTZ (1997) verificaram que a relação C/N dos resíduos de milho foi igual a 43/1. É uma das mais altas relações C/N dentre os resíduos de culturas utilizadas no Brasil em sistema de semeadura direta (AITA et al. 2001; HEINRICHS et al., 2001; TORRES et al., 2005). Portanto, os resíduos produzidos na seqüência MV podem ter contribuído para a menor decomposição microbiana de PAD originário dos resíduos vegetais, aumentando os seus teores e contribuindo para maior estabilidade de agregados do solo.

Além disso, a intensidade de decomposição dos resíduos das culturas é dependente da diversidade microbiana do solo. Os decompositores no solo são

constituídos por quatro grupos principais: celulolíticos, hemicelulolíticos, pectinolíticos e ligninolíticos (GHIZELINI, 2005). Quanto maior é a diversidade microbiana, mais rápida é a degradação dos resíduos (TAUK, 1990). Dessa forma, a maior diversidade de resíduos devido aos cultivos intercalados anualmente de três diferentes culturas de verão (arroz, feijão e algodão) na seqüência AF, em comparação aos resíduos produzidos apenas pelo cultivo de milho na seqüência MV, pode ter proporcionado maior diversidade microbiana do solo, o que provocou uma degradação mais intensa dos compostos orgânicos do solo, resultando na menor estabilidade de agregados do solo em AF.

No entanto, para a tomada de decisão sobre a escolha de seqüências de culturas, outros aspectos agronômicos, além daqueles relacionados à influência sobre os atributos físicos do solo, devem ser considerados. A alternância de culturas é considerada como uma das estratégias para o controle de doenças e ervas invasoras (BUHLER et al., 1997; SANTOS et al., 2000). Todavia, quando o objetivo principal da adoção do sistema de semeadura direta é a melhoria de atributos físicos do solo, principalmente quando se deseja recuperar áreas fisicamente degradadas pela erosão hídrica, o uso de culturas com maior potencial para o aumento de estabilidade de agregados deve ser considerado.

É conhecido que a ação do sistema radicular das culturas também tem influência na estabilidade de agregados do solo (MILLER & JASTROW 1990; SILVA & MIELNICZUK, 1997). Isso ocorre por meio da produção de exudatos (MOREL et al., 1991), do secamento do solo pelas raízes (MATERECHERA et al. 1992) e do favorecimento da atividade microbiana, também responsável pela produção de agentes cimentantes (OADES, 1984; OADES & WATERS, 1991; IVANOV & CHU, 2008). A diferença de quantidade e taxa de renovação de raízes entre as diferentes seqüências de culturas pode ter contribuído para a diferença observada no teor de COT e polissacarídeos nos agregados do solo e sobre sua estabilidade.

Um outro fator importante relacionado à influência das seqüências de culturas sobre a estabilidade de agregados do solo é a quantidade de resíduos vegetais sobre a superfície do solo. MULUMBA & LAL (2008) verificaram relação significativa entre

quantidade de cobertura do solo com o DMP ($R^2=0,87$). Dessa forma, a maior permanência de resíduos do milho sobre o solo em decorrência de sua menor taxa de decomposição, devido a sua maior relação C/N, contribuiu para a maior estabilidade de agregados do solo em MV. (citar dados da tese do Corá)

4.3. Distribuição de carbono orgânico e polissacarídeos nas classes de agregados

Considerando-se a média de teores entre todas as seqüências de culturas (verão ou inverno) para cada classe de tamanho de agregados do solo, verificaram-se os maiores teores de COT, PST e de PAD nos agregados com diâmetro entre 2,00–1,00 mm e os menores teores nos agregados <0,25 mm (Figura 9).

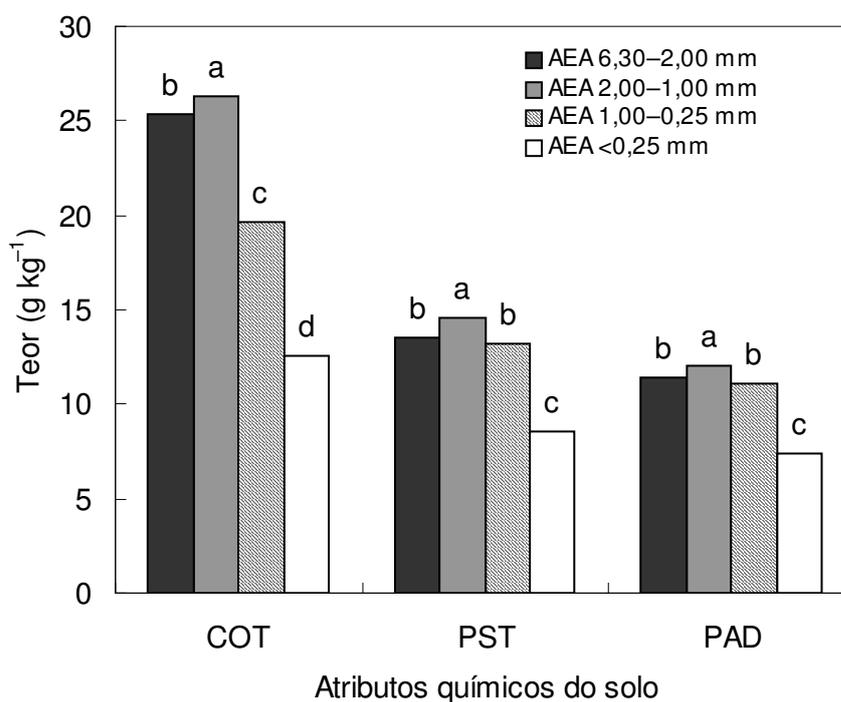


Figura 10. Teor de carbono orgânico total e polissacarídeos em diferentes classes de tamanho de agregados do solo. As médias com as mesmas letras sobre as colunas para os mesmos atributos químicos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). AEA: agregados estáveis em água; COT: carbono orgânico total; PST: polissacarídeos totais; PAD: polissacarídeos extraídos em ácido diluído.

Os menores teores de COT e polissacarídeos em agregados <0,25 mm também foram verificados em vários outros trabalhos realizados (ELLIOT, 1986; BEARE, 1994; PUGET et al., 1995; ANGERS & GIROUX, 1996; LIU et al., 2005). A variação no teor de COT e de polissacarídeos em agregados de diferentes classes de tamanho pode ser devido a um acúmulo de produtos da decomposição de resíduos vegetais em algumas classes de tamanho de agregados (GUGGENBERGER et al., 1995) e à maior presença de hifas de fungos e pequenas raízes em macroagregados (TISDALL & OADES, 1982).

4.4. Relação entre atributos químicos e de agregação do solo

O valor de IEA e de DMP se correlacionou positivamente com os teores de COT, PST e PAD (Tabela 5). A porcentagem de agregados com diâmetro entre 6,30–2,00 mm se correlacionou positivamente com o teor de PST e a porcentagem de agregados <0,25 mm correlacionou-se negativamente com os teores de COT, PST e PAD. Esses resultados de correlação mostram que, quando se considera outras fontes de variação da estabilidade de agregados dos solo além da influência de culturas, é possível verificar a ação tanto de COT quanto de polissacarídeos no aumento da agregação do solo.

Tabela 5. Correlação entre atributos químicos e de agregação do solo

Atributo dependente	COT ^a	PST	PAD
IEA	0,71 ^{***}	0,51 ^{***}	0,70 ^{***}
DMP	0,26 [*]	0,32 ^{**}	0,25 [*]
AEA 6,30–2,00 mm	ns	0,27 [*]	Ns
AEA 2,00–1,00 mm	0,41 ^{***}	0,26 [*]	Ns
AEA 1,00–0,25 mm	ns	-0,29 ^{**}	Ns
AEA < 0,25 mm	-0,56 ^{***}	-0,38 ^{***}	-0,33 ^{**}

^a COT: carbono orgânico total; PST: polissacarídeos totais; PAD: polissacarídeos extraídos em ácido diluído; *r*: coeficiente de correlação de Pearson; IEA: índice de estabilidade de agregados; DMP: diâmetro médio ponderado de agregados. AEA: porcentagem de agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho. *** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; ns: não significativo.

Os resultados do presente trabalho discordam daqueles obtidos por SPACCINNI et al. (2004). Esses autores verificaram que o DMP não se correlacionou com o teor de carboidratos do solo, mas teve correlação positiva com COT em um Cambissolo (540 g kg⁻¹ de argila) e em um Argissolo (740 g kg⁻¹ de argila). Em outro solo (Argissolo com 660 g kg⁻¹ de argila), os autores verificaram correlação positiva de DMP com o teor de carboidratos do solo, sem correlação com o teor de COT do solo. A intensidade de ação de compostos orgânicos no solo depende da quantidade e do tipo de minerais de argila no solo (DUIKER et al., 2003). Portanto, a variação de atributos mineralógicos, tais como a quantidade de óxidos e hidróxidos de ferro pouco cristalinos pode ter contribuído para os diferentes resultados de relação entre atributos químicos e de agregação do solo no presente trabalho e no trabalho de SPACCINNI et al. (2004).

5. CONCLUSÕES

1) O cultivo de milho em monocultura no verão favoreceu a formação de agregados estáveis em água com diâmetro entre 6,30–2,00 mm e proporcionou o maior teor de carbono orgânico total e polissacarídeos extraídos em ácido diluído nessa classe de tamanho de agregados. Isso indica que a influência das culturas sobre a estabilidade de agregados foi intermediada pelos teores de carbono orgânico total e polissacarídeos extraídos em ácido diluído no solo.

2) Não foi verificada diferença na agregação do solo entre culturas de inverno utilizadas: milho, girassol, nabo forrageiro, milho, guandu, sorgo e crotalária.

3) Os maiores teores de COT, PST e PAD foram verificados nos agregados com diâmetro entre 2,00–1,00 mm e os menores teores nos agregados <0,25 mm.

6. REFERÊNCIAS

ABIVEN, S. **Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol.** 2004. 261p. Tese (Doutorado em Biologia e Agronomia) – École Doctorale Vie, Agronomie, Santé, L'Agrocampus Rennes, 2004.

ABIVEN, S. et al. Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials. **European Journal of Soil Science**, Amsterdam, v.58, n.1, p. 239–247, 2007.

ABIVEN, S. et al. A model to predict soil aggregate stability dynamics following organic residue incorporation under field conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.72, n.1, p.119-125, 2008.

ADESODUN, J.K.; MBAGWU, J.S.C.; N. OTI. Structural stability and carbohydrate contents of an ultisol under different management systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.60, p.135–142, 2001.

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

AMARANTE JUNIOR, O.P.; SANTOS, T.C.R.; NUNES, G.S. Concise revision of methods for determination of the herbicide dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D). **Química Nova**, São Paulo, v.26, n.2, p.223-229, 2003.

ANGERS, D.A.; CARON, J. Plant-induced changes in soil structure: Processes and feedbacks. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.42, p.55-72, 1998.

ANGERS, D.A.; GIROUX, M. Recently-deposited organic matter in soil water-stable aggregates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, p.1547–1551, 1996.

ANGERS, D.A.; MEHUYS, G.R. Effects of cropping on carbohydrate content and water-stable aggregation of a clay soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.69, p.373-380, 1989.

BEARE, H.M. et al. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.797–495, 1994.

BRADFIELD, R. Soil Conservation from the view point of soil physics. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v.29, n.2, p.85-92, 1937.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BROMILOW, R.H. Paraquat and Sustainable Agriculture. **Pest Management Science**, Sussex, v.60, p.340-349, 2003.

BUHLER, D.D.; HARTZLER, R.G.; FORCELLA, F. Implications of weed seed bank dynamics to weed management. **Weed Science**, Champaign, v.45, p.329–336, 1997.

CAPRIEL, P. et al. Relationship between soil aliphatic fraction extracted with supercritical hexane, soil microbial biomass, and soil aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.415-420, 1990.

CARON, J.; KAY, B.D.; STONE, J.A. Modeling temporal changes in structural stability of a clay loam soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.1597-1604, 1992.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.99-105, 1990.

CHANEY, K.; SWIFT, R.S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.35, p.223-230, 1984.

CHANTIGNY et al. Soil aggregation and fungal and bacterial biomass under annual and perennial cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.262-267, 1997.

CHESHIRE, M.V. et al. Nature of carbohydrate and its association with soil humic substances. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.43, p.359-373, 1992.

CHESHIRE, M.V.; SPARKING, J.P.; MUNDIE, C.M. Effects of periodate treatment of soil carbohydrates constituents and soil aggregation. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.34, 105-112, 1983.

CUNHA, E.Q. et al. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.665-674, 2007.

CZARNES, S. et al. Root- and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 51, p.435–443, 2000.

DALAL, R.C.; HENRY, J. Cultivation effects on carbohydrates contents of soil and soil fractions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 52, 1361–1365, 1988.

DE LEO, P.C.; BAVEYE, P.; GHIORSE, W.C. Use of confocal laser scanning microscopy on soil thin-sections for improved characterization of microbial growth in

unconsolidated soils and aquifer materials. **Journal of Microbiological Methods**, v.30, p.193–203, 1997.

DEGENS, B.P.; SPARLING, G.P.; ABBOTT, L.K. Increasing the length of hyphae in a sandy soil increases the amount of water-stable aggregates, **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.3, p.149-159, 1996.

DONTSOVA, K.M.; BIGHAM, J.M. Anionic polysaccharide sorption by clay minerals. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, p.1026-1035, 2005.

DOORENBOS, J.; KASSAM, H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. (Irrig. Drainage Paper 33).

EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.18, p.64-73, 1967.

ELLIOT, E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.627-633, 1986.

ELMHOLT, S. et al. Soil management effects on aggregate stability and biological binding. **Geoderma**, Amsterdam, v.144, p.455–467, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Tecnologias de produção de soja**: Paraná 2005. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 224p.

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, p.192-194, 1993.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (FEBRAPDP). **Área de plantio direto no mundo**. 2008. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/port/plantio_direto.html>. Acesso em: 20 mai. 2008.

GEE, G.W., BAUDER, J.W., 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), **Methods of soil analysis: Part 1 - Physical and Mineralogical Methods**. Madison: ASA-SSSA, 1986. p.383–411.

GHIZELINI, A. M. **Sucessão de fungos em acículas de *Pinus taeda* em decomposição**. 2005. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GOLCHIN, A. et al. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.32, p.1043-1068, 1994.

GONZALEZ, B.C.R.; COSTA, S.M.A.L. Agricultura brasileira: modernização e desempenho. **Teoria do Endividamento Econômico**, Passo Fundo, v.5, n.10, p.7-35, mai. 1998.

GU, B.; DONER, H.E. The interaction of polysaccharides with silver hill ite. **Clays and Clay Minerals**, New York, v.40, p.151–156, 1992.

GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; THOMAS, R.J. Lignin and carbohydrates alteration in particle-size separates of an Oxisol under tropical pastures following native savannas. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.27, p.1629–1638, 1995.

HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.42, p.73-83, 1990.

HEINRICHS, R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.331–340, 2001.

Instituto de Economia Agrícola (IEA), **Plantio direto já é aplicado em 70% da área de soja do País**. 2008. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/OUT/verTexto.php?codTexto=2551>>. Acesso em: 22 jun. 2008.

IVANOV, V.; CHU, J. Applications of microorganisms to geotechnical engineering for bioclogging and biocementation of soil in situ. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, Dordrecht, v.7, p.139–153, 2008.

KEMPER, W.D. Aggregate stability. In: Black, C.A. et al. (Eds.), **Methods of Soil Analysis**. Part I. Madison: ASA and SSSA, 1965. p.511-519.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), **Methods of soil analysis: Part 1 - Physical and Mineralogical Methods**. Madison: ASA-SSSA, 1986. p.425-442.

KOHL, R.A.; TAYLOR, S.A. Hydrogen bonding between the carbonyl group and wyoming bentonite. **Soil Science**, Baltimore, v.91, p.223-227, 1961.

KÖPPEN, W. **Das Geographische System der Klimatologie**: Handbuch der Klimatologie I. Berlin: Gebruder Borntrager, 1936. 44 p.

LIU, A.; MA, B.L.; BOMKE, A.A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, p.2041–2048, 2005.

LOWE, L.E., 1993. Total and labile acid extractable polysaccharide analysis of soils. In: Carter, M.R. (Ed.), **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Lewis, 1993. p.373–376.

MACHADO, J.A.; BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.2, p.81-84, 1978.

MADARI, B. et al. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.80, p.185–200, 2005.

MATERECHERA, S.A. et al. Modification of soil aggregation by watering regime and roots growing through beds of large aggregates. **Plant and Soil**, The Hague, v.160, p.57-66, 1994.

MATERECHERA, S.A.; DEXTER, A.R.; ALSTON, A.M. Formation of aggregates by plant roots in homogenized soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.142, 69-79, 1992.

MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.5, p.579–584, 1990.

MOREL, J.L. et al. 1991. Influence of maize root mucilage on soil aggregate stability. **Plant and Soil**, The Hague, v.136, p.111–119, 1991.

MULUMBA, L.N.; LAL, R., 2008. Mulching effects on select soil properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.98, p.106–111, 2008.

MUZILLI, O. **Curso básico para instrutores em manejo e conservação do solo**. Londrina: IAPAR. 1991, 20p.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger Principles of Biochemistry**, 3.ed. New York: Worths Publishers, 2000, 949p.

OADES, J.M. Mucilages at the root surface. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.29, p.1-16, 1978.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, The Hague, v.76, p.319-337, 1984.

OADES, J.M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.29, p.815-828, 1991.

OLIVEIRA, P.H.B. **Notas sobre história da agricultura através do tempo**. Rio de Janeiro: Fase, 1989.

PARFITT, R.L.; GREENLAND, D.J. Adsorption of polysaccharide by montmorillonite. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.34, 862-866, 1970.

PICCOLO, A.; MBAGWU, J.S.C. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, p.1801-1810, 1999.

PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.46, p.449–459, 1995.

ROBERSON, E. B.; SARIG, S.; FIRESTONE, M. K. Cover crop management of polysaccharides-mediated aggregation in an Orchard Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, p.734-739, 1991.

ROBERSON, E.B. et al. Nutritional management of microbial polysaccharide production and aggregation in an agricultural soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.59, p.1587–1594, 1995.

ROMEIRO, A.R. Organização da produção, tecnologia e condições de trabalho na agricultura. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v.46, n.13, p.116–127, 1992.

SALTON, J.C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.11–21, 2008.

SANTOS, H.P. et al. Efeito de manejos de solo e de rotação de culturas de inverno no rendimento e doenças de trigo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2355–2361, 2000.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.3, p.113-117, 1997.

SKJEMSTAD, J.O.; JANIK, L.J.; TAYLOR, J.A. Non-living soil organic matter: what do we know about it? **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.38, p.667-80, 1998.

SPACCINI, R. et al. Carbohydrates and aggregation in lowland soils of Nigeria as influenced by organic inputs. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.75, p.161–172, 2004.

SZMRECSÁNYI, T. **Pequena história da agricultura no Brasil**. 3ed. São Paulo: Contexto, 1977.

TAUK, S.M. Biodegradação de resíduos orgânicos no solo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.20, n.1–4, p.299–301, 1990.

THOMAS, R.S. et al. Aggregation of a silty loam soil by mycorrhizal onion roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.1494-1499, 1986.

TISDALL, J.M.; COCKROFT, B.; UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials, microbial activity and physical disruption. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.16, p.9-17, 1978.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.17, p.429-441 ; 1979.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic Matter and water-stable aggregates in soil. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, p.141-163, 1982.

TORRES, J.L.R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.609–618, 2005.

WALKLEY, A., BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v.34, p.29–38, 1934.

WATTEL-KOEKKOEK, E.J.W. et al. Amount and composition of clay-associated soil organic matter in a range of kaolinitic and smectitic soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.99, p.27–49, 2001.

WHITELEY G. M.; DEXTER, A. R. Behaviour of roots in cracks between soil peds. **Plant and Soil**, The Hague, v.74, p.153-162, 1983.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G.P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.32, n.11, p.1191–1197, 1997.

WOHLENBERG, E.V. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.891-900, 2004.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of physical nature of soil erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v.28, p.337-351, 1936.

ZHU Y.G.; MILLER, R.M. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. **Trends in Plant Science**, London, v.8, n.9, p.407-409, 2003.