

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**RELAÇÃO ENTRE MACROFAUNA, AGREGAÇÃO E ATRIBUTOS
EDÁFICOS EM SEQUÊNCIA DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO**

ITAYNARA BATISTA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU, SÃO PAULO

Abril - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**RELAÇÃO ENTRE MACROFAUNA, AGREGAÇÃO E ATRIBUTOS
EDÁFICOS EM SEQUÊNCIA DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO**

ITAYNARA BATISTA

Orientadora: Prof. Dra. Maria Helena Moraes

Co-orientadores: Prof. Dr. José Eduardo Corá e Dra. Maria Elizabeth Fernandes Correia

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU, SÃO PAULO

Abril – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B333r Batista, Itaynara, 1986-
Relação entre macrofauna, agregação e atributos edáficos em sequência de culturas sob plantio direto / Itaynara Batista. - Botucatu : [s.n.], 2015
xiv, 94 f. : fots. color., ils. color., grafs. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015

Orientador: Maria Helena Moraes

Coorientadores: José Eduardo Corá

Maria Elizabeth Fernandes Correia

Inclui bibliografia

1. Plantio direto. 2. Matéria orgânica. 3. Solos - Conservação. 4. Fauna do solo. I. Moraes, Maria Helena. II. Corá, José Eduardo. III. Maria Elizabeth Fernandes Correia. IV. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. V. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNICAS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: RELAÇÃO ENTRE MACROFAUNA, AGREGAÇÃO E ATRIBUTOS EDÁFICOS EM SEQUÊNCIA DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO

AUTORA: ITAYNARA BATISTA

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. MARIA ELIZABETH FERNANDES CORREIA

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES

Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Profa. Dra. NILVANIA APARECIDA DE MELLO

Departamento Acadêmico de Ciências Agrárias / Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa. Dra. MARIA DE FÁTIMA GUIMARÃES

Departamento de Agronomia / Universidade Estadual de Londrina

Profa. Dra. LUCIA HELENA CUNHA DOS ANJOS

Departamento de Ciência do Solo / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO

Centro de Ciências Agrárias / Universidade do Oeste Paulista

Data da realização: 27 de abril de 2015.

“A ciência nos traz conhecimento; a vida, sabedoria”.

(Will Durant)

À minha mãe Lenyr, à minha irmã
Selenir e ao meu esposo Rodrigo
pelo amor e companheirismo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pelas oportunidades que tem me proporcionado.

Agradeço à minha família, mãe Lenyr e irmã Selenir pelo carinho. Ao meu esposo Rodrigo pelo apoio, carinho, paciência e incentivo durante o doutorado. À minha orientadora Dra. Maria Helena Moraes por permitir que eu realizasse um trabalho novo, pela sua compreensão e apoio desde o início.

À minha co-orientadora Dra. Maria Elizabeth Fernandes Correia pelo apoio desde a graduação e por sempre ter um bom conselho para dar.

Ao meu co-orientador Dr. José Eduardo Corá por permitir que uma “forasteira” fizesse um monte de “buracos” no seu experimento de longa duração, por estar sempre à disposição para uma boa conversa sempre recheada com muitas dúvidas e pelo seu positivismo que se torna uma injeção de ânimo.

À minha orientadora do estágio na Holanda (Wageningen University) Dra. Mirjam Pulleman que é a maior especialista do mundo na minha linha de pesquisa e me privilegiou com conversas muito valiosas e enriquecedoras.

À Wageningen University pela acolhida e por me proporcionar conhecimento acadêmico e pessoal. Aos amigos do Soil Quality Department, em especial à Tatiana, Walter, Edivaldo, Carlo, XinXin, Joana, Giovani e ao Professor Dr. Ron de Goede pelo auxílio na análise multivariada.

Aos Professores Marcos Gervasio e Dirceu Maximino Fernandes pela solicitude.

Aos amigos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, em especial à Lívia, Rodrigo, Daniel e Vinícius, meus parceiros de orientação e Camila Abrahão pela parceria.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, em especial à Sônia, que me auxiliou em muitas análises, ao Seu Hélio que macerou muitas amostras comigo, à Neinha que sempre me esperava para tomar café da manhã, inclusive aos sábados, ao José Carlos que em muitos momentos deu suporte, à Sylvinha, Felipe e Adriana que sempre ajudaram nas questões burocráticas.

À Eliane, secretária do PG-Agricultura que sempre esteve disposta a ajudar, às secretárias da seção de PG pelo apoio, em especial à Taynan.

Aos meus amigos de turma pela parceria. Aos amigos que fiz em Botucatu, em especial ao Raimundo, Rita, Aline e amigos do LERF.

Aos meus queridos amigos da Rural, Leysimar, Laís, Natália, Felipe, Keila, Tiara e um mais que especial ao Deivid, meu irmãozinho, meu parceiro, que esteve comigo desde o início, na coleta dos dados, desvendando os mistérios do R e do Numerical Ecology e na escrita da tese mesmo estando agora a 10 mil km de distância, pois para um amigo não tem distância.

Ao coordenador do PG-Agricultura Prof. Carlos Alexandre Crusciol que sempre foi muito atencioso.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp de Botucatu pela oportunidade de formação acadêmica, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura pelo ensino de pós-graduação, à CAPES pela concessão das bolsas de doutorado no Brasil e no exterior e ao CNPq pela concessão do apoio financeiro para execução da tese por meio do Projeto Universal.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE APÊNDICES	XIV
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4.1 Formação de agregados e sua relação com os fatores químicos, físicos e biológicos e a cobertura vegetal	8
4.2 Fauna do solo e sua relação com os atributos edáficos e a cobertura vegetal	12
5 MATERIAL E MÉTODOS	16
5.1 Localização e descrição da área de estudo	16
5.2 Delineamento experimental e tratamentos	17
5.3 Amostragem do solo	21
5.4 Atributos químicos do solo	22
5.5 Atributos físicos do solo	22
5.6 Fracionamento da matéria orgânica do solo	23
5.7 Identificação morfológica dos agregados	23
5.8 Análise química e física dos agregados	24
5.9 Macrofauna edáfica	25
5.10 Análise de palhada/serapilheira	26
5.11 Análise estatística dos dados obtidos	26
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1 Agregados	30
6.1.1 Composição Relativa	30
6.1.2 Estabilidade de agregados	31
6.1.3 Conteúdo de carbono orgânico nos tipos morfológicos de agregados	35
6.1.4 Partição da variabilidade	45
6.2 Macrofauna do solo	51
6.2.1 Efeito da cobertura vegetal e sazonalidade na comunidade da macrofauna do solo	51
6.2.2 Relações entre a macrofauna e as propriedades do solo	59
6.3 Relações entre fauna, agregação, propriedades químicas e físicas do solo	69
7 CONCLUSÕES	78
8 REFERÊNCIAS	79

APÊNDICE	89
----------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição relativa dos tipos morfológicos de agregados nas duas épocas de avaliação na camada de 0 - 0,1m do solo (altura do bloco).....	31
Tabela 2. Resultados da análise de variância (Teste F) para as avaliações dos tratamentos, tipos morfológicos de agregados e sazonalidade.	32
Tabela 3. Valores médios de diâmetro médio ponderado (mm) de agregados de diferentes classes morfológicas: Fisicogênico (F), Intermediário (I) e Biogênico (B) em duas épocas de avaliação.	33
Tabela 4. Valores médios de diâmetro médio ponderado (mm) dos agregados de diferentes classes morfológicas em dois períodos de avaliação.	35
Tabela 5. Valores médios de carbono orgânico total dos diferentes tipos morfológicos de agregados em duas épocas de avaliação.	39
Tabela 6. Intervalos de Confiança e teste t de comparação de médias dos teores de carbono orgânico total para os diferentes tipos morfológicos de agregados entre os tratamentos do experimento (S-C, M-M, S/M-M e S/M-C) e áreas de referência (PC e VN).	39
Tabela 7. Valores médios de carbono orgânico particulado (g carbono kg ⁻¹ de agregados) de agregados de diferentes classes morfológicas: Fisicogênico (F), Intermediário (I) e Biogênico (B) em duas épocas de avaliação.	40
Tabela 8. Valores médios de carbono orgânico particulado (g carbono kg ⁻¹ de agregados) dos agregados de diferentes tipos morfológicos em duas épocas de avaliação.	41
Tabela 9. Intervalos de confiança e teste t das comparações dos teores de carbono orgânico particulado entre os tratamentos do experimento (S-C; M-M; S/M-M e S/M-C) e áreas de referência (PC e VN).	42
Tabela 10. Resultado da ANOVA multivariada dos efeitos de tratamento, tipos morfológicos e sazonalidade na variação de propriedades químicas e físicas de agregados.	45
Tabela 11. Densidade média (indivíduos m ⁻²) de organismos da macrofauna encontrados na camada de 0,00-0,30 m do solo.	52
Tabela 12. Densidade média (indivíduos m ⁻²) de organismos da macrofauna edáfica encontrados na serapilheira/palhada.	53
Tabela 13. Densidade total da macrofauna edáfica (indivíduos m ⁻²), riqueza e Índice de Pielou na camada de 0,00-0,30m.	55
Tabela 14. Intervalos de confiança e teste t das comparações entre os tratamentos do experimento (S-C, M-M, S/M-M e S/M-C) e áreas de referência (PC e VN)...	56

Tabela 15. Resultados da análise de variância (Teste F) para as avaliações dos tratamentos e sazonalidade da palhada.....	58
Tabela 16. Valores médios de palhada/serapilheira acumulada na superfície do solo e conteúdos de nutrientes desse material.....	59
Tabela 17. RDAP constrained para os parâmetros de propriedades do solo, mostrando a correlação com a macrofauna do solo.	60
Tabela 18. Resultados da ANOVA multivariada dos efeitos de tratamento, camada e sazonalidade na variação da macrofauna edáfica.	64
Tabela 19. Resultados da análise de variância (Teste F) para as avaliações dos tratamentos e sazonalidade dos dados do solo na camada de 0-30 cm.	65
Tabela 20. Média de atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-30 cm.	67
Tabela 21. Média dos teores de Nitrogênio (g kg^{-1}) na palhada/serapilheira e em diferentes camadas do solo.	69
Tabela 22. RDAP constrained para os parâmetros de macrofauna edáfica, mostrando a correlação com os agregados do solo.	70

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Valores médios mensais de temperatura do ar e valor acumulado de precipitação pluviométrica para Jaboticabal, SP (1971-2014). 16
- Figura 2.** Desenho da área do experimento em sistema de plantio direto localizada em Jaboticabal, SP..... 17
- Figura 3.** Análise de componentes principais da seleção dos tratamentos. S: Índice S; DS: densidade do solo, 1: rotação soja (S)-milho (M) (verão)/Crotalária (inverno); 2: SM/Guandu; 3: SM/Nabo; 4: SM/Milheto; 5: SM/Milho; 6: SM/Sorgo; 7: SM/Girassol; 8: MM/Crotalária; 9: MM/Guandu; 10: MM/Nabo; 11: MM/Milheto; 12: MM/Milho; 13: MM/Sorgo; 14: MM/Girassol; 15: SS/Crotalária; 16: SS/Guandu; 17: SS/Nabo; 18: SS/Milheto; 19: SS/Milho; 20: MM/Sorgo; 21: SS/Girassol. 20
- Figura 4.** Valores médios mensais de temperatura do ar e valor acumulado de precipitação pluviométrica para Jaboticabal, SP nos meses de condução do experimento: Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro do ano de 2012 e Janeiro, Fevereiro e Março do ano de 2013. 21
- Figura 5.** Amostragem para análise de solo, agregados e macrofauna do solo em experimento sob sistema de plantio direto em Jaboticabal - SP..... 22
- Figura 6.** Exemplo dos diferentes tipos de agregados da fração 9,7-4,0 mm. (A) agregado fisicogênico, (B) agregado intermediário e (C) agregado biogênico. 24
- Figura 7.** Valores médios de carbono orgânico total (COT) para os diferentes tipos morfológicos de agregados em função dos tratamentos. Valores seguidos por letras maiúsculas iguais entre tratamentos em um mesmo tipo morfológico de agregado e minúsculas iguais entre diferentes tipos morfológicos de agregados para um mesmo tratamento, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. F: Fisicogênico; I: Intermediário; B: Biogênico. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa. Médias provenientes de 24 dados. 37
- Figura 8.** Valores médios de carbono orgânico total (COT) para os diferentes tipos morfológicos de agregados em duas épocas de avaliação. Valores seguidos por letras maiúsculas iguais entre épocas em um mesmo tipo morfológico de agregado e minúsculas iguais entre diferentes tipos morfológicos de agregados na mesma época de avaliação, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. F: fisicogênico; I: intermediário; B: biogênico. Médias provenientes de 12 repetições. 38

Figura 9. Valores médios das frações de carbono orgânico associado aos minerais (COam) para as diferentes classes morfológicas de agregados (I) em duas épocas de avaliação (II). Valores seguidos por letras maiúsculas iguais entre barras não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. F: Fisicogênico; I: Intermediário; B: Biogênico. Médias provenientes de 24 e 36 dados para as figuras I e II respectivamente. 43

Figura 10. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância dos atributos químicos e físicos dos agregados em função dos tratamentos, exibindo 23,61% da variância dos atributos e 95,6% da variância total. Eigenvalues dos três primeiros eixos são 0,2002, 0,03595 e 0,01094. A soma de todos os eixos canônicos é 24,70%. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria. DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; SB: soma de bases; COT: carbono orgânico total; COT: carbono orgânico particulado; COAM: carbono orgânico associado aos minerais; CN: relação carbono/nitrogênio..... 46

Figura 11. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância dos atributos químicos e físicos dos agregados em função dos tipos morfológicos, exibindo 26,84% da variância dos atributos e 100% da variância total. Eigenvalues dos dois eixos canônicos são 0,2471 e 0,02132. A soma de todos os eixos canônicos é 26,84%. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria. Quant: quantidade de agregados; DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; SB: soma de bases; COT: carbono orgânico total; COp: carbono orgânico particulado; COAM: carbono orgânico associado aos minerais. CN: relação carbono/nitrogênio; F: Fisicogênico; I: Intermediário; B: Biogênico..... 48

Figura 12. Correlação triplot baseada na Análise de Redundância dos atributos químicos e físicos dos agregados em função da sazonalidade e tratamentos, exibindo 51,5% da variância dos atributos e 73,3% da variância total. Eigenvalues dos quatro primeiros eixos canônicos são 0,2964, 0,2185, 0,08876 e 0,04255. A soma de todos os eixos canônicos é 70,3% e a interação explica 61,1% da variabilidade. b) Correlação triplot baseada na Análise de Redundância dos atributos químicos e físicos dos agregados em função dos tipos morfológicos e sazonalidade, exibindo 33,7% da variância dos atributos e 85,5% da variância total. Eigenvalues dos doisquatro primeiros eixos canônicos são 0,2312, 0,1058, 0,04029 e 0,0143. A soma de todos os eixos canônicos é 39,4% e a interação explica 29,5% da variabilidade. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria. Quant: quantidade de agregados; DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; SB:

soma de bases; COT: carbono orgânico total; COT: carbono orgânico particulado; COAM: carbono orgânico associado aos minerais; CN: relação carbono/nitrogênio; F: Fisicogênico; I: Intermediário; B: Biogênico. 50

Figura 13. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica (%) nas diferentes áreas de estudo nas épocas seca e chuvosa. Outros: Diptera, Gastropoda, Hymenoptera, Isopoda, Larva de Lepidoptera, Orthoptera, Psocoptera, Pupa de Coleoptera, Pupa de Lepidoptera, Sternorrhyncha e Thysanoptera. S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa. 54

Figura 14. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância parcial (RDAP) da macrofauna do solo em função de propriedades químicas e físicas do solo, exibindo 15,21% da variância da abundância e 79,18% da variância de abundância total. Eigenvalues (autovalores) dos quatro primeiros eixos são 0,1113, 0,04077, 0,02983 e 0,006210. A soma de todos os eixos canônicos é 19,21%. PT: porosidade total; COP: Carbono orgânico particulado; Al: alumínio; P: fósforo; Ara: Araneae; Auc: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Coli: casulo Oligochaeta; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Dip: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dipt: Diptera; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hym: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Lco: Larva de Coleoptera; Ldi: Larva de Diptera; Lle: Larva de Lepidoptera; Lfo: Larva de Formicidae; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pso: Psocoptera; Pco: Pupa de Coleoptera; Ple: Pupa de Lepidoptera; Sym: Symphyla; Thy:Thysanoptera; S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária. 61

Figura 15. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância (RDA) da macrofauna do solo em função da interação entre tratamentos e sazonalidade, exibindo 11,14% da variância da abundância e 56,60% da variância de abundância total. Eigenvalues (autovalores) dos quatro primeiros eixos 0,05774, 0,05372, 0,04102 e 0,02281. A soma de todos os canônicos é 17,37%. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Dip: Diplopoda; Diplu: Diplura; For: Formicidae; Het: Heteroptera; Iso: Isoptera; Lco: larva de Coleoptera; Lfo: larva de Formicidae; Oli: Oligochaeta. 63

Figura 16. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância (RDA) da macrofauna do solo em função dos tratamentos, exibindo 7,54% da variância da abundância e 87,88% da variância de abundância total. Eigenvalues (autovalores) dos três primeiros eixos são 0,04916, 0,02632 e 0,010320. A soma de todos os canônicos é 8,58%. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Dip:

Diplopoda; Diplu: Diplura; For: Formicidae; Het: Heteroptera; Iso: Isoptera; Lfo: larva de Formicidae; Oli: Oligochaeta; Sym: Symphyla..... 65

Figura 17. Distribuição Vertical dos grupos da macrofauna do solo e palhada/serrapilheira. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa..... 68

Figura 18. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância parcial (RDAP) dos agregados do solo em função da macrofauna edáfica, exibindo 18,12% da variância dos agregados e 81,70% da variância total. Eigenvalues dos quatro primeiros eixos são 0,148, 0,03324, 0,01644 e 0,0093. A soma de todos os canônicos é 22,18%. DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; SB: soma de bases; COT: carbono orgânico total; COT: carbono orgânico particulado; COAM: carbono orgânico associado aos minerais; CN: relação carbono/nitrogênio; Coli: casulo Oligochaeta; Col: Coleoptera; For: Formicidae; Isop: Isoptera; Lco: Larva de Coleoptera; Lfo: Larva de Formicidae; Oli: Oligochaeta. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria. 71

Figura 19. Dendrograma resultante da análise de agrupamento, evidenciando as distâncias entre as características químicas (H+Al, Ca, Mg, P, K, pH, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais) das diferentes classes de agregados: Fisicogênico (1), Intermediário (2) e Biogênico (3), além do solo (4). Distância Euclidiana e modo de ligação completa. 73

Figura 20. Valores médios dos teores de Carbono orgânico particulado (COp) no solo na camada de 0-0,10 m (a) e agregados Biogênicos (b) na época chuvosa de avaliação. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria, PC: Plantio Convencional e VN: Vegetação Nativa. Valores seguidos por letras maiúsculas iguais entre barras não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. 74

Figura 21. Dendrograma resultante da análise de agrupamento, evidenciando as distâncias entre as características químicas (H+Al, Ca, Mg, P, K, pH, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais). Distância Euclidiana e modo de ligação completa. Sendo a: Agregados Fisicogênicos, b: Agregados Intermediários, c: Agregados Biogênicos, d: amostras de solo (0,0-0,1 m); e: Comunidade da macrofauna edáfica. 1: Soja-Crotalaria; 2: Milho-Milho; 3: Soja/Milho-Milho; 4: Soja/Milho-Crotalaria, 5: plantio convencional e 6: vegetação nativa. 76

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1.** Valores médios dos atributos químicos das amostras de terra nas camadas 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C)..... 89
- Apêndice 2.** Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbon orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C)..... 90
- Apêndice 3.** Valores médios dos teores de areia, silte e argila das amostras de terra nas camadas 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C)..... 91
- Apêndice 4.** Valores médios de atributos físicos do solo nas camadas 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C)..... 92
- Apêndice 5.** Valores médios dos atributos químicos dos diferentes tipos morfológicos de agregados na camada de 0,0-0,1 m em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C)..... 93

1 RESUMO

O sistema de plantio direto (PD) é apresentado como técnica agrícola que melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. No entanto, ainda permanecem muitas questões quanto ao efeito do tipo e sequência de culturas sobre as interações planta-organismos-solo. O objetivo deste estudo foi investigar o efeito de sequências de culturas em sistema de plantio direto na comunidade da macrofauna edáfica e nas características químicas e físicas dos agregados em duas épocas de avaliação, seca e chuvosa em áreas de domínio morfológico de Mata Atlântica. As hipóteses testadas foram: i) a rotação de culturas com espécies de gramíneas/leguminosas (milho/soja) favorece a formação dos agregados de diferentes tipos morfológicos com diferentes características físicas e químicas, devido à atuação de raízes e a seleção alimentar pela macrofauna do solo; ii) a época de avaliação promove mudanças no ambiente para a formação dos agregados em função da cultura recente e da sazonalidade; iii) os agentes biológicos (macrofauna e raízes) alteram a dinâmica da matéria orgânica associada aos agregados do solo, devido à seleção alimentar pela macrofauna e pela atuação de raízes; iv) a rotação de gramíneas/leguminosas promove maior riqueza de indivíduos, uniformidade da macrofauna edáfica, maior abundância de grupos decompositores de matéria orgânica e engenheiros do ecossistema quando comparada com gramíneas ou com leguminosas, devido a melhoria na disponibilidade de recursos alimentares. O experimento foi realizado sob PD em Jaboticabal – SP, os tratamentos analisados foram: monocultura de soja (leguminosa) no verão e crotalária (leguminosa) na entressafra (S-C), monocultura de milho (gramínea) no verão e milho na entressafra (M-M), rotação soja/milho no verão e uma milho na entressafra (S/M-M) e rotação soja/milho no verão e crotalária no período de

entressafra (S/M-C). As amostragens foram realizadas em agosto de 2012 e março de 2013. Foi realizado o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS), a identificação da macrofauna edáfica, a identificação das vias de formação de agregados, tendo sido estabelecidos três tipos de agregados: fisiogênicos, biogênicos e intermediários. Para os diferentes tipos de agregados foram determinados a composição relativa, a estabilidade, a caracterização do complexo sortivo e o fracionamento granulométrico da MOS. A maior influência nas características dos agregados foi decorrente da espécie de cultura utilizada no manejo e não da rotação em si. Resíduos de crotalaria diminuíram a participação da macrofauna na estabilidade de agregados (diâmetro médio ponderado). Em agregados biogênicos foram encontrados menores teores de carbono orgânico particulado no tratamento com composição de plantas leguminosas. O tratamento S/M-C apresentou juntamente com S-C distribuição vertical mais uniforme entre os grupos da macrofauna no perfil de solo.

Palavras-chave: Agregação, matéria orgânica, agricultura de conservação.

RELATIONSHIP AMONG MACROFAUNA, AGGREGATION AND EDAPHIC ATTRIBUTES IN CROP SEQUENCE UNDER NO-TILLAGE. Botucatu, 2015, 94p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ITAYNARA BATISTA

Adviser: MARIA HELENA MORAES

Co-adviser: JOSÉ EDUARDO CORÁ

Co-adviser: MARIA ELIZABETH FERNANDES CORREIA

2 SUMMARY

The no-tillage system (NT) is presented as an agricultural technique that improves the chemical, physical and biological soil properties. However, many questions still remain as to the effect of the type and sequence of cultures on plant-soil-organisms interactions. The objective of this study was to investigate the effect of crop sequences in no-tillage system in the community of soil macrofauna and chemical and physical characteristics of aggregates in two evaluation periods, dry and wet in areas of morphological domain of Atlantic Forest. The hypotheses tested were: e) crop rotation with species of grass/legumes (corn/soybean) favors the formation of aggregates of different morphological types with different physical and chemical characteristics, due to the action of roots and food selection by soil macrofauna; ii) the evaluation period promotes changes in the environment for the formation of aggregates due to the recent culture and seasonality; iii) biological agents (macrofauna and roots) alter the dynamics of organic matter associated with soil aggregates due to food selection by macrofauna and action of roots; iv) the rotation of grass/legumes promotes greater richness of individuals, uniformity of soil macrofauna, greater abundance of groups decomposers of organic matter and engineers of the ecosystem when compared to grasses or legumes, due to improvement in the availability of food resources. The experiment was conducted under NT in Jaboticabal - SP, the treatments analyzed were: soybean monoculture (legume) in the summer and sun hemp (legume) in the off season (S-SH), corn monoculture (grass) in the summer and corn in the off season (C-C) , rotation soybean/corn in the summer and a corn in the off season (S/C-C) and rotation soybean/corn in the summer and sun hemp in the off-season (S/C-SH). The sampling was carried out in August 2012 and March 2013. It

was carried out the particle size fractionation of soil organic matter (SOM), the identification of soil macrofauna, identification of aggregate formation pathways and have been established three types of aggregates: fisicogenic, biogenic and intermediates. For the different types of aggregates were determined the relative composition, stability, characterizing the sorption complex and particle size fractionation of SOM. The biggest influence on the characteristics of the aggregates was due to the type of species used in the management and not the rotation itself. The Sun hemp waste decreased the participation of macrofauna in the aggregate stability (mean weighted diameter). In biogenic aggregates were found lower particulate organic carbon in the treatment composition of leguminous plants. The treatments S/C-SH and S-SH presented more uniform vertical distribution between macrofauna groups in the soil profile.

Key words: Agregation, organic matter, conservation agriculture.

3 INTRODUÇÃO

O sistema de gestão da Agricultura de Conservação (AC) é baseado em três princípios básicos: mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e cobertura permanente do solo por meio de retenção de resíduos ou plantas de cobertura (OPARANADI, 1993). O sistema de plantio direto (PD) é uma forma de AC que foi introduzida no Brasil no início de 1970, com o objetivo principal de reduzir a perda de solo, conservando o solo e a água. Estima-se que a área atual de AC sob a forma de PD é de cerca de 26 milhões de hectares no Brasil (CALEGARI et al., 2014), e de 106 milhões de hectares em todo o mundo (DERPSH, 2009).

É amplamente divulgado que o PD pode melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e suas interações, com melhorias, por exemplo, na agregação do solo concomitantemente com aumentos dos teores de carbono orgânico (SIX et al., 2000). O menor grau de humificação da matéria orgânica do solo (MOS) em PD representa uma melhoria qualitativa no solo, porque a composição da MOS afeta a capacidade dos organismos e microrganismos do solo para utilizá-lo como fonte de carbono e energia. Assim, a adição de matéria orgânica menos humificada tem efeito na melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (BAYER et al., 2002).

Apesar dos vários estudos realizados com o objetivo de entender a influência do tipo de manejo nas propriedades do solo, ainda permanecem muitas questões quanto ao impacto do tipo e sequência de culturas sobre as interações planta-organismos-solo. Diferentes composições de plantas podem afetar o equilíbrio de carbono, a qualidade química da cobertura vegetal, a formação de agregados, a estrutura da comunidade microbiana (DRINKWATER et al., 1998) e também a composição de organismos

(INGHAM, 2000). Grupos funcionais de plantas como as leguminosas aumentam a diversidade da macrofauna edáfica em função da elevada produção de matéria orgânica e menor relação C/N (MARCHÃO et al., 2009; BATISTA et al., 2014; VELÁSQUEZ et al., 2012; LAOSSI et al., 2008).

Da mesma forma que os grupos funcionais de plantas, a diversidade vegetal pode promover o aumento da diversidade de organismos que vivem no solo, devido ao aumento de recursos alimentares, cuja heterogeneidade pode induzir à maior diversidade de decompositores, variadas condições de temperatura, umidade e heterogeneidade de habitat (HOOPER et al., 2000). Contudo, além da vegetação modificar o ambiente para os organismos que vivem no solo, os organismos também podem modificar o ambiente para o desenvolvimento das plantas. Cupins, minhocas e formigas são organismos da macrofauna edáfica conhecidos como engenheiros do ecossistema que podem propiciar importantes mudanças no ambiente (LAVELLE, 1997). Esses indivíduos se movem no solo e modificam sua estrutura com a formação de galerias, ninhos e agregados de origem biogênica. Influenciam, ainda, processos fundamentais como a mineralização de carbono e sequestro de carbono em agregados estáveis (HOOPER et al., 2000; LAVELLE, 1997; LAVELLE et al., 1994). A modificação da estrutura do solo pela macrofauna se torna importante, visto que a agregação é o principal componente da fertilidade do solo, pois controla a porosidade, o armazenamento de água e a difusão de oxigênio (JOUQUET et al., 2008).

Estudos sobre o efeito de plantas na comunidade da macrofauna edáfica e o papel desses organismos na modificação das propriedades do solo, como, por exemplo, a formação de agregados biogênicos ainda, são incipientes. Em função do exposto, o objetivo deste estudo foi investigar o efeito de sequências de culturas em sistema de plantio direto na comunidade da macrofauna edáfica e nas características químicas e físicas dos agregados em duas épocas de avaliação, seca e chuvosa em áreas de domínio morfológico de Mata Atlântica. As hipóteses testadas foram:

i) a rotação de culturas com espécies de gramíneas/leguminosas (milho/soja) favorece a formação dos agregados de diferentes tipos morfológicos com diferentes características físicas e químicas, devido à atuação de raízes e seleção alimentar pela macrofauna do solo;

ii) a época de avaliação promove mudanças no ambiente para a formação dos agregados em função da cultura recente e da sazonalidade;

iii) os agentes biológicos (macrofauna e raízes) alteram a dinâmica da matéria orgânica associada aos agregados do solo, devido à seleção alimentar pela macrofauna e a atuação de raízes;

iv) a rotação de gramíneas/leguminosas promove maior riqueza de indivíduos, uniformidade da macrofauna edáfica, maior abundância de grupos decompositores de matéria orgânica e engenheiros do ecossistema quando comparada com gramíneas ou com leguminosas, devido a melhoria na disponibilidade de recursos alimentares.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Formação de agregados e sua relação com os fatores químicos, físicos e biológicos e a cobertura vegetal

A estrutura do solo é definida como o arranjo das partículas e poros do solo (OADES, 1984). As partículas do solo podem ocorrer como um único grão mineral ou um conjunto de partículas unitárias, sendo essas denominadas agregados. A existência de um agregado infere que as forças de coesão entre as partículas dentro desse agregado são maiores do que aquelas entre os agregados (OADES, 1993).

O conceito de formação hierárquica de agregados foi proposto por Tisdall e Oades (1982), definindo os microagregados (20-250 μm) como as partículas primárias unidas por agentes de ligação como metais polivalentes e óxidos. Os microagregados por sua vez quando ligados entre si por agentes temporários como raízes e hifas fúngicas formam os macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$). Uma modificação desse „conceito foi formulada por Oades (1984) que relatou que as mucilagens produzidas no processo de decomposição no interior do macroagregado interagem com argila e o produto final é um microagregado ligado por uma matriz de materiais húmicos e mucilagem.

Segundo Oades e Waters (1991), a agregação hierárquica ocorre em solos em que a estabilidade de agregados é controlada por materiais orgânicos. Já em solos oxídicos, como os Latossolos, os óxidos são os agentes dominantes da agregação e diminuem a expressão hierárquica. Bronick e Lal (2005), de forma simplificada, descreveram que os macroagregados podem ser formados por meio da acumulação de microagregados ou em torno da matéria orgânica particulada. Os microagregados por sua

vez, podem inicialmente ser formados por ligação progressiva de argila, matéria orgânica e cátions ou como produtos da decomposição dentro dos macroagregados.

Sumarizado por Bronick e Lal (2005), os principais agentes que influem na formação e estabilização dos agregados são carbono, argila, cátions, raízes, microrganismos e fauna do solo. O carbono influencia na agregação por meio da associação entre cátions e partículas. A argila faz ligações entre partículas e influencia na decomposição da MOS. Os cátions fazem ligações entre a argila e a MOS. As raízes enredam, realinham as partículas de solo e liberam exsudatos. Os microrganismos como fungos micorrízicos arbusculares promovem emaranhamento das partículas e fornecem compostos extracelulares. Os indivíduos da fauna do solo ingerem e excretam partículas do solo, formando estruturas que geralmente são protegidas da mineralização. Six et al. (2004) incluíram também os processos de umedecimento e secagem como variáveis ambientais que atuam como agentes no processo de formação dos agregados.

As espécies da fauna do solo que têm efeito no processo de estruturação do solo são aquelas capazes de escavar o solo e/ou ingerir as partículas do solo, formando galerias, câmaras, ninhos, montes e pelotas fecais (LAVELLE et al., 1994). Essas espécies são conhecidas como “engenheiros do ecossistema” e os principais representantes são as minhocas, os cupins e as formigas. Desempenham um importante papel de regulação dos processos do solo, como, por exemplo, as pelotas fecais produzidas contêm matéria orgânica estabilizada. Possuem eficiente sistema simbiótico de digestão, em associação com a microflora do solo, que lhes permitem digerir os substratos mais complexos, como tanino-proteína, lignina e substâncias húmicas. Além disso, podem produzir estruturas que têm efeito na pedogênese em diferentes escalas de tempo e espaço (LAVELLE, 1997).

Conforme o exposto, os agregados podem ser formados por influência de carbono, argila, cátions e ciclos de umedecimento e secagem, formando os agregados denominados fisicogênicos ou formados por influência da atividade biológica, denominados biogênicos (PULLEMAN et al., 2005). Segundo Marinissen et al. (1998), o processo de formação de agregados biogênicos é induzido por raízes, hifas e macrofauna do solo. Raízes e fungos formam agregados devido à penetração no solo e ao emaranhamento combinado com secreções extracelulares de polissacarídeos. Minhocas ingerem seletivamente as partículas do solo e a formação dos macroagregados é diretamente afetada pela passagem dessas partículas e MOS no aparelho digestivo. A

atividade biológica promove a formação de macroagregados, mas também a formação de microagregados, com concomitante estabilização dessa fração (BOSSUYT et al., 2005; PULLEMAN et al., 2005). Durante a decomposição, fragmentos de material vegetal ou a matéria orgânica particulada tornam-se incrustados com argila e produtos microbianos para formar o núcleo de microagregados estáveis (GOLCHIN et al., 1994)

A moagem e a mistura de solo durante o trânsito através do trato digestivo das minhocas expõem matéria orgânica, antes inacessível, para a atividade microbiana (HAYNES; FRASER, 1998). Bossuyt et al. (2005) verificaram aumento de cerca de 20% na respiração microbiana na presença de minhocas. A atividade microbiana em excrementos frescos pode resultar em liberação de nutrientes (MARTIN; MARINISSEN, 1993). Fonte et al. (2007) e Haynes e Fraser (1998) constataram o potencial de minhocas em acumular nitrogênio no solo, quando comparado com solo não ingerido. Jouquet et al. (2008) verificaram maiores teores de cátions trocáveis e valores de pH em coprólitos. Batista (2009) verificou associação de fósforo com agregados biogênicos e relatou a presença de fungos micorrízicos nesses agregados.

Os agregados biogênicos possuem consistente estabilidade estrutural que pode ser atribuída ao muco e polissacarídeos produzidos pela atividade microbiana (COQ et al., 2007) que incluem a excreção de glomalina por fungos micorrízicos arbusculares (SIX et al., 2004) e a menor hidratação devido à menor presença de espaços vazios em coprólitos, o que reduz a infiltração (JOUQUET et al., 2008). Segundo Lavelle et al. (1997), as relações mutualísticas de cupins e minhocas com a microflora dentro do intestino produzem ácidos orgânicos durante a digestão e posterior incubação da matéria orgânica em coprólitos (LAVELLE, 1997). A associação de agregados com a MOS é atribuída por Haynes e Fraser (1998) e Jouquet et al. (2008) como fator predominante para melhoria da estabilidade.

Da mesma forma que a matéria orgânica contribui para a estabilidade de agregados, os agregados também contribuem para a proteção da MOS (KETTERINGS et al., 1997). Martin e Marinissen (1993) relataram que a redução na decomposição da matéria orgânica pode ser em parte relacionada aos processos físicos, devido o revestimento da argila que protege a matéria orgânica, a baixa disponibilidade de oxigênio e o menor movimento de água em poros pequenos, dificultando assim o acesso de microrganismos ao material orgânico.

A agregação afeta a porosidade do solo, a disponibilidade de água para as raízes, o controle da erosão, a resistência à penetração e a condutividade hidráulica, acarretando, desta forma, influência no crescimento de plantas (DEXTER, 1988; OADES, 1984; FRANZLUEBBERS, 2002). Já o manejo do solo tem forte influência na dinâmica da agregação, pois agregados são suscetíveis ao rompimento por perturbações físicas, tal como mobilização pelo plantio, resultando, portanto, em rápida ciclagem de nutrientes, redução da disponibilidade de ar e água para as raízes (BRONICK; LAL, 2005). Em estudos realizados por Conceição et al. (2013), Pinheiro et al. (2004) e Devine et al. (2014) foram encontrados maiores valores de estabilidade de agregados em áreas de plantio direto (PD), quando comparados com plantio convencional (PC). Six et al. (1998) verificaram menores teores de matéria orgânica particulada de agregados em PC quando comparado com PD. De acordo com os autores, quando os agregados são quebrados, existe menor formação de matéria orgânica particulada fina, levando à inibição da formação de microagregados estáveis dentro de macroagregados.

Pulleman et al. (2005) estudaram a formação e características de agregados fisicogênicos e biogênicos sob sistema de PC com adubação mineral, PC com adubação orgânica e sob pastagem quando avaliaram a influência do manejo na formação de agregados. Os autores verificaram enriquecimento de carbono em agregados biogênicos em área de pastagem e PC com adubação orgânica, quando comparados com PC com adubação mineral, indicando seletiva alimentação de material orgânico por minhocas e pela disponibilidade limitada de resíduos orgânicos em PC com adubação mineral. Verificaram, também, maiores teores de matéria orgânica particulada fina oclusa em microagregados dentro de macroagregados biogênicos em comparação com microagregados oclusos dentro de macroagregados fisicogênicos. Um estudo no Brasil, realizado por Loss et al. (2014), em diferentes sistemas de manejo, PD, PC, pastagem e área de vegetação nativa, não evidenciou agregados biogênicos em PC e mostrou maiores teores de carbono orgânico associado aos minerais em área de pastagem nos agregados biogênicos, indicando que o sistema promove estabilidade física da MOS.

Segundo Haynes e Fraser (1998), a fonte alimentar para os organismos do solo, ou seja, os resíduos de plantas têm importante efeito na estabilização de agregados biogênicos e na proteção da MOS. Com relação ao tipo de cobertura vegetal, Velásquez et al. (2012) estudaram o efeito de plantas sob o mesmo sistema de manejo, nos agregados biogênicos, fisicogênicos e formados por raízes. A presença de *Brachiaria*

brizantha aumentou a quantidade de agregados formados por raízes quando comparado com a ausência dessa espécie. A presença de *Arachis pinto*i resultou em incremento de 87% na proporção de agregados biogênicos em relação à ausência da espécie. O aumento da abundância de minhocas e a diminuição da relação C/N sob *Arachis pinto*i sugere que as minhocas foram beneficiadas pela melhor nutrição, aumentando assim sua influência sobre a estrutura do solo. Os autores relataram que os estudos sobre a formação de agregados têm sido realizados principalmente com o enfoque no efeito do manejo do solo na macrofauna e nas estruturas biogênicas que produzem, como por exemplo, Pulleman et al. (2005), Velásquez et al. (2007), Batista et al. (2013) e Loss et al. (2014), mas poucos têm sido desenvolvidos para demonstrar o potencial de diferentes espécies de plantas em modificar as propriedades do solo por meio de processos mediados pela fauna do solo.

4.2 Fauna do solo e sua relação com os atributos edáficos e a cobertura vegetal

O solo é o substrato para grande parte da biodiversidade global. Segundo estimativas, os invertebrados que vivem no ambiente do solo, ou seja, na interface solo-serapilheira, representam 23% da biodiversidade total de organismos vivos descritos, sendo os insetos e os aracnídeos os principais representantes (DECAENS et al, 2006). O tamanho desses animais varia em três escalas de magnitude: a microfauna possui tamanho inferior a 0,2 mm e compreende invertebrados aquáticos, principalmente nematóides, que vivem no filme de água que recobrem as partículas de solo; a mesofauna possui tamanho médio entre 0,2-2,0 mm, representada por microartrópodes e pequenas minhocas, que vivem no espaço poroso; e a macrofauna é composta por invertebrados maiores que 2 mm em média, sendo as minhocas e grandes artrópodes os principais componentes desse grupo, os quais possuem capacidade de escavar e criar estruturas como galerias e ninhos (LAVELLE, 1997).

Os invertebrados possuem limitada habilidade de digerir substratos orgânicos complexos do solo e da serapilheira. No entanto, muitos desenvolveram interações com a microflora, possibilitando-os explorar tais substratos. Com o aumento do tamanho dos indivíduos da fauna, as relações entre microflora e fauna mudam gradualmente de predação para mutualismo, sendo que, os excrementos dos indivíduos participantes dessas relações são importantes componentes na evolução da MOS. Com base nas relações entre microflora e fauna do solo, Lavelle (1997) propôs três guildas, ou

seja, a separação em grupos que tem maneira semelhante de sobreviver e que exploram a mesma classe de recursos de maneira similar. São elas: 1) as micro cadeias alimentares, que compreendem a microfauna predadora de bactérias e fungos e seus predadores e que afeta significativamente a dinâmica populacional de microrganismos do solo e a imobilização de nutrientes na sua biomassa; 2) os transformadores de serapilheira, que compreendem em sua maioria a mesofauna e que são responsáveis pela trituração do material orgânico; 3) os engenheiros do ecossistema, que compreendem a macrofauna, principalmente cupins (Isoptera) e minhocas (Oligochaeta), os quais possuem capacidade de manter relações mutualísticas obrigatórias ou facultativas dentro do seu intestino.

Os organismos do solo (fauna e flora) podem afetar atributos químicos, físicos e biológicos do solo, assim como os processos de humificação e mineralização da MOS e de ciclagem de nutrientes (LAL, 1988). Além disso, os organismos são considerados um dos fatores de formação do solo, segundo Jenny (1941). Por exemplo, os térmitas (cupins) constroem galerias subterrâneas capazes de aumentar a taxa de infiltração de água em até três vezes, dependendo do tipo de solo, sendo o efeito mais significativo em solos de baixa condutividade hidráulica (LAMOUREUX; O'KANE, 2012). Já a atividade das minhocas pode promover mudanças no pH e no teor de nitrogênio do solo (SHEEHAN et al., 2006), assim como na porosidade (VAN VLIET et al., 1993; BOTTINELLI et al., 2010).

Da mesma forma que a fauna edáfica influencia as propriedades do solo, o solo também pode influenciar a riqueza, a diversidade e a abundância da fauna do solo. Vendrame et al. (2009) observaram que menores teores de Ca e Mg trocáveis proporcionaram maior abundância da macrofauna no solo. Errouissi et al. (2011) estudaram o efeito de monocultura e rotação em PD e PC na Tunísia e observaram maior densidade da fauna do solo em PD, atribuindo o resultado à menor mobilização do solo em PD. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos conduzidos em solos do Brasil (MARCHÃO et al., 2009; SILVA et al., 2008; AQUINO et al., 2008; SILVA et al., 2006).

Além do sistema de manejo adotado, a fauna do solo pode apresentar composições diferentes em razão da cobertura vegetal (INGHAM, 2000). A principal via, por meio da qual as plantas modificam as teias alimentares do solo, é pela qualidade e quantidade de matéria orgânica que é devolvida para o solo, sob a forma de resíduos e exsudatos das plantas. As características dos resíduos possuem importância relevante na cadeia alimentar e na ciclagem de nutrientes. Resíduos com baixa relação C/N

podem estimular a atividade de bactérias e seus predadores, como os nematóides. Por outro lado, resíduos com elevada relação C/N podem estimular a atividade de fungos e seus predadores, como colêmbolas e ácaros (BARDGETT, 2005). Segundo o mesmo autor, o aumento da riqueza de plantas poderia afetar positivamente a diversidade da biota do solo por meio da maior probabilidade da inclusão de plantas de raízes com diferentes características morfológicas, bem como diferentes produtos químicos como exsudatos radiculares. Essas diferenças podem resultar maior diversidade de recursos alimentares e heterogeneidade de habitats. Embora tais argumentos teóricos sejam convincentes, a evidência real para efeitos da diversidade de plantas sobre as propriedades biológicas do solo é confusa.

Spehn et al. (2000) relataram que o declínio da diversidade de plantas pode influir na comunidade da fauna, com efeito negativo na comunidade de minhocas e microrganismos. Para os autores, o efeito se dá em decorrência da menor produção de biomassa vegetal e menor diversidade de resíduos o que, provavelmente, possibilita uma dieta menos equilibrada no que se refere à qualidade e à quantidade dos alimentos ao longo do tempo.

De Deyn et al. (2004), estudando o efeito da diversidade de plantas na comunidade de nematóides, verificaram que o efeito individual de espécies de plantas foi mais importante para a diversidade de nematóides do que a diversidade vegetal, visto que algumas plantas reduziram a abundância de herbívoros, enquanto outras foram hospedeiras adequadas. A diversidade de plantas não resultou em abundância de herbívoros, devido à redução da eficiência na busca de hospedeiros adequados e consequente aumento do risco de mortalidade. Bardgett (2005) enfatiza que as espécies de plantas e as características individuais de grupos funcionais como, por exemplo, gramíneas e leguminosas, que influenciam a qualidade e quantidade de matéria orgânica na forma de resíduos e exsudatos, parecem desempenhar papel mais importante do que a riqueza de espécies de plantas na estruturação da biota do solo e seu funcionamento nos ecossistemas. Velásquez et al. (2012) estudaram o efeito da diversidade de espécies de plantas na comunidade da macrofauna na Amazônia e verificaram que a diversidade de plantas por si só não influenciou na variação da macrofauna. Contudo, os autores relataram que existiu efeito de espécies individuais na abundância de minhocas e formigas.

Com relação às espécies de plantas, foram observados efeitos na comunidade da macrofauna edáfica em trabalho desenvolvido por Santos et al. (2008) que

estudaram o efeito de plantas de cobertura das famílias Leguminosae e Gramineae e observaram maior riqueza de espécies de invertebrados em Braquiária (Gramineae) e maior densidade de indivíduos em tratamentos com leguminosas. Os autores atribuíram o fato à menor relação C/N de plantas leguminosas. Huerta et al. (2005), em estudo sobre crescimento e desenvolvimento de minhocas sob resíduos de mucuna e milho, observaram maior peso seco individual das minhocas e maior produção de casulos nos tratamentos com mucuna. Os autores relataram que a mucuna aumenta o crescimento de minhocas, enquanto o milho requer decomposição dos resíduos durante algumas semanas para atingir o máximo valor de consumo pelas minhocas. Mutema et al. (2013) observaram que os resíduos de milho em sistema conservacionista propiciaram maiores índices de diversidade e uniformidade de indivíduos em comparação com resíduos de sorgo sob o mesmo sistema.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e descrição da área de estudo

A área experimental está localizada em Jaboticabal, SP, com altitude local de 595 m e coordenadas geodésicas de 21°15'22" S e 48°18'58" W em relevo suave ondulado. O clima, segundo Koppen (1936) é do tipo Aw, com precipitação pluviométrica acumulada média anual de 1420 mm, concentrada no período de outubro a março e temperatura média anual de 22 °C (Figura 1).

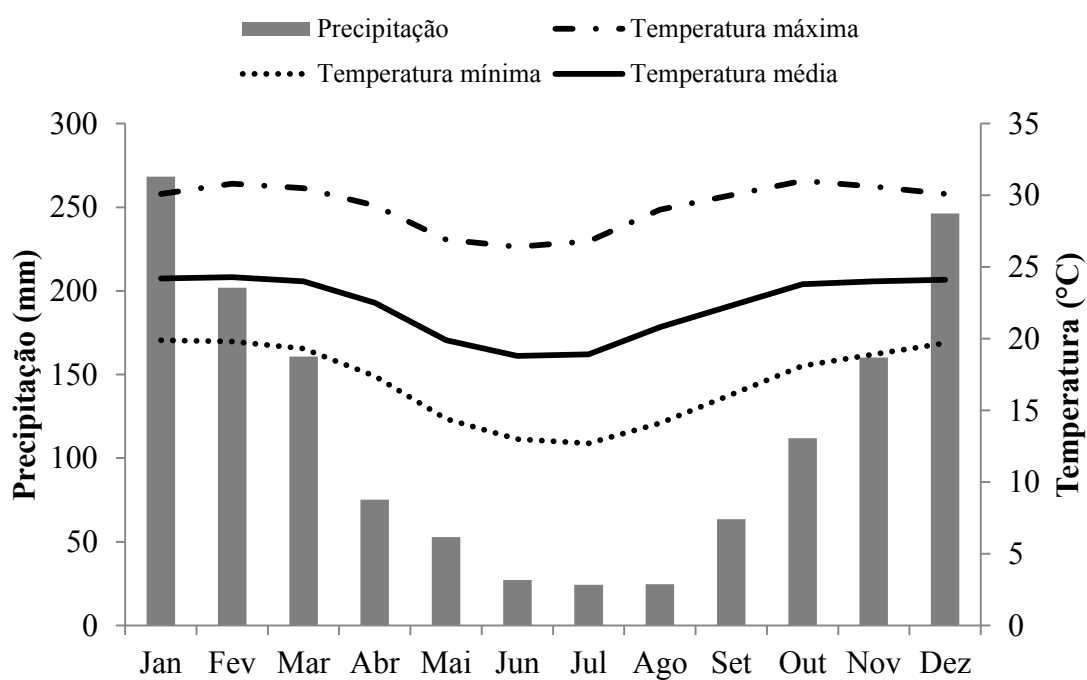


Figura 1. Valores médios mensais de temperatura do ar e valor acumulado de precipitação pluviométrica para Jaboticabal, SP (1971-2014).

Conforme critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013), o solo foi reclassificado como Latossolo Vermelho eutrófico. Apresenta mineralogia: SiO_2 (H_2SO_4 1:1) = 15%, Al_2O_3 (H_2SO_4 1:1) = 13,5% e Fe_2O_3 (H_2SO_4 1:1) = 5,4%.

Por um período de 35 anos, a área foi utilizada para a produção de soja e milho no sistema convencional de preparo de solo. Antes da instalação do experimento realizaram-se operações de subsolagem a 40 cm de profundidade e calagem para elevação da saturação por bases do solo para 70%. A incorporação do calcário com PRNT de 100%, aplicado na dose de $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, foi feita por meio de aração e gradagem.

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

Em setembro de 2002 foi implantado um experimento em sistema de plantio direto, visando avaliar o efeito de sequências de culturas nos atributos do solo e na produtividade de soja e milho.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos, no esquema em faixas com 21 tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão com sete culturas de entressafra, totalizando assim 21 parcelas por bloco experimental (Figura 2).

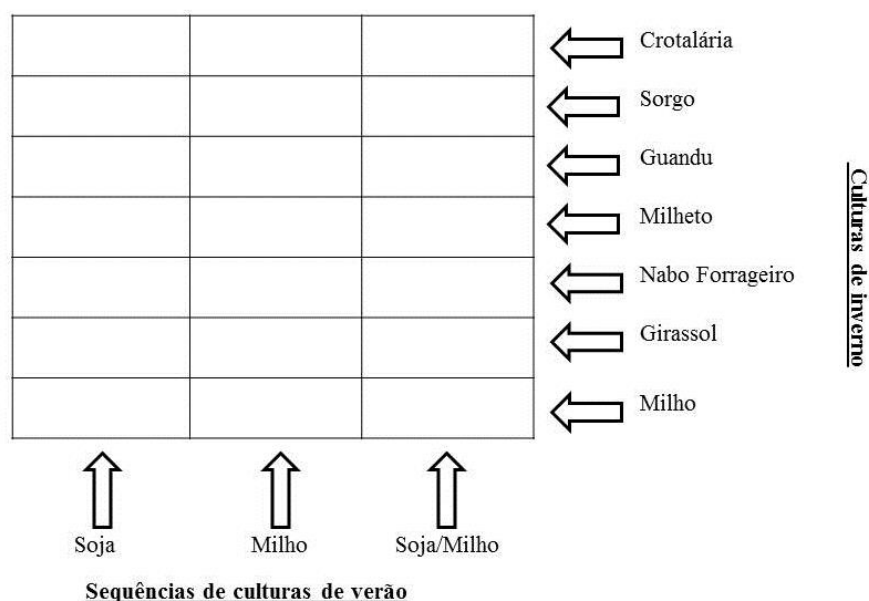


Figura 2. Desenho da área do experimento em sistema de plantio direto localizada em Jaboticabal, SP.

As sequências de culturas de verão são: monocultura de milho (*Zea mays* L.) (MM); monocultura de soja (*Glycine max* L. Merrill) (SS); e rotação soja-milho (SM), com cultivos intercalados de soja e milho ano a ano. As culturas de entressafra foram: milho, sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), girassol (*Helianthus annuus* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), semeadas em fevereiro-março (entressafra), repetindo-se a cada ano agrícola as mesmas culturas de entressafra nas mesmas parcelas.

A cultivar de soja Coodetec 216 RR cultivada no ano agrícola 2012/2013, foi semeada com 45 cm de espaçamento entrelinhas, visando a uma população final de aproximadamente 480 mil plantas ha⁻¹. As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. As adubações de semeadura foram constituídas por 250 e 300 kg ha⁻¹ da fórmula 2-20-20. Os híbridos de milho AG-9010 foram semeados com 90 cm de espaçamento entrelinhas, visando a uma população de aproximadamente 66 mil plantas ha⁻¹. A adubação de semeadura consistiu de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 8-20-20 + 1% Ca + 5% S + 0,3% Zn e a adubação de cobertura foi realizada no momento em que a planta apresentava seis folhas completamente desdobradas, com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio.

Em todos os anos agrícolas, o milho e o girassol, cultivados na entressafra, foram semeados mecanicamente com 90 cm de espaçamento entrelinhas, visando a atingir populações finais de 55 mil e 88 mil plantas ha⁻¹, respectivamente. As demais culturas foram semeadas, mecanicamente, com 45 cm de espaçamento entrelinhas visando atingir populações, em plantas ha⁻¹, de 555 mil para o nabo forrageiro (cultivar Siletina) e a crotalária (cultivar comum), 665 mil para o milheto (cultivar BN-2) e o guandu (cultivar anão) e 175 mil para o sorgo (cultivar 1G150). As quantidades de sementes utilizadas, em kg ha⁻¹, foram de 10 para o girassol, 20 para o milho, nabo forrageiro, milheto e sorgo, 25 para o guandu e 30 para a crotalária. Na entressafra, por ocasião do pleno florescimento, as culturas de crotalária, guandu e nabo forrageiro foram trituradas, utilizando-se equipamento tratorizado triturador de resíduos vegetais. As culturas de milho, girassol e sorgo foram conduzidas até a colheita dos grãos.

Cada parcela experimental ocupa uma área de 600 m² (40 m de comprimento por 15 m de largura). As bordaduras das parcelas correspondem aos 10 m iniciais e finais do comprimento e aos 2,5 m das laterais, ficando a área útil de cada parcela

com 200 m² (20 m x 10 m). As dimensões das parcelas, assim como das bordaduras, foram planejadas para viabilizar a mecanização de todas as operações exigidas durante a condução do experimento.

Para o presente estudo foram selecionados quatro tratamentos, dos 21 inicialmente implantados, visando estabelecer situações contrastantes. Os tratamentos selecionados foram: 1) monocultura de soja no verão e leguminosa (crotalária) na entressafra (parcelas que sempre receberam somente leguminosas durante a condução do experimento – 10 anos) (S-C); 2) monocultura de milho (gramínea) no verão e gramínea (milho) na entressafra, neste tratamento as parcelas sempre receberam milho (gramínea) por todo o período de condução do experimento (10 anos) (M-M); 3) rotação soja/milho no verão e uma gramínea (milho) na entressafra (S/M-M); 4) rotação soja/milho no verão e leguminosa (crotalária) no período de entressafra (S/M-C). Adicionalmente, foram selecionados dois tratamentos testemunhas, sendo duas áreas adjacentes ao experimento como referências: 5) área sob sistema convencional de preparo de solo (aração e gradagem) para produção de grãos (milho e soja) e; 6) uma área de vegetação nativa sob domínio morfológico de Mata Atlântica. A área sob sistema convencional de preparo do solo vem sendo conduzida há mais de 30 anos com sequência de soja e milho alternadas ano a ano. No verão do ano agrícola 2011/2012 foi plantado o milho e no verão do ano agrícola 2012/2013 foi plantada a soja. No período da entressafra o solo ficou em pousio.

Os tratamentos foram selecionados, com base em análise de componentes principais (Figura 3), na qual foram utilizados resultados de análises de atributos do solo, como resistência à penetração (SEBEN JUNIOR, 2010), densidade do solo (SEBEN JUNIOR, 2010), carbono orgânico total (MARCELO, 2011) e índice S (JORGE, 2010). Diante dos resultados obtidos pela análise de componentes principais (Figura 3), foi possível observar a distinção entre os quatro tratamentos selecionados, indicando que a sequência de culturas está causando efeitos nos atributos do solo.

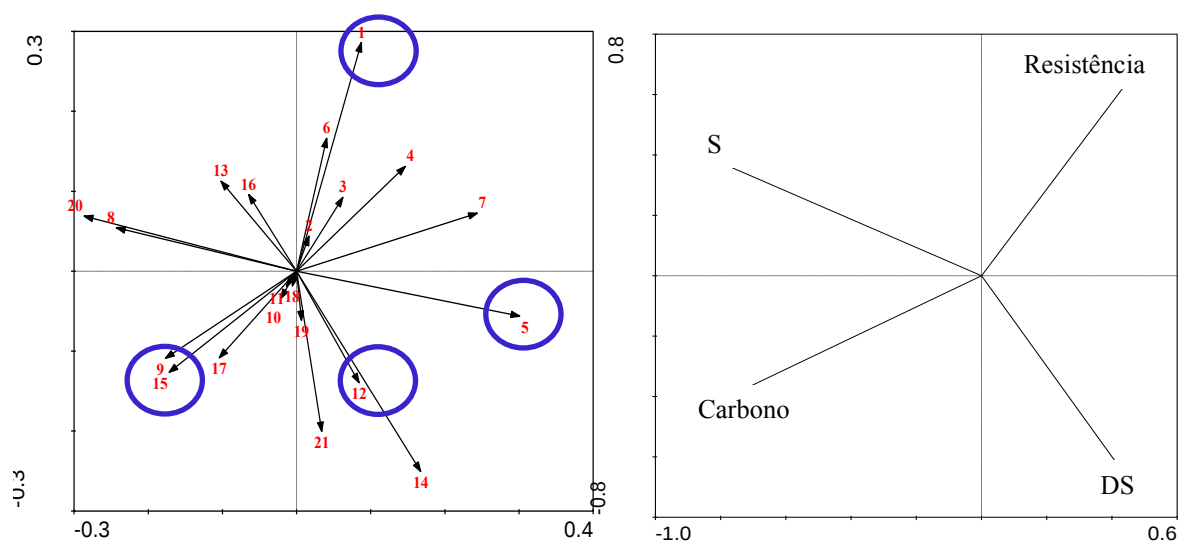


Figura 3. Análise de componentes principais da seleção dos tratamentos. S: Índice S; DS: densidade do solo, 1: rotação soja (S)-milho (M) (verão)/Crotalária (inverno); 2: SM/Guandu; 3: SM/Nabo; 4: SM/Milheto; 5: SM/Milho; 6: SM/Sorgo; 7: SM/Girassol; 8: MM/Crotalária; 9: MM/Guandu; 10: MM/Nabo; 11: MM/Milheto; 12: MM/Milho; 13: MM/Sorgo; 14: MM/Girassol; 15: SS/Crotalária; 16: SS/Guandu; 17: SS/Nabo; 18: SS/Milheto; 19: SS/Milho; 20: MM/Sorgo; 21: SS/Girassol.

Não foi realizada irrigação ao longo da condução do experimento e os dados médios de precipitação e temperatura ao longo do período de avaliação são apresentados na Figura 4. A coleta realizada em agosto/2012 caracterizou a época seca de avaliação e apresentou 0 mm de precipitação, enquanto que a coleta realizada em março/2013 caracterizou a época chuvosa e apresentou 33 mm de precipitação. A temperatura média não apresentou elevada variação ao longo do período de avaliação.

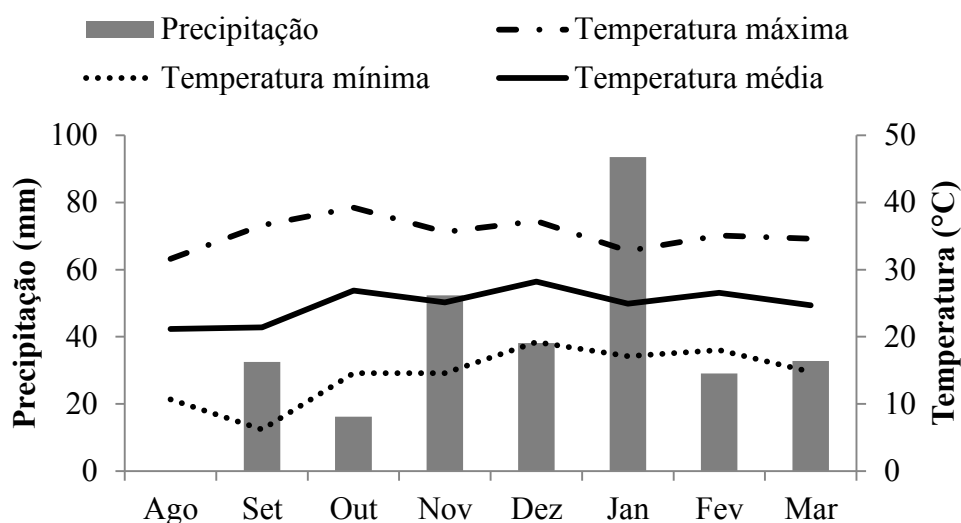


Figura 4. Valores médios mensais de temperatura do ar e valor acumulado de precipitação pluviométrica para Jaboticabal, SP nos meses de condução do experimento: Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro do ano de 2012 e Janeiro, Fevereiro e Março do ano de 2013.

5.3 Amostragem do solo

Os atributos químicos, físicos e biológico do solo foram avaliados em cada tratamento em duas épocas: após a colheita ou manejo das culturas de entressafra, época seca (agosto de 2012) e após a colheita das culturas de verão, final da época chuvosa (março de 2013), visando detectar influência das condições da umidade do solo e recursos vindos das plantas na atividade da macrofauna do solo.

Em cada parcela foram abertas duas trincheiras até a profundidade de 0,3 m, totalizando seis amostras por tratamento. O mesmo número de amostras foi coletado nas áreas de referência. Amostras de solo foram coletadas, nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m (Figura 5), visando determinação de atributos químicos, físicos e da macrofauna edáfica. Os agregados do solo foram avaliados na profundidade de 0-10 cm, devido ao fato de ser a profundidade com maior atividade biológica da macrofauna do solo e raízes.

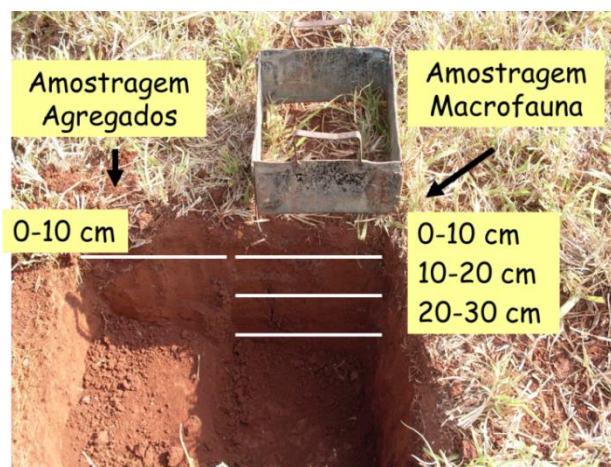


Figura 5. Amostragem para análise de solo, agregados e macrofauna do solo em experimento sob sistema de plantio direto em Jaboticabal - SP.

5.4 Atributos químicos do solo

Para a determinação dos atributos químicos do solo, em cada parcela e em cada profundidade, foram coletadas amostras de terra de, aproximadamente, 0,3 kg. As amostras foram secas ao ar e passadas através de peneira de 2 mm de diâmetro. Nas amostras foram analisados: pH_(CaCl₂), Al, H+Al, Ca, Mg, P e K (RAIJ et al., 1996). A capacidade de troca catiônica (CTC) foi calculada pela soma de cátions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ e H+Al) e a saturação por bases (V%) pela equação: $V\% = (100 \times \text{soma de bases} / \text{CTC})$

5.5 Atributos físicos do solo

A umidade gravimétrica foi determinada segundo método descrito por Embrapa (1997). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta com total dispersão com hidróxido de sódio, 50 rpm por 16 h (EMBRAPA, 1997). Amostras com estrutura preservada foram coletadas em anéis volumétricos (0,05 de diâmetro por 0,06 m de altura) em cada parcela e em cada profundidade, com amostrador de Uhland para análise da porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo segundo metodologia descrita por Embrapa (1997).

5.6 Fracionamento da matéria orgânica do solo

O método utilizado para o fracionamento físico da MOS foi o granulométrico (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992), para isto, 20 g de solo seco ao ar e passado na peneira de 2 mm e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L^{-1}) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal. Em seguida, a suspensão foi passada em peneira de 53 μm com auxílio de jato de água. O material que ficou retido na peneira é o carbono orgânico particulado (COp) com tamanho da fração areia, que foi seco em estufa à 50°C. O material que passou pela peneira de 53 μm , consistiu no carbono orgânico associado aos minerais (COam) das frações silte e argila, e foi obtido por diferença entre o COT e COp. Desde que a areia foi separada da fração associada aos minerais, foi necessário fazer a correção dos valores de carbono quantificado em relação a essa fração de areia para o cálculo da diferença.

O procedimento do fracionamento da matéria orgânica foi realizado nas amostras de solo e nas amostras de agregados nos tipos morfológicos identificados. Amostras representativas foram finamente moídas em gral de porcelana e passadas por peneira de abertura de 100 mesh para homogeneização. Os teores de carbono orgânico e nitrogênio foram medidos com o uso do Analisador Elementar de Carbono e Nitrogênio, usando o equipamento LECO modelo AC350.

5.7 Identificação morfológica dos agregados

Para a identificação dos agregados, foram coletados blocos de solo (0,2 x 0,2 x 0,1 m – largura x comprimento x altura) em cada mini-trincheira, com auxílio de uma estrutura de metal (Figura 5). As amostras foram transportadas para o laboratório, secas ao ar e, cuidadosamente quebradas nas linhas de fraqueza visando separar os agregados. Os agregados foram separados por tamanho, com o diâmetro entre 9,7 e 4,0 mm com auxílio de peneiras.

Após a separação, os agregados com tamanho de 9,7 – 4,0 mm foram observados sob lupa e separados à mão em três frações morfológicas. De acordo com as definições descritas por Bullock et al. (1985) e metodologia adaptada de Pulleman et al. (2005) foram distinguidos os seguintes agregados: fisicogênicos (F) - definidos por apresentarem formas angulares; biogênicos (B) – definidos por suas formas arredondadas,

providas pelo trato intestinal dos indivíduos da macrofauna do solo, principalmente Oligochaeta e/ou por evidência de atividade de raízes, e intermediário (I) - agregados que possuem, forma indefinida, podendo ser os biogênicos que perderam a forma arredondada, devido ao envelhecimento, ou fisicogênicos por possuírem uma solda com um pequeno coprólito (Figura 6).

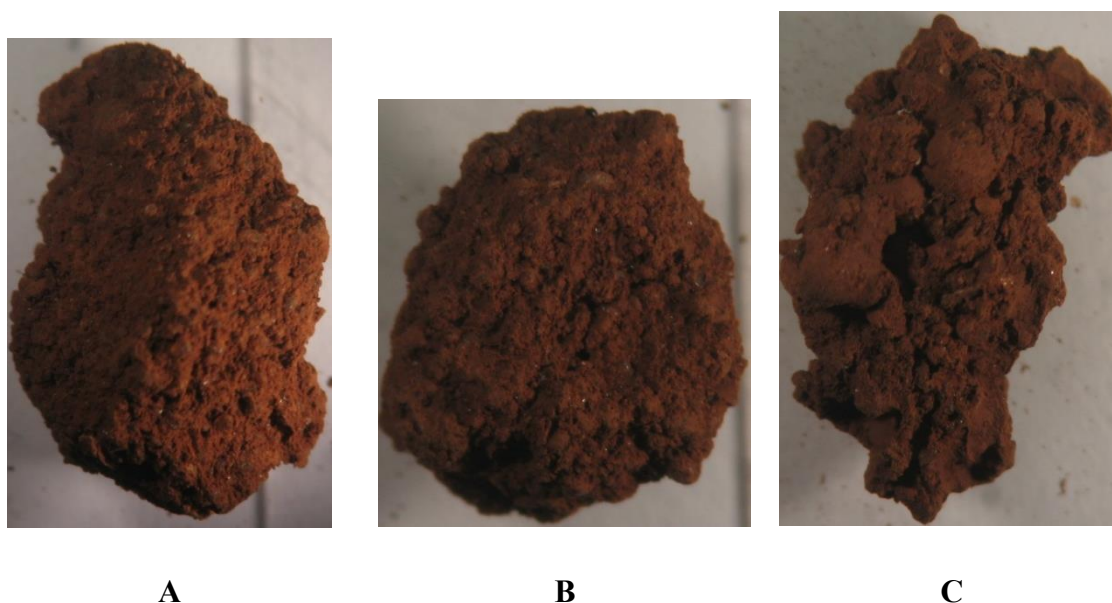


Figura 6. Exemplo dos diferentes tipos de agregados da fração 9,7-4,0 mm. (A) agregado fisicogênico, (B) agregado intermediário e (C) agregado biogênico.

5.8 Análise química e física dos agregados

As diferentes frações identificadas foram pesadas para a determinação da massa relativa. Foram passadas através de peneira de 2 mm de diâmetro para análise de pH, Al, H+Al, Ca, Mg, P e K (RAIJ et al., 1996), CTC e V%. O COT, COp e COam foram analisados de acordo com Cambardella e Elliot (1992), método descrito no item 5.6.

A análise da estabilidade de agregados foi realizada segundo Embrapa (1997), por via úmida. Foram pesados 25 g de agregados identificados quanto à via de agregação, sendo estes transferidos para uma peneira de 2,00 mm que compõe um conjunto de peneiras com diâmetro de malha decrescente, a saber: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm. Os agregados colocados na peneira de 2,00 mm foram umedecidos com auxílio de um borrifador, e posteriormente o conjunto de peneiras foi submetido à tamisação vertical via úmida por 30 minutos no aparelho de Yooder. Transcorrido esse tempo, o

material retido em cada peneira foi retirado, separado com o auxílio de jato d'água, colocado em placas de Petri previamente pesadas e identificadas, sendo levado à estufa até a obtenção de massa constante. A partir dos dados de massa de agregados foi calculado o DMP dos agregados.

O diâmetro médio ponderado (DMP) foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$DMP = \sum_{i=1} x_i y_i$$

$$X=1$$

Em que: i = intervalo de classe: $9,7 \geq X > 2,0$ mm, de $2,0 \geq X > 1,0$ mm, de $1,0 \geq X > 0,5$ mm, de $0,5 \geq X > 0,25$ mm e de $0,25 \geq X > 0,105$ mm; x_i = é o diâmetro do centro de classe (mm); y_i = é a razão entre a massa de agregados dentro da classe (x_i) e a massa total de agregados.

5.9 Macrofauna edáfica

A comunidade da macrofauna do solo foi avaliada a partir do método recomendado pelo Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), descrito por Anderson e Ingram (1993). Foram coletados blocos de solo ($0,25 \times 0,25 \times 0,10$ m – largura x comprimento x altura), em cada trincheira e nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m (Figura 5). Nas mesmas dimensões foram amostradas a macrofauna da palhada/serapilheira. Ainda no campo, realizou-se a separação manual da macrofauna (visível a olho nu) contida nas amostras de cada camada de solo e palhada/serapilheira. Os indivíduos foram colocados em solução de álcool 70% para preservação.

A contagem e identificação de grandes grupos taxonômicos, em geral ordens, foram feitas de acordo com as descrições fornecidas por Costa (1988), Csiro (1991) e Dindal (1990). As comparações das comunidades das diferentes áreas foram feitas mediante a utilização dos seguintes índices: riqueza total, que é o número de grupos presentes em cada área. Riqueza média que é o número médio de grupos presentes em cada amostra; e o índice de equitabilidade de Pielou, que permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes e apresenta uma amplitude de zero (uniformidade mínima) a um (uniformidade máxima).

A riqueza de espécies é muito dependente do número de indivíduos amostrados e a padronização dos indivíduos pode ser feita usando a técnica da rarefação

(GOTELLI; COWEL, 2001). O princípio desta técnica é estimar quantas espécies deveriam ser coletadas caso a amostragem incluísse um número menor de indivíduos (MELO; HEPP, 2008). As estimativas foram feitas por bloco, sendo estas realizadas em função do tratamento com menor abundância. A rarefação foi realizada no programa R versão 3.1.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014) e analisada por meio do pacote estatístico Vegan (OKSANEN et al., 2015).

5.10 Análise de palhada/serapilheira

A biomassa da palhada/serapilheira foi coletada com auxílio de gabarito metálico de $0,25 \times 0,25$ m de tamanho. As amostras foram secas em estufa de circulação de ar a 60 °C para a determinação da massa seca. A análise de nutrientes foi analisada por digestão sulfúrica, sendo quantificados os níveis de N, P, K, Ca, Mg e S (TEDESCO et al., 1985).

5.11 Análise estatística dos dados obtidos

Os efeitos dos tratamentos nas propriedades químicas, físicas e biológica foram testados usando modelo de efeito misto, com tratamento, sazonalidade, a interação entre eles e blocos considerados como efeitos fixos e a sazonalidade aninhada na parcela como efeito aleatório. As mesmas análises foram realizadas nos dados de agregados do solo, sendo a interação de tratamento, sazonalidade e tipo de agregado considerados como efeitos fixos e foi considerado um efeito aleatório adicional na sazonalidade para a não independência das sub-amostras (físicogênico, intermediário e biogênico) vindas de uma mesma amostra de agregados. Para a realização das análises foi utilizado o Programa R versão 3.1.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014) e o pacote estatístico nlme (PINHEIRO et al., 2015). Em caso de efeito significativo ($p \leq 0,05$), o teste de Tukey foi aplicado para comparações múltiplas de médias.

A normalidade e homogeneidade das variâncias, que são requerimentos da análise paramétrica, foram verificados no modelo de resíduos e quando necessário, as variáveis resposta (dados avaliados) foram transformadas antes da análise para $\log(x+1)$. Quando os requerimentos de normalidade e homogeneidade das variâncias não foram atendidos, foram realizadas análises não paramétricas utilizando-se o teste de

Friedman para a comparação entre os tratamentos em uma mesma época de avaliação e o teste de Wilcoxon para a comparação de um mesmo tratamento entre épocas.

A análise multivariada foi realizada no Programa R com o uso do pacote estatístico Vegan (OKSANEN et al., 2015). O método de ordenação direta (constrained ordination) RDA (análise de redundância) foi utilizado para analisar a contribuição das variáveis ambientais (independentes) para a variação da comunidade da macrofauna e tipos morfológicos de agregados. Na RDA em que a comunidade da macrofauna do solo foi a variável dependente, as variáveis ambientais (independentes) foram os atributos químicos (Apêndices 1 e 2) e físicos do solo (Apêndices 3 e 4). Na RDA em que os agregados, representados pelos atributos químicos (Apêndice 5) e físicos foram as variáveis dependentes, a variável ambiental (independente) foi a comunidade da macrofauna do solo, ou seja, a macrofauna que atua na mudança/alteração das propriedades químicas e físicas dos agregados.

Os dados de macrofauna do solo foram transformados para a distância de Hellinger que é uma distância euclidiana (LEGENDRE; GALLAGHER, 2001). As transformações dos valores de abundância relativa reduzem os altos valores de abundância. Desta forma, as pré-transformações asseguram que os dados de espécie são tratados de acordo com a sua especificidade, ou seja, sem indevida importância a ser dada a valores zero (BOCARD et al., 2011). Os dados das propriedades químicas e físicas foram escalonizados (para média zero e variância unitária), porque as variáveis possuem diferentes unidades de medida.

O experimento apresentou variação do teor de areia, com variação média de 13% entre os tratamentos (Apêndice 2). Mesmo não apresentando mudança na classe textural, essa variável foi incluída no modelo como co-variável, sendo assim, foi realizada uma RDA parcial (RDAP).

Para a análise dos dados de macrofauna, o conjunto de variáveis inicialmente utilizado na elaboração da RDAP incluiu: Carbono Orgânico Total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (Coam), N, P, K, Ca, Mg, pH, soma de bases, CTC, V%, Al, H+Al, umidade, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, areia total, areia fina, areia grossa, silte e argila. A seleção das variáveis explicativas (*stepwise selection*) foi realizada para encontrar um modelo reduzido que contivesse variáveis que explicassem as relações dos

dados e que não possuíam colinearidade com as demais variáveis: COp, P, Al, porosidade total e umidade do solo.

Para a análise dos dados dos diferentes tipos de agregados, foi realizada uma RDAP para conhecer as correlações existentes entre as propriedades químicas e físicas dos agregados do solo e a abundância da macrofauna, principalmente com os indivíduos denominados engenheiros do ecossistema. O conjunto de variáveis inicialmente utilizado na RDAP foi: Araneae, Auchenorrhyncha, Blattodea, casulo de Oligochaeta, Chilopoda, Coleoptera, Dermaptera, Diplura, Diptera, Diplopoda, Formicidae, Gastropoda, Heteroptera, Hymenoptera, Isoptera, larva de Coleoptera, larva de Lepidoptera, larva de Formicidae, Oligochaeta, Psocoptera, pupa de Coleoptera, pupa de Lepidoptera e Symphyla. Contudo, a *stepwise selection* selecionou as seguintes variáveis: larva de Formicidae, Diplura, casulo de Oligochaeta, Araneae, Heteroptera, Isoptera, larva de Coleoptera, Coleoptera, larva de Formicidae, Coleoptera, larva de Lepidoptera, Oligochaeta, Formicidae e pupa de Coleoptera. Desse conjunto de variáveis selecionadas, foram utilizadas aquelas que são conhecidas como engenheiras do ecossistema: Oligochaeta (minhocas), Isoptera (cupins), Formicidae (formigas) e também aquelas que apresentaram estreita relação com a estrutura do solo durante o processo de triagem da macrofauna e agregados: casulo de Oligochaeta, larva de Coleoptera (larva de besouro) e larva de Formicidae.

A significância dos eixos ordinais foi calculada pelo teste de significância de Monte Carlo com 200 permutações. Uma análise de RDA foi aplicada para o procedimento de partição da variabilidade que, de acordo com Leps e Smilauer (1999), permite quantificar os efeitos de sobreposições de dois ou mais grupos de variáveis ambientais sobre um conjunto de variáveis dependentes. Foram considerados como variáveis independentes para a análise da macrofauna: tratamento e sazonalidade e para a análise das características dos diferentes tipos morfológicos dos agregados foram considerados como independentes: tratamento, sazonalidade e tipos de agregados formados (físicogênico, intermediário e biogênico).

A comparação entre os tratamentos do experimento e as áreas de referência foi feita por meio da análise do intervalo de confiança (IC) no Programa R. O IC informa sobre a variabilidade/dispersão de estimativas pontuais (PAES, 1998). O procedimento mais apropriado para estimar duas médias populacionais por intervalo requer o conhecimento sobre a homogeneidade ou não das variâncias das duas populações. As

variâncias foram testadas quanto à homogeneidade, fixando valores para homogêneas ou heterogêneas, segundo teste F que compara duas variâncias. Foi aplicado teste t entre cada tratamento e cada área de referência para testar a hipótese de igualdade das médias. Como subproduto foram determinados os intervalos de confiança que eram a informação de interesse. A hipótese de nulidade é H_0 : tratamento-área de referência=0, ou seja, H_0 : $m_1=m_2$, assim se o zero está presente dentro do intervalo as médias não diferem, se não estiver incluso no IC as médias diferem (FERREIRA, 2008).

A análise de *cluster* (agrupamento) foi realizada no Programa R. O objetivo da análise de agrupamento foi reconhecer subconjuntos por meio de uma análise simplificada e exploratória (BOCARD et al., 2011). Foram realizadas duas análises de agrupamento: 1) com base nas características químicas do solo e de todos os tipos morfológicos de agregados identificados nos tratamentos do experimento e nas áreas de referência, para entender as relações entre as características do solo e dos diferentes tipos de agregados; 2) com base nas características químicas de cada tipo de agregado, características do solo e comunidade da macrofauna edáfica com os tratamentos, para entender como os tratamentos se agrupam em função desses atributos avaliados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Agregados

6.1.1 Composição Relativa

Os agregados fisicogênicos foram encontrados em maior proporção que os intermediários e biogênicos em todos os tratamentos do experimento e na área de referência com plantio convencional, em ambas as épocas de amostragem (Tabela 1). Esses resultados corroboram com aqueles encontrados por Batista et al. (2013) para estudo no MS em áreas com integração lavoura-pecuária, Loss et al. (2014) no estado do PR em áreas de floresta, plantio direto e convencional e Pulleman et al. (2005) em áreas de pastagem, sistema de adubação orgânica e convencional na Holanda.

Tabela 1. Composição relativa dos tipos morfológicos de agregados nas duas épocas de avaliação na camada de 0 - 0,1m do solo (altura do bloco).

Tratamento	Época Seca			Época Chuvosa		
	F	I	B	F	I	B
	-----%-----					
S-C	58,6	23,9	17,5	57,4	21,7	21,0
M-M	61,6	22,9	15,5	52,4	22,3	25,4
S/M-M	65,9	21,2	12,9	53,4	23,0	23,6
S/M-C	67,2	19,5	13,3	56,3	21,9	21,8
Plantio Convencional	61,5	23,8	14,7	55,5	24,8	19,7
Vegetação Nativa	20,8	21,3	58,0	29,6	18,8	51,6

F: Fisicogênico; I: Intermediário; B: Biogênico; S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria.

Quando se analisa a área de referência de vegetação nativa, observam-se resultados opostos, pois os agregados biogênicos apresentaram maior composição relativa. Sob vegetação nativa, pelo fato do solo não estar sujeito às alterações de manejo, pressupõe-se a ocorrência de maior atividade biológica e, como consequência, mais agregados de origem biogênica. Resultados semelhantes foram encontrados por Velásquez et al. (2007), em estudo em florestas naturais e plantações de café com sombreamento. Os autores verificaram nessas áreas uma comunidade da macrofauna mais abundante, sendo associada à maior proporção de agregados biogênicos.

6.1.2 Estabilidade de agregados

Os atributos químicos e físicos dos agregados variaram em função do tratamento, sazonalidade e tipo morfológico e da interação entre eles (Tabela 2). A estabilidade dos agregados, representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP), apresentou diferenças entre os tipos morfológicos nos dois períodos avaliados entre os tratamentos.

Tabela 2. Resultados da análise de variância (Teste F) para as avaliações dos tratamentos, tipos morfológicos de agregados e sazonalidade.

Fontes de variação	DMP	COT	CO _p	CO _{am}
Tratamento (T)	1,11 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,39 ^{ns}	1,78 ^{ns}
Sazonalidade (S)	3,65 ^{ns}	20,40**	9,48*	28,34**
Tipo morfológico (M)	63,45**	243,41**	204,33**	172,76**
Interação T x S	5,06*	3,67 ^{ns}	1,90 ^{ns}	3,54 ^{ns}
Interação T x M	5,58**	2,80*	5,29**	1,99 ^{ns}
Interação M x S	3,20 ^{ns}	3,30*	16,30**	0,80 ^{ns}
T x S x M	4,95**	0,14 ^{ns}	4,99**	0,14 ^{ns}

ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P < 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$). DMP: diâmetro médio ponderado; COT: carbono orgânico total; CO_p: carbono orgânico particulado; CO_{am}: carbono orgânico associado aos minerais.

Quando presentes, essas diferenças mostraram que os agregados biogênicos apresentaram maiores valores de DMP quando comparados, principalmente, com os agregados de origem fisicogênica (Tabela 3). Os agregados intermediários não apresentaram um padrão definido. Coq et al. (2007) encontraram resultados semelhantes, e atribuíram a maior estabilidade estrutural de agregados biogênicos ao muco produzido por minhocas, hifas fúngicas e aos polissacarídeos produzidos pela atividade microbiana, que desempenham um papel de ligação entre as partículas do solo. Jouquet et al. (2008) encontraram maior estabilidade em agregados biogênicos quando comparados com solo não ingerido pela macrofauna do solo e correlação entre estabilidade de agregados e MOS. Os autores relatam que a menor hidratação de agregados biogênicos ocorreu como consequência da maior força de coesão entre as partículas e redução da penetração de água, sendo essa última suposição consolidada pela hidrofobicidade da MOS, menor porosidade nos agregados, menor quantidade de túbulos, fissuras e ausência de grandes espaços vazios que possam reduzir a infiltração de água.

Tabela 3. Valores médios de diâmetro médio ponderado (mm) de agregados de diferentes classes morfológicas: Fisicogênico (F), Intermediário (I) e Biogênico (B) em duas épocas de avaliação.

Tratamento	Época Seca			Época Chuvosa		
	F	I	B	F	I	B
S-C	4,306 a	4,389 a	4,558 a	4,251 a	4,226 a	4,484 a
M-M	4,155 b	4,714 b	5,017 a	4,953 a	4,749 a	5,187 a
S/M-M	4,275 b	4,862 b	5,106 a	4,482 a	4,436 a	4,690 a
S/M-C	4,535 b	4,909 ab	5,290 a	3,310 c	4,138 b	4,662 a
Plantio Convencional	3,671	3,545	4,427	3,426	4,057	3,982
Vegetação Nativa	5,719	5,710	5,769	5,709	5,753	5,772

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na linha entre as classes morfológicas de agregados F, I, B para um mesmo parâmetro (Época seca e chuvosa), não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. DMP: diâmetro médio ponderado. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária.

Na época seca, para os tratamentos que apresentaram milho em sua constituição, M-M, S/M-M e S/M-C, foram observados os maiores valores de DMP nos agregados biogênicos (Tabela 3). Esse resultado mostra o efeito do sistema radicular dessa cultura atuando fisicamente no processo de agregação. Oades (1984) relata que o aumento da estabilidade do solo ocorre devido ao aumento da absorção e eficácia dos agentes de ligação orgânicos, provavelmente por polissacarídeos que são liberados a partir de raízes, além de exsudatos solúveis. Ressalta, ainda, que as raízes e os pelos radiculares são decompostos continuamente e os organismos da rizosfera produzem mucilagem própria que são consideradas como importantes “cola” no solo. Assim, a influência de estabilização nos agregados por sistemas radiculares é dominante. As raízes atuam ainda como fonte alimentar para os organismos do solo (BEZEMER et al., 2010; SALAMON et al., 2011). Portanto, atuam fisicamente na formação de agregados biogênicos e por meio de recursos alimentares disponibilizados para macrofauna do solo.

O sistema radicular influenciou na diferenciação dos tipos morfológicos nos tratamentos com milho na constituição M-M, S/M-M e S/M-C. Contudo, as características dos resíduos das espécies leguminosas presentes em S-C podem ter contribuído para a menor atuação de organismos e, portanto, permitido a formação de agregados de diferentes tipos morfológicos, porém, com características semelhantes. Marcelo (2011), em estudo da decomposição de resíduos de culturas, na mesma área de estudo desse trabalho, observou que resíduos de crotalária, apesar de apresentarem menor relação C/N, apresentam menores taxas de decomposição em relação às demais plantas que

foram: milho, sorgo, nabo forrageiro, milheto, girassol e guandu, devido às maiores concentrações de lignina nos caules, o que dificulta a atividade de organismos na ingestão de resíduos e, por consequência, sua função na formação dos agregados. Coq et al. (2007), em estudo sobre as características de estruturas biogênicas e solo não ingerido com adição de resíduos de gramíneas e leguminosas, encontraram interação entre os agregados de maior tamanho e o tipo de resíduo aplicado. As maiores proporções de agregados foram encontradas em resíduos da gramínea. Os autores atribuem este resultado às características das espécies, o que pode ter afetado, por exemplo, a ingestão do material vegetal pelas minhocas, visto que os resíduos da leguminosa (soja) apresentavam partes mais lenhosas, enquanto os resíduos da gramínea (arroz) estavam na forma de palha.

Esses resultados corroboram com os encontrados nesse estudo, pois em S-C o efeito das leguminosas permitiu que os dois processos de formação (biogênicos e fisicogênicos) apresentassem valores de DMP semelhantes, indicando a menor atuação de organismos na formação dos agregados, principalmente os engenheiros do ecossistema. Nos tratamentos com gramíneas, o efeito dos organismos, principalmente os engenheiros do ecossistema, pode ter sido seletivo quanto à fonte alimentar, e associado a isso, as raízes podem ter atuado na aproximação de partículas e, ainda, com liberação de mucilagem. De acordo com Six et al. (2004), as raízes influenciam a estrutura do solo diretamente por meio de excreções, principalmente polissacarídeos e indiretamente por meio da estimulação da biomassa microbiana, além de absorver água e promover o aumento da força de coesão devido ao secamento do solo.

Na época chuvosa, somente em S/M-C foram observadas diferenças entre os tipos de agregados, sendo o maior valor de DMP encontrado nos agregados biogênicos. Acredita-se que essa diferença ocorreu em função da menor estabilidade nos agregados fisicogênicos e não pela maior atuação dos agentes biológicos nesse processo, visto que os demais tratamentos, principalmente aqueles que têm milho na composição não apresentaram o mesmo padrão. Em S/M-C o espaçamento entre linhas para crotalária e soja é de 45 cm, fato que pode ter contribuído para os menores valores de DMP dos agregados fisicogênicos. Mesmo sendo um cultivo em PD e com menor mobilização do solo, ocorre maior intensidade do pequeno revolvimento para o espaçamento de 45 cm, quando comparado com o espaçamento de 90 cm da cultura do milho.

Os demais tratamentos não apresentaram diferenças de DMP entre os tipos de agregados na época chuvosa, fato que pode ser explicado pelo menor efeito de coesão entre as partículas quando o solo tem um conteúdo maior de água, e quando imergido diminui a interrupção (BULLOCK et al., 1988). Outra hipótese para a diferenciação entre os tipos morfológicas na época seca e a não diferenciação na época chuvosa é a atuação da mucilagem produzida pelas raízes em diferentes condições de umidade. Watt et al. (1994) estudaram o efeito de solo seco e úmido na quantidade de solo associado às raízes de milho. Os autores observaram que uma maior quantidade de solo estava associada às raízes quando o crescimento do milho foi submetido a uma camada de solo seco (9% umidade) e atribuíram este fato a permanência de mucilagens quando o solo está seco, pois em solos úmidos (20% umidade), a mucilagem pode ser dissolvida e difundida. A aderência do solo pela mucilagem é principalmente realizada pelas ligações entre os açúcares da mucilagem e as partículas de solo.

Quando se analisam as diferenças de DMP entre os tratamentos para cada tipo de agregado (Tabela 4), pode-se observar que, na época chuvosa, somente para agregados fisicogênicos, ocorreram diferenças, sendo os maiores valores para aqueles com a maior participação de milho na composição do tratamento.

Tabela 4. Valores médios de diâmetro médio ponderado (mm) dos agregados de diferentes classes morfológicas em dois períodos de avaliação.

Tratamento	Fisicogênico		Intermediário		Biogênico	
	S	C	S	C	S	C
S-C	4,306 Aa	4,251 ABa	4,389 Aa	4,226 Aa	4,558 Aa	4,484 Aa
M-M	4,155 Ab	4,953 A a	4,714 Aa	4,749 Aa	5,017 Aa	5,187 Aa
S/M-M	4,275 Aa	4,482 Aa	4,862 Aa	4,436 Aa	5,106 Aa	4,690 Aa
S/M-C	4,535 Aa	3,310 B b	4,909 Aa	4,138 Ab	5,290 Aa	4,662 Aa
Plantio Convencional	3,671	3,426	3,545	4,057	4,427	3,982
Vegetação Nativa	5,719	5,709	5,710	5,753	5,769	5,772

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% para mesmo tipo morfológico de agregado. S: época seca; C: época chuvosa. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria.

6.1.3 Conteúdo de carbono orgânico nos tipos morfológicos de agregados

A participação dos agregados biogênicos foi pequena em relação ao total dos agregados formados, desta maneira, as formas que o carbono orgânico se apresenta nos agregados (COT, COP e COam) foram comparadas em relação aos teores de

carbono absolutos, ou seja, a qualidade da matéria orgânica presente nesses agregados e não a quantidade ou estoque que representa em relação ao total de agregados.

Os teores médios de carbono orgânico total (COT) não se diferenciaram entre os tratamentos nas duas épocas para os diferentes tipos de agregados, não apresentando interação significativa entre tratamento e sazonalidade (Tabela 2). Também não houve diferenças entre tratamentos para um mesmo tipo de agregado (Figura 7). Para o COT foram observadas diferenças entre os tipos morfológicos de agregados para um mesmo tratamento. Os menores teores médios foram encontrados nos agregados fisicogênicos, corroborando com os resultados de Pulleman et al. (2005), Silva Neto et al. (2010), Batista et al. (2013) e Loss et al. (2014). De acordo com Pulleman et al. (2005), o enriquecimento de carbono em estruturas biogênicas indica seletiva alimentação do material orgânico por organismos, aumentando os teores de carbono nesses agregados. Haynes e Fraser (1998), que estudaram o efeito de resíduos de plantas na estabilidade de coprólitos e solo não ingerido, observaram uma relação entre a matéria orgânica presente nos coprólitos e a estabilidade dos mesmos. Os autores relataram que a incorporação de resíduos orgânicos nessas estruturas foi claramente importante para a estabilização dos coprólitos, sendo mais estáveis quando comparados com solo não ingerido. Atribuíram este fato à oclusão de fragmentos e resíduos orgânicos na matriz do solo ocasionadas pelo trânsito intestinal, sendo que, estes fragmentos tornam-se focos de estabilização por meio de mucilagens excretadas pela microflora e ligações entre os componentes minerais do solo e resíduos humificados.

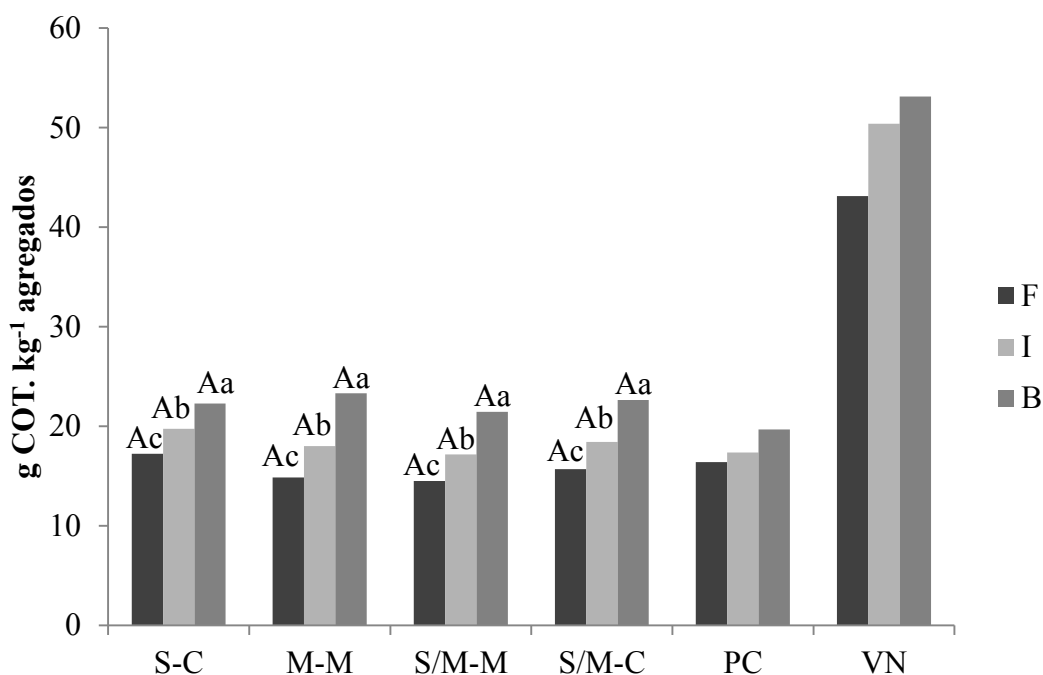


Figura 7. Valores médios de carbono orgânico total (COT) para os diferentes tipos morfológicos de agregados em função dos tratamentos. Valores seguidos por letras maiúsculas iguais entre tratamentos em um mesmo tipo morfológico de agregado e minúsculas iguais entre diferentes tipos morfológicos de agregados para um mesmo tratamento, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. F: Fisicogênico; I: Intermediário; B: Biogênico. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa. Médias provenientes de 24 dados.

Os agregados biogênicos apresentaram os maiores teores de COT, quando comparados com os agregados fisicogênicos (Figura 8). Os maiores teores de COT foram encontrados para a época seca, provavelmente, em função das plantas de cobertura.

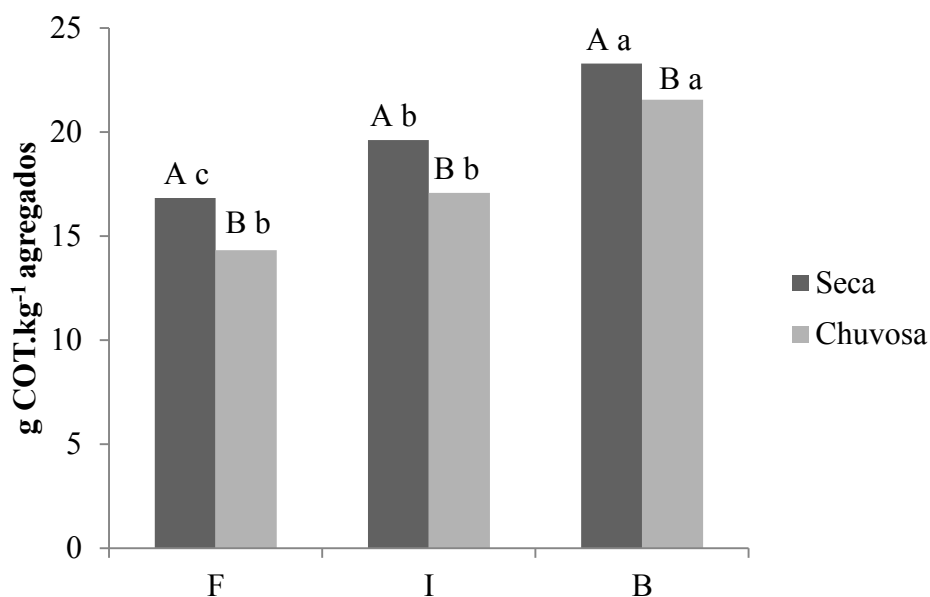


Figura 8. Valores médios de carbono orgânico total (COT) para os diferentes tipos morfológicos de agregados em duas épocas de avaliação. Valores seguidos por letras maiúsculas iguais entre épocas em um mesmo tipo morfológico de agregado e minúsculas iguais entre diferentes tipos morfológicos de agregados na mesma época de avaliação, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. F: fisicogênico; I: intermediário; B: biogênico. Médias provenientes de 12 repetições.

Quando se avalia o COT entre os tratamentos do experimento em relação às áreas de referência, observa-se que, quando comparados com o plantio convencional, os tratamentos apresentaram médias iguais (Tabelas 5 e 6). No entanto, quando comparados com a área de vegetação nativa, as médias foram menores. Esse padrão foi observado para as duas épocas de avaliação. Mesmo sendo um sistema conservacionista, com diminuição dos impactos do manejo nas propriedades do solo, nos tratamentos em plantio direto não foram encontrados resultados semelhantes à área de vegetação nativa, ressaltando que, ainda, apresentam para este atributo características herdadas por mais de 20 anos sendo cultivados sob sistema não conservacionista de solo, visto que, os tratamentos do experimento não se diferenciaram do plantio convencional.

Tabela 5. Valores médios de carbono orgânico total dos diferentes tipos morfológicos de agregados em duas épocas de avaliação.

Tratamento	Época seca			Época chuvosa		
	F	I	B	F	I	B
	-----g kg ⁻¹ -----					
S-C	18,83	21,43	23,83	15,63	18,07	20,73
M-M	15,17	18,23	23,03	14,57	17,80	23,60
S/M-M	15,97	18,80	22,40	13,03	15,57	20,53
S/M-C	17,37	20,00	23,93	14,03	16,87	21,33
Plantio Convencional	18,73	19,60	22,00	14,07	15,17	17,37
Vegetação Nativa	48,77	57,00	53,93	37,47	43,80	52,30

F: Fisicogênico; I: Intermediário; Biogênico; S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária

Tabela 6. Intervalos de Confiança e teste t de comparação de médias dos teores de carbono orgânico total para os diferentes tipos morfológicos de agregados entre os tratamentos do experimento (S-C, M-M, S/M-M e S/M-C) e áreas de referência (PC e VN).

Referência (P-C-V-N).								
Tratamento	Época seca				Época chuvosa			
	Diferença de médias	LS	LI	p-valor	Diferença de médias	LS	LI	p-valor
Fisicogênico								
S-C – PC	0,10	5,26	-5,06	0,96	1,57	6,31	-3,17	0,41
M-M – PC	-3,57	1,55	-8,68	0,12	0,50	7,03	-6,03	0,84
S/M-M – PC	-2,77	2,60	-8,14	0,23	-1,03	4,08	-6,15	0,60
S/M-C – PC	-1,37	2,17	-4,90	0,34	-0,03	4,51	-4,57	0,98
S-C – VN	-29,93	-24,54	-35,33	<0,01	-21,83	-9,19	-34,48	0,01
M-M – VN	-33,60	-28,25	-38,95	<0,01	-22,90	-9,48	-36,32	0,01
S/M-M – VN	-32,80	-27,20	-38,40	<0,01	-24,43	-11,64	-37,22	0,01
S/M-C – VN	-31,40	-27,53	-35,27	<0,01	-23,43	-10,86	-36,00	0,01
Intermediário								
S-C – PC	1,83	4,32	-0,65	0,11	2,90	8,93	-3,13	0,25
M-M – PC	-1,37	8,60	-11,33	0,62	2,63	9,41	-4,15	0,34
S/M-M – PC	-0,80	3,12	-4,72	0,60	0,40	6,22	-5,42	0,86
S/M-C – PC	0,40	2,23	-1,43	0,58	1,70	6,53	-3,13	0,38
S-C – VN	-35,57	-30,11	-41,03	<0,01	-25,73	-12,31	-39,15	0,01
M-M – VN	-38,77	-30,55	-46,99	<0,01	-26,00	-12,23	-39,77	0,01
S/M-M – VN	-38,20	-31,95	-44,45	<0,01	-28,23	-14,91	-41,56	<0,01
S/M-C – VN	-37,00	-31,80	-42,20	<0,01	-26,93	-14,01	-39,86	<0,01
Biogênico								
S-C – PC	1,83	4,48	-0,81	0,13	3,37	10,40	-3,67	0,25
M-M – PC	1,03	12,93	-10,86	0,82	6,23	15,55	-3,08	0,14
S/M-M – PC	0,40	2,98	-2,18	0,69	3,17	8,99	-2,66	0,21
S/M-C – PC	1,93	5,20	-1,34	0,18	3,97	10,58	-2,65	0,17
S-C – VN	-30,10	-12,67	-47,53	0,02	-31,57	-19,30	-43,84	<0,01
M-M – VN	-30,90	-14,49	-47,31	0,01	-28,70	-14,99	-42,41	<0,01
S/M-M – VN	-31,53	-14,04	-49,02	0,02	-31,77	-20,15	-43,39	<0,01
S/M-C – VN	-30,00	-18,23	-41,77	<0,01	-30,97	-18,93	-43,00	<0,01

S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: plantio convencional; VN: vegetação nativa. LS: limite superior; LI: limite inferior.

Para o carbono orgânico particulado (COp), os dados apresentaram interações significativas entre sazonalidade, tratamento e tipo morfológico (Tabela 4). Os agregados biogênicos apresentaram os maiores teores de COp, quando comparados com os fisicogênicos nas duas épocas de avaliação (Tabela 7). Resultados semelhantes foram encontrados por Loss et al. (2014) e Pulleman et al. (2005), sendo que esses últimos relatam que a atividade de minhocas pode incorporar consideráveis teores de COp dentro da matriz mineral, assim como iniciar a formação de microagregados, visto que foram encontradas maiores quantidades neste tipo morfológico. Six et al. (2000) desenvolveram um modelo conceitual no qual a razão entre a formação de macro e microagregados, estabilização e degradação estão diretamente relacionadas com a dinâmica do COp, sendo assim, os agregados biogênicos podem contribuir de forma mais expressiva para a formação de microagregados e para o aumento da retenção de carbono no solo.

Tabela 7. Valores médios de carbono orgânico particulado (g carbono kg⁻¹ de agregados) de agregados de diferentes classes morfológicas: Fisicogênico (F), Intermediário (I) e Biogênico (B) em duas épocas de avaliação.

Tratamento	Época Seca			Época Chuvosa		
	F	I	B	F	I	B
S-C	0,37 b	0,85 a	1,18 a	0,43 b	0,82 ab	0,97 a
M-M	0,28 b	0,83 a	1,30 a	0,60 b	0,87 ab	2,41 a
S/M-M	0,47 b	0,92 ab	1,42 a	0,45 b	0,82 b	2,67 a
S/M-C	0,39 b	0,66 b	0,99 a	0,44 b	0,71 b	2,69 a
Plantio Convencional	0,41	0,77	0,89	0,43	0,56	1,65
Vegetação Nativa	0,76	0,92	0,99	0,65	0,39	1,74

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na linha entre as classes morfológicas de agregados F, I, B para um mesmo parâmetro, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. DMP: diâmetro médio ponderado. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria.

Os agregados biogênicos apresentaram diferenças entre tratamentos e sazonalidade (Tabela 8). Os maiores teores de COp em M-M, S/M-M e S/M-C provavelmente ocorreram devido à atuação das raízes de milho, principalmente nos primeiros centímetros de solo.

Tabela 8. Valores médios de carbono orgânico particulado (g carbono kg⁻¹ de agregados) dos agregados de diferentes tipos morfológicos em duas épocas de avaliação.

Tratamento	Fisicogênico		Intermediário		Biogênico	
	S	C	S	C	S	C
S-C	0,37 Aa	0,43 Aa	0,85 Aa	0,82 Aa	1,18 Aa	0,97 Ba
M-M	0,28 Aa	0,60 Aa	0,83 Aa	0,87 Aa	1,30 Aa	2,41 Aa
S/M-M	0,47 Aa	0,45 Aa	0,92 Aa	0,82 Aa	1,42 Ab	2,67 Aa
S/M-C	0,39 Aa	0,44 Aa	0,66 Aa	0,71 Aa	0,99 Ab	2,69 Aa
Plantio Convencional	0,41	0,43	0,77	0,56	0,89	1,65
Vegetação Nativa	0,76	0,65	0,92	0,39	0,99	1,74

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% para mesmo tipo morfológico de agregado. S: época seca; C: época chuvosa. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria.

Quando os teores de COp dos tratamentos do experimento foram comparados com as áreas de referência, apresentaram diferentes médias (Tabela 9). Para os agregados fisicogênicos, na época seca, M-M apresentou menores teores quando comparado com o plantio convencional. Quando os tratamentos foram comparados com a área de vegetação nativa, somente S/M-M apresentou médias iguais, e os demais tratamentos apresentaram médias menores.

Tabela 9. Intervalos de confiança e teste t das comparações dos teores de carbono orgânico particulado entre os tratamentos do experimento (S-C; M-M; S/M-M e S/M-C) e áreas de referência (PC e VN).

Tratamento	Época seca				Época chuvosa			
	Diferença de médias	Limite Superior	Limite Inferior	p-valor	Diferença de médias	Limite Superior	Limite Inferior	p-valor
Fisicogênico								
S-C – PC	-0,04	0,07	-0,16	0,35	0,002	0,22	-0,22	0,98
M-M – PC	-0,14	-0,08	-0,19	<0,01	0,17	0,34	0,00	0,05
S/M-M – PC	0,06	0,53	-0,41	0,67	0,02	0,22	-0,19	0,79
S/M-C – PC	-0,02	0,06	-0,10	0,54	0,01	0,16	-0,14	0,83
S-C – VN	-0,39	-0,25	-0,52	<0,01	-0,22	0,09	-0,53	0,12
M-M – VN	-0,48	-0,38	-0,57	<0,01	-0,05	0,22	-0,32	0,63
S/M-M – VN	-0,29	0,04	-0,61	0,07	-0,21	0,09	-0,50	0,13
S/M-C – VN	-0,36	-0,25	-0,47	<0,01	-0,21	0,05	-0,47	0,09
Intermediário								
S-C – PC	0,08	0,88	-0,72	0,80	0,26	0,63	-0,10	0,12
M-M – PC	0,06	0,82	-0,70	0,84	0,31	0,49	0,13	0,02
S/M-M – PC	0,15	0,97	-0,68	0,65	0,25	0,42	0,09	0,01
S/M-C – PC	-0,11	0,64	-0,85	0,71	0,15	0,40	-0,10	0,17
S-C – VN	-0,07	0,38	-0,52	0,68	0,43	0,84	0,03	0,04
M-M – VN	-0,09	0,28	-0,46	0,53	0,48	0,81	0,15	0,02
S/M-M – VN	0,00	0,48	-0,49	0,98	0,43	0,67	0,19	<0,01
S/M-C – VN	-0,26	0,08	-0,59	0,10	0,32	0,63	0,02	0,04
Biogênico								
S-C – PC	0,29	1,27	-0,69	0,34	-0,68	0,84	-2,20	0,28
M-M – PC	0,41	1,56	-0,73	0,27	0,76	2,64	-1,12	0,33
S/M-M – PC	0,53	1,64	-0,59	0,18	1,01	2,06	-0,03	0,06
S/M-C – PC	0,10	0,36	-0,16	0,35	1,03	2,59	-0,52	0,14
S-C – VN	0,19	1,24	-0,86	0,65	-0,77	0,70	-2,24	0,22
M-M – VN	0,31	1,43	-0,81	0,48	0,67	2,51	-1,18	0,37
S/M-M – VN	0,42	1,53	-0,68	0,35	0,92	1,90	-0,05	0,06
S/M-C – VN	0,00	0,85	-0,86	0,99	0,94	2,45	-0,57	0,16

S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: plantio convencional; VN: vegetação nativa.

Com relação aos agregados biogênicos, não foram observadas diferenças entre os tratamentos e as áreas de referências nas duas épocas de avaliação. Esse fato mostra que, para este tipo morfológico de agregados, o efeito dos tratamentos foi mais importante do que a comparação entre sistemas, visto que as comparações entre os tratamentos apresentaram diferenças e nas comparações com as áreas de referência isso não aconteceu. Desta forma, elucida-se a atuação da macrofauna edáfica na formação de agregados biogênicos, permitindo que para esse atributo não ocorra diferenciação entre as áreas. Vale ressaltar a atuação da macrofauna edáfica, visto que para essas comparações (tratamentos do experimento com as áreas de referência), o efeito das raízes foi diminuído já que são diferentes sistemas com diferentes plantas, principalmente em vegetação nativa.

Para o carbono orgânico associado aos minerais (COam), os dados não apresentaram interações significativas, sendo significativas as variações para tipo morfológico e sazonalidade (Tabela 4). Os agregados biogênicos apresentaram maiores teores de COam, quando comparados com agregados fisicogênicos (Figura 9), apresentando o mesmo padrão que COT e COp. Maiores teores de COam em agregados biogênicos também foram observados por Loss et al. (2014), que estudaram o efeito de diferentes sistemas de culturas sobre a formação de agregados biogênicos e fisicogênicos. Em relação aos tratamentos, os autores observaram os maiores teores de COam em área de pastagem nos agregados biogênicos e fisicogênicos em relação aos demais tratamentos, indicando que o sistema promove estabilidade física da MOS. No presente trabalho, os teores de COam não apresentaram variação entre os tratamentos, provavelmente, devido aos tratamentos serem conduzidos sob um mesmo sistema de manejo e a maior influência de atributos do solo (mineralogia e textura) que da cobertura sobre essa variável.

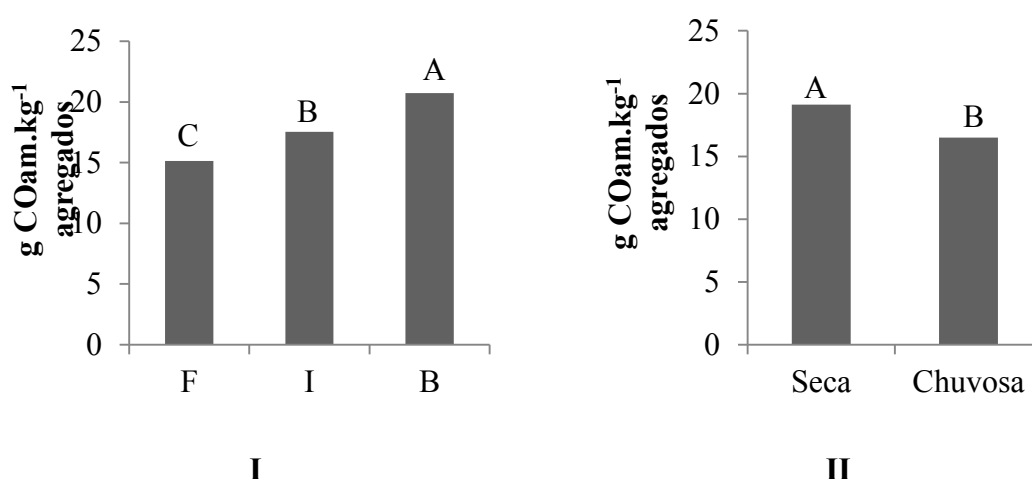


Figura 9. Valores médios das frações de carbono orgânico associado aos minerais (COam) para as diferentes classes morfológicas de agregados (I) em duas épocas de avaliação (II). Valores seguidos por letras maiúsculas iguais entre barras não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. F: Fisicogênico; I: Intermediário; B: Biogênico. Médias provenientes de 24 e 36 dados para as figuras I e II respectivamente.

De forma geral, pode-se supor que a atividade biológica (raízes e macrofauna) aumentou os teores de carbono nas diferentes frações havendo alguns estudos que suportam esses resultados, como já comentado anteriormente. Contudo, outros estudos relatam a diminuição dos teores de carbono quando é mais intensa a atividade biológica, principalmente de minhocas, como relatado por Coq et al. (2007). Esses autores, em estudo

sobre as características de estruturas biogênicas e solo não ingerido com adição de resíduos de gramíneas e leguminosas, encontraram menores teores de carbono na camada de 10-20 cm em solo com adição de minhocas, quando comparado com a ausência de minhocas. Os autores relatam que, para o curto tempo do experimento, que foi de cinco meses, o processo de mineralização foi maior que o processo de proteção que ocorre em longo prazo. Bohlen et al. (2004), que estudaram os mecanismos pelos quais as minhocas interferem no fluxo de carbono e a importância do tempo nesse processo, reportaram que as minhocas têm efeito direto no carbono do solo por meio da respiração, produção de muco, processamento da MOS e mudança na estrutura do solo (agregados e galerias), sendo o componente final desse modelo a formação de agregados do solo, pois, enquanto os demais componentes aumentam o fluxo de CO₂, a agregação pode diminuir esse fluxo e aumentar os teores de MOS. Os autores relatam, ainda, que o aumento da mineralização se dá em curto período, ao passo que em longos períodos a respiração diminui, indicando maior proteção da MOS em agregados biogênicos. Lavelle e Martin (1992) reportaram que, em escala intestinal, o processo de decomposição é acelerado, sendo resultado da interação entre solo, muco intestinal e quebra da proteção física. Já em escala maior, em forma de coprólito, a atividade microbiana continua em nível acelerado por alguns dias, levando a mineralização, especialmente de carbono e fósforo e, logo após, a atividade microbiana diminui gradualmente atingindo níveis originais. Já em escala de anos, com os coprólitos envelhecidos, a decomposição é retardada devido ao esgotamento de substratos assimiláveis e a proteção física da MOS, começando, assim, a estocar carbono. Os mesmos autores observaram em coprólitos envelhecidos, no tempo de um ano, conteúdo de MOS 11% maior em comparação com o controle, pois, neste caso, o processo de proteção da MOS já havia começado.

No presente estudo, os agregados biogênicos foram aqueles formados tanto pela atividade de organismos da fauna edáfica, por meio de coprólitos, ninhos e galerias, quanto pela ação de raízes. Assim, não é possível afirmar se os maiores teores de carbono nos agregados biogênicos são, definitivamente, devido à proteção que esses agregados propiciam após o período de mineralização ou devido à atividade de raízes. Seria necessário isolar o fator fauna e o fator raiz, provavelmente em experimento em laboratório, visto que no campo estão fortemente associados, o que torna muito difícil isolar o efeito.

6.1.4 Partição da variabilidade

Os agregados podem variar em função da atividade de organismos engenheiros, atividade radicular e fenômenos físicos e químicos que atuam no processo de formação dos agregados. Contudo, fatores como as plantas, que constituem no estudo os tratamentos e a sazonalidade, norteiam essas variações. Neste sentido, com o intuito de investigar em função de quais fatores as propriedades químicas e físicas dos agregados mais variaram foi realizada a partição da variabilidade (Tabela 10).

Tabela 10. Resultado da ANOVA multivariada dos efeitos de tratamento, tipos morfológicos e sazonalidade na variação de propriedades químicas e físicas de agregados.

Fontes de variação	GL	SQTotal	F	P-valor
Bloco	2	1,6088	5,75	0,001
Tratamento (T)	3	2,8925	6,89	0,001
Sazonalidade (S)	1	1,4494	10,36	0,001
Tipo morfológico (M)	2	3,2342	11,56	0,001
T x S	3	1,2470	3,30	0,001
T x M	6	0,5832	0,67	0,923
M x S	2	0,6341	2,36	0,013
T x S x M	17	2,9744	1,38	0,023
Resíduo	46	5,8407		
Total	71			

A associação entre as propriedades químicas e físicas dos agregados e os tratamentos foi significativa, assim como para bloco, sazonalidade, tipo morfológico e a interação entre tratamento, sazonalidade e tipo morfológico. Todos esses fatores explicaram 58,6% da variabilidade dos atributos químicos e físicos dos agregados, sendo que os blocos explicaram 8,9% de toda a variabilidade, sendo incluído como co-variável na obtenção da variabilidade dos demais fatores. Os tratamentos explicaram 16,1% da variabilidade, a sazonalidade 8,1%, os tipos morfológicos 18,0% e a interação entre tratamento, sazonalidade e tipos morfológicos explicaram 16,5% da variabilidade. Contudo, 41,4% da variação dos atributos dos agregados não puderam ser explicados.

Ao analisar a Figura 10, observa-se que os tratamentos S-C e M-M, apresentaram-se correlacionados negativamente em função dos atributos químicos e físicos dos agregados. O S-C correlacionou-se com os atributos Ca, SB, V, pH, CTC e P,

relacionados com as características de um ambiente de maior fertilidade do solo. O M-M apresentou-se correlacionado com as variáveis Al e H+Al, responsáveis pela acidez do solo e, também, com DMP indicando uma maior estabilidade dos agregados do solo. Os tratamentos S/M-C e S/M-M, que são aqueles que apresentam constituição mista entre gramíneas e leguminosas, apresentaram-se em posição intermediária, refletindo assim sua composição, formada por gramíneas e leguminosas.

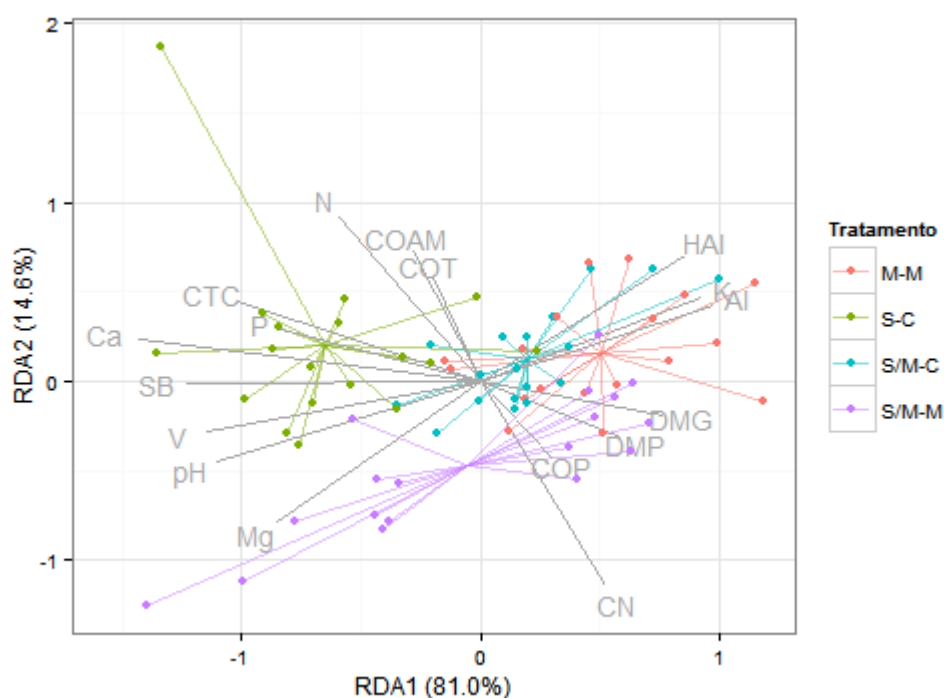


Figura 10. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância dos atributos químicos e físicos dos agregados em função dos tratamentos, exibindo 23,61% da variância dos atributos e 95,6% da variância total. Eigenvalues dos três primeiros eixos são 0,2002, 0,03595 e 0,01094. A soma de todos os eixos canônicos é 24,70%. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria. DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; SB: soma de bases; COT: carbono orgânico total; COT: carbono orgânico particulado; COAM: carbono orgânico associado aos minerais; CN: relação carbono/nitrogênio.

De acordo com os resultados pode-se observar que as plantas influenciaram as características químicas e físicas dos agregados, independente de sazonalidade e tipo morfológico. Marcelo (2011), em estudo na mesma área experimental deste trabalho verificou, de modo geral, menores valores de pH, saturação por bases, P, Ca

e Mg e maior acidez potencial no solo da sequência de milho como cultura de verão, quando comparado ao solo das sequências de soja e rotação de milho com soja, principalmente na camada de 0-10 cm, sendo estes, os mesmos resultados encontrados neste estudo. Segundo o mesmo autor, esses resultados podem ser explicados pelo efeito da acidificação do solo proporcionada pelas adubações nitrogenadas realizadas no milho cultivado no verão, principalmente as adubações de cobertura, nas formas de sulfato de amônio e de uréia.

Os tipos morfológicos apresentaram correlações com os atributos químicos e físicos (Figura 11). Os agregados biogênicos apresentaram-se positivamente correlacionados com DMP, COT, COp, COam, relação C/N, P e N; assim como os agregados intermediários apresentaram-se correlacionados com Ca, Mg, soma de bases e CTC. Haynes e Fraser (1998) observaram maiores concentrações de nutrientes em coprólitos quando comparados com solo não ingerido, sendo este fato, usualmente, atribuído à preferência alimentar de minhocas por resíduos de plantas (com altos conteúdos de nutrientes) no solo e um fluxo de mineralização de matéria orgânica e liberação de P e N durante e logo após serem produzidos. Os autores relatam, ainda, a importância de coprólitos de minhocas na disponibilidade de N no solo, visto que foram encontrados de 1,5-7 vezes mais N em solo ingerido quando comparado com o solo não ingerido.

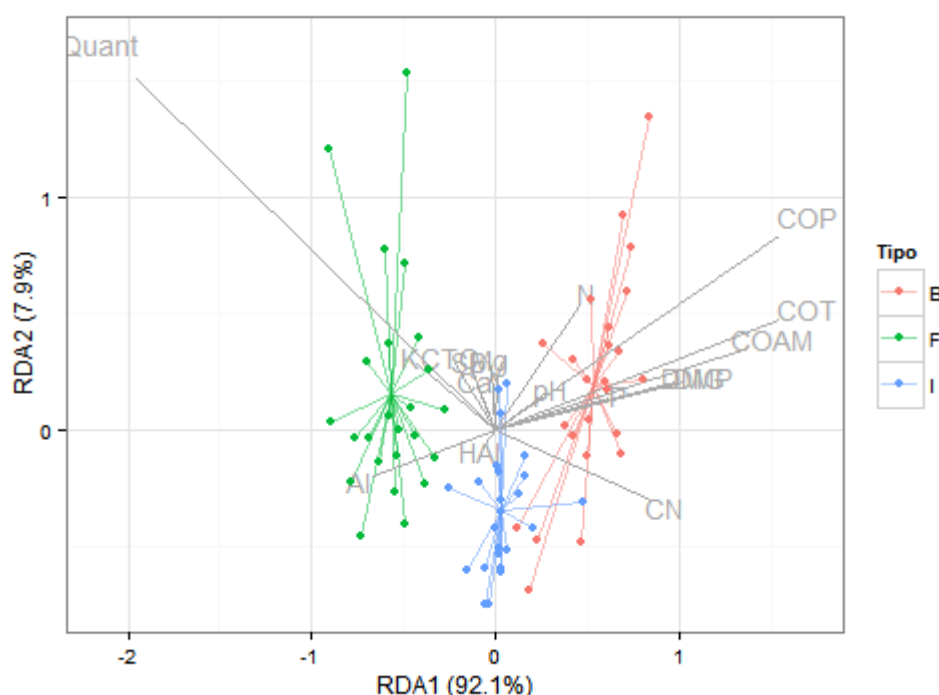


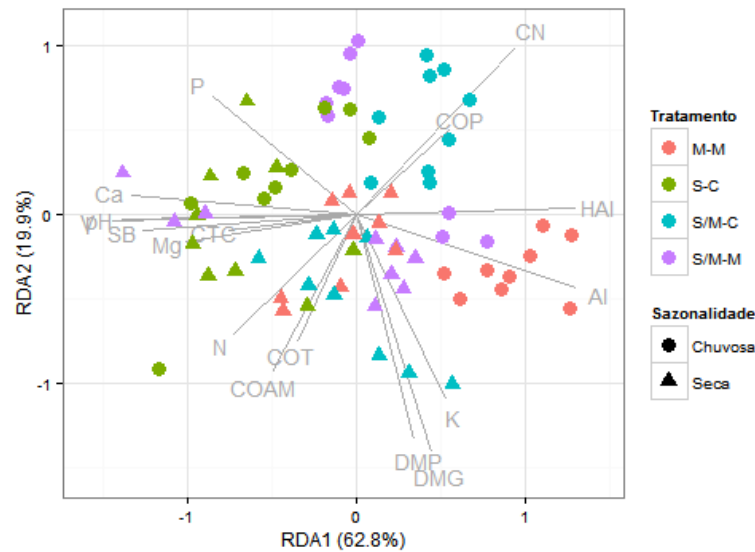
Figura 11. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância dos atributos químicos e físicos dos agregados em função dos tipos morfológicos, exibindo 26,84% da variância dos atributos e 100% da variância total. Eigenvalues dos dois eixos canônicos são 0,2471 e 0,02132. A soma de todos os eixos canônicos é 26,84%. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária. Quant: quantidade de agregados; DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; SB: soma de bases; COT: carbono orgânico total; COp: carbono orgânico particulado; COAM: carbono orgânico associado aos minerais. CN: relação carbono/nitrogênio; F: Fisicogênico; I: Intermediário; B: Biogênico.

A quantidade de agregados da composição relativa foi positivamente correlacionada aos agregados fisicogênicos, visto que estes foram os mais abundantes. O Al também foi positivamente correlacionado com este tipo morfológico, sendo este elemento um dos mais importantes e com maior poder flocculante no solo e envolvido no processo químico de formação dos agregados. Os demais atributos correlacionaram-se com os agregados intermediários, justamente em posição entre fisicogênicos e biogênicos.

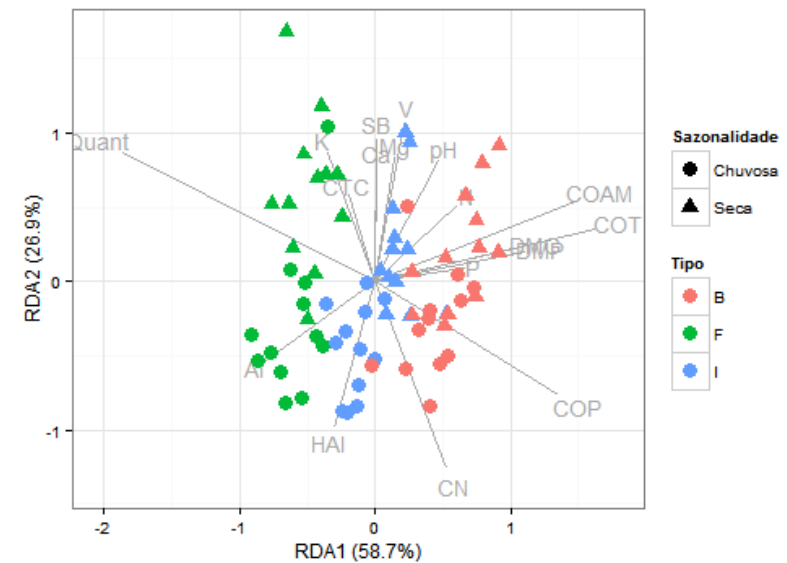
A interação da sazonalidade com os tratamentos (Figura 12a) permitiu a separação dos tratamentos S-C e M-M, independente na época avaliada, sendo esses os únicos que apresentaram somente leguminosas e gramíneas, respectivamente, em

sua constituição. Os tratamentos S/M-M e S/M-C apresentaram um padrão diferente, na época seca ambos mostraram-se mais correlacionados com a estabilidade de agregados. Já na época chuvosa apresentaram-se mais correlacionados com o COp. Esse padrão sugere que nesta época o aumento de recursos no solo, como umidade, um aumento considerável da atividade biológica e o histórico de rotações, permitiu a distinção desses agregados em função da sazonalidade. A mais diversa disponibilidade de recursos provindos da rotação de culturas permitiu diferente atuação dos agentes biológicos (macrofauna e raízes) na formação dos agregados e diferente resposta nos atributos envolvidos no processo, neste caso o COp.

A interação entre sazonalidade e tipo morfológico (Figura 12b), permitiu observar que, mesmo que um atributo tenha variação entre o período amostral, como ocorreu para DMP e COp, os atributos do tipo morfológico continuam característicos desse mesmo tipo, ou seja, não se confunde com características de um tipo morfológico formado por vias diferentes.



a)



b)

Figura 12. Correlação triplot baseada na Análise de Redundância dos atributos químicos e físicos dos agregados em função da sazonalidade e tratamentos, exibindo 51,5% da variância dos atributos e 73,3% da variância total. Eigenvalues dos quatro primeiros eixos canônicos são 0,2964, 0,2185, 0,08876 e 0,04255. A soma de todos os eixos canônicos é 70,3% e a interação explica 61,1% da variabilidade. **b)** Correlação triplot baseada na Análise de Redundância dos atributos químicos e físicos dos agregados em função dos tipos morfológicos e sazonalidade, exibindo 33,7% da variância dos atributos e 85,5% da variância total. Eigenvalues dos doisquatro primeiros eixos canônicos são 0,2312, 0,1058, 0,04029 e 0,0143. A soma de todos os eixos canônicos é 39,4% e a interação explica 29,5% da variabilidade. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária. Quant: quantidade de agregados; DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; SB: soma de bases; COT: carbono orgânico total; COT: carbono orgânico particulado; COAM: carbono orgânico associado aos minerais; CN: relação carbono/nitrogênio; F: Fisicogênico; I: Intermediário; B: Biogênico.

A identificação morfológica dos agregados permitiu a distinção de propriedades químicas e físicas dos mesmos, mostrando, assim, eficiência na caracterização dos agregados e elucidando a atuação dos diferentes agentes no processo de formação e a resposta desta atuação em forma de características que atuam no solo como um todo. De forma geral, a identificação mostrou que agregados biogênicos apresentam maiores teores de carbono e nitrogênio absoluto e são mais estáveis.

6.2 Macrofauna do solo

6.2.1 Efeito da cobertura vegetal e sazonalidade na comunidade da macrofauna do solo

Foram contabilizados e identificados 19051 indivíduos da macrofauna do solo, distribuídos em 29 grupos taxonômicos no solo (Tabela 11) e 1840 indivíduos na serapilheira/palhada distribuídos em 15 grupos taxonômicos (Tabela 12). Dentre os 29 grupos taxonômicos, as pupas de Coleoptera e Lepidoptera foram encontradas, exclusivamente, nas parcelas do experimento e três grupos foram encontrados nas áreas de referência: Isopoda, Pseudoscorpionida e Sternorrhyncha. O grupo Pseudoscorpionida, caracteristicamente constituído por predadores, foi encontrado somente na área de vegetação nativa. Cunha-Neto et al. (2012), em estudo de povoamentos florestais, Pereira et al. (2013), em estudo de fragmentos florestais, e Vasconcellos et al. (2013), em estudo de recuperação florestal, observaram a maior densidade de Pseudoscorpionida em áreas de vegetação nativa e atribuindo esses resultados à complexidade ambiental e trófica dessas áreas.

Os táxons mais abundantes nos tratamentos foram Formicidae, larva de Coleoptera, e Oligochaeta. Quando a análise foi realizada juntamente com as referências, o grupo mais abundante foi Formicidae (Figura 13). Observou-se predominância de Formicidae na área de vegetação nativa, nas duas épocas de avaliação. Esse resultado, provavelmente, foi devido ao fato que, em comunidades de ecossistemas mais diversos, a dominância de alguns grupos é frequente, em função das diferentes estratégias de vida dos organismos (MENEZES et al., 2009).

Tabela 11. Densidade média (indivíduos m⁻²) de organismos da macrofauna encontrados na camada de 0,00-0,30 m do solo.

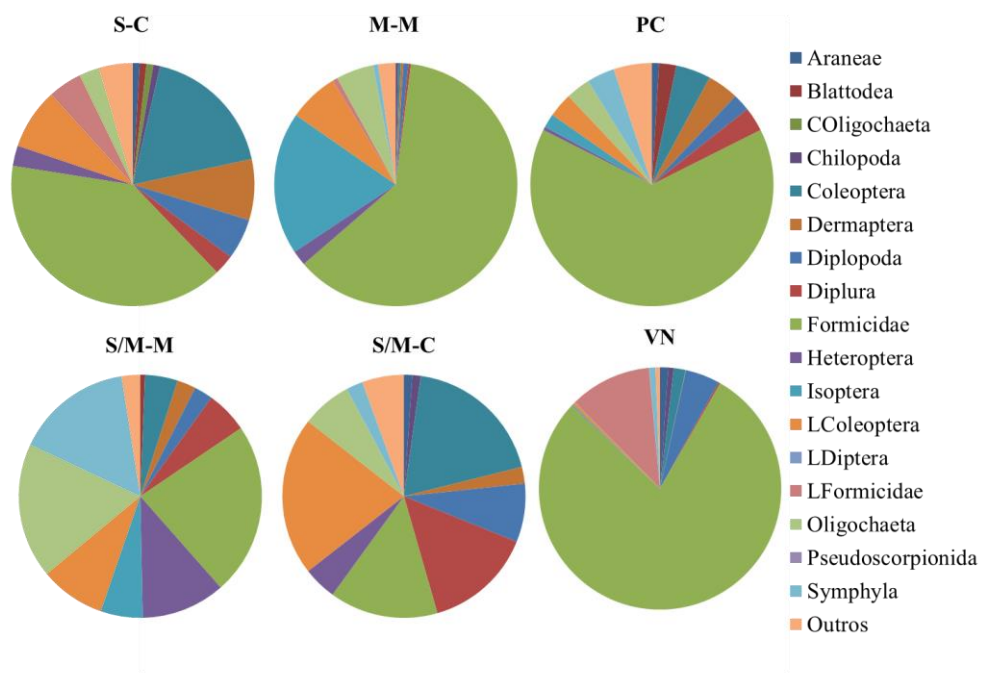
Tratamento	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
	Ara		Auc		Bla		Coli		Chi		Col		Der		Diplop		Diplu		Dipt	
S-C	3	0	0	0	3	0	3	0	3	5	53	3	24	13	16	21	8b	85a	8	3
M-M	0	0	3	0	0	5	0	0	3	8	3	11	3	0	5	32	3	40	3	0
S/M-M	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	19	5	11	0	11	0	24	29	0	0
S/M-C	3	3	3	0	0	0	0	3	3	5	45	8	5	3	19	67	35	48	5	0
PC	5	11	0	0	13	29	0	0	0	11	27	3	24	0	13	21	19	48	5	0
VN	61	24	16	5	0	0	0	5	43	144	91	80	3	0	264	627	13	45	8	3
	For		Gas		Het		Hym		Isso		Isop		Lco		Ldi		Lle		Lfo	
S-C	117	451	3	0	8	5 B	0	0	0	0	0	0	24	35	0	5	0	0	13	248
M-M	493	395	3	0	16	45AB	3	0	0	0	152	3	53	24	0	0	5	0	5	16
S/M-M	99	125	8	0	48	104 A	0	5	0	0	24	0	37	37	0	0	3	0	0	0
S/M-C	35	373	0	0	11	8 B	0	3	0	0	0	3	51	32	0	3	5	3	0	0
PC	373	72	0	0	3	19	5	0	0	0	11	0	19	40	0	11	8	0	0	0
VN	4520	4824	8	8	3	0	0	0	3	0	11	520	21	51	3	27	11	0	627	941
	Oli		Ort		Pseu		Pso		Pco		Ple		Ster		Sym		Thy			
S-C	8	107	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
M-M	40	261	0	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	16	0	0		
S/M-M	77	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	0	0	0		
S/M-C	16	141	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	5	5	0	3		
PC	19	109	0	8	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	21	5	0	0		
VN	0	77	0	0	3	5	5	5	0	0	0	0	0	32	48	187	0	3		

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. Legenda: S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: Convencional e VN: Vegetação Nativa. S: época seca; C: época chuvosa. Ara: Araneae; Auc: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Coli: casulo Oligochaeta; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Dip: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dipt: Diptera; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hym: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Lco: Larva de Coleoptera; Ldi: Larva de Diptera; Lle: Larva de Lepidoptera; Lfo: Larva de Formicidae; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pso: Psocoptera; Pco: Pupa de Coleoptera; Ple: Pupa de Lepidoptera; Sym: Symphyla; Thy: Thysanoptera.

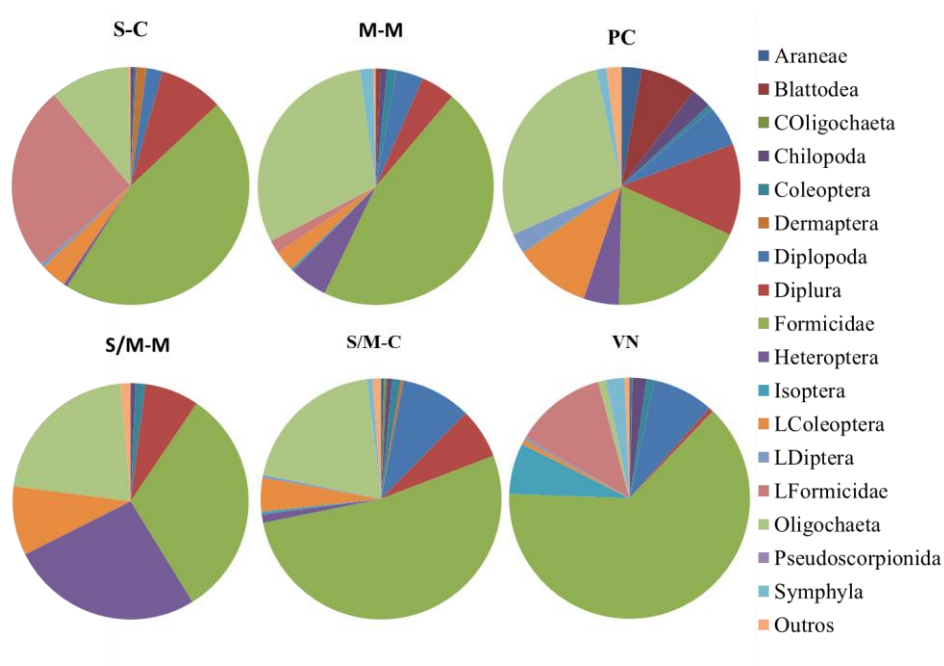
Tabela 12. Densidade média (indivíduos m⁻²) de organismos da macrofauna edáfica encontrados na serapilheira/palhada.

Tratamento	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
	Ara		Bla		Chi		Col		Diplop		Dipt		For		Gas	
S-C	3	3	0	0	0	0	16	3	0	0	0	0	8	0	3	0
M-M	5	5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	27	0	0	0
S/M-M	5	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
S/M-C	5	0	0	0	0	0	8	5	0	0	0	0	11	3	0	0
PC	5	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	8	0	0	0
VN	3	3	3	3	0	3	3	32	3	32	3	3	19	272	0	0
	Het		Hym		Lco		Lle		Lfo		Pso		Ple			
S-C	3	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
M-M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
S/M-M	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
S/M-C	3	0	0	0	32	0	8	0	0	0	0	0	0	0		
PC	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	8	0		
VN	0	3	0	5	5	0	0	0	0	3	0	3	0	0		

Legenda: S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria; PC: Convencional e VN: Vegetação Nativa. S: época seca; C: época chuvosa. Ara: Araneae; Bla: Blattodea; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Dip: Diplopoda; Dipt: Diptera; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hym: Hymenoptera; Lco: Larva de Coleoptera; Larva de Lepidoptera; Lfo: Larva de Formicidae; Pso: Psocoptera; Ple: Pupa de Lepidoptera.



Época seca



Época chuvosa

Figura 13. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica (%) nas diferentes áreas de estudo nas épocas seca e chuvosa. Outros: Díptera, Gastropoda, Hymenoptera, Isopoda, Larva de Lepidoptera, Orthoptera, Psocoptera, Pupa de Coleoptera, Pupa de Lepidoptera, Sternorrhyncha e Thysanoptera. S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa.

A abundância da macrofauna foi variável entre os tratamentos e época do ano (Tabela 13). Na época seca, a maior densidade da macrofauna foi encontrada na área de M-M (803), seguida por S/M-M (429), S-C (296) e S/M-C (243). Na época chuvosa, a maior densidade (981) foi encontrada na área de S-C, seguida por M-M (859), S/M-C (709) e S/M-M (395). Não foi observada diferença entre os tratamentos e sazonalidade (época seca e chuvosa), assim como para riqueza média de espécies, riqueza média de espécies rarefeitas e índice de Pielou (uniformidade). Resultados semelhantes foram encontrados por Velásquez et al. (2012), que estudaram o efeito de diversidade de plantas na comunidade da macrofauna edáfica na Amazônia. Os autores relatam que, como muitos processos que ocorrem no solo são afetados pelo aporte da matéria orgânica e atividade das raízes das plantas, não se espera grandes impactos da diversidade vegetal nas propriedades do solo na ausência de impactos concomitantes significativos sobre o crescimento das plantas. Como por exemplo, sistemas de produção com revolvimento do solo.

Tabela 13. Densidade total da macrofauna edáfica (indivíduos m⁻²), riqueza e Índice de Pielou na camada de 0,00-0,30m.

Tratamento	Ind m ⁻²	Riqueza média rarefeita	Riqueza média	Riqueza total	Índice de Pielou
Época seca					
S-C	296±139	7,0	8,7	16	0,82
M-M	803±306	4,9	9,0	18	0,60
S/M-M	429±110	6,2	8,0	13	0,80
S/M-C	243±80	7,1	8,7	15	0,84
Plantio Convencional	576±262		10,7	17	0,67
Vegetação Nativa	5760±2338		13,0	20	0,40
Época chuvosa					
S-C	981±550	6,1	7,0	12	0,71
M-M	859±320	6,8	9,3	13	0,63
S/M-M	395±106	5,2	5,3	8	0,64
S/M-C	709±269	8,1	10,0	17	0,71
Plantio Convencional	387±39		10,0	13	0,81
Vegetação Nativa	7613±2967		15,7	20	0,42

Não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos e épocas de avaliação pelo teste Tukey a 5%. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria

Diferenças significativas entre os grupos da macrofauna, somente foram observadas em Heteroptera na época chuvosa. Diplura apresentou variação entre épocas de avaliação. Os heterópteros são conhecidos como percevejos castanhos ou percevejos-castanhos-da-raiz e causam grandes prejuízos em lavouras de soja, algodão, milho-safrinha e arroz (OLIVEIRA; MALAGUIDO, 2004). As maiores médias de Heteropteras foram encontradas na época chuvosa em M-M (45) e S/M-M (104), sendo ambas as áreas cultivadas com milho na entressafra (época seca). Em S/M-M a área foi cultivada com soja no verão (época chuvosa), portanto, com plantas hospedeiras desses insetos. Resultados semelhantes foram encontrados por Lourente et al. (2007) em áreas de interação lavoura-pecuária no cerrado sul-matogrossense.

Levando-se em consideração os índices ecológicos de riqueza e o índice de Pielou, foram observadas diferenças entre as sequências de culturas e as áreas de referência (Tabela 14).

Tabela 14. Intervalos de confiança e teste t das comparações entre os tratamentos do experimento (S-C, M-M, S/M-M e S/M-C) e áreas de referência (PC e VN).

Tratamento	Riqueza Média							
	Época seca				Época chuvosa			
	Diferença de médias	Limite Superior	Limite Inferior	p-valor	Diferença de médias	Limite Superior	Limite Inferior	p-valor
S-C – PC	-2,00	5,46	-9,46	0,50	8,50	-3,00	-0,73	0,02
M-M – PC	-1,67	2,67	-6,01	0,35	9,67	-0,67	1,78	0,49
S/M-M – PC	-2,67	2,73	-8,06	0,24	7,67	-4,67	-1,74	0,01
S/M-C – PC	-2,00	4,93	-8,93	0,47	10,00	0,00	4,53	1,00
S-C – VN	-4,33	3,89	-12,56	0,22	11,34	-8,67	-3,51	0,01
M-M – VN	-4,00	1,55	-9,55	0,12	12,50	-6,33	-1,10	0,03
S/M-M – VN	-5,00	1,41	-11,41	0,10	10,45	-10,33	-4,86	0,01
S/M-C – VN	-4,33	3,41	-12,08	0,20	12,84	-5,67	0,81	0,07
Índice de Pielou								
S-C – PC	0,16	0,54	-0,23	0,32	-0,10	0,04	-0,24	0,13
M-M – PC	-0,07	0,36	-0,49	0,68	-0,18	0,27	-0,63	0,23
S/M-M – PC	0,14	0,49	-0,22	0,33	-0,17	0,06	-0,40	0,11
S/M-C – PC	0,17	0,69	-0,35	0,29	-0,10	0,36	-0,57	0,45
S-C – VN	0,42	0,81	0,04	0,04	0,29	0,47	0,11	0,01
M-M – VN	0,20	0,62	-0,22	0,26	0,21	0,53	-0,11	0,15
S/M-M – VN	0,40	0,75	0,05	0,03	0,22	0,47	-0,04	0,08
S/M-C – VN	0,44	0,95	-0,08	0,07	0,28	0,61	-0,05	0,07

S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria; PC: plantio convencional; VN: vegetação nativa.

A época chuvosa apresentou diferenças para os índices de Riqueza e Pielou. O plantio convencional apresentou maior riqueza da macrofauna em comparação aos tratamentos S-C e S/M-M, uma vez que somente nesse tratamento se observou a presença de grupos da macrofauna como Araneae, Blattodea, Orthoptera e Symphyla. S-C, M-M e S/M-M apresentaram menor riqueza de espécies quando comparados à vegetação nativa, pois, somente na área de vegetação nativa foram encontrados Araneae, Auchenorrhyncha, Oligochaeta na forma de casulo, Gastropoda, Pseudoscorpionida, Psocoptera, Sternorrhyncha e Thysanoptera. Alguns autores observaram maior riqueza de grupos em áreas de vegetação nativa quando comparadas com cultivos (BATISTA et al., 2014; LOURENTE et al., 2007; SILVA et al., 2006). Os autores atribuem os resultados ao fato do ambiente de mata ser mais favorável em termos de variedade de micro-habitats e oferta de recursos. Ayuke et al. (2009), em estudo da macrofauna em diferentes usos do solo no Quênia, verificaram maior riqueza de espécies em áreas de vegetação nativa, atribuindo esse resultado ao fato de que a perturbação da floresta e o cultivo promovem ambiente intolerável para uma série de organismos do solo. O tratamento S/M-C não se diferenciou dos demais tratamentos do experimento, tampouco se diferenciou das áreas de referência. Apresentou em sua composição Araneae que esteve presente somente nas referências e também apresentou grupos que estiveram presentes somente nas áreas de cultivo, como Dermaptera e Hymenoptera (não Formicidae).

Na época seca, nos tratamentos S-C e S/M-M, foram observados os maiores valores para o índice de Pielou (uniformidade), em comparação com a área de vegetação nativa. Na época chuvosa, S-C apresentou maior uniformidade quando comparada com a vegetação nativa. É possível observar na Figura 13 que a área de vegetação nativa apresenta predominância de Formicidae, sendo de 79% a média de indivíduos encontrados na época seca e de 63% na época chuvosa, promovendo, assim menor uniformidade dos grupos. De acordo com Walker (1989), quanto maior a densidade de fauna em uma determinada cobertura vegetal maior será a predominância de um determinado grupo e, portanto, ocorrerá redução da equitabilidade, uma vez que a diversidade de espécies está associada à relação entre número de espécies (riqueza de espécies) e distribuição do número de indivíduos entre as espécies ou grupos. Observa-se que na época seca foi menor a ocorrência de grupos em S-C, S/M-M e S/M-C. Contudo, em relação à vegetação nativa, S/M-C não apresentou variância homogênea, aumentando assim o intervalo de confiança entre os pares.

A análise dos tratamentos M-M e S/M-M permitiu observar que esses tratamentos não apresentaram elevada variação da densidade de indivíduos de um período sazonal para o outro e os erros-padrão seguiram o mesmo padrão da densidade (Tabela 13). A ocorrência do mesmo padrão na densidade e erro-padrão nesses tratamentos, com a presença da cultura do milho, evidencia o efeito da cobertura vegetal sobre a macrofauna de solo. O tratamento M-M só apresentava milho em sua composição e o S/M-M apresentava três ciclos de milho, quando foi avaliado na época seca.

Os tratamentos apresentaram influência nos atributos químicos da palhada/serapilheira (Tabela 15), sendo que N e Ca foram influenciados pela interação entre os tratamentos e sazonalidade.

Tabela 15. Resultados da análise de variância (Teste F) para as avaliações dos tratamentos e sazonalidade da palhada.

Fontes de variação	Massa	N	P	K	Ca	S
Tratamento (T)	0,44 ^{ns}	1,86 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,56 ^{ns}	21,24**	2,99 ^{ns}
Sazonalidade (S)	18,76**	4,52 ^{ns}	0,17 ^{ns}	3,11 ^{ns}	106,71**	4,79 ^{ns}
T x S	1,20 ^{ns}	4,51*	0,67 ^{ns}	1,23 ^{ns}	13,49**	2,69 ^{ns}

ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P < 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

Quando se analisa o teor de N da palhada na época seca (Tabela 16), pode-se observar que M-M e S/M-M apresentaram os menores teores quando comparados aos demais tratamentos. Isso indica que a cobertura vegetal presente na época chuvosa não foi capaz de gerar zonas com distribuição de recursos de modo que houvesse aumento do erro-padrão da média. Menezes et al. (2009), em estudo de fragmentos florestais, encontraram aumento do erro-padrão nos sistemas florestais na época seca em detrimento da época chuvosa. Os autores sugeriram que o aumento na variabilidade espacial da macrofauna indicou, provavelmente, uma alteração sazonal na distribuição dos recursos utilizados pela fauna, o que propiciou elevada densidade em microssítios mais favoráveis, seja pelo acúmulo de água, de serapilheira ou de ambas. Com relação aos recursos disponíveis para a fauna, De Deyn et al. (2004), em estudo sobre o efeito de espécies de plantas na população de nematóides (microfauna), verificaram que o efeito na diversidade de nematóides variou mais entre as diferentes espécies de plantas do que entre os diferentes níveis de diversidade de espécies. Os autores observaram, ainda, que a qualidade do recurso é mais importante que a quantidade dos recursos.

Tabela 16. Valores médios de palhada/serapilheira acumulada na superfície do solo e conteúdos de nutrientes desse material.

Tratamento	Massa		N		P	
	Mg ha ⁻¹		-----g kg ⁻¹ -----			
	S	C	S	C	S	C
S-C	1,95 Aa	0,98 Ab	11,8 Aa	9,96 Aa	0,96 Aa	0,89 Aa
M-M	2,02 Aa	1,40 Ab	6,35 Ba	8,59 Aa	0,66 Aa	0,74 Aa
S/M-M	1,79 Aa	1,11 Ab	6,70 Ba	9,58 Aa	0,74 Aa	0,76 Aa
S/M-C	2,42 Aa	0,86 Ab	8,82 ABa	9,74 Aa	0,92 Aa	0,94 Aa
Plantio Convencional	2,01	2,46	9,02	8,09	0,75	0,69
Vegetação Nativa	1,79	1,52	17,00	20,59	0,96	1,25
K			Ca		S	
-----g kg ⁻¹ -----						
	S	C	S	C	S	C
S-C	4,92 Aa	5,78 Aa	11,5 Aa	12,3 Aa	1,83 Aa	3,69 Aa
M-M	4,35 Aa	3,60 Aa	3,43 Bb	4,68 Ba	1,72 Aa	1,80 Aa
S/M-M	4,08 Aa	6,57 Aa	4,02 Bb	8,50 Aa	1,71 Aa	1,76 Aa
S/M-C	3,42 Aa	7,20 Aa	4,02 Bb	8,40 Aa	1,74 Aa	2,07 Aa
Plantio Convencional	2,03	3,22	4,22	8,50	1,84	1,80
Vegetação Nativa	3,92	3,83	21,7	31,3	2,01	2,11

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. S: época seca; C: época chuvosa. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária

6.2.2 Relações entre a macrofauna e as propriedades do solo

A análise de redundância parcial (RDAP), realizada para conhecer as relações existentes entre a macrofauna e atributos químicos e físicos do solo, mostrou que os atributos carbono orgânico particulado (COp), fósforo (P), alumínio (Al), porosidade total (PT) e umidade do solo explicaram 62,77% da variação da comunidade da fauna e que a soma de todos os eixos canônicos explica 11,80 desse total, ou seja, 18,81% do total da variação observada. O teor de areia do solo, incluído como co-variável no modelo, explicou 2,09% do total e 79,09% do total da variação não pode ser explicada pelo conjunto de dados apresentados. Os eixos em que as propriedades do solo explicam a variação da fauna indicam que estes explicam um total de 19,21% da variação da abundância da macrofauna (Tabela 17). Os mesmos procedimentos foram realizados para a macrofauna da palhada e o modelo não foi significativo.

Tabela 17. RDAP constrained para os parâmetros de propriedades do solo, mostrando a correlação com a macrofauna do solo.

Total: 62,77											
Constrained: 11,80 (18,81%)											
Co-variável: 1,31 (2,09%)											
Unconstrained: 49,65 (79,09%)											
Eingenvalues (autovalores) e sua contribuição para a variância											
Eixos	RDA1	RDA2	RDA3	RDA4	RDA5	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5	PCA6
Eigenvalues	6,84	2,50	1,83	0,38	0,25	13,9	8,29	6,05	5,49	3,32	2,67
Proporção acumulada	11,1	15,2	18,2	18,8	19,2	41,8	55,3	65,2	74,1	79,5	83,9

A PT correlacionou-se, positivamente, com os grupos Coleoptera, Dermaptera, Lepidoptera (larvas) e Isoptera e, negativamente, com Oligochaeta (Figura 14). Isoptera correlacionou-se positivamente com o COp, material orgânico que se apresenta no solo em tamanho equivalente ao da fração areia. A correlação positiva entre Isoptera e porosidade total pode ser devida a criação de macroporos, decorrente da construção de túneis e galerias, produzidos por indivíduos como Isoptera, que têm um efeito direto sobre a condutividade hidráulica (LAMOUREUX; O’KANE, 2012). Segundo Lal e Conacher (1990), esses indivíduos contribuem, ativamente, para a ciclagem de nutrientes e podem favorecer a melhoria da infiltração de água no solo por meio da melhoria da estrutura do solo e porosidade. De acordo com Young et al. (1998), o aumento da porosidade pela atividade biológica pode alterar a distribuição espacial da produção vegetal e, posteriormente, afetar o abastecimento de alimentos para os mesmos.

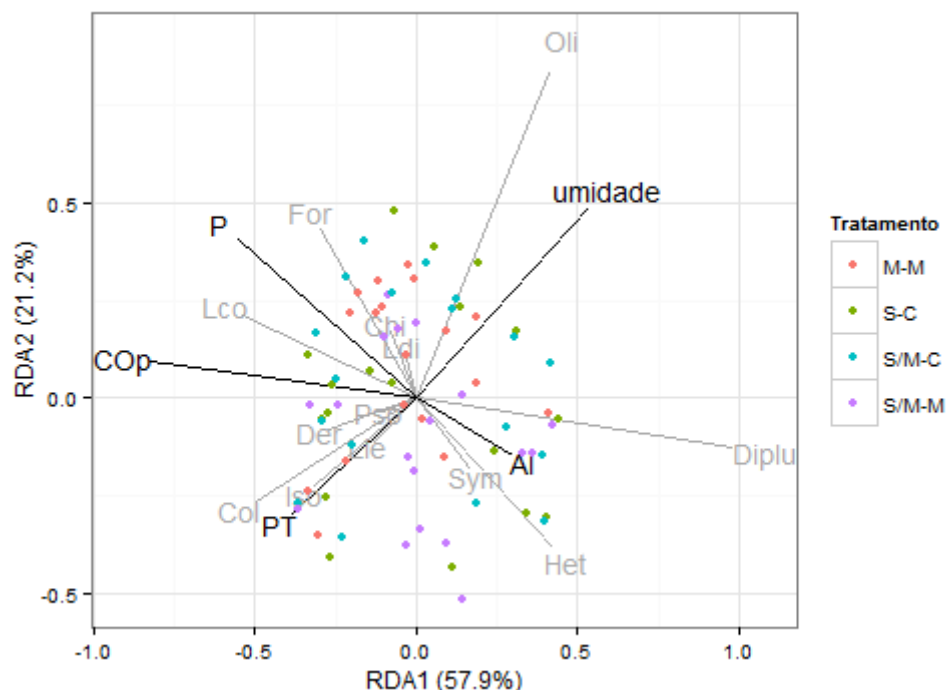


Figura 14. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância parcial (RDAP) da macrofauna do solo em função de propriedades químicas e físicas do solo, exibindo 15,21% da variância da abundância e 79,18% da variância de abundância total. Eigenvalues (autovalores) dos quatro primeiros eixos são 0,1113, 0,04077, 0,02983 e 0,006210. A soma de todos os eixos canônicos é 19,21%. PT: porosidade total; COp: Carbono orgânico particulado; Al: alumínio; P: fósforo; Ara: Araneae; Auc: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Coli: casulo Oligochaeta; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Dip: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dipt: Diptera; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hym: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Lco: Larva de Coleoptera; Ldi: Larva de Diptera; Lle: Larva de Lepidoptera; Lfo: Larva de Formicidae; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pso: Psocoptera; Pco: Pupa de Coleoptera; Ple: Pupa de Lepidoptera; Sym: Symphyla; Thy: Thysanoptera; S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária.

O grupo Oligochaeta correlacionou-se negativamente com a PT, resultado que pode ser explicado pelo fato de que, estruturas biogênicas formadas por Oligochaetas, possuem elevada densidade (LAVELLE et al., 2001), pois o rearranjo e a ingestão de materiais podem resultar em forte compactação dentro da estrutura biogênica (MARTIN; MARINISSEN, 1993). Van Vliet et al. (1993), em estudo de Enchytraeidae (Oligochaeta), verificaram que a porosidade dos microcosmos (ambiente com condições controladas) diminuiu para níveis inferiores aos valores iniciais. Os autores apresentaram a hipótese de que os Enchytraeidae preenchem os

poros com excrementos. Bottinelli et al. (2010), em estudo para determinar como coprólitos produzidos por atividade de minhocas influenciam na porosidade do solo, verificaram, em condições de campo, que a baixa estabilidade de coprólitos recém formados pode proporcionar compactação do solo após a chuva. No entanto, elevadas produções de coprólitos podem impedir que a porosidade do solo seja diminuída. Assim, melhorias na estrutura do solo ocorrerão quando a produção predominar.

Oligochaeta apresentou correlação positiva com a umidade do solo e com a época chuvosa (Figura 15). Segundo Lavelle (1983), a umidade do solo é a variável ambiental mais importante na distribuição e abundância de Oligochaeta em solos tropicais. Heteroptera correlacionou-se positivamente com os teores de Al do solo e, negativamente, com os teores de CO_p e P. Batista (2011) atribui o fato de Heteroptera não se relacionar com fontes de carbono do solo por estar mais associada com as partes vivas dos vegetais. Heteroptera está associada à M-M e S/M-M, pois milho e soja são plantas hospedeiras de várias espécies dessa ordem de inseto (OLIVEIRA; MALAGUIDO, 2004).

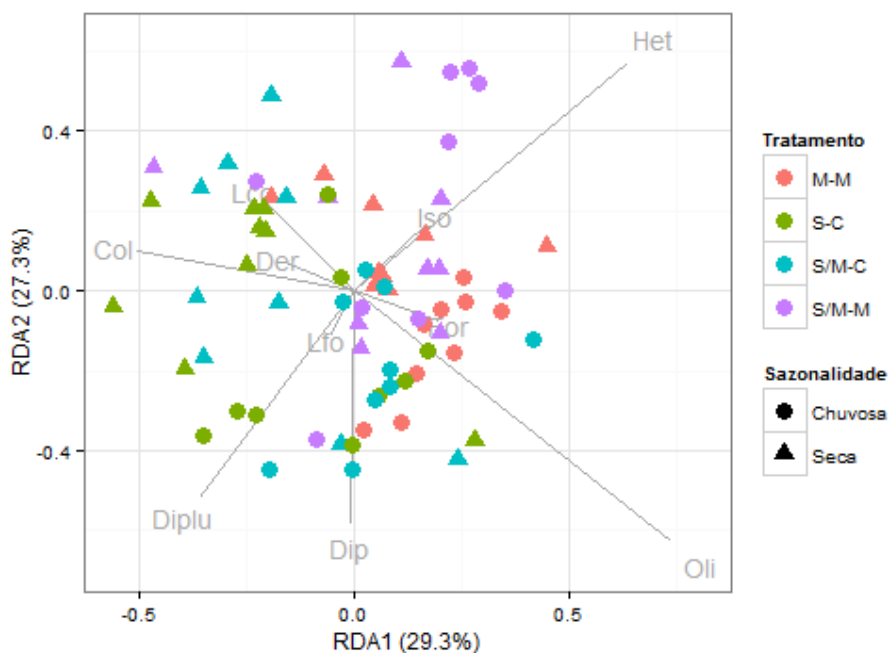


Figura 15. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância (RDA) da macrofauna do solo em função da interação entre tratamentos e sazonalidade, exibindo 11,14% da variância da abundância e 56,60% da variância de abundância total. Eigenvalues (autovalores) dos quatro primeiros eixos 0,05774, 0,05372, 0,04102 e 0,02281. A soma de todos os canônicos é 17,37%. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Dip: Diplopoda; Diplu: Diplura; For: Formicidae; Het: Heteroptera; Iso: Isoptera; Lco: larva de Coleoptera; Lfo: larva de Formicidae; Oli: Oligochaeta.

A partição da variabilidade da abundância da comunidade da macrofauna edáfica foi realizada para determinar em função de quais fatores (tratamento, sazonalidade e profundidade) a macrofauna de solo e palhada variaram (Tabela 18). A associação entre a macrofauna do solo e os tratamentos foi significativa ($p=0,004$), assim como para a sazonalidade ($p=0,005$) e profundidade ($p=0,001$). Os tratamentos explicaram 8,2% de toda variabilidade, sazonalidade explicou 3,9%, profundidade explicou 12,2% e a interação entre tratamento e sazonalidade explicou 5,2% da variabilidade. Foi esperado o efeito de profundidade na macrofauna edáfica, devido à diferente disponibilidade de recurso que ocorre em profundidade. Já para a macrofauna da palhada não foram verificadas diferenças na abundância da macrofauna para nenhum dos fatores analisados.

Tabela 18. Resultados da ANOVA multivariada dos efeitos de tratamento, camada e sazonalidade na variação da macrofauna edáfica.

Macrofauna do solo				
Fontes de variação	GL	SQTotal	F	P-value
Tratamento (T)	3	0,05174	2,3478	0,004
Sazonalidade (S)	1	0,02473	3,366	0,005
Profundidade (P)	2	0,07382	5,0248	0,001
S x P	2	0,02846	1,9965	0,019
P x T	3	0,07058	1,7057	0,008
T x S	3	0,03257	1,3397	0,145
T x S x P	17	0,17467	1,6288	0,002
Resíduo	48	0,30279		
Total	71			
Macrofauna da palhada				
Fontes de variação	GL	SQTotal	F	P-value
Tratamento (T)	3	0,06912	1,0844	0,349
Sazonalidade (S)	1	0,01867	0,8789	0,479
T x S	3	0,07780	1,2733	0,25
Resíduo	16	0,16560		
Total	23			

É possível observar, na Figura 16, que apresenta a RDA da macrofauna do solo com os tratamentos, que M-M correlacionou-se com os principais grupos de engenheiros do ecossistema, sendo eles: Oligochaeta, Isoptera e Formicidae. A cultura do milho produz grande quantidade de raízes e essas são fontes de alimento para os grupos citados, pois, eles possuem hábito alimentar decompositor. Os atributos químicos e físicos do solo podem ter influenciado a abundância desses indivíduos, pois apresentaram variações significativas em relação ao tratamento e sazonalidade (Tabela 19).

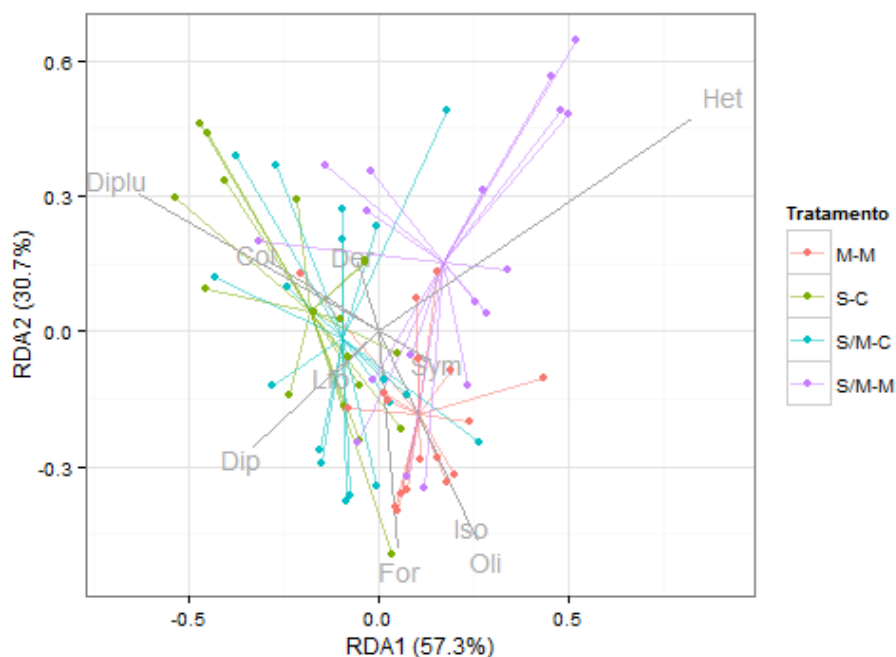


Figura 16. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância (RDA) da macrofauna do solo em função dos tratamentos, exibindo 7,54% da variância da abundância e 87,88% da variância de abundância total. Eigenvalues (autovalores) dos três primeiros eixos são 0,04916, 0,02632 e 0,010320. A soma de todos os canônicos é 8,58%. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Dip: Diplopoda; Diplo: Diplura; For: Formicidae; Het: Heteroptera; Iso: Isoptera; Lfo: larva de Formicidae; Oli: Oligochaeta; Sym: Symphylla.

Tabela 19. Resultados da análise de variância (Teste F) para as avaliações dos tratamentos e sazonalidade dos dados do solo na camada de 0-30 cm.

Fontes de variação	N	COT	AI	P
Tratamento (T)	14,81**	8,22*	1,58 ^{ns}	1,60 ^{ns}
Sazonalidade (S)	4,03 ^{ns}	1,14 ^{ns}	9,19*	9,45*
T x S	1,54 ^{ns}	0,60 ^{ns}	3,66 ^{ns}	1,70 ^{ns}
	Umidade	PT	Mi	Ma
Tratamento (T)	1,94 ^{ns}	1,39 ^{ns}	6,82*	0,52 ^{ns}
Sazonalidade (S)	117,12**	22,59**	6,45*	10,82**
T x S	1,49 ^{ns}	0,67 ^{ns}	2,45 ^{ns}	0,72 ^{ns}

ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P < 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

Com a análise da Tabela 20, pode-se observar que M-M não foi o tratamento que apresentou os maiores teores de COT e, nem tampouco, se diferenciou

dos demais tratamentos quanto à umidade, sendo, portanto, atribuída a correlação entre M-M e os principais engenheiros do ecossistema à estrutura física propiciada pela maior atuação de raízes finas, permitindo ambiente mais propício à atuação desses indivíduos. Salamon et al. (2011), em estudo sobre efeito de espécies de plantas leguminosas, não leguminosas e gramíneas, na comunidade da macrofauna do solo, observaram que, contrariamente às expectativas dos autores, os grupos da macrofauna não apresentaram maior abundância na presença de leguminosas. A comunidade de decompositores foi maior em áreas cultivadas com gramíneas do que com leguminosas, possivelmente, beneficiadas pela alta quantidade de raízes finas, indicando a importância dessas raízes como fonte alimentar atrativa para decompositores. Bezemer et al. (2010), em estudo sobre efeito de diferentes espécies de plantas na abundância da fauna do solo, observaram diferenças na composição da comunidade de organismos em função das espécies de plantas. Os autores atribuíram as diferenças aos diversos compostos orgânicos exsudados pelas raízes das plantas. Os autores mencionam, ainda, que os organismos que vivem no solo são menos móveis e migram lentamente, quando comparados àqueles que vivem na serapilheira/palhada. Portanto, espera-se que a composição da comunidade de organismos que vive no solo seja influenciada pelas espécies de plantas que ocupam ou ocuparam o solo.

Diplopoda (piolho-de-cobra ou gongolo) apresentou correlação negativa com S/M-M. Essa espécie, em sua maioria, alimenta-se, de material vegetal em decomposição (RUPPERT; BARNES, 1996). Em S/M-M foram observados os menores teores de carbono e nitrogênio do solo (Tabela 20). Segundo Wolters e Ekschmitt (1997), a variação na quantidade e qualidade da cobertura do solo, afeta, consideravelmente, a biota do solo e, a longo prazo, a perda de MOS é um dos principais motivos para o declínio de Diplopoda em solos cultivados.

Tabela 20. Média de atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-30 cm.

Tratamento	N		COT		Umidade	
	-----g kg ⁻¹ -----				%	
	S	C	S	C	S	C
S-C	1,3 Aa	1,2 Aa	15,71 Aa	15,72 Aa	16,1 Ab	22,8 Aa
M-M	0,8 Ba	1,0 ABa	13,49 BCa	13,64 BCa	15,1 Ab	19,4 Aa
S/M-M	0,7 BCa	0,9 BCa	12,33 Ca	11,78 Ca	14,9 Ab	19,9 Aa
S/M-C	1,0 Ba	1,1 ABa	14,67 ABa	13,93 Aba	15,7 Ab	22,4 Aa
Plantio Convencional	1,1	1,2	15,94	15,32	18,7	21,5
Vegetação Nativa	3,0	3,2	39,79	38,40	20,2	26,3
	Al		P		PT	
	mmol dm ⁻³		mg kg ⁻¹		%	
	S	C	S	C	S	C
S-C	0,30 Ab	0,33 Aa	44,80 Aa	27,45 Ab	52,0 Aa	49,1 Ab
M-M	0,29 Ab	1,37 Aa	39,63 Aa	28,89 Ab	49,1 Aa	46,0 Ab
S/M-M	0,39 Ab	0,75 Aa	28,85 Aa	29,59 Ab	47,4 Aa	45,8 Ab
S/M-C	0,44 Ab	0,82 Aa	43,32 Aa	33,19 Ab	52,7 Aa	48,5 Ab
Plantio Convencional	0,14	0,58	32,21	31,07	52,7	48,4
Vegetação Nativa	0,07	0,25	21,41	15,62	64,0	64,8
	Mi		Ma			
	-----%-----					
	S	C	S	C		
S-C	40,2 Aa	38,4 Ab	11,8 Aa	10,7 Ab		
M-M	35,4 Ba	35,6 Bb	13,8 Aa	10,4 Ab		
S/M-M	35,8 Ba	35,3 Bb	11,6 Aa	10,4 Ab		
S/M-C	38,6 Aba	36,5 ABb	14,2 Aa	11,9 Ab		
Plantio Convencional	38,7	37,3	14,0	11,1		
Vegetação Nativa	31,1	35,8	32,9	28,9		

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. S: época seca; C: época chuvosa. COT: Carbono orgânico total; PT: porosidade total; Mi: Microporosidade; Ma: Macroporosidade. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria

A distribuição vertical dos grupos da macrofauna, ou seja, a distribuição da macrofauna nos compartimentos serapilheira e nas camadas do solo é apresentada na Figura 17. Na época seca, S-C e S/M-C foram os tratamentos que apresentaram maior contribuição relativa dos indivíduos na palhada e na camada 0,0-0,10 m do solo.

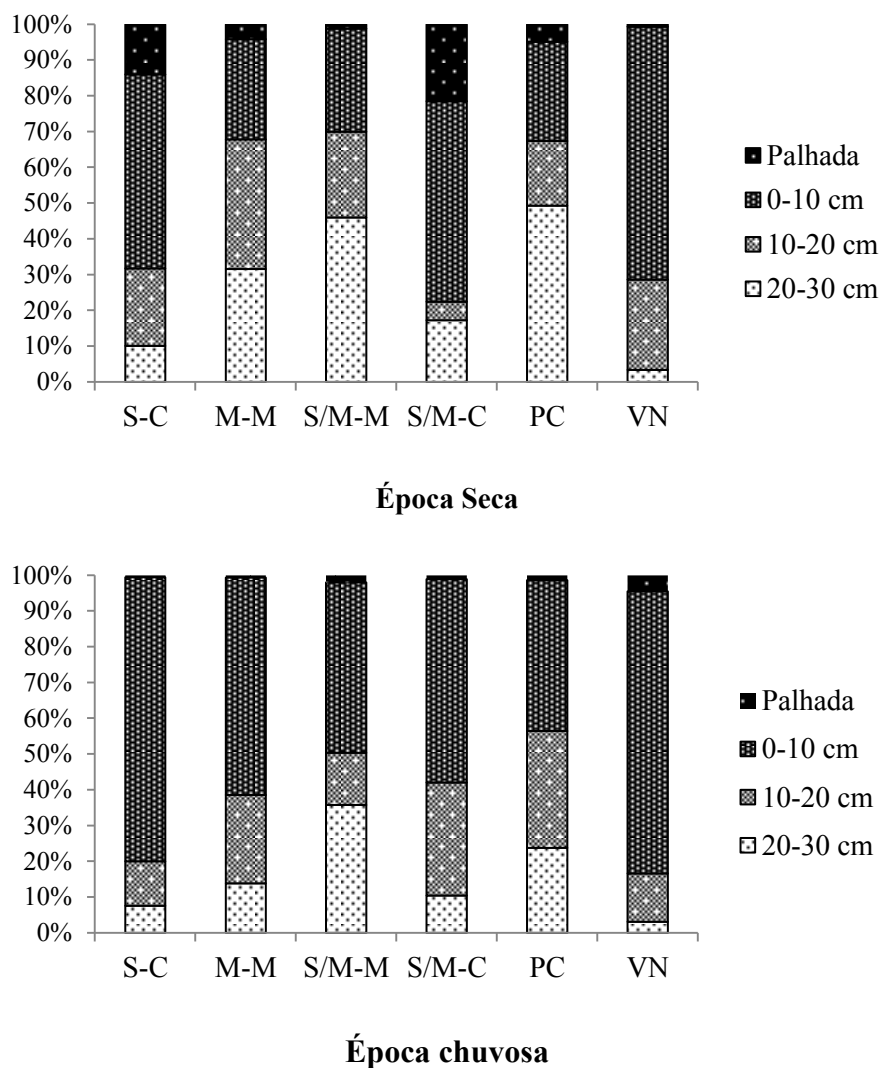


Figura 17. Distribuição Vertical dos grupos da macrofauna do solo e palhada/serrapilheira. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa

Esse resultado pode estar associado aos maiores teores de N na palhada/serrapilheira e na camada de 0,0-0,10 m em S-C e S/M-C na época seca (Tabela 21). Na época chuvosa os tratamentos apresentaram o mesmo padrão na composição relativa quanto à distribuição vertical e não foram encontradas diferenças entre os tratamentos quanto os teores de N na palhada evidenciando, assim, o efeito dos teores de N da palhada na distribuição vertical da macrofauna.

Tabela 21. Média dos teores de Nitrogênio (g kg^{-1}) na palhada/serapilheira e em diferentes camadas do solo.

Trat	Palhada		0-10		10-20		20-30	
	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	11,8 Aa	9,96Aa	0,20 Aa	0,15 Aa	0,09 Ab	0,13 Aa	0,10 Aa	0,09 Aa
M-M	6,35 Ba	8,59Aa	0,08 Ba	0,12 Ba	0,07 Bb	0,10 Ba	0,09 Ab	0,07 Ab
S/M-M	6,70 Ba	9,58Aa	0,06 Ba	0,11 Ba	0,06 Bb	0,08 Ba	0,08 Ba	0,07 Ba
S/M-C	8,82 ABa	9,74Aa	0,12 ABa	0,12 Ab	0,08 Bb	0,10 Ba	0,09 Aa	0,11 Aa
PC	9,02	8,09	0,10	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12
VN	17,00	20,59	0,42	0,50	0,29	0,26	0,20	0,21

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%. Trat: tratamento; S: época seca; C: época chuvosa. S-C: Soja-Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa.

Independentemente do tratamento, observou-se na época seca maior abundância da macrofauna na palhada, em comparação com a época chuvosa, com predominância de Formicidae, larva de Coleoptera e Coleoptera. O mesmo foi observado por Menezes et al. (2009), estudando diferentes estádios sucessionais de floresta. Os autores atribuíram a maior participação da macrofauna na serapilheira, na época seca, como consequência do aumento da quantidade de Formicidae.

A maior contribuição relativa dos indivíduos da palhada, na época seca, pode ser devida à busca desses indivíduos por umidade, visto que as amostragens foram realizadas na primeira hora da manhã. A palhada, mesmo que na época seca, apresenta-se um pouco mais úmida no período da manhã, devido ao orvalho da noite, e, assim mesmo com o risco, decorrente da presença de predadores, os indivíduos mais móveis conseguem colonizar esse compartimento. Já na época chuvosa não existe a necessidade da busca por umidade, visto que o solo fica úmido constantemente.

6.3 Relações entre fauna, agregação, propriedades químicas e físicas do solo

A partição da variabilidade dos agregados entre os fatores impostos apresentou a participação desses fatores na variabilidade total, tendo o tipo morfológico apresentado a maior participação de um fator isolado. Contudo, para a formação de agregados biogênicos, a atividade da macrofauna, principalmente daqueles indivíduos que são engenheiros do ecossistema, tem participação direta. Foram utilizados na RDAP os grupos Oligochaeta (minhocas), Isoptera (cupins), Formicidae

(formigas) e, também, os que apresentaram estreita relação com a estrutura do solo durante o processo de triagem da macrofauna e agregados, são elas: casulo de Oligochaeta e larva de Coleoptera (larva de besouro) como variáveis explicativas.

Após a análise, verificou-se que os agregados apresentaram total de variação de 18,0% e que a soma de todos os Eigenvalues (autovalores) canônicos explicaram 3,72% desse total, ou seja, 20,6% da total variação observada. A fração areia que foi incluída como co-variável no modelo explicou 6,9% do total e 72,4% do total da variação não pode ser explicada pelo conjunto de dados apresentados. Os eixos em que a comunidade da macrofauna do solo explica a variação dos agregados indicam que, estes eixos explicaram um total de 22,2% da variação dos agregados (Tabela 22).

Tabela 22. RDAP constrained para os parâmetros de macrofauna edáfica, mostrando a correlação com os agregados do solo.

Total: 18,00										
Constrained: 3,72 (20,64%)										
Co-variável: 1,25 (6,94%)										
Unconstrained: 13,04 (72,42%)										
Eigenvalues e sua contribuição para a variância										
Eixos	<i>RDA1</i>	<i>RDA2</i>	<i>RDA3</i>	<i>RDA4</i>	<i>RDA5</i>	<i>RDA6</i>	<i>RDA7</i>	<i>PCA1</i>	<i>PCA2</i>	<i>PCA3</i>
Eigenvalues	2,47	0,56	0,28	0,16	0,14	0,08	0,03	4,05	3,38	1,57
Proporção acumulada	14,8	18,1	19,8	20,7	21,5	22,0	22,2	46,4	66,6	75,9

Os atributos DMP, K, N, COT e COam estão associados à Oligochaeta e Isoptera, que são dois importantes grupos de engenheiros do ecossistema (Figura 18), enfatizando assim, os conceitos relatados anteriormente quanto a atuação de organismos no aumento da estabilidade dos agregados, bem como no aumento dos teores de carbono dos mesmos.

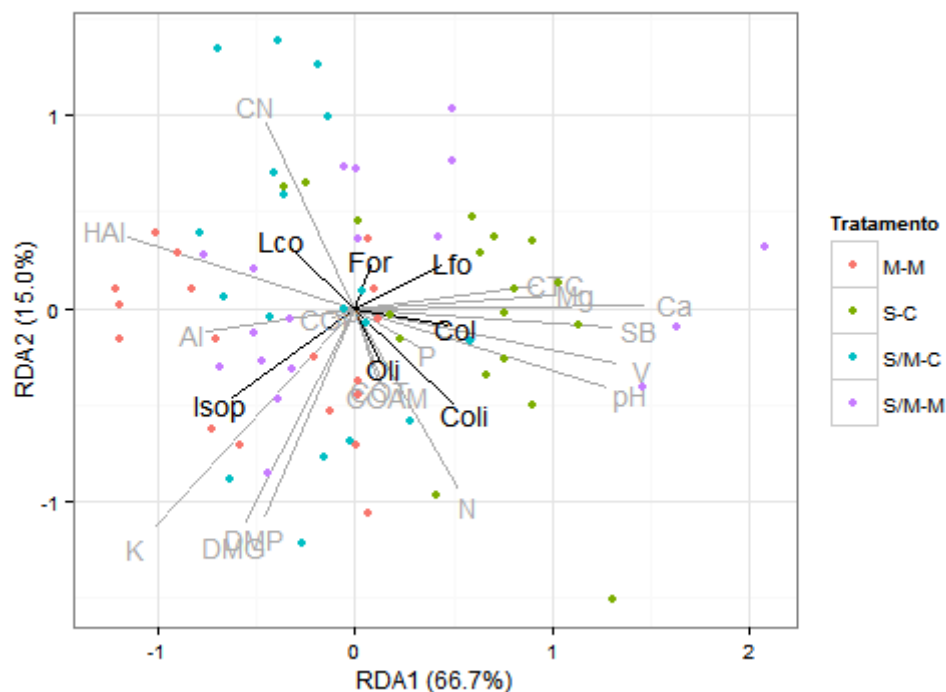


Figura 18. Correlação biplot baseada na Análise de Redundância parcial (RDAP) dos agregados do solo em função da macrofauna edáfica, exibindo 18,12% da variância dos agregados e 81,70% da variância total. Eigenvalues dos quatro primeiros eixos são 0,148, 0,03324, 0,01644 e 0,0093. A soma de todos os canônicos é 22,18%. DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; SB: soma de bases; COT: carbono orgânico total; COT: carbono orgânico particulado; COAM: carbono orgânico associado aos minerais; CN: relação carbono/nitrogênio; Coli: casulo Oligochaeta; Col: Coleoptera; For: Formicidae; Isop: Isoptera; Lco: Larva de Coleoptera; Lfo: Larva de Formicidae; Oli: Oligochaeta. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária.

Os Oligochaeta envolvidos no processo de formação de agregados biogênicos podem ser chamados, neste estudo, de compactadores; segundo Jouquet et al. (2008), que analisaram as propriedades de coprólitos e agregados não ingeridos, observaram que coprólitos apresentavam maior densidade, baixa porosidade e elevada estabilidade estrutural, denominando, assim, a atividade das minhocas envolvidas nesse processo de compactadoras. Esses autores relatam que minhocas chamadas de “espécies compactadoras” são capazes de produzir coprólitos compactos, aumentando a proporção de agregados grandes e a densidade do solo, enquanto que as espécies descompactadoras se alimentam de coprólitos compactos e produzem pequenos

e frágeis agregados, possibilitando assim, efeito oposto às compactadoras, diminuindo a densidade do solo e a proporção de grandes agregados.

Além de estarem associados à maior estabilidade do solo, esses organismos foram correlacionados negativamente com a porosidade total do solo (Figura 14). De acordo com esses resultados, os Oligochaeta contribuem para a maior estabilidade dos agregados do solo e menor porosidade total, visto que as estruturas produzidas pelas mesmas apresentaram-se mais compactas, de acordo com a literatura. Já os Isoptera apresentaram-se positivamente correlacionados com a estabilidade dos agregados, mas ao contrário dos Oligochaeta, correlacionaram-se positivamente com a porosidade total, provavelmente, em razão dos ninhos e galerias formados por esses organismos, favorecendo a criação de macroporos (LAMOUREUX; O'KANE, 2012).

Formicidae apresentou-se correlacionada negativamente com DMP, N, COT e COam, mostrando, assim, pouca participação na melhoria dessas propriedades. Resultados semelhantes foram encontrados por Velásquez et al. (2007), que observaram que formigas apresentaram posição neutra em relação aos agregados biogênicos, indicando pouco efeito na macroagregação.

Por meio de uma análise simplificada e exploratória, com base nas características químicas do solo e de todos os tipos morfológicos de agregados identificados nos tratamentos do experimento e nas áreas de referência (Figura 19), verificou-se que os agregados apresentaram características químicas distintas das encontradas para a terra fina seca ao ar, na mesma camada de solo de 0,0-0,1m, evidenciando, assim, a atuação dos diferentes agentes no processo de agregação dos diferentes tipos de agregados.

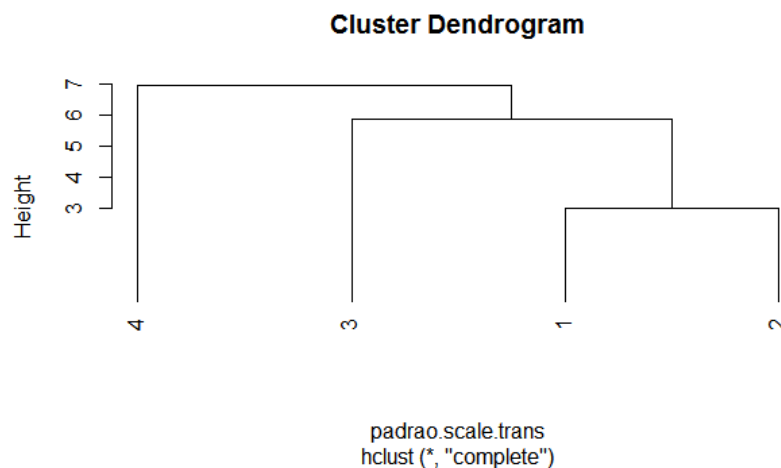


Figura 19. Dendrograma resultante da análise de agrupamento, evidenciando as distâncias entre as características químicas (H+Al, Ca, Mg, P, K, pH, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais) das diferentes classes de agregados: Fisicogênico (1), Intermediário (2) e Biogênico (3), além do solo (4). Distância Euclidiana e modo de ligação completa.

Os agregados fisicogênicos apresentaram características químicas semelhantes à de agregados intermediários, que por sua vez se distanciaram de agregados biogênicos. As características químicas do solo (TFSA) mostraram-se mais semelhantes com as características dos agregados biogênicos. O mesmo padrão foi encontrado por Batista et al. (2013), em solos do cerrado. Os autores relataram que diversos são os fatores que interferem na agregação do solo, propiciando ao agregado formado características químicas diferentes das que ocorrem no solo de origem (TFSA), principalmente no que se refere à matéria orgânica e às características que a envolvem.

Os agregados apresentaram características químicas distintas daquelas observadas no solo e a análise de agrupamento indicou esse padrão de distinção. O COP que é uma das propriedades do solo apontada como sensível para detectar a mudança do manejo e de culturas do solo (BAYER et al., 2004; CONCEIÇÃO et al., 2005; MANDIOLA et al., 2011; BATISTA et al., 2013), apresentou padrão nos agregados diferente daquele apresentado na camada de solo de 0,0-0,1m (Figura 20). No solo (TFSA) não ocorreu diferenciação entre os tratamentos na camada de 0,0-0,10 m. Nos agregados biogênicos, os tratamentos com milho em sua composição, M-M, S/M-M e S/M-C apresentaram os maiores teores dessa fração da MOS, quando comparados com S-C, indicando que neste tipo morfológico de agregados ocorreu uma seleção de matéria orgânica pela macrofauna do solo e/ou maior atuação

de raízes, aumentando os teores de COp. Esses resultados mostraram a atuação de agentes biológicos na mudança e/ou alteração de características químicas do solo, contudo, como a participação dos agregados biogênicos foi pequena, em relação ao total de agregados formados, não permitiu alteração nas características do solo como um todo.

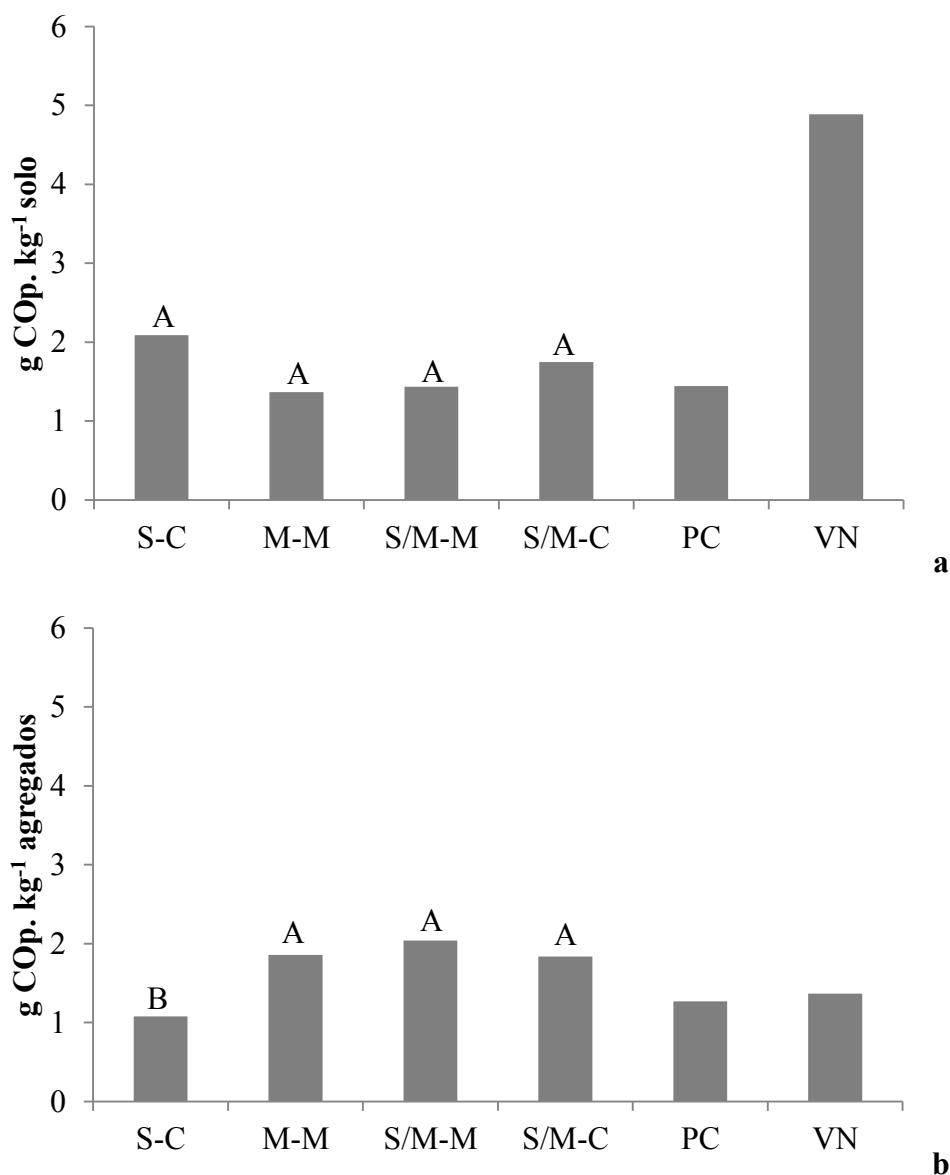


Figura 20. Valores médios dos teores de Carbono orgânico particulado (COp) no solo na camada de 0-0,10 m (a) e agregados Biogênicos (b) na época chuvosa de avaliação. S-C: Soja-Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária, PC: Plantio Convencional e VN: Vegetação Nativa. Valores seguidos por letras maiúsculas iguais entre barras não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%.

Quando se analisam os tipos de agregados e como as características permitem a aproximação ou distanciamento dos tratamentos (Figura 21), pode-se observar que as espécies vegetais influenciaram os agregados de forma que aqueles com maior participação de gramíneas nas sequencias de culturas se assemelharam mais quando comparados com aqueles com menor ou nenhuma participação dessa família de espécies na composição total. A macrofauna do solo apresentou um comportamento semelhante. Na Figura 21e pode-se observar que a vegetação nativa e o tratamento S-C formaram um agrupamento e as áreas que apresentam milho na composição, incluindo o plantio convencional, formaram outro agrupamento.

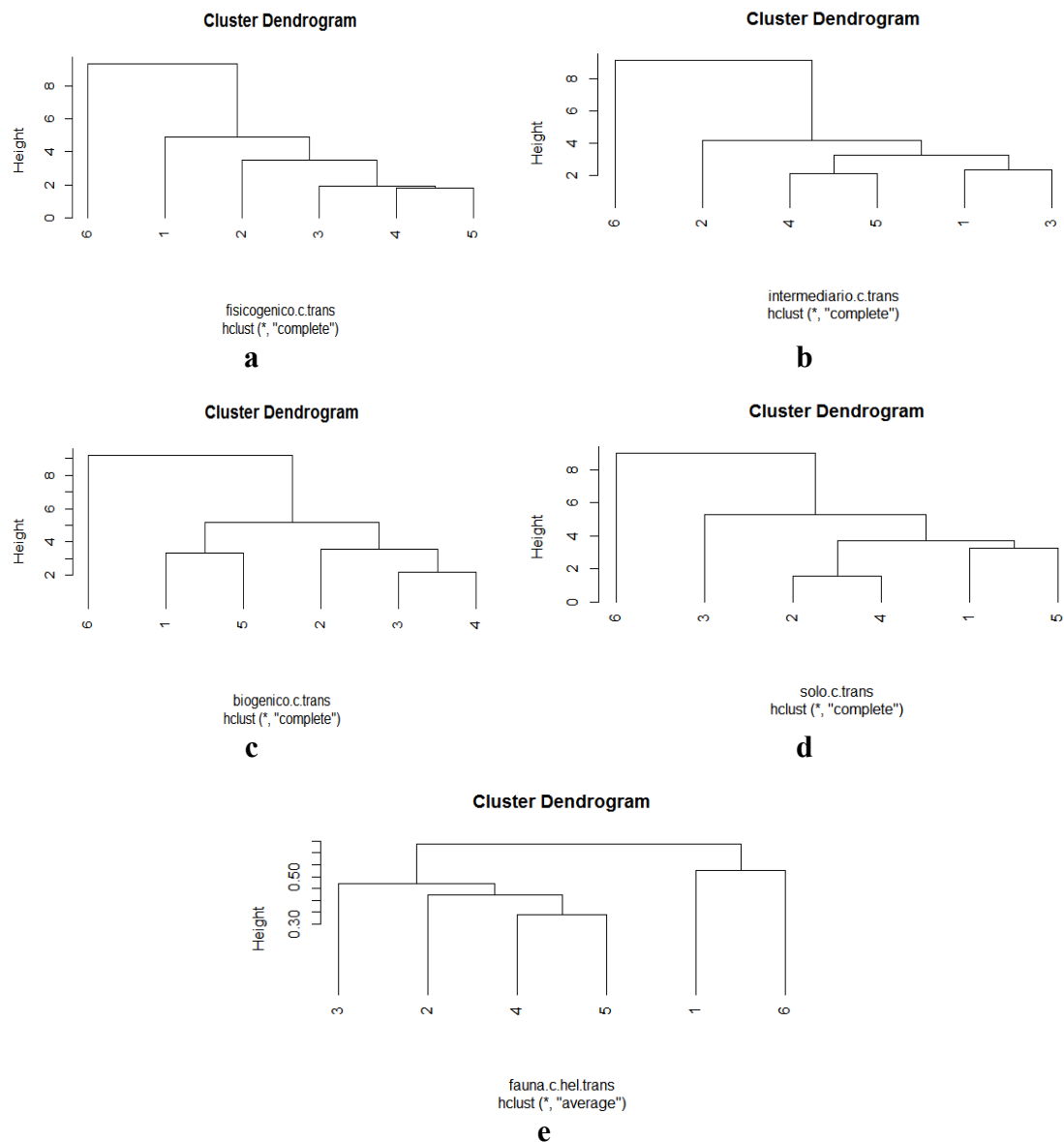


Figura 21. Dendrograma resultante da análise de agrupamento, evidenciando as distâncias entre as características químicas (H+Al, Ca, Mg, P, K, pH, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais). Distância Euclidiana e modo de ligação completa. Sendo a: Agregados Fisicogênicos, b: Agregados Intermediários, c: Agregados Biogênicos, d: amostras de solo (0,0-0,1 m); e: Comunidade da macrofauna edáfica. 1: Soja-Crotalária; 2: Milho-Milho; 3: Soja/Milho-Milho; 4: Soja/Milho-Crotalária, 5: plantio convencional e 6: vegetação nativa.

A interação entre macrofauna e espécies vegetais é mútua na formação de características físicas e químicas do solo. Os resíduos da parte aérea das plantas, assim como o das raízes, influenciam a macrofauna edáfica e esses dois fatores

atuam em conjunto para mudança/alteração das propriedades químicas e físicas do solo. Segundo Blanchart et al. (2006) a fauna é, ao mesmo tempo, agente transformador e reflexo das características físicas, químicas e biológicas dos solos. Segundo Lavelle et al. (1994), a fauna tem efeitos diretos no solo por meio da respiração e mineralização e efeitos indiretos por meio da interação com microrganismos e modificação da estrutura do solo.

7 CONCLUSÕES

Nas condições avaliadas, a rotação gramíneas/leguminosas não favoreceu a formação de diferentes tipos morfológicos de agregados com melhores características físicas e químicas, uma vez que a maior influência nas características dos agregados foi decorrente da cultura utilizada no manejo e não da rotação em si.

A época de avaliação mostrou resultados diferenciados na formação dos agregados em função da cultura recente e da sazonalidade, pois resíduos de crotalária diminuíram a participação da macrofauna na estabilidade de agregados (DMP). Também ocorreu distinção entre agregados em função da sazonalidade.

Os agentes biológicos alteraram a dinâmica da matéria orgânica associada aos agregados do solo, pois para agregados biogênicos foram encontrados menores teores de COp naqueles com composição apenas de plantas leguminosas.

Para este estudo, a rotação gramíneas/leguminosas não melhorou a disponibilidade de recursos alimentares e não promoveu maior riqueza de indivíduos, uniformidade da macrofauna edáfica e maior abundância de grupos decompositores de matéria orgânica e engenheiros do ecossistema, quando comparada a uso apenas com gramíneas ou com leguminosas sem rotação. O tratamento em que se esperava maior riqueza e uniformidade, o S/M-C, apresentou, juntamente com S-C, distribuição vertical mais uniforme entre os grupos nas seções de solos avaliadas. Quanto à abundância de grupos decompositores e engenheiros do ecossistema, M-M apresentou-se correlacionado positivamente com os principais organismos engenheiros (Isoptera, Oligochaeta e Formicidae).

8 REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. M., INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221p.
- AQUINO, A. M.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M.; CORREIA, M. E. F.; GUIMARÃES, M. F.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 44, p. 191–197, 2008.
- AYUKE, F. O; KARANJA, N. K.; MUYA, E. M.; MUSOMBI, B. K.; MUNGATU, J.; NYAMASYO, G. H. N. Macrofauna diversity and abundance across different land use systems in embu, Kenya. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Yucatán, v. 11, n. 2, p. 371-384, 2009.
- BARDGETT, R. D. **The biology of soil: A community and ecosystem approach**. Oxford: Oxford University Press, 2005. 232 p.
- BATISTA, I. **Atributos Edáficos e Fauna do Solo em Áreas de Integração Lavoura-Pecuária no Bioma Cerrado, Mato Grosso do Sul**. 2011. 87 f. Dissertação de Mestrado (Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.
- BATISTA, I.; CORREIA, M. H. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; MELLO, N. A. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no Cerrado, MS. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1535-1548, jul/ago, 2013.
- BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 797-809, 2014.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 238, p. 133–140, 2002.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbon em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, jul. 2004.

BEZEMER, T. M.; FOUNTAIN, M. T.; BAREA, J. M.; CHRISTENSEN, S.; DEKKER, S. C.; DUYTS, H.; VAN HAL, H.; HARVEY, J.A.; HEDLUND, K.; MARAUN, M.; MIKOLA, J.; MLADENOV, A. G.; ROBIN, C.; RUITER, P. C.; SCHEU, S.; SETÄLÄ, H.; SMILAUER, P.; VAN DER PUTTEN, W. H. Divergent composition but similar function of soil food webs of individual plants: plant species and community effects. **Ecology**, Ithaca, v. 91, p. 3027-3036, 2010.

BLANCHART, E.; VILLENAVE, C.; VIALLATOUX, A.; BARTHÈS, B.; GIRARDIN, C.; AZONTONDE, A.; FELLER, C. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *Utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 42, p. 136-144, 2006.

BOCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. New York: Springer, 2011. 306 p.

BOHLEN, P. J.; PARMELEE, R. W.; BLAIR, J. M. Integrating the effects of earthworms on nutrient cycling across spatial and temporal scales. In: EDWARDS, C. A. (Ed.). **Earthworm Ecology**. 2. ed. Boca Raton: CRC PRESS, 2004. p. 161-180.

BOTTINELLI, N.; THENRY-DES-TUREAUX, T.; HALLAIRE, V.; MATHIEU, J.; BENARD, Y.; DUC TRAN, T.; JOUQUET, P. Earthworms accelerate soil porosity turnover under watering conditions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 156, p. 43–47, 2010.

BOSSUYT, H.; SIX, JOHAN.; HENDRIX, P. F. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 251-258, 2005.

BRONICK C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 3 –22, 2005.

BULLOCK, P., FEDEROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G., TURSINA, T. **Handbook for Soil Thin Section Description**. Albrighton: Waine Research Publications, 1985. 152p.

BULLOCK, M. S.; KEMPER, W. D.; NELSON, S. D. Soil Cohesion as Affect by Freezing, Water Content, Time and Tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 770-776, 1988.

- CALEGARI, A.; ARAÚJO, A. G.; COSTA, A.; LANILLO, R. F.; CASÃO JÚNIOR, R.; SANTOS, D. R. Conservation Agriculture in Brazil. In: JAT, R. A.; SAHRAWAT, K. L.; KASSAM, A. H. **Conservation Agriculture: Global Prospects and Challenges**. Wallingford: CAB International, 2014. p. 54-88.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping system in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 129, p. 40-47, 2013.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.
- COQ, S.; BARTHES, B. G.; OLIVER, R.; RABARY, B.; BLANCHART, E. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues - An experimental study (Madagascar). **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 39, p. 2119-2128, 2007.
- COSTA, C., VANIN, S. A., CASARI-CHEN, S. A. **Larvas de coleoptera do Brasil**. São Paulo: Museu de Zoologia, 1988. p. 282.
- CSIRO. **The insects of Australia**: a textbook for students and research workers. 2 ed. New York: Cornell University Press, 1991. p. 1136, v. 2.
- CUNHA NETO, F. V.; CORREIA, M.; E. F.; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1407-1417, 2012.
- DE DEYN, G. B.; RAAIJMAKERS, C. E.; VAN RUIJVEN, J.; BERENDSE, F.; VAN DER PUTTEN, W. H. Plant species identity and diversity effects on different trophic levels of nematodes in the soil food web. **Oikos**, Hoboken, v. 106, p. 576-586, 2004.
- DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J. J.; GIOIAC, C.; MEASEY, G. J.; LAVELLE, P. The values of soil animals for conservation biology. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 42, p. 23-38, 2006.
- DERPSH, R.; FRIEDRICH, T. Global Overview of Conservation Agriculture Adoption. In: World Congress on Conservation Agriculture, 4th, 2009, New Delhi. **Palestras...** 4-7 February. p. 429- 438.

DEVINE, S.; MARKEWITZ, D.; HENDRIX, P.; COLEMAN, D. Soil Aggregates and Associated Organic Matter under Conventional Tillage, No-Tillage, and Forest Succession after Three Decades. **Plos One**, California, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2014.

DEXTER, A. R. Advances in Characterization of Soil Structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, p. 199-238, 1988.

DINDAL, D. **Soil biology guide**. New York: John Wiley and Sons, 1990, p. 1348.

DRINKWATER, L. E.; WAGONER, P.; SARRANTONIO, M. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. **Nature**, London, v. 396, p. 262-265, 1998.

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

ERROUISSI, F.; MOUSSA-MACHRAOUI, S. B.; BEM-HAMMOUDA, M.; NOUIRA, S. Soil invertebrates in durum wheat (*Triticum durum* L.) cropping system under Mediterranean semi arid conditions: A comparison between conventional and no-tillage management. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 112, p. 122–132, 2011.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, p. 95-106, 2002.

FERREIRA, D. F. **Uso de Recursos Computacionais Utilizando R**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008. 216 p.

FONTE, S. J.; KONG, A. Y. Y.; VAN KESSEL, C.; HENDRIX, P. F.; SIX, J. Influence of earthworm activity on aggregate-associated carbon and nitrogen dynamics differ with agroecosystem management. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 39, p. 1014-1022, 2007.

GOTELLI, N.; COLWELL, R. K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology Letter**, Malden, v. 4, p. 379-391, 2001.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 32, p. 285-309, 1994.

HAYNES, R. J.; FRASER, P. M. A comparison of aggregate stability and biological activity in earthworm casts and uningested soil as affected by amendment with wheat or lucerne straw. **European Journal of Soil Science**, Malden, v. 49, p. 629–636, 1998.

HOOPER, D. U.; BIGNELL, D. E.; BROWN, V. K.; BRUSSAARD, L.; DANGERFIELD, J. M.; WALL, D. H.; WARDLE, D. A.; COLEMAN, D. C.; GILLER, K. E.; LAVELLE, P.; VAN DER PUTTEN, W. H.; DE RUITER, P. C.;

RUSEK, J.; SILVER, W. L.; TIEDJE, J. M.; WOLTERS, V. Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. **Bioscience**, Oxford, v. 50, p. 1049–1061, 2000.

HUERTA, E.; FRAGOSO, C.; BAROIS, I.; LAVELLE, P. Enhancement of growth and reproduction of the tropical earthworm *Polypheretima elongata* (Megascolecidae) by addition of *Zea mays* and *Mucuna pruriens* var. utilis litter to the soil. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 41, p. 45-53, 2005.

INGHAM, E. R. Soil food web. In: TURGEL, A.J.; LEWANDOWSKI, A.M. & HAPPEN-VONARB, D. **Soil biology primer**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 2000. p. 4-9.

JENNY, H. **Factors of soil formation**: A system of quantitative pedology. New York, Dover Publications, 1944 [1941]. 281p.

JORGE, R. F. **Qualidade física em um Latossolo vermelho sob sistema de semeadura direta**. 2010, p. 103. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

JOUQUET, P.; BOTTINELLI, N.; PODWOJEWSKI, P.; HALLAIRE, V.; DUC, T. T. Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. **Geoderma**, Amsterdam, v. 146, p. 231–238, 2008.

KETTERINGS, Q. M.; BLAIR, J. M.; MARINISSEN, J. C. Y. Effects of earthworms on soil aggregate stability and carbon and nitrogen storage in a legume cover crop agroecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 3/4, p. 401-408, 1997.

LAL, R. Effects of Macrofauna on Soil Properties in Tropical Ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, p. 101-116, 1988.

LAL, B.; CONACHER, A. J. Corrigenda - The role of termites and ants in soil modification - a review. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 28, p. 55–93, 1990.

LAMOUREAUX, S.; O'KANE, M. A. Effects of termites on soil cover system performance. In: Mine Closure, 2012, Brisbane. **Palestras....** p. 433-446.

LAOSSI, K. R.; BAROT, S.; CARVALHO, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P.; MARTINS, M.; MITJA, D.; RENDEIRO, A. C.; ROUSSEAU, G.; SARRAZIN, M.; VELASQUEZ, E.; GRIMALDI, M. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. **Pedobiologia**, Jena, v. 51, p. 397–407, 2008.

LAVELLE, P. The soil fauna of tropical savannas: The community structure. In: BOURLIÈRE, F. **Tropical savannas**. Amsterdam: E. S. P. C., 1983. p. 477-484.

LAVELLE, P.; MARTIN, A. Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 24, n. 12, p. 1491-1498, 1992.

LAVELLE, P.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENNER, V.; LOPEZ-HERNANDEZ, D.; PASHANASI, B.; BRUSAARD, L. The relationship of between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. **The biological management of tropical soil fertility**. New York: J. Wiley & Sons, 1994. p. 137-169.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem functions. **Advances in Ecological Research**, San Diego, v. 27, p. 93–132, 1997.

LAVELLE, P.; BARROS, E.; BLANCHART, E.; BROWN, G.; DESJARDINS, T.; MARIANI, L.; ROSSI, J. P. SOM management in the tropics: Why feeding the soil macrofauna? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, p. 53–61, 2001.

LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E. D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**, Berlin, v. 129, p. 271–280, 2001.

LEPŠ, J.; ŠMILAUER, P. **Multivariate analysis of ecological data**. České Budějovice: University of South Bohemia České Budějovice, 1999. p.110.

LOURENTE, E. R. P.; SILVA, R. F.; SILVA, D. A.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 29, n. 1, p. 17-22, 2007.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M.; BEUTLER, S. J.; Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural ¹³C and ¹⁵N abundance in biogenic and physicogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**, Melbourne, v. 52, p. 685-697, 2014.

MARCHÃO, R. L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L. C.; VILELA, L. & BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1011-1020, 2009.

MANDIOLA, M.; STUDDERT, G. A.; DOMÍNGUEZ, G. F.; VIDELA, C. C.; Organic matter distribution in aggregate sizes of a mollisol under contrasting managements. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 11, n. 4, p. 41-57, 2011.

MARINISSEN, J. C. Y.; WINDING, A.; HENDRIKSEN, N. B.; PULLEMAN, M. M. Organic matter dynamics are affected by microbial activity in biogenic aggregates. In „World Congress of Soil Science“, 16th, 1998, Montpellier. **Abstract books: symposium nº 9**. CD-ROM.

MARTIN, A.; MARINISSEN, J. C. Y. Biological and physic-chemical processes in excrements of soil animals. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 331-347, 1993.

MARCELO, A. V. **Decomposição de resíduos vegetais de culturas de entressafra em sistema de semeadura direta e efeitos nos atributos químicos de um Latossolo e na produtividade de soja e milho**. 2011. 108 f. Tese de Doutorado (Agronomia: Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, 2011.

MARTIN, A.; MARINISSEN, J. C. Y. Biological and physic-chemical processes in excrements of soil animals. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 331-347, 1993.

MELO, A. S.; HEPP, L. U. Ferramentas estatísticas para análises de dados provenientes de biomonitoramento. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 463-486, 2008.

MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F. C.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. M.; COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, I. P. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1647-1656, 2009.

MUTEMA, M.; P. L., MAFONGOYA, P. L.; NYAGUMBO, I.; CHIKUKURA, L. Effects of crop residues and reduced tillage on macrofauna abundance. **Journal of Organic Systems**, Waitakere, v. 8, n. 1, p. 5-16, 2013.

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

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 377–400, 1993.

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

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; WAGNER, H. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.2-1, 2015. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>

OLIVEIRA, L. J.; MALAGUIDO, A. B. Flutuação e distribuição vertical da população do percevejo castanho da raiz, *Scaptocoris castanea* Perty (Hemiptera: Cydnidae), no perfil do solo em áreas produtoras de soja nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 283-291, 2004.

OPARA-NADI, O. A. “Conservation tillage for increased crop production,” In: **FAO, Soil Tillage in Africa: Needs and Challenges**. Roma: FAO Soils Bulletin, 69, 1993, cap. 8. p. 83-94.

PAES, A. T. Itens essenciais em bioestatística. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, Rio de Janeiro, v. 71, n. 4, p. 575-580, 1998.

PEREIRA, G. H.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; AMORIM, T. A.; MENEZES, C. E. G. Decomposição da serrapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em um fragmento de floresta atlântica litter decomposition, diversity and functionality of soil invertebrates in an atlantic rain forest fragment. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1317-1327, Sept./Oct. 2013.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under diferente tillage systems for vegetable crops in Red Latosol from Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 79-84, 2004.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. R CORE TEAM (2015). *_nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models_*. R package version 3.1-119, Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>

PULLEMAN, M. M.; SIX, J.; UYL, A.; MARINISSEN, J.C.Y.; JONGMANS, A. G. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 29, p. 1–15, 2005.

R CORE TEAM (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p.

RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados**. 6 ed. São Paulo: Ed. Roca. 1996, p. 1028.

SALAMON, J. A.; WISSUWA, J.; JAGOS, S.; KOBLMÜLLER, M.; OZINGER, O.; WINKLER, C.; FRANK, T. Plant species effects on soil macrofauna density in grassy arablefallow of different age. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 47, p. 129-137, 2011.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 115-122, jan. 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

- SEBEN JUNIOR, G. F. **Resistência tênsil relacionada com atributos de um latossolo sob sistema de semeadura direta**. 2010. 88 f. Dissertação de mestrado (Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.
- SHEEHAN, C.; KIRWAN, L.; CONNOLLY, J.; BOLGER, T. The effects of earthworm functional group diversity on nitrogen dynamics in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 38, p. 2629-2636, 2006.
- SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, supl., p. 725-731, 2008.
- SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 697-704, abril, 2006.
- SILVA NETO, L. F.; SILVA, I. F.; INDA, A. V.; NASCIMENTO, P. C.; BORTOLON, L. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1365-1371, nov/dez., 2010.
- SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. DORAN, J. W. Aggregation and Soil Organic Matter Accumulation in Cultivated and Native Grassland Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, p. 1367-1377, 1998.
- SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 2099-2103, 2000.
- SIX J., BOSSUYT H., DEGRYZE S., DENEK K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 7-31, 2004.
- SPEHN, E. M.; JOSHI, J.; SCHMID, B.; ALPHEI, J.; KÖRNER, C. Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 224, p. 217-230, 2000.
- TEDESCO, J. M.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, Boletim Técnico de Solos, 5, 1985. 186 p.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Malden, v. 33, p. 141-163, 1982.
- VAN VLIET, P. C. J.; WEST, L. T.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C. The influence of Enchytraeidae (Oligochaeta) on the soil porosity of small microcosms. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 287-299, 1993.

VASCONCELLOS, R. L. F.; SEGAT, J. C.; BONFIM, J. A.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 58, p. 105-112, 2013.

VELÁSQUEZ, E.; PELOSI, C.; BRUNET, D.; GRIMALDI, M.; MARTINS, M.; RENDEIRO, A. C.; BARRIOS, E.; LAVELLE, P. This ped is my ped: Visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. **Pedobiologia**, Jena, v. 51, p. 75-87, 2007.

VELÁSQUEZ, E.; FONTE, S. J.; BAROT, S.; GRIMALDI, M.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 56, p. 43–50, 2012.

VENDRAME, P. R. S.; MARCHÃO, R. L.; BRITO, O. S.; GUIMARÃES, M. F.; BECQUER, T. Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 8, p. 996-1001, ago. 2009.

WALKER, D. Diversity and stability. In: CHERRETT, J. M. **Ecological concepts**. Oxford: Blackwell Scientific Public, 1989, p. 115-14.

WATT, M.; MC CULLY, M. E.; CANNY, M. J. Formation and Stabilization of Rhizosheaths of *Zea mays* L. **Plant Physiology**, Auburn, v. 106, p. 179-186, 1994.

WOLTERS V.; EKSCHMITT K.; Gastropods, Isopods, Diplopos, Chilopods: neglected groups of the decomposer food web. In: BENCKISER, G. **Fauna in soil ecosystems: Recycling processes, nutrient fluxes, and agricultural production**. New York: Marcel Dekker, 1997. p. 265-306.

YOUNG, I. M.; BLANCHART, E.; CHENU, C.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; GRIMALDI, M.; INGRAN, J.; MONROZIER, J. J.; The interaction of soil biota and soil structure under global change. **Global Change Biology**, Oxford, v. 4, n. 7, p. 703–712, 1998.

APÊNDICE

Apêndice 1. Valores médios dos atributos químicos das amostras de terra nas camadas 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C).

0,0-0,1 m										
Área	pH (CaCl2)		Ca		Mg		K		Al	
	-----mmolc kg ⁻¹ soil-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	5,59	5,62	41,43	44,82	12,29	13,97	7,74	4,46	0,11	0,19
M-M	5,27	5,00	26,21	25,97	9,59	9,20	7,02	5,42	0,28	1,08
S/M-M	5,79	5,28	35,26	32,72	12,71	11,41	4,91	4,66	0,08	0,31
S/M-C	5,27	5,16	30,06	35,21	10,01	10,13	6,66	5,30	0,23	0,29
PC	5,72	5,54	37,38	38,41	17,32	21,84	6,09	5,86	0,05	0,56
VN	6,37	6,61	133,73	199,72	18,58	25,72	5,29	5,19	0,09	0,20
	Soma de bases		H+Al		V%		N		P	
	-----mmolc kg ⁻¹ soil-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	61,46	63,24	23,86	25,99	71,57	70,34	0,20	0,15	48,50	28,68
M-M	42,82	40,58	30,01	41,92	59,19	49,52	0,08	0,12	40,03	24,05
S/M-M	52,88	48,79	22,45	30,90	70,20	61,38	0,06	0,11	23,58	37,83
S/M-C	46,73	50,65	31,02	34,84	59,97	59,56	0,12	0,12	37,28	30,71
PC	60,79	66,11	22,90	28,18	72,27	68,34	0,10	0,12	36,22	35,15
VN	157,60	230,63	17,59	16,12	88,27	93,24	0,42	0,50	34,35	24,99
0,1-0,2 m										
	pH (CaCl ₂)		Ca		Mg		K		Al	
	-----mmolc kg ⁻¹ soil-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	5,12	5,32	30,64	38,24	8,47	9,84	2,86	3,34	0,49	0,20
M-M	5,12	4,88	25,24	22,59	8,71	7,38	3,57	4,30	0,41	1,63
S/M-M	5,44	4,97	28,52	24,54	10,06	7,92	2,16	2,82	0,51	1,20
S/M-C	4,97	4,87	24,47	25,08	8,66	7,77	3,45	4,08	0,61	1,21
PC	5,45	4,90	23,19	23,65	12,08	9,79	2,91	3,80	0,12	0,67
VN	6,26	6,13	58,05	96,75	14,38	20,16	2,91	4,34	0,03	0,28
	Soma de bases		H+Al		V%		N		P	
	-----mmolc kg ⁻¹ soil-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	41,97	51,41	31,70	30,88	56,23	61,83	0,09	0,13	60,44	42,36
M-M	37,52	34,27	31,58	37,87	54,26	47,69	0,07	0,10	64,72	42,66
S/M-M	40,74	35,28	25,19	34,42	61,19	51,30	0,06	0,08	48,27	40,99
S/M-C	36,58	36,93	34,87	36,84	50,51	50,21	0,08	0,10	76,65	59,20
PC	38,17	37,24	23,08	36,51	61,97	50,30	0,11	0,11	34,17	36,12
VN	75,33	121,25	17,80	18,46	80,79	86,53	0,29	0,26	16,16	11,82
0,2-0,3 m										
	pH (CaCl ₂)		Ca		Mg		K		Al	
	-----mmolc kg ⁻¹ soil-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	5,07	5,14	21,11	32,19	5,44	8,90	2,14	2,61	0,31	0,60
M-M	5,08	4,74	15,83	17,43	5,21	6,34	2,40	3,41	0,19	1,41
S/M-M	5,37	5,02	19,19	20,63	6,31	7,87	1,36	2,62	0,57	0,73
S/M-C	4,95	4,83	14,23	20,10	4,01	6,64	2,30	3,08	0,48	0,95
PC	5,41	5,06	23,35	26,32	7,70	9,84	1,98	2,99	0,25	0,51
VN	6,21	5,96	46,53	75,76	10,00	17,31	2,61	4,13	0,08	0,27

continua

	Soma de bases		H+Al		V%		N		P	
	-----mmol _c kg ⁻¹ soil-----						%		mg kg ⁻¹	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	28,69	43,70	30,39	30,04	48,56	57,53	0,10	0,09	25,47	11,32
M-M	23,44	27,18	26,28	38,23	47,56	41,21	0,09	0,07	14,15	19,96
S/M-M	26,87	31,12	24,72	27,75	52,88	53,55	0,08	0,07	14,70	9,96
S/M-C	20,54	29,82	29,43	35,01	40,92	44,97	0,09	0,11	16,04	9,66
PC	33,03	39,14	24,82	32,23	56,99	54,05	0,11	0,12	26,24	21,93
VN	59,15	97,20	17,08	20,28	77,44	82,09	0,20	0,21	13,73	10,05

S-C: Soja/Crotalaria; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalaria; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa.

Apêndice 2. Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbon orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C).

Área	COT		COp		COam	
	-----g. kg ⁻¹ -----					
	S	C	S	C	S	C
0,0-0,1 m						
Soja-Crotalaria	19,97	19,87	1,98	2,19	17,98	17,68
Milho-Milho	16,80	17,33	1,62	1,11	15,18	16,22
Soja/Milho-Milho	15,80	14,87	1,76	1,11	14,04	13,76
Soja/Milho-Crotalaria	19,57	16,20	1,95	1,55	17,62	14,65
Plantio Convencional	17,17	15,90	1,29	1,59	15,87	14,31
Vegetação Nativa	58,73	58,47	5,23	4,55	53,50	53,92
0,1-0,2 m						
Soja-Crotalaria	14,57	14,87	0,65	0,63	13,92	14,24
Milho-Milho	12,44	13,00	0,57	0,85	11,86	12,15
Soja/Milho-Milho	11,38	11,05	0,60	0,59	10,78	10,46
Soja/Milho-Crotalaria	13,37	12,33	0,69	0,46	12,68	11,87
Plantio Convencional	16,07	14,43	0,96	0,67	15,11	13,76
Vegetação Nativa	35,80	31,53	1,47	1,74	34,33	29,79
0,2-0,3 m						
Soja-Crotalaria	12,60	12,43	0,45	0,32	12,15	12,11
Milho-Milho	11,22	10,59	0,41	0,45	10,81	10,15
Soja/Milho-Milho	9,81	9,43	0,55	0,27	9,26	9,16
Soja/Milho-Crotalaria	11,08	13,27	0,40	0,32	10,68	12,95
Plantio Convencional	14,60	15,63	0,57	0,44	14,03	15,19
Vegetação Nativa	24,83	25,20	1,33	0,73	23,51	24,47

Apêndice 3. Valores médios dos teores de areia, silte e argila das amostras de terra nas camadas 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C).

Área	Características (g kg ⁻¹)									
	Areia total		Areia grossa		Areia fina		Argila		Silte	
	-----g kg ⁻¹ -----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
0,0-0,1 m										
S-C	326,7	345,7	178,0	189,3	148,7	156,0	480,0	469,0	193,3	185,3
M-M	423,3	475,0	257,0	290,0	166,7	185,0	479,7	404,3	97,0	120,7
S/M-M	450,7	460,0	275,0	278,0	175,7	182,0	449,3	411,0	100,0	129,0
S/M-C	361,7	359,7	193,0	200,0	168,7	159,7	500,7	491,0	137,7	149,3
PC	316,67	391,7	174,67	226,7	141,33	165,0	543,33	497,3	140,00	111,0
VN	245,33	246,0	113,33	117,7	131,67	128,3	434,33	408,7	320,33	345,33
0,1-0,2 m										
S-C	327,0	326,0	178,7	188,7	148,3	137,0	525,0	523,3	148,0	150,7
M-M	429,3	466,0	267,0	284,3	162,7	181,3	490,7	456,3	80,0	77,7
S/M-M	448,7	456,0	273,7	286,7	175,0	168,7	460,0	460,0	91,3	84,0
S/M-C	343,0	354,3	181,3	189,0	161,0	165,0	537,3	518,3	119,7	127,3
PC	307,7	386,3	164,7	233,7	143,0	153,0	568,0	514,7	124,3	99,0
VN	225,3	241,7	94,7	112,0	130,7	129,3	513,7	495,3	261,0	263,0
0,2-0,3 m										
S-C	301,7	301,3	175,0	171,3	126,7	130,3	564,7	565,3	133,7	133,3
M-M	408,3	479,0	258,0	305,7	150,3	173,0	508,0	447,0	83,7	74,0
S/M-M	419,3	426,3	265,0	271,0	154,7	155,3	483,7	497,0	97,0	76,7
S/M-C	317,0	325,7	173,7	177,7	143,3	148,0	554,7	563,3	128,3	111,0
PC	312,0	403,7	175,3	254,7	137,0	148,3	566,3	505,0	121,7	91,33
VN	240,7	228,0	110,3	104,0	130,3	123,7	411,3	554,33	348,0	217,7

S-C: Soja/Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa.

Apêndice 4. Valores médios de atributos físicos do solo nas camadas 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C).

Área	Densidade do solo		Porosidade				Macroporosidade	
	---Mg m ⁻³ ---		Total		Microporosidade		Macroporosidade	
	S	C	S	C	S	C	S	C
0,0-0,1 m								
S-C	1,37	1,34	53,23	50,67	42,1	39,47	11,14	11,21
M-M	1,38	1,47	52,37	47,85	34,7	36,23	17,72	11,62
S/M-M	1,39	1,47	50,87	46,65	36,9	37,32	13,97	9,33
S/M-C	1,32	1,42	54,79	49,12	39,3	37,54	15,52	11,58
PC	1,24	1,49	54,84	46,14	39,26	38,99	15,57	7,15
VN	0,83	0,91	66,02	68,54	31,69	35,68	34,33	32,86
0,1-0,2 m								
S-C	1,40	1,43	50,85	46,36	39,60	37,76	11,25	8,60
M-M	1,45	1,54	47,79	45,11	35,84	35,61	11,94	9,50
S/M-M	1,48	1,53	46,10	43,97	35,21	35,08	10,89	8,89
S/M-C	1,40	1,43	51,32	48,87	38,09	36,56	13,23	12,31
PC	1,29	1,43	54,16	49,93	38,10	37,83	16,06	12,10
VN	0,86	64,04	65,27	64,04	29,67	36,79	35,60	27,25
0,2-0,3 m								
S-C	1,32	1,40	51,93	50,33	38,81	38,03	13,11	12,29
M-M	1,48	1,55	47,28	45,17	35,66	35,01	11,62	10,16
S/M-M	1,48	1,46	45,22	46,65	35,42	33,58	9,80	13,06
S/M-C	1,36	1,42	52,11	47,44	38,38	35,54	13,73	11,89
PC	1,37	1,42	49,14	49,20	38,71	35,05	10,43	14,15
VN	1,02	1,15	60,73	61,76	31,84	35,04	28,89	26,72

S-C: Soja/Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa.

Apêndice 5. Valores médios dos atributos químicos dos diferentes tipos morfológicos de agregados na camada de 0,0-0,1 m em duas épocas de avaliação, seca (S) e chuvosa (C).

Fisicogênico										
Área	pH _(CaCl2)		Ca		Mg		K		Al	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	5,46	5,55	47,72	38,63	14,49	13,51	5,04	3,16	0,31	0,17
M-M	5,35	4,83	34,37	20,86	11,63	7,96	6,75	5,29	0,47	1,12
S/M-M	5,50	5,34	39,86	32,45	17,36	12,42	6,35	3,79	0,39	0,20
S/M-C	5,34	5,04	40,95	27,50	12,65	8,83	7,42	4,43	0,24	0,51
PC	5,63	5,14	44,24	25,34	19,14	13,33	7,42	3,85	0,13	1,01
VN	6,19	6,24	133,1	109,1	24,93	21,70	7,35	5,24	0,16	0,04
	Soma de bases		H+Al		V%		N		P	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	67,25	55,30	27,09	28,04	70,98	65,57	0,14	0,21	31,87	29,08
M-M	52,75	34,11	28,07	40,26	65,13	46,10	0,12	0,10	22,45	16,67
S/M-M	63,56	48,66	26,38	27,87	67,62	62,63	0,11	0,08	22,76	28,01
S/M-C	61,02	40,75	29,06	33,90	67,24	54,59	0,13	0,09	24,85	27,50
PC	70,80	42,52	24,43	35,86	74,04	54,12	0,14	0,09	27,91	34,65
VN	165,4	136,0	20,47	20,85	88,70	85,25	0,36	0,29	16,07	16,47
Intermediário										
	pH _(CaCl2)		Ca		Mg		K		Al	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	5,62	5,60	52,47	40,32	14,17	13,47	4,36	4,19	0,24	0,13
M-M	5,40	4,90	31,08	23,18	12,06	7,78	5,65	6,04	0,24	0,91
S/M-M	5,51	5,29	32,92	33,84	15,66	11,37	4,21	3,84	0,21	0,31
S/M-C	5,27	5,06	27,19	29,20	10,10	9,23	4,36	4,66	0,20	0,37
PC	5,66	5,10	30,28	27,96	15,15	12,74	3,86	3,61	0,08	0,76
VN	6,24	6,22	106,1	124,5	22,38	21,70	4,47	5,08	0,15	0,08
	Soma de bases		H+Al		V%		N		P	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	71,00	57,98	26,04	25,77	73,09	68,43	0,15	0,12	34,21	29,34
M-M	48,79	36,99	25,98	38,64	65,23	48,94	0,13	0,11	33,67	18,69
S/M-M	52,79	49,05	25,03	31,70	64,51	60,33	0,13	0,09	26,34	26,70
S/M-C	41,65	43,09	30,63	36,66	57,45	53,81	0,14	0,11	24,82	29,85
PC	49,29	44,32	25,23	38,43	65,77	53,07	0,14	0,09	26,67	37,10
VN	132,9	151,3	21,21	21,06	86,01	86,90	0,41	0,34	18,81	17,63

continua

Biogênico										
	pH _(CaCl2)		Ca		Mg		K		Al	
					mmol _c kg ⁻¹ solo					
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	5,57	5,59	38,47	46,81	13,51	14,38	3,80	3,97	0,04	0,07
M-M	5,53	4,97	29,82	29,20	12,33	9,78	4,58	6,38	0,05	0,63
S/M-M	5,65	5,36	32,91	32,91	14,97	11,65	4,42	3,97	0,11	0,21
S/M-C	5,39	5,20	33,37	30,90	11,55	10,14	4,91	4,58	0,13	0,24
PC	5,78	5,45	40,79	31,36	17,83	16,33	4,87	3,24	0,08	0,47
VN	6,25	6,26	121,8	127,8	22,84	24,25	5,19	4,08	0,12	0,19

	Soma de bases		H+Al		V%		N		P	
	mmol _c kg ⁻¹ solo						%		mg kg ⁻¹	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
S-C	55,78	65,15	27,50	27,45	64,37	69,97	0,17	0,13	44,07	31,24
M-M	46,73	45,36	26,39	39,78	63,93	53,24	0,15	0,14	34,92	24,52
S/M-M	52,29	48,52	24,97	27,78	65,77	63,64	0,15	0,12	22,74	37,89
S/M-C	49,84	45,62	28,71	33,46	63,34	57,12	0,17	0,13	26,05	27,68
PC	63,49	50,94	24,34	31,94	72,03	61,47	0,15	0,10	28,48	43,47
VN	149,8	156,1	20,87	20,53	87,53	87,41	0,34	0,40	23,81	23,27

S-C: Soja/Crotalária; M-M: Milho-Milho; S/M-M: Soja/Milho-Milho; S/M-C: Soja/Milho-Crotalária; PC: Plantio Convencional; VN: Vegetação Nativa.