



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
BIOTECNOLOGIA DA REDE BIONORTE**



**DIVERSIDADE SAZONAL DA FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO SOB
DIFERENTES USOS E MANEJOS NO TRÓPICO ÚMIDO**

CLEBSON SANTOS CÂNDIDO

**São Luís – MA
Novembro/2018**

CLEBSON SANTOS CÂNDIDO

**DIVERSIDADE SAZONAL DA FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO SOB
DIFERENTES USOS E MANEJOS NO TRÓPICO ÚMIDO**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira.

**SÃO LUIS – MA
Novembro/2018**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

CÂNDIDO, CLEBSON SANTOS.

DIVERSIDADE SAZONAL DA FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO SOB
DIFERENTES USOS E MANEJOS NO TRÓPICO ÚMIDO / CLEBSON
SANTOS CÂNDIDO. - 2018.

107 p.

Orientador(a): GLÉCIO MACHADO SIQUEIRA.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Rede -
Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia
Legal/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, SÃO LUIS/MA,
2018.

1. FAUNA DO SOLO. 2. ÍNDICES DE DIVERSIDADE
BIOLÓGICA. 3. SISTEMAS AGROAMBIENTAIS. I. SIQUEIRA,
GLÉCIO MACHADO. II. Título.

CLEBSON SANTOS CÂNDIDO

**DIVERSIDADE SAZONAL DA FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO SOB
DIFERENTES USOS E MANEJOS NO TRÓPICO ÚMIDO**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira.

Banca examinadora

Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira
Orientador - Presidente da banca

Prof. Dr. Khalil de Menezes Rodrigues
Examinador 2

Prof. Dr^a. Régia Maria Reis Gualter
Examinador 3

Prof. Dr. Daniel da Costa Dantas
Examinador 4

Prof. Dr. Bruno de Souza Barreto
Examinador 5

**São Luís – MA
Novembro/2018**

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese a minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao SENHOR DEUS, pela oportunidade de viver com fé e esperança.

Aos professores e coordenadores do Programa de Doutorado da Rede BIONORTE Coordenação Estadual do Maranhão.

Ao meu orientador Dr. Glécio Machado Siqueira e a equipe do LABSOLOS – Laboratório de Solos e Meio Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, pela amizade e apoio na conclusão da tese.

À minha família, Kerlly Suenne Leite Cândido (esposa) e Filipe Leite Cândido (filho).

Aos colegas de doutorado, Isabel Cristina Lopes Dias, Gildevan Nolasco Lopes e Helmara Diniz Costa.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio financeiro na execução deste trabalho, por meio dos projetos APCINTER-02587/14, UNIVERSAL-00735/15 e BEPP-01301/15.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro por meio dos projetos 103961/2018-6, 307619/2016-8 e 429354/2016-9.

“Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós.

Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.”

Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

Os diferentes usos e coberturas do solo alteram a composição e estrutura das comunidades da macrofauna modificando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Nesse sentido o estudo da macrofauna merece destaque por ser um atributo responsável pela decomposição e mineração da matéria orgânica. Assim, o objetivo foi avaliar a diversidade da fauna do solo sob diferentes usos e manejos no Tropicó Umido. A área experimental é localizada no município de Chapadinha, Maranhão. Para análise da fauna invertebrada usou-se áreas com cultivos de cana-de-açúcar, aléias, capim-elefante, capim Tanzânia, uma de cerrado nativo e uma área degradada. Em cada área foram instaladas 5 armadilhas pitfall Traps para coleta dos organismos. Após coleta, o material foi triado e identificado. Para análise da diversidade biológica foram usados índices de Shannon-Wiener, Equitabilidade de Pielou e Riqueza média e total. Posteriormente, análises de componentes principais foram processadas para os dois períodos. No período chuvoso foi coletado 20 grupos taxonômicos, totalizando 1.228 espécimes. Para período seco, foram coletados 19 grupos. A maior diversidade foi registrada para o cultivo em aléias no período chuvoso e para o cerrado nativo e capim elefante no período seco, isso demonstra que os diferentes usos e manejo influenciam na abundância da fauna invertebrada. A equitabilidade apresentou maior uniformidade para as aléias e cana-de-açúcar nos dois períodos, chuvoso e seco respectivamente. Os três fatores no período chuvoso juntos explicaram 99,98% dos dados originais e estão relacionados a grupos reguladores de cadeia trófica e modificadores de atributos do solo. Para o período seco os dois fatores analisados explicaram 99,99% da variância dos dados. A análise de componentes principais (PCA) explicou 61,06% dos dados nos eixos de PCA 1 e PCA 2 no período chuvoso. No período seco, a PCA explicou 50,3% dos dados originais em ambos os eixos.

Palavras-Chave: Fauna do solo, índices de diversidade biológica, sistemas agroambientais.

ABSTRACT

The different uses and coverings of the soil alter the structure and the macrofauna expressions modulating as physical, chemical and biological properties of the soil. This sense of the study of macrofauna merce is one of the factors responsible for the decomposition and mining of organic matter. Thus, the diversity of the fauna of the soil was evaluated under different uses and management in Tropico Humid. An experimental area is located in the municipality of Chapadinha, in Maranhão. The analysis of the invertebrate fauna made areas with sugarcane crops, alleys, elephantgrass, Tanzania grass, a cerrado species and a degraded area. In each area 5 traps were installed to collect organisms. After the collection, the material was identified and identified. For more information on Shannon-Wiener levels, Pielou Equitability and Average and Total Wealth. Subsequently, analyzes of the main components were processed for both periods. In the rainy season, 20 taxonomic groups were collected, totaling 1,228 specimens. For the dry period, 19 groups were collected. The greatest diversity was recorded for alias cultivation in the period and for native cerrado and elephant grass in the dry period, which is different and the management influence the abundance of the invertebrate fauna. The equitability had greater uniformity for aloe and sugarcane in two periods, rainy and dry respectively. The three factors in the rainy season together explained 99.98% of the original data and are related to trophic chain regulators and soil attribute modifiers. For the dry period the two factors explained 99.99% of the data variance. The analysis of the main components (PCA) explained 61.06% of the data in the PCA 1 and PCA 2 in the rainy season. In the case of difference, a PCA explained 50.3% of the original data on both axes.

Keywords: Soil fauna, indices of biological diversity, agro-environmental systems.

LISTA DE TABELAS

5.1 ARTIGO 1: DIVERSIDADE SAZONAL DA FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS NO TRÓPICO ÚMIDO

Tabela 1. Caracterização física do solo para as áreas em estudo no município de Chapadinha (Maranhão, Brasil)	41
Tabela 2. Caracterização química do solo para as áreas em estudo no município de Chapadinha (Maranhão, Brasil)	41
Tabela 3. Localização, cobertura e diferentes usos e manejos do solo nas áreas estudadas em Chapadinha (Maranhão, Brasil)	42
Tabela 4. Grupos taxonômicos presentes no período chuvoso e seco nas áreas de estudo, Chapadinha, Maranhão	45
Tabela 5. Parâmetros estatísticos para a fauna do solo no período chuvoso e seco nas áreas de estudo, Chapadinha, Maranhão	46
Tabela 6. Análise de fatores contendo os três primeiros fatores (processos) com suas respectivas cargas fatoriais que representam os coeficientes de correlação entre os atributos do solo e a fauna invertebrada no período chuvoso	48
Tabela 7. Análise de fatores contendo os dois primeiros fatores (processos) com suas respectivas cargas fatoriais que representam os coeficientes de correlação entre os atributos do solo e a fauna invertebrada no período seco ...	49
Tabela 8. Matriz de correlação linear para o período chuvoso nas áreas de estudo, Chapadinha, Maranhão	51
Tabela 9. Matriz de correlação linear para o período seco nas áreas de estudo, Chapadinha, Maranhão	52
Tabela 10. Parâmetros de diversidade biológica para as áreas amostradas no período chuvoso e seco no município de Chapadinha (Maranhão, Brasil)	53

5.2 ARTIGO: VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)

Tabela 1. Caracterização das propriedades físicas e químicas do solo da área de estudo	62
Tabela 2. Grupos taxonômicos na área amostrada no período seco e chuvoso	68
Tabela 3. Parâmetros estatísticos da fauna do solo em cultivo de cana-de-açúcar, Coelho Neto, Maranhão, Brasil	68

Tabela 4. Parâmetros ecológicos da fauna do solo em cultivo de cana-de-açúcar, Coelho Neto, Maranhão, Brasil	69
Tabela 5. Parâmetros estatísticos dos índices ecológicos da fauna do solo em cultivo de cana-de-açúcar, Coelho Neto, Maranhão, Brasil	71
Tabela 6. Matriz de correlação linear entre a produtividade, matéria orgânica, altitude e os índices de diversidade em cana-de-açúcar, Coelho Neto (Maranhão, Brasil)	72
Tabela 7. Parâmetros geoestatísticos para os índices de diversidade do solo, Coelho Neto, Maranhão, Brasil	73

LISTA DE FIGURAS

5.2 ARTIGO: VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)

Figura 1. Temperatura e precipitação do período experimental	62
Figura 2. Mapa topográfico com altitude absoluta em metros (m) e esquema de amostragem contendo 100 pontos	63
Figura 3. Semivariogramas ajustados para: a) altitude (m), b) produtividade (Mg ha^{-1}); c) matéria orgânica (g dm^{-3}) e índices de diversidade da fauna do solo no período chuvoso em cultivo de cana-de-açúcar: d) Indivíduos armadilha ⁻¹ dia ⁻¹ ; e) Riqueza; f) Diversidade de Shannon-Wiener	75
Figura 4. Semivariogramas ajustados para os índices de diversidade da fauna do solo no período chuvoso em cultivo de cana-de-açúcar: a) Diversidade de Simpson b) Diversidade de Gleason; c) Diversidade de Margalef; d) Dominância de Berger Parker; e) Equitabilidade de Pielou f) Equitabilidad de Simpson	76
Figura 5. Semivariogramas ajustados para:os índices de diversidade da fauna do solo no período seco em cultivo de cana-de-açúcar: a) indivíduos armadilha ⁻¹ dia ⁻¹ ; b) Riqueza; c) Diversidade de Shannon-Wiener; d) Diversidade de Simpson e) Diversidade de Gleason; f) Diversidade de Margalef	77
Figura 6. Semivariogramas ajustados para:os índices de diversidade da fauna do solo no período seco em cultivo de cana-de-açúcar: a) Dominância de Berger Parker; b) Equitabilidade de Pielou c) Equitabilidad de Simpson	78

Figura 7. Mapas de distribuição espacial para: a) produtividade (Mg ha^{-1}); Matéria orgânica (g dm^{-3}) e índices dos atributos biológicos para período chuvoso: c) indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹; d) Riqueza; e) Diversidade de Shannon-Wiener; f) Diversidade de Simpson 79

Figura 8. Mapas de distribuição espacial dos índices dos atributos biológicos para período chuvoso a) Diversidade Gleason; b) Diversidade Margalef; c) Dominância Berger Parker; d) Equitabilidade de Pielou; e) Equitabilidade de Simpson 80

Figura 9. Mapas de distribuição espacial para a) matéria orgânica (g dm^{-3}) e índices dos atributos biológicos para período chuvoso: b) indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹; c) Riqueza; d) Diversidade de Shannon-Wiener; e) Diversidade de Simpson; f) Diversidade de Gleason; g) Dominância Berger Parker; h) Equitabilidade de Pielou; i) Equitabilidade de Simpson 81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 USO E MANEJO DO SOLO	17
2.2 QUALIDADE DO SOLO	19
2.3 BIOINDICADORES	20
2.4 FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
3 HIPÓTESE	35
4 OBJETIVOS	36
4.1 OBJETIVO GERAL	36
4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	36
5 CAPÍTULOS	37
5.1 ARTIGO 1: DIVERSIDADE SAZONAL DA FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS NO TRÓPICO ÚMIDO	38
ABSTRACT	38
INTRODUÇÃO	39
MATERIAL E MÉTODOS	40
RESULTADOS	44
DISCUSSÃO	53
CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	55
5.2 ARTIGO 2: VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR (<i>Saccharum spp.</i>)	59
ABSTRACT	59
INTRODUÇÃO	60
MATERIAL E MÉTODOS	61
RESULTADOS	67
DISCUSSÃO	82
CONCLUSÕES	84
REFERÊNCIAS	85
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
ANEXO	93

1 INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um dos ecossistemas mais heterogêneos do planeta, que desempenha um papel insubstituível na biosfera: sustenta a produtividade agrícola, promove a degradação da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (PIETRAMELLARA et al., 2002, SANTORUFO et al., 2012).

Segundo Lavelle et al. (2006), os solos são fontes essenciais de ampla diversidade de serviços ecossistêmicos que proporcionam benefícios às populações humanas. Dentre eles: regulação climática, controle de fluxo de gases de efeito estufa, sequestro de carbono e degradação de poluentes. Desta maneira, os solos determinam o status econômico das nações e, portanto, são um importante capital natural. O capital natural de um solo é definido pela sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos necessários para um determinado uso da terra, assumindo que práticas sustentáveis de manejo estão sendo usadas (PEREIRA et al., 2017).

Os serviços ecossistêmicos referem-se a todos os benefícios que os humanos obtêm do ecossistema, incluindo serviços de abastecimento, tais como abastecimento de alimentos e água, serviços reguladores, tais como inundações e controle de doenças, serviços de apoio tais como a manutenção da ciclagem de nutrientes e serviços culturais, tais como os benefícios espirituais, recreativos e culturais (JIN et al., 2017).

A fauna do solo pode ser separada em mesofauna e macrofauna de acordo com o tamanho do corpo. A mesofauna do solo (0,1 a 2 mm) é representada principalmente por ácaros (Acari) e colêmbolos (Collembola), que estão entre os artrópodes mais abundantes do solo responsáveis pela ciclagem de matéria orgânica do solo por meio de suas atividades de alimentação (BEDANO et al., 2006). A macrofauna do solo (> 2 mm) inclui minhocas, formigas, térmitas e besouros, responsáveis pela ciclagem de matéria orgânica e formação de estrutura do solo (LAVELLE et al., 2006).

A importância da fauna do solo no funcionamento do solo é reconhecida, em particular na formação de agregados estáveis de solo, tamanho e função de poros, produção e decomposição de resíduos orgânicos e estabilidade populacional dos organismos que habitam o solo (EL TITI et al., 2003). Por outra parte, uma das funções atribuídas aos componentes da fauna do solo se destaca a degradação inicial de componentes orgânicos (incorporação e trituração), e a atuação na estruturação dos solos (GILLER, 1996), sendo estes organismos

também usados para se correlacionar a qualidade do solo com a presença ou abundância dos mesmos (CAMARA et al., 2012; BARTZ et al., 2013).

Todos esses serviços podem ser afetados/modificados, já que a fauna do solo mostra-se sensível a modificações ocorridas no ambiente, tanto as biológicas, físicas e químicas, como resultantes das práticas de manejo do solo e de cultivo empregadas. Dependendo do tipo e intensidade do impacto promovido ao ambiente, tais práticas podem ter efeitos sobre determinadas populações, ou seja, podem aumentar, diminuir ou não influir na diversidade de organismos edáficos (BARETTA et al., 2011). Dentre os possíveis causadores de modificações na biodiversidade da fauna edáfica destacam-se as atividades antrópicas como as de maior efeito, tais como: implantação de culturas, degradação de áreas nativas, preparo e intensificação do uso do solo, queimadas e explorações minerais, contaminação do solo, água e atmosfera com poluentes (WINK et al., 2005; BARETTA et al., 2007).

O manejo agrícola pode afetar diretamente a fauna do solo, no que tange a abundância, riqueza e equitabilidade dos grupos (AYUKE et al., 2011; DOMINGUEZ et al., 2014; BEDANO et al., 2016). As práticas agrícolas podem alterar a composição e diversidade dos organismos edáficos, em diferentes graus de intensidade, por meio das mudanças de habitat, fornecimento de alimentos, criação de microambientes e competição intraespecífica e interespecífica (SILVA et al., 2011; MARQUES et al., 2014; TERRY et al., 2015; BRITO et al., 2016). Os invertebrados edáficos, principalmente os que vivem na interface serapilheira-solo, são afetados pelos processos de preparo do solo, em razão tanto de danos diretos, abrasão e esmagamento, quanto indiretos, como remoção da serapilheira e alterações no microclima próximo do solo (SILVA et al., 2012). Sendo assim, a adoção de práticas agrícolas sustentáveis torna-se uma prioridade para agricultores e público em geral, assim como um melhor entendimento do ecossistema solo (STUBBS et al., 2004, BEDANO et al., 2016). Dentre elas, os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de uso da terra de grande similaridade às florestas naturais devido aos grandes depósitos de deposição de serapilheira, bem como alta diversidade de espécies de plantas e ciclagem de nutrientes. Esse sistema é considerado uma alternativa sustentável para o uso do solo, uma vez que promove uma série de benefícios ambientais, tais como a conservação da diversidade de plantas e organismos do solo, sequestro de carbono, controle da erosão e aumento da fertilidade do solo (JOSE, 2009; FONTES et al., 2014; MONROE et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2018). Outra prática conservacionista é a aplicação de resíduos de colheita que aumenta a abundância e diversidade de microrganismos e fauna do solo, tais como minhocas, besouros, e tesourinhas, sugerindo um papel funcional para estes organismos na decomposição da matéria orgânica (TAO et al., 2016).

Diante do exposto, os invertebrados do solo são excelentes candidatos para estudar como a atividade humana afeta o meio ambiente (MCINTYRE, 2000, SANTORUFO et al., 2012). A sensibilidade da fauna do solo tem papel importante na avaliação das atividades promovidas pelo homem, sendo uma propriedade indicativa para monitorar a qualidade do solo (BARETTA et al., 2011). Os invertebrados são abundantes, relativamente fáceis de amostrar, e podem responder rapidamente ao distúrbio do solo (MCINTYRE et al., 2001). Como os invertebrados são sensíveis às mudanças nas condições do solo, podem ser considerados indicadores valiosos de distúrbios do solo (NAHMANI & LAVELLE, 2002).

A utilização da fauna edáfica como indicadora da qualidade do solo é fartamente documentada, principalmente em ambientes submetidos à interferência antrópica (BARETTA et al., 2006; PEREIRA JÚNIOR et al., 2010; VICENTE et al., 2010; CAPRONI et al., 2011). No entanto, fatores diversos de ordem natural regulam ainda a estrutura e abundância da comunidade edáfica em ecossistemas tropicais, entre eles o clima (MARQUES; DEL-CLARO, 2010) e, em particular, a precipitação pluvial e temperatura, as quais podem influenciar o padrão de distribuição e diversidade de muitos grupos biológicos.

O monitoramento da fauna de solo pode ser útil na avaliação da qualidade ambiental, em ecossistemas naturais e de produção agrícola. O conhecimento dos grupos de invertebrados capazes de realizar eficientemente processos de regulação das comunidades microbianas, ciclagem de nutrientes, além de modificar estruturalmente os habitats da serapilheira e do solo, podem fornecer bases para o manejo da fauna de solo, tanto de maneira direta, pela introdução de grupos de invertebrados de maior interesse, como de maneira indireta, pelo manejo das características do habitat.

Os estudos recentes sobre monitoramento da fauna do solo utilizam a Geoestatística, essa ferramenta se constitui na maneira mais correta que se tem conhecimento para analisar a variabilidade espacial (VIEIRA, 2000). Desta maneira, através da geoestatística avalia-se a dependência espacial e a utiliza para interpolar valores para locais não medidos, e com isto se produz informações para construir mapas contínuos a partir da amostragem discretizada e para estruturar amostragens em função da variabilidade espacial (GREGO et al., 2014).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USO E MANEJO DO SOLO

A abundância e a diversidade da meso e macrofauna do solo nos ecossistemas naturais e dos agroecossistemas é condicionada por fatores edáficos (tipo de solo, minerais predominantes, temperatura, pH, matéria orgânica, umidade, textura e estrutura), vegetais (tipo de vegetação e cobertura), históricos do uso da terra (especialmente humana, mas também geológica), topográficos (posição fisiográfica, inclinação) e climáticos (precipitação pluviométrica, temperatura, vento e umidade relativa do ar). Assim, intervenções antrópicas que afetam esses fatores, tanto em sistemas naturais quanto em agrícolas, podem afetar a dinâmica das comunidades edáficas e, por consequência, as funções ecológicas nas quais estão envolvidos (BROWN; DOMÍNGUEZ, 2010; PARRON et al., 2015).

Recentemente, os mecanismos de como a mudança no uso da terra afeta os serviços ecossistêmicos e consequentemente o desenvolvimento socioeconômico, tornou-se uma questão relevante (LIU E DENG, 2010; SINGH et al., 2014; SUTHERLAND et al., 2014; JIN et al., 2017). Existe uma conscientização crescente de que a gestão do uso da terra é um dos fatores fundamentais da melhoria de serviços ambientais (JIN et al., 2017). Essa conscientização se reflete nas lavouras com a adoção de práticas conservacionistas que consideram o solo como um organismo dinâmico no qual interagem os atributos físicos, químicos e biológicos de forma concomitante e complexa. Em resumo, práticas conservacionistas, como a adubação verde, plantio direto e sistemas agroflorestais, têm efeito positivo sobre a comunidade de organismos do solo (SILVA et al., 2011; CUNHA et al., 2014).

Em contraste a essa perspectiva conservacionista, o preparo convencional do solo diminui a matéria orgânica do solo (TROLDBORG et al., 2013), aumenta a compactação, torna o solo coeso, favorece os processos erosivos e causa danos a biota do solo (KLADIVKO, 2001; BIRKÁS et al., 2008; HÖSL E STRAUSS, 2016; BUGONOVIC et al., 2018).

Por isso diversas pesquisas vêm comprovando os benefícios do manejo ecológico na melhoria da “saúde” do solo, principalmente, por meio da observação do comportamento da fauna edáfica em diferentes usos e manejos dos agroecossistemas. Brito et al. (2016) avaliando

a densidade e a diversidade da fauna epigeica e edáfica de invertebrados em cultivos de mandioca consorciada com adubos verdes, constatou que a densidade total da fauna edáfica diferiu entre os consórcios e foi superior no consórcio mandioca e guandu-anão em comparação ao sistema tradicional.

Em estudo realizado por Lammel et al.(2015), avaliando os atributos biológicos e fauna do solo em solos com cultivo convencional, orgânico e integrado com cultivo de café consorciado com *Brachiaria decumbens* e *Arachis pintoi* na entrelinha, verificou que o cultivo orgânico apresentou os maiores valores para a maioria dos atributos biológicos, inclusive para abundância de indivíduos de Oligochaeta e Isopoda, corroborando com o conceito de que sistema orgânico é um sistema mais sustentável. Além disso, constatou que o teor de carbono orgânico total influenciou os parâmetros biológicos e a diferenciação da fauna do solo.

Segundo Rosa et al. (2015), os sistemas de uso do solo como floresta nativa, reflorestamento de eucalipto e pastagem são mais estáveis em termos de biodiversidade da macrofauna do solo, quando comparados com áreas agrícolas com plantio direto e integração lavoura-pecuária no Planalto Catarinense.

Avaliando os efeitos da mudança de uso da terra sob a fauna do solo em solos de cerrado, Franco et al. (2016) verificou que a composição da comunidade de macrofauna diferiu entre os usos da terra. Enquanto a maioria dos grupos estava associada a amostras coletadas em vegetação nativa, a maior abundância de cupins e minhocas estava associada aos solos com pastagem. A abundância aumentou de 411 ± 70 indivíduos/ m² na vegetação nativa para 1111 ± 202 indivíduos/ m² em pastagem, mas diminuiu acentuadamente para 106 ± 24 indivíduos/ m² em solos com cana-de-açúcar. Ainda constatou que a diversidade dos grupos diminuiu 24% da vegetação nativa em relação à pastagem e 39% da pastagem em relação ao cultivo de cana-de-açúcar. Assim, uma redução na abundância de 90% na macrofauna do solo, além de uma perda de 40% na diversidade de grupos da macrofauna, pode ser esperada quando culturas substituem pastagem em solos tropicais brasileiros.

Segundo Youlton et al. (2016) a substituição de pastagem pelo cultivo de cana-de-açúcar aumenta o escoamento superficial, consequentemente a erosão do solo, devido à perturbação do cultivo e diminuição da qualidade do solo.

Dentre os diferentes usos e manejo do solo adotados, os sistemas agroflorestais (SAFs), destacam-se em virtude da semelhança com sistemas naturais (BARROS et al., 2008), podendo representar a combinação ideal para a biologia do solo, pela oferta de refúgio e a alta disponibilidade de matéria orgânica, para macro e microrganismos, sem que haja grandes perturbações advindas de manejo intensivo e podem até mesmo favorecer o restabelecimento

da fauna do solo e dos diversos benefícios decorrentes da atividade desses organismos ao sistema (LIMA et al., 2010).

Portanto o manejo do solo e mudanças no uso da terra, como a urbanização e a conversão de florestas tropicais em lavouras para a agricultura itinerante ou para pastagens, provocam sérios impactos sobre a biodiversidade, tanto acima quanto abaixo do solo, apesar das mudanças na biota edáfica serem mais lentas e de mais difícil detecção (SUSILO et al., 2004). Não obstante, como muitos organismos edáficos possuem alto endemismo e dispersão limitada, a recolonização da biota edáfica pode ser também mais lenta, dificultando o processo de recomposição da mesma (PARRON et al., 2015). Segundo Barros et al. (2008), altas taxas de endemismo e o grande número de espécies raras encontradas na região Amazônica deixam as comunidades da macrofauna do solo altamente suscetíveis à perda de espécies quando sofrem alterações como as condições de abertura do dossel e à intensificação do uso da terra.

2.2 QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo é definida como a capacidade deste em funcionar dentro do ecossistema, visando a sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais (BARETTA, 2007; BARETTA et al., 2010). Esta abordagem leva em consideração não apenas a função do solo na produção de alimentos, mas destaca a importância desse recurso para o funcionamento dos ecossistemas (TÓTOLA; CHAER, 2002; SANTOS & MAIA, 2013).

A qualidade do solo, sendo um estado funcional complexo resultante da interação entre os atributos químicos, físicos e biológicos, não pode ser mensurada diretamente e para avaliá-la é necessário definir as funções do solo relacionadas a cada atributo (DORAN; SARRANTO; LIEBIG, 1996; JIN et al., 2009; TÓTOLA; CHAER, 2002; SANTOS et al., 2013). Dessa forma, a qualidade edáfica pode ser inferida a partir de mudanças nos atributos do solo e para isso devem ser selecionados indicadores, os quais são substitutos mensuráveis dos atributos (ANDREWS; KARLEN; CAMBARDELLA, 2004; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; SANTOS et al., 2013) que permitem caracterizar, acompanhar e avaliar as alterações ocorridas num dado ecossistema.

Os indicadores de qualidade podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos. Até pouco tempo, os estudos de qualidade do solo eram baseados principalmente em investigações dos indicadores químicos e físicos, subestimando-se o papel da biota no

funcionamento do solo (MELLONI et al., 2008; SCHLOTER; DILLY; MUNCH, 2003; SANTOS & MAIA, 2013). Bunemann et al. (2018), em sua revisão de literatura, encontrou apenas 15% dos trabalhos científicos publicados sobre indicadores de qualidade do solo relacionados com a fauna do solo e 90% relacionados com a matéria orgânica.

Os indicadores da qualidade do solo devem ser identificados e analisados quanto à sensibilidade às mudanças e distúrbios ocorridos no ambiente edáfico (GIL-SOTRES et al., 2005; SANTOS & MAIA, 2013). Uma vez que tenham sido definidos, esses indicadores podem ser monitorados de forma a avaliar o impacto do manejo adotado sobre a qualidade do solo (CARNEIRO et al., 2008; CHAER; TÓTOLA, 2007; SANTOS & MAIA, 2013).

Os organismos que habitam o solo são sensíveis às modificações de qualquer natureza (física, química e biológica) que ocorrem no meio, podendo ser utilizados como indicadores de sua qualidade, por meio dos processos no solo relacionados com o manejo adotado (BARETTA et al., 2006).

2.3 BIOINDICADORES

Bioindicadores ou indicadores biológicos são espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença ou ausência, abundância e condições nas quais os indivíduos se encontram revelam determinada condição ambiental. Os bioindicadores são importantes, visto que podem correlacionar determinado fator antrópico com potencial impactante ou um fator natural, auxiliando os pesquisadores na avaliação da qualidade do solo (BARETTA et al., 2010).

Os bioindicadores podem ser usados na avaliação da indicação de alterações de habitat, destruição do ambiente natural, contaminação por metais pesados ou produtos químicos utilizados nas culturas ou outro tipo de contaminante, reabilitação de áreas degradadas, sucessão da vegetação e tipo de manejo adotado (MELO et al., 2009; ANDRÉA, 2010; BARETTA et al., 2011).

O uso da fauna edáfica como bioindicadora da qualidade do solo é um fenômeno recente, tendo sido adotado no monitoramento da qualidade do solo em vários países Europeus apenas a partir do início do século XXI (PULLEMAN et al., 2012). Várias características de alguns grupos da fauna favorecem seu uso como indicadores, destacando-se: diversidade conveniente (número de espécies manejável e não alto demais), ciclo de vida curto, “sedentarismo” (não migratório), distribuição ampla do grupo (em muitos habitats), mas com

fidelidade de hábitat para táxons, resposta à perturbação, abundante no solo ou serapilheira, facilidade na amostragem, triagem e identificação, e relação entre as populações e as características ambientais e propriedades/processos físicos, químicos e biológicos do solo e, frequentemente, à produtividade (FREITAS et al., 2006; PAOLETTI, 1999; PARRON et al., 2015).

Uma grande diversidade de organismos que habitam o solo são indicadores de sua qualidade, tendo em vista as inúmeras funções que desempenham no solo (KNOEPP et al., 2000). Cada espécie responde de forma diferenciada aos distúrbios do meio onde vivem, sendo desta forma de grande importância o reconhecimento de suas interações com as alterações ambientais (ESPÍRITO-SANTO FILHO, 2005; BARETTA et al., 2011).

2.4 FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO

O solo abriga diversos organismos invertebrados que ainda são pouco conhecidos e que modificam e se relacionam com os atributos biológicos, físicos e químicos do solo. Esses organismos estão diretamente relacionados a ciclagem de nutrientes (ÇAKIR AND MAKINECI, 2017), fragmentação de resíduos (CARRILO et al, 2015), regulação na taxa de decomposição da matéria orgânica (BOTINELLI et al., 2015); e de acordo com De Vries et al. (2013) e Wagg et al. (2014) atuam diretamente na dinâmica da cadeia alimentar nos sistemas naturais, contribuindo para o controle biológico, e favorecendo o equilíbrio biológico.

Desta maneira, modificações naturais ou antrópicas ao longo do tempo alteram a dinâmica dos atributos biológicos, físicos e químicos do solo, afetando assim a abundância, densidade, diversidade, equitabilidade e riqueza da fauna edáfica. Assim, a fauna invertebrada do solo responde rapidamente às interferências ambientais, que na maioria das vezes é ocasionada pelo manejo do solo (BARETTA et al., 2003).

O uso e manejo do solo provoca a redução drástica dos diferentes grupos taxonômicos, levando-o a degradação, redução ou perda da capacidade produtiva dos cultivos (WOLTERS, 2001; SIQUEIRA et al., 2014). A redução ou extinção de alguns grupos de invertebrados do solo, assim como as atividades benéficas desenvolvidas, contribui para as altas taxas de deterioração das terras, queda de fertilidade, redução de nutrientes e aumento de artrópodes pragas (OLIVEIRA et al., 2014; DOMINGUEZ et al., 2014).

De acordo com Lavelle (1997) a fauna invertebrada do solo pode ser dividida em: microfauna, mesofauna e macrofauna.

- microfauna - compreende organismos geralmente aquáticos, inferiores a 0.2 mm de diâmetro corporal (LAVELLE, 1997). Na composição desse grupo, encontram-se os protozoários e nematoides que se alimentam de fungos e bactérias, e interferem nos ciclos biogeoquímicos, por meio da assimilação de tecidos bacterianos e excreção de nutrientes minerais.

- mesofauna - constituída de organismos com diâmetro corporal variando de 100 μm – 2 mm. Pertencem a essa classe os ácaros, collêmbolos, protura, diplura entre outros. São organismos que habitam os espaços porosos do solo e são facilmente afetados pela compactação do solo. Ecologicamente, agem na regulação da decomposição da matéria orgânica, uma vez que controlam seletivamente os microrganismos decompositores. As interferências nos processos biogeoquímicos resultam no aumento da mineralização de nutrientes, que é disponibilizada para microflora e fauna, no entanto, as relações da microfauna com processos biogeoquímicos ainda é pouco compreendida.

- macrofauna - compreende organismos de diâmetro corporal acima de 2 mm a 20 mm. Pertence a essa classe os artrópodes, como formigas, cupins, diplopoda e minhocas. Diferentemente da mesofauna, esses organismos conseguem romper as estruturas do solo e formar galerias e tuneis, modificando assim a estrutura física do solo. Grupos específicos, como as minhocas, cupins e formigas recebem denominação de “engenheiros do ecossistema”, por interferirem direta ou indiretamente na disponibilidade de recursos para outros grupos. A redução nos grupos da macrofauna reduz as taxas de decomposição e nutrientes da serapilheira.

O estudo das comunidades de invertebrados permite avaliar a funcionalidade desses organismos no solo e a complexidade de seus processos ecológicos (AQUINO et al., 2008; MOÇO et al., 2010), as respostas destas comunidades aos diferentes tipos de manejos, interação ambiental ou mudança de seu habitat (ROUSSEAU et al., 2012; VASCONCELLOS et al., 2012). Nesse sentido, destaca-se a importância da abundância e diversidade que possibilita o conhecimento da dinâmica e permite o desenvolvimento de indicadores de biodiversidade e o uso do solo considerando a sua função ecológica.

Desta maneira, é preciso compreender como a fauna edáfica se comporta em ambientes sob diferentes usos e manejos, a fim de se averiguar as mudanças na composição de sua comunidade e a dinâmica e interação com os sistemas naturais e antrópicos.

Nesse sentido, alguns autores se dedicaram ao estudo da fauna do solo e sua relação com o ambiente em diferentes situações: monocultivos agrícolas (ABBAS et al., 2013; FRANCO et al., 2016); impactos da fertilidade do solo sobre a macrofauna (AYUKE et al., 2011); indicadores de qualidade ambiental (AZUL et al., 2011); estudos em integração lavoura-pecuária relacionando as taxas de carbono orgânico do solo sobre parâmetros de macrofauna (BATISTA et al., 2014); boas práticas agrícolas sobre a comunidade de invertebrados do solo (BEDANO et al., 2016); métodos de colheita de cana de açúcar sobre a fauna do solo (BENAZZI et al., 2013); macrofauna do solo em sistemas de aléias (MOURA et al., 2014).

No entanto, os estudos anteriores não consideram a variabilidade espacial da fauna do solo. Gholami et al. (2018) que determinaram a relação espacial da diversidade da fauna do solo com espécies arbóreas na floresta de Zagro, Irã, obtendo maior diversidade de formigas, coleoptera e millípedes. Os autores defendem que a alta diversidade da fauna do solo está associada a presença de floresta, uma vez que a floresta disponibiliza recursos alimentares e abrigo aos organismos edáficos. De igual modo, o estudo de Gholami et al. (2018) ainda relata que a equitabilidade se manteve elevada, ou seja, os grupos estão bem distribuídos na área, não havendo predominância de nenhum grupo, o que reflete a homogeneidade da floresta em relação a fauna invertebrada.

Silva et al. (2018) utilizaram ferramentas de geoestatística para avaliar a variabilidade espacial da fauna do solo por meio dos índices de diversidade, riqueza, dominância e equitabilidade, obtiveram melhores ajustes ao modelo esférico e a maior diversidade de grupos taxonômicos associada a área cultivada com floresta de eucalipto, quando comparada a áreas com Cerrado natural e Cerrado degradado. Gholami et al. (2015) estudaram a variabilidade espacial da fauna edáfica e sua relação com atributos físicos e químicos do solo em floresta ripária.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, M.N.; MAHMOOD-UL-HASSAN, M.; RANA, S.A.; NAWAZ, K.; IQBAL, R. The Macroinvertebrate Communities Associated with Some Weed Plants of Sugarcane (*Sacharum Officinarum*) and Wheat (*Triticum aestivum*) Crops of Faisalabad District (Pakistan). **World Applied Sciences Journal**, v. 28, p. 817-825, 2013.

AHUMADA, O.; VILLALOBOS, J. R. Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 196, p. 1-20, 2009.

ANDREWS, S.S.; KARLEN, D. L.; MITCHELL, J. P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.90, p. 25–45, 2002.

AQUINO, A.M. de; CORREIA, M.E.F. **Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 201).

AQUINO, A.M. de; SILVA, R.F. da; MERCANTE, F.M.; CORREIA, M.E.F.; GUIMARÃES, M. de F.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, v.44, p.191-197, 2008.

AQUINO, A.M.; SILVA, R.F.S.; 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**, v.44, p. 191–197, 2008.

ARANYOS, J.; TOMÓCSIK, A.; MAKÁDI, M.; MÉSZÁROS, J.; BLASKÓ, L. Changes in physical properties of sandy soil after long-term compost treatment. **Int. Agrophys**, v. 30, p. 269–274, 2016.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, A.S.F.; EISENHAUER, N.; NUNES, L.A.P.L.; LEITE, L.F.C.; CESARZ, S. Soil surface-active fauna in degraded and restored lands of northeast brazil. **Land Degradation and Development**, v. 26, p. 1-8, 2013.

ARRUDA, P. Perspective of the sugarcane industry in Brazil. **Tropical Plant Biology**, v. 4, n. 1, p. 3-8, 2011.

AWE, G.O.; REICHERT, J.M.; TIMM, L.C.; WENDROTH, O.O. Temporal processes of soil water status in a sugarcane field under residue management. **Plant Soil**, v. 387, p. 395–411, 2015.

AYUKE, F. O.; BRUSSAARDA, L.; VANLAUWE, B.; SIX, J.; LELEI, D. K.; KIBUNJA, C. N.; PULLE, M.M. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. **Applied Soil Ecology**, v.48, p.53-62, 2011.

BACCARO, F.B.; SOUZA, J. L.; FRANKLIN, E. Limited effects of dominant ants on assemblage species richness in three Amazon forests. **Ecological Entomology**, v. 37, p. 1–12, 2012.

BALOTA, E.L. **Manejo e Qualidade Biológica do Solo**. Edição revisada. Londrina: Midiograf, 2018. 280 p.

BANGITA, B.; RAO, B.K.R. Impacts of compaction relief treatments on soil physical properties and performance of sugarcane (*Saccharum* spp.) under zonal tillage system. **Geoderma**, v. 189-190, p. 351–356, 2012.

BAQUERO, J.E.; RALISCH, R.; MEDINA, C.C.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 63–70, 2012.

BARACAT NETO, J. Initial development and yield in sugarcane from different propagules. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, p. 273-278, 2017.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com *Araucaria angustifolia* no estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil, 158p, 2007.

BARETTA, D.; BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; CARDOSO, E. J. B. N. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic forests with *Araucaria angustifolia*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 384-392, 2007.

BARETTA, D.; BROWN, G.G.; CARDOSO, E.J.B.N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Acta Zoologica Mexicana**, v.2, p. 135-150, 2010.

BARETTA, D.; BROWN, G.G.; JAMES, S.W.; CARDOSO, E.J.B.N. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic Forests with *Araucaria angustifolia*. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 384-392, 2007a.

BARETTA, D.; FERREIRA, C.S.; SOUSA, J.P.; CARDOSO, E.J.B.N. Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2693-2699, 2008.

BARETTA, D.; MAFRA, A.L.; SANTOS, J.C.P.; AMARANTE, C.V.T.; BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1675-1679, 2006.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; DE OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. **Fauna edáfica e qualidade do solo**, in: KLAUBERG FILHO, O., MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Eds), Tópicos especiais em ciência do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 141-192, 2011.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; BERTOL, I.; ALVES, M.V.; MANFOI, A.F.; BARRETA, C.R.D.M. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.5, p. 108-117, 2006.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MAFRA, Á.L.; WILNDER, L.P.; MIQUELLUTI, D.J. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, p. 97-106, 2003.

BARROS, E.; GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; MITJA, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in central Amazon. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 26, n. 2, p.157-168, 2004.

BARTZ, M.L.C.; PASINI, A.; BROWN, G.G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 69, p. 39– 48, 2013.

BATISTA, I.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; ROUWS, J.R.C. Oxidizable fractions of total organic carbon and soil macrofauna in a crop-livestock integration System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 797-809, 2014.

BEDANO, J. C.; DOMÍNGUEZ, A.; AROLFO, R.; WALL, L. G. Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 100–109, 2016.

BEDANO, J.C.; DOMÍNGUEZ, A.; AROLFO, R.; WALL, L.G. Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. **Soil & Tillage Research**, v. 158, p. 100–109, 2016.

BENTON, T.G.; VICKERY, J.A.; WILSON, J.D. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 18, p. 182–188, 2003.

BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; MIRANDA, J. G. V; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Spatial variability structure of soil CO₂ emission and soil attributes in a sugarcane area. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 189, p. 206–215, 2014.

BISWAS, S.; HAZRA, G.; PURAKAYASTHA, T.; SAHA, N.; MITRAN, T.; SINGHA ROY, S.; BASAK, N.; MANDAL, B. Establishment of Critical limits of Indicators and indices of Soil quality in Rice-Rice Cropping Systems under different Soil Orders. **Geoderma**, v. 292, p. 34-48, 2017.

BOGUNOVIC, I.; PEREIRA, P.; KISIC, I.; SAJKO, K.; SRAKA, M. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). **CATENA**, v. 160, p. 376–384, 2018.

BOSHOFF, M.; JONGE, M.; DARDENNE, F.; BLUST, R.; BERVOETS, L. The impact of metal pollution on soil faunal and microbial activity in two grassland ecosystems. **Environmental Research**, v. 134, p.169–180, 2014.

BOTTINELLI, N.; JOUQUET, P.; CAPOWIEZ, Y.; PODWOJEWSKI, P.; GRIMALDI, M.; PENG, X. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil & Tillage Research**, v. 146, p. 118–124, 2015.

BOTULA, Y.D.; CORNELIS, W.; BAERT, G.;VAN RANST, E. Avaliação das funções de pedotransferência para predição da retenção de água dos solos no Baixo Congo (RD Congo) **Agriculture Water Management**, v. 111, p. 1 – 10, 2012.

BRAUNACK, M.V.; MCGARRY, D.M. Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Australia. **Soil Tillage Research**, v. 86, p. 86–102, 2006.

BRITO, M. F. Diversidade da fauna edáfica e epigeica de invertebrados em consórcio de mandioca com adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 253-260, 2016.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; de Goede, R.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105–125, 2018.

CAMARA, R.; CORREIA, M.E.F.; VILLELA, D.M. Effects of eucalyptus plantations on soil arthropod communities in a Brazilian Atlantic forest conservation unit. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 445-455, 2012.

CARRILLO, T.; BALL, B.A.; BRADFORD, M.A.; JORDAN, C.F.; MOLINA, M. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, p. 1440–1449, 2011.

CASTRO, A.M.C.; SANTOS, K.H.; MIGLIORANZA, E.; GOMES, C.J.A.; MARCHIONE, M.S. Avaliação de atributos físicos do solo em diferentes anos de cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, v. 6, p. 415–422, 2013.

CHERUBIN, M.R.; KARLEN, D.L.; CERRI, C.E.P.; FRANCO, A.L.C.; TORMENA, C.A. Soil Quality Indexing Strategies for Evaluating Sugarcane Expansion in Brazil. **PLoS ONE** 11(3): e0150860, 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira – cana-de-açúcar** Brasília-DF, v.4 Safra 2017/18 - Segundo levantamento, p.1-73, 2017.

CORREIA, B. L.; ALLEONI, L. R. F. Conteúdo de carbono e atributos químicos de Latossolo sob cana-de-açúcar colhida com e sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 944-952, 2011.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. de. **Fauna de solo: aspectos gerais e metodológicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 112).

CUNHA, J.A. da S.; ANDRADE, E.B. de; BARROS, R.F.M. de. Associação da diversidade de artrópodes com características do solo em diferentes plantios de melancia. **Revista Biociências**, v.20, p.22-31, 2014.

DE OLIVEIRA, F.S.; VARAJÃO, A.F.D.C.; VARAJÃO, C.A.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BOULANGÉ, B. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical

transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. **Geoderma**, v. 226, p. 250–259, 2014.

DE VRIES, F.T.; THÉBAULT, E.; LIIRI, M.; BIRKHOFFER, K.; TSIAFOULI, M.A.; BJØRNLUND, L.; JORGENSEN, H.B.; BRADY, M.V.; CHRISTENSEN, S.; DE RUITER, P.; HERTEFELDT, T.; FROUZ, J.; HEDLUND, K.; HEMERIK, L.; HOLK, W.H.G.; HOTES, S.; MORTIMER, S.N.; SETÄLÄ, H.; SGARDELIS, S.P.; UTESENY, K.; VAN DER PUTTEN, W.H.; WOLTERS, V.; BARDGETT, R.D. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.**, v. 110, p. 14296–14301, 2013.

DOMÍNGUEZ, A.; BEDANO, J.C.; BECKER, A.R.; AROLFO, R.V. Organic farming fosters agroecosystem functioning in Argentinian temperate soils: Evidence from litter decomposition and soil fauna. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 170–176, 2014.

EL TITI, A. **Implications of soil tillage for weed communities**. In: Soil tillage in agroecosystems (ed. A. El Titi). CRC Press, Boca Raton, FL, p. 147–185, 2003.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations - **Commodity Snapshots**. 2017. Available via DIALOG <<http://www.fao.org/3/a-BO099e.pdf>>. Acesso em 03 Nov. 2017.

FLORES, R. A.; PRADO, R.M.; POLITI, L.S.; ALMEIDA, T.B.F.de Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 1, p. 106-111, 2012.

FRANCO, A. L. C., BARTZ, M. L. C., CHERUBIN, M. R., BARETTA, D., CERRI, C. E. P., FEIGL, B. J., CERRI, C. C. Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of The Total Environment**, v. 563–564, p. 160–168, 2016.

FRANCO, A.L.C. **Soil Engineering by Macroinvertebrates: Controls on Soil Organic Matter Storage Across Land Use Change**. Thesis (PhD in Soil Science and Plant Nutrition) — “Luiz de Queiroz” College of Agriculture. University of São Paulo (72 pp.), 2015.

FU, B.; ZHANG, L.; XU, Z.; ZHAO, Y.; WEI, Y.; SKINNER, D. Ecosystem services in changing land use. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 833–843, 2015.

GAJDA, A.; CZYŻ, E.; DEXTER, A. Effects of long-term use of different farming systems on some physical, chemical and microbiological parameters of soil quality. **Int. Agrophys**, v.30, p. 165–172, 2016

GAŁKA, B.; KABAŁA, C.; KARCZEWSKA, A.; SOWIŃSKI, J. Variability of soil properties in an intensively cultivated experimental field. **Soil Science Annual**, v. 67, p. 10–16, 2016.

- GHOLAMI, S.; HOSSEINI, S.M.; MOHAMMADI, J.; MAHINI, A.S. Assessment of vegetation density and soil macrofauna relationship in riparian forest of Karkhe River for determination of rivers buffer zone. Iran. **Journal of Applied Ecology**, v. 7, p. 1-13, 2014.
- GHOLAMI, S.; SHEIKHMOHAMADI, B.; SAYAD, E. Spatial relationship between soil macrofauna biodiversity and trees in Zagros forests, Iran. **Catena**, v. 159, p. 1-8, 2017.
- GILLER, P.S. **The diversity of soil communities, the 'poor man's tropical rainforest'**. Biodiversity and Conservation, London, v. 5, p. 135-168, 1996.
- GOLDEMBERG, J.; MELLO, F.F.C.; CERRI, C.E.P.; DAVIES, C.A.; CERRI, C.C. Meeting the global demand for biofuels in 2021 through sustainable land use change policy. **Energy Policy**, v. 69, p. 14–18, 2014.
- GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M.; MÁRCIO, K. C. Spatial variability of the granulometric fractions and of a sandy soil chemical attributes under a no-tillage system. **Journal of Geospatial Modelling**, v. 2, n. 1, p. 67-77, 2016.
- HU, W.; CHAU, H. W.; QIU, W.; SI, B. Environmental controls on the spatial variability of soil water dynamics in a small watershed. **Journal of Hydrology**, v. 551, p. 47-55, 2017.
- HU, W.; SHAO, M.A.; WANG, Q.J.; FAN, J.; REICHARDT, K. Spatial variability of soil hydraulic properties on a steep slope in the Loess Plateau of China. **Scientia Agricola**, v. 65, n.3, p. 268-276, 2008.
- HUNKE, P.; MÜLLER, E.N.; SCHRÖDER, B.; ZEILHOFER, P. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, v. 8, p. 1154–1180, 2015a.
- HUNKE, P.; ROLLER, R.; ZEILHOFER, P.; SCHRÖDER, B.; MUELLER, E.N. Soil changes under diferente land-uses in the Cerrado of Mato Grosso, Brazil. **Geoderma** Reg. 4, p. 31-43, 2015b.
- JANKOWSKI, M.; PRZEWOŻNA, B.; BEDNAREK, R. Topographical inversion of sandy soils due to local conditions in Northern Poland. **Geomorphology**, v. 135, p. 277–283, 2011.
- JIN, G.; DENG, X.; CHU, X.; LI, Z.; WANG, Y. Optimization of land-use management for ecosystem service improvement: A review. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 101, p. 70–77, 2017.
- JIN, K.; SLEUTEL, S.; BUCHAN, D.; DE NEVE, S.; CAI, D. X.; GABRIELS, D.; JIN, J. Y. Changes of soil enzyme activities under different tillage practices in the Chinese Loess Plateau. **Soil and Tillage Research**, v. 104, p. 115-129, 2009.
- KNOEPP, J.D.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY Jr., D.A. & CLARK, J.S. Biological indices of soil quality: Ecosystem case study of their use. **Forest Ecology and Management**, v. 138, p. 357-368, 2000.

LAMMEL, D. R.; AZEVEDO, L. C. B.; A. M. DePaula, R. D. Armas; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. **Brazilian Journal of Biology** (Online), v. 75, p. 894–905, 2015.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; ROSSI, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v.42, S3–S15, 2006.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.V.; MARTIN, S. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. Madison: SSSA, 1992. (Especial publication, 29). LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, Jersey, v. 42, n. 1, p. 3-15, 2006.

LIMA, S. S.; AQUINO, A.M de.; LEITE, L.F.C.; VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 322-331, 2010.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHES, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 789-800, 2008.

MAGAÑA, A.J.C.; CARRILLO-ÁVILA, E.; OBRADOR-OLÁN, J.J.; LANDEROS-SÁNCHEZ, C.; VERA-LOPEZ J.; JUÁREZ-LÓPEZ, J.F. Soil moisture tension effect on sugar cane growth and yield. **In Agricultural Water Management**, v. 177, p. 264-273, 2016.

MARCOLIN, C.D.; KLEIN, V.A. Determination of relative soil density through a pedotransfer function of maximum bulk density. **Acta Science Agronomy**, v. 33, p. 349-354, 2011.

MARQUES, G. D. V.; DEL-CLARO, K. Sazonalidade, abundância e biomassa de insetos de solo em uma reserva de Cerrado. **Revista Brasileira de Zoociências**, Juiz de Fora, v. 12, n. 2, p. 141-150, 2010.

MEDINA, C. J.; CAMACHO-TAMAYO, H.; CORTÉS, C. A. Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 91-101, 2012.

MEDINA, N. H.; BRANCO, M.L.T.; SILVEIRA, M.A.G da.; SANTOS, R.B.B. Dynamic distribution of potassium in sugarcane. **Journal of environmental radioactivity**, v. 126, p. 172-175, 2013.

MEIRELLES, M. L. Efeito do fogo sobre a umidade em área de campo sujo de Cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42, n. 7, p. 359-360, 1990.

MELLO, F.F.C.; CERRI, C.E.P.; DAVIES, C.A.; HOLBROOK, N.M.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.V.; BERNOUX, M.; CERRI, C.C. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 605–609, 2014.

MELLONI, R. **Quantificação microbiana da qualidade do solo..** In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.) Microbiologia do solo e qualidade ambiental. Campinas: Instituto Agronômico, p. 193-218, 2007.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2461-2470, 2008.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, p. 211-220, 2006.

MOLIN, J.P; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. **Agricultura de precisão**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MOURA, E. G.; SENA, V.G.L.; SOUSA, C.C.M.; SILVA, F.R.; COELHO, M.J.A.; MACEDO, V.R.A.; AGUIAR, A.C.F. Enhancement of the rootability of a structurally fragile tropical soil using gypsum and leguminous residues to increase the yield of maize. **Soil Use and Management**, v.32, n.1, p. 118-126, 2016.

MOURA, E.G.; AGUIAR, A.C.F.; PIEDADE, A.R.; ROUSSEAU, G.X. Contribution of legume tree residues and macrofauna to the improvement of abiotic soil properties in the eastern Amazon. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 91-99, 2015.

NESPER, M.; BÜNEMANN, E.K.; FONTE, S.J.; RAO, I.M.; VELÁSQUEZ, J.E.; RAMIREZ, B.; HEGGLIN, D.J.; FROSSARD, E.; OBERSON, A. Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. **Geoderma**, v. 257-258, p. 123–133, 2015.

OLIVEIRA, P. H. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; SALES, M. V. S. Litter and soil-related variation in functional group abundances in cacao agroforests using structural equation modeling. **Ecological Indicators**, v. 84, p. 254–262, 2018.

OTTO, R.; SILVA, A.P.; FRANCO, H.C.J.; OLIVEIRA, E.C.A.; TRIVELIN, P.C.O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil Tillage Research**, v. 117, p. 201–210, 2011.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF : Embrapa, 2015.

PEREIRA, P.; BOGUNOVIC, I.; MUÑOZ-ROJAS, M.; BREVIK, E. C. Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 5, p. 7–13, 2018.

PLÀ, L. M.; SANDARS, D. L.; HIGGINS, A. J. A perspective on operational research prospects for agriculture. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 68, p.1078–1089, 2014.

PLÀ-ARAGONES, L. M. Handbook of operations research in agriculture and the agri-food industry. **International Series in Operation Research & Management Science**, v. 224, 2015.

PULLEMAN, M.; CREAMER, R.; HAMER, U.; HELDER, J.; PELOSI, C.; PERES, G.; RUTGERS, M. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, p. 529–538, 2012.

RATNADASS, A.; RANDRIAMANANTSOA, R.; ABERLENC, H.P.; RAFAMATANANTSOA, E.; RAJAONERA, T.E.; LETOURMY, P. Impacts of some upland rice-based cropping systems on soil macrofauna abundance and diversity and black beetle damage to rice. **Crop Protection**, v. 100, p. 150-156, 2017.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, p. 242–254, 2009.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C. Evaluation of five sugar cane planters. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p. 1110-1122, 2010.

ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; BARTZ, M. L. C.; MAFRA, Á. L.; SOUSA, J. P. F. A.; BARETTA, D. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1544-1553, 2015.

ROUSSEAU, G.X.; SILVA, P.R.S.; CELENTANO, D.; CARVALHO, C.J.R. **Macrofauna do solo em uma cronosequência de capoeiras, florestas e pastos no Centro de Endemismo Belém**, Amazônia Oriental, v. 44, p. 499-512, 2014.

SANTORUFO, L.; VAN GESTEL, C. A. M.; ROCCO, A.; MAISTO, G. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. **Environmental Pollution**, v. 161, p. 57–63, 2012.

SANTOS, V.M; MAIA, L. C. Bioindicadores de Qualidade Do Solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 10, p. 195-226, 2015.

SILVA, R.F. da; GUIMARÃES, M. de F.; AQUINO, A.M. de; MERCANTE, F.M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1277-1283, 2011.

SIQUEIRA, G.M.; SILVA, E.F.F.; PAZ-FERREIRO, J. Land Use Intensification Effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State, Brazil, p. 7, 2014.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; COOPER, M.; TORMENA, C.A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v. 72, p. 270–277, 2015.

STERZYŃSKA, M.; SHRUBOVYCH, J.; NICIA, P. Impact of plant invasion (*Solidago gigantea* L.) on soil mesofauna in a riparian wet meadows. *Pedobiologia - Journal of Soil Ecology*, v. 64, p. 1–7, 2017.

TANTACHASATID, P.; BOYER, J.; THANISAWANYANKURA, S.; Eguy, L.; SAJJAPHAN, K. Soil macrofauna communities under plant cover in a no-till system in Thailand. **Agriculture and Natural Resources**, v. 51, p. 1-6, 2017.

TAO, H. H.; SLADE, E. M.; WILLIS, K. J.; CALIMAN, J.P.; SNADDON, J. L. Effects of soil management practices on soil fauna feeding activity in an Indonesian oil palm plantation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 218, 133–140, 2016.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo** In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 195-276, 2002.

TROLDBORG, M.; AALDERS, I.; TOWERS, W.; HALLETT, P. D.; McKENZIE, B. M.; BENGOUGH, A. G.; LILLY, A.; BALL, B. C.; HOUGH, R. L. Application of Bayesian Belief Networks to quantify and map areas at risk to soil threats: Using soil compaction as an example. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 132, n. 6, p. 56–68, 2013.

USOWICZ, B.; LIPIEC, J. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. **Soil and Tillage Research**, v. 174, p. 1-272, 2017.

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**, v. 58, p. 105-112, 2013.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 381–386, 2014.

VASU, D.; SINGH, S.K.; RAY, S.K.; DURAISAMI, V.P.; TIWARY, P.; CHANDRAN, P.; NIMKAR, A.M.; ANANTWAR, S.G. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Decan plateau, India. **Geoderma**, v. 282, p. 70–79, 2016.

VELÁSQUEZ, E.; BAROT, S.; GRIMALDI, M.; FONTE, S.J. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. **Applied Soil Ecology**, Pretty, v. 56, n. 1, p. 43-50, 2012.

WAGG, C., BENDER, S.F., WIDMER, F., VAN DER HEIJDEN, M.G.A. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. **Proc. Natl. Acad. Sci**, v. 111, p. 5266-5270, 2016.

WASSERSTROM, H.; WHITFORD, WG.; STEINBERGER, Y. Spatiotemporal Variations of Soil Microarthropod Communities in the Negev Desert. **Pedosphere**, v. 26, n.4, p. 451–461, 2016.

WOLTERS, V. Biodiversity of soil animals and its function. **European Journal of Soil Biology**, v. 37, p. 221–227, 2001.

YOULTON, C.; BRAGION, A.P.; WENDLAND, E. Experimental evaluation of sediment yield in the first year after replacement of pastures by sugarcane. **Ciencia e Investigación Agraria**, v. 43, p. 374–383, 2016a.

YOULTON, C.; WENDLAND, E.; ANACHE, J.A.A.; POBLETE-ECHEVERRÍA, C.; DABNEY, S. Changes in erosion and runoff due to replacement of pasture land with sugarcane crops. **Ciencia e Investigación Agraria**, v. 43, p. 374–383, 2016b.

3 HIPÓTESE

A conservação dos ambientes naturais está diretamente ligada ao uso e manejo do solo, com vistas a maximização dos recursos naturais e a minimização dos impactos ambientais. Nesse sentido, espera-se que nas áreas naturais a dinâmica da comunidade da fauna do solo seja mais estável ao longo do ano, sofrendo menor influência da sazonalidade climática. Enquanto, que nos ambientes antrópicos a fauna invertebrada do solo seja mais susceptível a sazonalidade e apresentando sobretudo menor diversidade e riqueza que as áreas naturais.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAL

Avaliar a diversidade sazonal da dinâmica das comunidades da fauna invertebrada do solo sob diferentes usos e manejos no trópico úmido.

4.2 ESPECÍFICOS

- Determinar a fauna do solo nos diferentes usos e manejos do solo;
- Avaliar a sazonalidade da fauna do solo em diferentes usos e manejos;
- Determinar indicadores biológicos de qualidade do solo por meio da quantificação e grupos taxonômicos em diferentes períodos e sob distintos usos e manejos do solo;
- Compreender as relações entre a fauna do solo e os atributos físicos e químicos do solo por meio de ferramentas de análise multivariada (análise fatorial).

5 CAPÍTULOS

5.1 ARTIGO: DIVERSIDADE SAZONAL DA FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS NO TRÓPICO ÚMIDO

5.2 ARTIGO: VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)

5.1 ARTIGO: DIVERSIDADE SAZONAL DA FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS NO TRÓPICO ÚMIDO

ABSTRACT: The different uses and coverings of the soil alter the composition and structure of the communities of the fauna of the soil modifying the physical, chemical and biological properties of the soil. In this sense, the study of the fauna edáfica deserves to be highlighted as being an attribute responsible for the decomposition and mining of organic matter. Thus, the objective was to evaluate the diversity of the fauna of the soil under different uses and management in the Wet Tropic. The experimental area is located in the municipality of Chapadinha, Maranhão. For the analysis of invertebrate fauna, areas with sugarcane, aloe, elephantgrass, Tanzania grass, and native cerrado and degraded areas were used. In each area were installed 5 trapping pitfall traps for collection of organisms. After collection, the material was screened and identified. For biological diversity analysis we used Shannon-Wiener indices, Pielou equitability and Average and total Wealth. Subsequently, main component analyzes were processed for both periods. In the rainy season, 20 taxonomic groups were collected, totaling 1,228 specimens. For the dry period, 19 groups were collected. The greatest diversity was recorded for the cultivation in alleys in the rainy season and for the native cerrado and elephant grass in the dry period, this shows that the different uses and management influence the abundance of the invertebrate fauna. The equitability presented greater uniformity for the aloe and sugarcane in the two periods, rainy and dry respectively. The three factors in the rainy season together explained 99.98% of the original data and are related to trophic chain regulators and soil attribute modifiers. For the dry period the two factors analyzed explained 99.99% of the data variance. The main component analysis (PCA) explained 61.06% of the data in the axes of PCA 1 and PCA 2 in the rainy season. In the dry period, PCA explained 50.3% of the original data in both axes.

Keywords: Soil fauna, indices of biological diversity, agri-environmental systems

INTRODUÇÃO

O solo é o habitat de diversos organismos que estão em constante interação e movimento, influenciando nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SIQUEIRA et al., 2014; MOURA et al., 2015; SIQUEIRA et al., 2016). A fauna do solo engloba grande variedade de organismos pertencentes à microfauna (<0.02 mm). São responsáveis pela decomposição de matéria orgânica, interferência nos ciclos biogeoquímicos, assimilação de tecidos bacterianos e parte de excretas minerais (CORREIA et al., 2008).

A mesofauna do solo engloba organismos de diâmetro corporal de $100\text{ }\mu\text{m}$ – 2 mm , constituídos de grupos como ácaros, collembolos, protura e diplura (AQUINO, 2001). Habitam especificamente espaços porosos, e são facilmente afetados pela compactação do solo. Em termos ecológicos, regulam a decomposição de matéria orgânica, selecionando os organismos decompositores.

A macrofauna, organismos $> 2\text{ mm}$ e $< 100\text{ mm}$, atuam na homogeneização do solo, modificam características físicas como formação de agregados do solo e porosidade (CARRILLO et al., 2011; BERNARD et al., 2012; BOTTINELLI et al., 2015), penetração de raízes e fluxo interno de ar e água (OLIVEIRA et al., 2008), ciclagem de nutrientes (SILVA et al., 2012; de VRIES et al., 2013; BLOUIN et al., 2013; de OLIVEIRA et al., 2014; WAGG et al., 2016), fragmentação de serapilheira (SIQUEIRA et al., 2016), humificação e mineralização de material orgânico (BATISTA et al., 2011; BERNARD et al., 2012), reguladores de cadeia trófica e bioindicadores de qualidade ambiental (AZUL et al., 2011; BACCARO et al., 2012; BARDGETT e PUTTEN, 2015). Todos esses grupos prestam relevantes serviços ao ecossistema.

Esses serviços podem ser alterados de acordo com o uso e manejo do solo. O manejo agrícola altera diretamente parâmetros de abundância e riqueza da fauna edáfica (AYUKE et al., 2011; DOMINGUEZ et al., 2014; BEDANO et al., 2016). Alguns grupos são reduzidos pela falta ou limitação de recursos alimentares, baixa população na área, aplicação de agroquímicos, aumento de competição intraespecífica/interespecífica e retirada de cobertura vegetal.

Nesse sentido, os índices de diversidade biológica atuam na quantificação da riqueza, diversidade e equitabilidade de uma área. Esses parâmetros levam em consideração o número de indivíduos ou espécies amostrados, evidenciando abundância e distribuição. O índice de diversidade de Shannon-Wiener é usado para quantificar diversidade por meio do número de indivíduos coletados em uma amostra. São valores expressos entre 1.5 a 3.5, nesse caso obtêm-

se elevada diversidade quando o valor máximo do índice é expresso (ZANZINI, 2005). A equitabilidade de Pielou reflete a uniformidade da área, sendo atribuído valor compreendido entre 0 a 1, assim valores próximos a 1 denotam uniformidade entre os grupos.

Estudar a comunidade de invertebrados em cada fração do habitat nos permite saber a funcionalidade desses organismos no solo. Como as respostas destas comunidades aos diferentes tipos de manejo, interação ambiental ou mudança de seu habitat são rápidas, estes parâmetros estão sendo utilizados como um indicador da qualidade do solo. Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar a diversidade da fauna do solo sob diferentes manejos e uso do solo no trópico úmido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão (Centro de Ciências Agrárias e Ambientais-UFMA), localizado em Chapadinha (Maranhão, Brasil) durante o ano de 2014. O clima da região é tropical úmido (Aw), com temperatura média de 29°C e máxima de 37°C, com estação chuvosa entre novembro e maio, e altitude média de 110 m. A vegetação natural predominante na região é do tipo Cerrado e o solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico cujas características físicas e químicas apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Foram utilizadas seis áreas de estudo: vegetação natural com Cerrado, composto por vegetação secundária de médio a alto porte, envolvendo as seguintes espécies características: barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* Mart.), copaiba (*Copaifera martii* Hayne) e o pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess). O cultivo em aléias foi implantado no ano de 2010 com as seguintes espécies: leucena (*Leucaena leucocephala*), gliricídia (*Gliricidia sepium*), acácia (*Acacia mangium*) e clitoria (*Clitoria fairchildiana*). Os cultivos de capim elefante (*Pennisetum sp.*), capim Tanzânia (*Panicum sp.*) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foram estabelecidos em 2009. A área degradada foi desmatada em 2012 e em seguida arada para cultivo, no entanto, desde então a área foi abandonada, e devido aos processos naturais de erosão perdeu a camada superficial e nenhuma técnica de recuperação do solo foi aplicada sobre a área.

Tabela 1. Caracterização física do solo para as áreas em estudo no município de Chapadinha (Maranhão, Brasil).

	Textura	Condutividade 25° (mmhos/cm)	H ₂ O saturação (%)	Granulometria (%)				Silte/ Argila
				Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
Cerrado nativo	Areia Franca	0,14	26,4	38	48	6	8	0,75
Aléias	Areia Franca	0,11	26,4	27	57	4	12	0,33
Capim elefante	Franco Arenoso	0,19	27,6	23	55	6	16	0,38
Capim tanzânia	Franco Arenoso	0,16	27,6	24	56	6	14	0,43
Cana-de-açúcar	Franco Arenoso	0,18	28,4	15	57	12	16	0,75
Área degradada	Areia Franca	0,14	26,4	22	59	7	12	0,58

Tabela 2. Caracterização química do solo para as áreas em estudo no município de Chapadinha (Maranhão, Brasil).

	MO g/dm ³	pH CaCl ₂	P mg/dm ³	K -----	Ca	Mg	Na mmol _c /dm ³	SB -----	Al -----	H -----	CTC -----	Na/CTC -----	Al/Al+SB % -----	V -----
Cerrado nativo	20	4,3	2	2,1	9	7	3,7	21,8	0	30	52,0	7,2	0,0	42,0
Aléias	14	4,7	12	2,7	14	7	5,0	28,7	0	26	54,7	9,1	0,0	52,5
Capim elefante	12	4,3	5	3,7	6	4	6,1	19,8	0	29	48,4	12,6	0,0	40,9
Capim tanzânia	20	4,5	13	2,5	13	4	3,8	23,3	0	28	51,3	7,4	0,0	45,4
Cana-de-açúcar	15	4,1	3	1,8	9	2	3,1	15,9	11	17	43,6	7,1	39,7	36,5
Área degradada	15	5,0	12	2,3	16	9	3,8	31,1	0	29	59,7	6,4	0,0	52,1

MO=matéria orgânica; P=Fósforo; K=Potássio; Ca=Cálcio; Mg=Magnésio; Na= Sódio; SB=soma de bases; Al=Alumínio; H=Hidrogênio; CTC=Capacidade de troca catiônica;

Na/Al+SB=Sódio/Alumínio+Soma de bases; V=Saturação por base.

As características de uso e manejo do solo são descritas na Tabela 3. A cobertura do solo foi avaliada pelo método da corda ou linha de transecção de pontos, seguindo os procedimentos descritos por ARZENO et al. (2011). A classificação da intensidade do uso do solo foi determinada considerando o conhecimento sobre o uso e manejo dos tratamentos, sendo atribuído 0 (zero) para o mínimo impacto e 3 (três) para o máximo impacto, conforme metodologia proposta por SIQUEIRA et al. (2014).

Tabela 3. Localização, cobertura e diferentes usos e manejos do solo nas áreas estudadas em Chapadinha (Maranhão, Brasil).

Coordenadas	Altitude (m)	Tratamentos	Cobertura do solo	Plantas daninhas	Irrigação	Pesticidas	Intensidade e uso do solo
3°44'03,06''S 43°19'02,95''W	105	Cerrado nativo	100%	-	Não	Não	0
3°44'04,21''S 43°18'59,71''W	104	Aléias	90%	Sim*	Sim	Não	0
3°44'03,57''S 43°18'49,04''W	101	Capim elefante	70%	Sim**	Sim	Não	1
3°44'06,33''S 43°18'50,18''W	102	Capim tanzânia	80%	Sim**	Sim	Não	1
3°44'11,91''S 43°18'49,24''W	103	Cana-de-açúcar	70%	Sim**	Não	Não	1,5
3°44'09,15''S 43°18'53,82''W	104	Área degradada	0%	-	Não	Não	3

*capina manual; **presentes, porém, as características do dossel da planta impedem o seu desenvolvimento.

Foram instaladas 5 armadilhas em cada uma das áreas de estudo. Os indivíduos da fauna do solo foram coletados com armadilhas do tipo “*pitfall Traps*” segundo CORREIA e OLIVEIRA (2000). Cada armadilha permaneceu no campo por um período de sete dias, contendo em seu interior 200 ml de formol a 4 % para que os animais não fugissem e pudessem ser conservados (AQUINO, 2001; Siqueira et al., 2014). Posteriormente, ao período de sete dias, as armadilhas foram retiradas do campo e o seu conteúdo armazenado em recipientes contendo álcool a 70 % para conservação do material durante o período de triagem. Os recipientes foram identificados com o número de cada ponto, nome da área de amostragem e data de coleta. Os componentes foram extraídos manualmente, com auxílio de pinças. O conteúdo de cada recipiente coletor foi transferido em laboratório para uma placa de Pettri, para identificação com auxílio de lupa binocular, contados e separados em grupos, ordem ou família. Após a identificação do número de indivíduos os mesmos foram novamente armazenados nos

recipientes coletores. Para a identificação taxonômica do material coletado foi utilizado chaves de identificação básica conforme descrito por CORREIA e OLIVEIRA (2000) e RAFAEL et al. (2012).

Os dados foram classificados pelo total de indivíduos para cada tratamento e posterior determinação dos índices de diversidade biológica: índice de diversidade de Shannon-Wiener, equitabilidade de Pielou, Riqueza de espécies (média e total).

A riqueza é uma medida que avalia o número de espécies encontradas em uma dada área. Para estimar a riqueza foi utilizado o índice de Jackknife de primeira ordem.

$$ED = S_{OBS} + S_1 \left(\frac{f - 1}{f} \right) \quad (01)$$

onde, S_{OBS} é o número de espécies observadas, S_1 número de espécies que está presente em um agrupamento e f é número de espécies que contém a mesma espécie de um agrupamento agrupada.

O índice de Shannon-Wiener é utilizado para quantificar a diversidade de uma área, leva em consideração o número de espécies presentes e a abundância relativa. Em que utilizamos o índice de Shannon-Wiener. O índice de Shannon é representado pela seguinte formula:

$$H' = - \sum p_i \cdot \log p_i \quad (02)$$

onde, p_i : n_i / N é a frequência relativa da espécie i , H' diversidade, N número máximo de espécies. Quanto maior for o valor de H' , maior será a diversidade.

O índice de Pielou é uma derivação do índice de Shannon. O índice de Pielou é um indicativo da uniformidade (equitabilidade) da fauna do solo para cada tratamento, é calculado pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (03)$$

onde, H : índice de Shannon-Wiener, S : número de grupos presentes no tratamento. Valores próximos a 1 indicam que a abundância relativa dos grupos é semelhante e valores próximos a 0 indicam dominância de algum grupo.

A estatística multivariada foi aplicada aos dados (biológicos, físicos e químicos do solo) utilizando a técnica de exploração fatorial, com o objetivo de se observar o conjunto de relações entre os atributos. Para a análise fatorial os dados foram selecionados considerando apenas os atributos que não apresentam colinearidade, sendo então realizada a padronização (média nula e variância unitária). Os fatores foram extraídos por meio da análise de componentes principais

calculada a partir da matriz de correlação entre as variáveis, e selecionados os atributos com cargas fatoriais > 0.7 em valor absoluto, conforme JEFFERS (1978). A análise multivariada foi realizada utilizando o software Statistica 7.0 (StatSoft. Inc., Tulsa, OK, USA).

RESULTADOS

No período chuvoso foram coletados 20 grupos taxonômicos, totalizando 1.228 indivíduos coletados. Para o período seco 19 grupos, sendo coletados 1.457 indivíduos (Tabela 4). Os grupos presentes em todas as áreas para o período chuvoso foi Araneae, Coleoptera, Formicidae, Isoptera e Orthoptera. No período seco, apenas Acari, Coleoptera e Formicidae foram amostrados em todas as áreas. Formicidae foi o grupo mais abundante, tanto no período chuvoso (593 indivíduos) como no período seco (786 indivíduos).

Na Tabela 5 estão apresentados os parâmetros estatísticos para os períodos estudados. No período chuvoso os valores de mínimo e máximo variaram de 1 (para cerrado nativo, cultivo em aléias, capim elefante, capim tânzania) à 127 (para cultivo em aléias). No período seco o mínimo amostral foi obtido para todas as áreas e o valor máximo foi de 227 para o cultivo em aléias. A maior média obtida foi de 22.13 ± 5.51 e de 42.30 ± 10.42 ambas para os dois períodos, chuvoso e seco respectivamente, no cultivo em aléias.

Os valores de coeficiente de variação (CV) foram considerados altos acima de 60 % para ambos os períodos, com valores superiores a 100 %. Os valores do coeficiente de assimetria variaram de 2.26 a 3.17 para o período chuvoso e de 0.83 a 4.04 para período seco. O coeficiente de curtose foi menor para a área com capim elefante (3.70) no período chuvoso e para período seco o menor valor foi no cultivo de cana-de-açúcar (-1.27).

Tabela 4. Grupos taxonômicos presentes no período chuvoso e seco nas áreas de estudo, Chapadinha, Maranhão.

Grupos taxonômicos	Chuvoso						Seco					
	Cerrado nativo	Aléias	Capim elefante	Capim tanzânia	Cana-de-açúcar	Área Degradada	Cerrado nativo	Aléias	Capim elefante	Capim tanzânia	Cana-de-açúcar	Área Degradada
Acari	3	23		4	16	4	5	72	3	4	69	8
Araneae	18	25	11	5	5	5	2	55	21	3		
Coleoptera	48	18	8	8	15	8	30	13	8	13	3	17
Diplopoda	2		4			2						1
Diplura	11	102	108	10	9		5	165	13	8	3	
Diptera			7				16					
Entomobryomorpha	1						1	3	4	1		
Formicidae	110	127	105	63	91	97	120	227	138	114	87	100
Heteroptera	6		3	5				1				
Hymenoptera		4	5		2		4		1			
Sternorrhyncha	4		5				7	2	1	2		
Isopoda		5	13	1					1			
Isoptera	8	7	4	3	3	11	1	6	6	1		
Larva Lepidoptera	5	4										
Mantodea		2								1		
Orthoptera	3	6	6	1	3	2	1	2	11			
Poduromorpha					8				2		41	
Thysanura		3	3				1					
Larva		3		3			6		6			
Pulpa		1					6	1				
Total	224	332	283	104	156	129	206	550	222	148	205	126

O teste de normalidade Kolmogorov à 1 % de probabilidade obteve distribuição normal para os bancos de dados nas áreas de Cerrado nativo (0.354), cultivo em Aléias (0.337), Capim elefante (0.397) e cana-de-açúcar (0.318) no período chuvoso. No período seco, a distribuição normal foi obtida para o banco de dados nas áreas Cerrado nativo (0.388), Aléias (0.348), Capim tanzânia (0.420), Cana-de-açúcar (0.335) e Área degradada (0.373).

Tabela 5. Parâmetros estatísticos para a fauna do solo no período chuvoso e seco nas áreas de estudo, Chapadinha, Maranhão.

Período Chuvoso						
	Cerrado nativo	Aléias	Capim elefante	Capim tanzânia	Cana-de-açúcar	Área Degradada
N	15	15	14	11	11	7
Soma	224	332	283	104	156	129
Mínimo	1	1	1	1	2	2
Máximo	110	127	108	63	91	97
Média	14.93	22.13	20.21	9.45	14.18	18.43
Variância	834.07	1487.98	1346.80	323.67	674.96	1210.95
Desvio padrão	4.12	5.51	5.24	2.57	3.71	4.97
CV (%)	193.39	174.28	181.55	190.29	183.19	188.83
Assimetria	3.00	2.30	2.26	3.17	3.09	2.60
Curtose	9.36	4.31	3.70	10.25	9.89	6.80
D*	0.354n	0.337n	0.435Ln	0.397n	0.381n	0.442Ln
Período Seco						
	Cerrado nativo	Aléias	Capim elefante	Capim tanzânia	Cana-de-açúcar	Área Degradada
N	15	13	18	10	7	4
Soma	206	550	222	148	205	126
Mínimo	1	1	1	1	1	1
Máximo	120	227	138	114	87	100
Média	13.73	42.30	12.33	14.80	29.28	31.50
Variância	923.06	5326.89	1012.824	1230.178	1337.90	2128.33
Desvio padrão	4.34	10.42	4.54	5.01	5.22	6.59
CV (%)	221.22	172.51	258.04	236.98	124.89	146.45
Assimetria	3.49	1.93	4.04	3.09	0.83	1.88
Curtose	12.71	2.936	16.779	9.657	-1.271	3.595
D*	0.388n	0.348n	0.381Ln	0.42n	0.335n	0.373n

N: número; CV: coeficiente de variação; D*: Teste de normalidade de Kolmogorov Smirnov 1%

A análise de fatores para o período chuvoso está descrita na Tabela 6. É possível identificar três fatores, que juntos explicaram 99,98 % dos dados. O Fator 1 explicou 60,20 %

dos processos ocorridos e está relacionado aos grupos da fauna do solo que são reguladores de cadeia trófica, os parâmetros de diversidade e equitabilidade e os modificadores de processos físicos e químicos do solo. As variáveis explicadas pelo Fator 1 são: Araneae, Diplura, Formicidae, Isoptera, Orthoptera, indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹, Diversidade de Shannon, Equitabilidade de Pielou, Riqueza total, Riqueza média, Areia total, Silte, pH, K, Mg, Na, SB, CTC e V%. O Fator 2 explicou 20,04 % dos processos ocorridos, sendo as variáveis que contribuíram: Coleoptera, argila, P e Ca. Para o fator 3, houve explicação de 16,74 % dos dados, nesse último fator apenas duas variáveis contribuíram para a explicação desse processo: Acari e matéria orgânica.

A análise dos fatores para o período seco é apresentada na Tabela 7. Os processos ocorridos nesse período foram explicados por dois fatores que juntos explicaram 99,99 % dos processos. O Fator 1 explicou 54,91% dos dados e está relacionado aos grupos da fauna do solo: Acari, Araneae, Diplura, Formicidae, Orthoptera, aos índices de diversidade de Shannon, equitabilidade de Pielou, riqueza total, silte, pH, P, Ca, Mg, SB, CTC e V%.

A matriz de correlação linear no período chuvoso apresentou correlações fortes positivas e negativas (Tabela 8). Araneae correlacionou-se positivamente, com valores $\geq 0,90$, com Formicidae ($r = 0,91$), Isoptera ($r = 0,90$), indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹, o índice de diversidade de Shannon ($r = 0,99$), Riqueza total ($r = 0,96$), Riqueza média ($r = 0,99$) e Mg ($r = 0,90$). O grupo taxonômico Diptera correlacionou-se positivamente com equitabilidade de Pielou ($r = 0,98$) e Na ($r = 0,93$). O grupo Acari apresentou correlações negativas com a MO ($r = -0,98$). O grupo Isoptera correlacionou-se com o teor de argila ($r = -0,91$). A Areia total apresentou correlações negativas com silte ($r = -0,90$) e argila ($r = -0,90$). O Silte com SB ($r = -0,95$), CTC ($r = -1,00$) e V % ($r = -0,90$).

Tabela 6. Análise de fatores contendo os três primeiros fatores (processos) com suas respectivas cargas fatoriais que representam os coeficientes de correlação entre os atributos do solo e a fauna invertebrada no período chuvoso.

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Total de variância (%)	60,20	23,04	16,74
Variância exploratória	15,05	5,76	4,18
Araneae	-0.94964	0.269589	-0.159681
Diplura	-0.87471	-0.333379	-0.351773
Formicidae	-0.75832	0.392471	-0.520498
Isoptera	-0.77337	0.633553	0.022591
Orthoptera	-0.77120	0.027432	-0.636003
Indivíduos armadilha ⁻¹ dia ⁻¹	-0.89222	0.168675	-0.418928
Diversidade de Shannon	-0.89181	0.390278	-0.228806
Equitabilidade de Pielou	-0.79697	-0.528992	-0.291556
Riqueza total	-0.85456	0.517622	-0.042300
Riqueza media	-0.89425	0.354532	-0.273163
Areia total	-0.78782	0.361465	0.498674
Silte	0.85261	0.077434	-0.516781
pH	-0.82761	-0.478357	0.293664
K	-0.75906	-0.530596	0.377226
Mg	-0.88835	0.376316	0.263107
Na	-0.95133	-0.307374	0.022206
SB	-0.91618	-0.292877	0.273548
CTC	-0.88015	-0.033157	0.473528
V%	-0.89118	-0.404777	0.204817
Coleoptera	-0.24392	0.963452	0.110733
Argila	0.56335	-0.733744	-0.379812
P	-0.41051	-0.841197	0.351951
Ca	-0.60195	-0.762287	0.237859
Acari	-0.41239	-0.401902	-0.817562
MO	0.26808	0.341992	0.900652
	Reguladores de cadeia trófica, parâmetros de diversidade e equitabilidade e modificadores de atributos edáficos	Modificador de química e física do solo	Decompositor de material orgânica

P: Fósforo; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; K: Potássio;
Na: Sódio

Tabela 7. Análise de fatores contendo os dois primeiros fatores (processos) com suas respectivas cargas fatoriais que representam os coeficientes de correlação entre os atributos do solo e a fauna invertebrada no período seco.

	Factor 1	Factor 2
Total de variância (%)	54,91	45,08
Variância exploratória	14,82	12,17
Acari	-0.92764	-0.37347
Araneae	-0.71802	-0.69602
Diplura	-0.89931	-0.43730
Formicidae	-0.84407	-0.53623
Orthoptera	0.74525	-0.66679
Indivíduos armadilha ⁻¹ dia ⁻¹	-0.90096	-0.43389
Diversidade de Shannon	0.93557	0.35314
Equitabilidade de Pielou	-0.89464	0.44678
Riqueza total	0.97359	-0.22831
Silte	0.91783	0.39697
pH	-0.91783	-0.39697
P	-0.76171	-0.64792
Ca	-0.99961	-0.02796
Mg	-0.80270	0.59638
SB	-0.98155	-0.19120
CTC	-0.98053	0.19639
V%	-0.94854	-0.31667
Coleoptera	-0.10295	0.99469
Entomobryomorpha	0.21637	-0.97631
Sternorrhyncha	-0.04078	0.99917
Isoptera	-0.11513	-0.99335
Riqueza media	0.39697	-0.91783
Areia total	-0.63596	0.77172
Argila	0.39697	-0.91783
MO	-0.12684	0.99192
K	0.52402	-0.85171
Na	0.35241	-0.93585
	Reguladores de cadeia trófica, parâmetros de diversidade biológica e modificadores de químicos do solo	Fragmentadores de matéria orgânica, modificadores de física do solo, indicadores de qualidade ambiental

P: Fósforo; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; K: Potássio;

Na: Sódio

Para o período seco houve mais atributos correlacionados, tanto positiva como negativamente com valores de correlação ≥ 0.90 . Araneae no período seco manteve-se correlacionado com alguns atributos do solo, como pH ($r = 0,94$), P ($r = 1,00$), V % ($r = 0,90$), no entanto, manteve-se correlacionado negativamente com índice de diversidade de Shannon ($r = -0,92$) e silte ($r = -0,94$). Fortes correlações foram obtidas também para o grupo de Coleoptera e Sternorryncha ($r = 1,00$) e teor de MO ($r = 1,00$). Demais correlações podem serem visualizadas na Tabela 9.

Tabela 8. Matriz de correlação linear para o período chuvoso nas áreas de estudo, Chapadinha, Maranhão.

	Acari	Ara	Col	Dip	Form	Isop	Orth	Ind.arm ⁻¹ .Dia ⁻¹	Shan	Pielou	Riq.T	Riq.M	Areia T	Silte	Argila	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V (%)
Acari	1.00																								
Ara	0.41	1.00																							
Col	-0.38	0.47	1.00																						
Dip	0.78	0.80	-0.15	1.00																					
Form	0.58	0.91	0.51	0.72	1.00																				
Isop	0.05	0.90	0.80	0.46	0.82	1.00																			
Orth	0.83	0.84	0.14	0.89	0.93	0.60	1.00																		
Ind.arm ⁻¹ .Dia ⁻¹	0.64	0.96	0.33	0.87	0.96	0.79	0.96	1.00																	
Shan	0.40	0.99	0.57	0.73	0.95	0.93	0.84	0.96	1.00																
Pielou	0.78	0.66	-0.35	0.98	0.55	0.27	0.79	0.74	0.57	1.00															
Riq.T	0.18	0.96	0.70	0.59	0.87	0.99	0.70	0.87	0.97	0.42	1.00														
Riq.M	0.45	0.99	0.53	0.76	0.96	0.91	0.87	0.97	1.00	0.60	0.96	1.00													
Areia T	-0.23	0.77	0.60	0.39	0.48	0.85	0.30	0.55	0.73	0.29	0.84	0.70	1.00												
Silte	0.04	-0.71	-0.19	-0.59	-0.35	-0.62	-0.33	-0.53	-0.61	-0.57	-0.67	-0.59	-0.90	1.00											
Argila	0.37	-0.67	-0.89	-0.11	-0.52	-0.91	-0.21	-0.47	-0.70	0.05	-0.85	-0.66	-0.90	0.62	1.00										
MO	-0.98	-0.31	0.36	-0.67	-0.54	0.03	-0.77	-0.56	-0.31	-0.66	-0.09	-0.36	0.36	-0.21	-0.44	1.00									
pH	0.29	0.61	-0.23	0.78	0.29	0.34	0.44	0.53	0.48	0.83	0.45	0.49	0.63	-0.89	-0.23	-0.12	1.00								
P	0.22	0.11	-0.67	0.52	-0.20	-0.21	0.07	0.08	-0.04	0.67	-0.10	-0.03	0.19	-0.60	0.25	-0.08	0.85	1.00							
K	0.22	0.52	-0.28	0.71	0.17	0.26	0.33	0.43	0.38	0.78	0.36	0.39	0.59	-0.88	-0.18	-0.05	0.99	0.89	1.00						
Ca	0.36	0.33	-0.56	0.70	0.03	-0.01	0.29	0.31	0.18	0.81	0.11	0.20	0.32	-0.70	0.13	-0.21	0.93	0.97	0.95	1.00					
Mg	0.00	0.90	0.61	0.56	0.68	0.93	0.53	0.75	0.88	0.43	0.94	0.86	0.97	-0.86	-0.88	0.13	0.63	0.14	0.57	0.31	1.00				
Na	0.50	0.82	-0.06	0.93	0.59	0.54	0.71	0.79	0.72	0.91	0.65	0.74	0.65	-0.85	-0.32	-0.34	0.94	0.66	0.89	0.81	0.74	1.00			
SB	0.27	0.75	-0.03	0.80	0.44	0.53	0.52	0.65	0.64	0.81	0.62	0.64	0.75	-0.95	-0.41	-0.10	0.98	0.72	0.95	0.84	0.78	0.97	1.00		
CTC	-0.01	0.75	0.24	0.61	0.41	0.67	0.38	0.58	0.66	0.58	0.71	0.65	0.92	-1.00	-0.65	0.18	0.88	0.56	0.86	0.67	0.89	0.86	0.95	1.00	
V%	0.36	0.70	-0.15	0.84	0.41	0.44	0.55	0.64	0.59	0.86	0.54	0.60	0.66	-0.90	-0.28	-0.19	0.99	0.78	0.97	0.89	0.69	0.98	0.99	0.89	1.00

Ara: Araneae; Col: Coleoptera; Diplura: diplura; Form: Formicidae; Isop: Isoptera; Orth: Orthoptera; Ind.Arm⁻¹.dia⁻¹: Indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹; Shan: Diversidade de Shannon; Pielou: Equitabilidade de Pielou; Riq T: Riqueza total; Riq M: Riqueza média; Areia T: Areia total; MO: Matéria orgânica; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: sódio; SB: Soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V %:

Tabela 9. Matriz de correlação linear para o período seco nas áreas de estudo, Chapadinha, Maranhão.

	Acari	Ara	Col	Dip	Ent	Form	Stern	Isop	Orth	Ind.arm ⁻¹ .Dia ⁻¹	Shan	Pielou	Riq ^T	Riq M	Areia T	Silte	Argila	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V%
Acari	1.00																										
Ara	0.93	1.00																									
Col	-0.28	-0.62	1.00																								
Dip	1.00	0.95	-0.34	1.00																							
Ent	0.16	0.52	-0.99	0.23	1.00																						
Form	0.98	0.98	-0.45	0.99	0.34	1.00																					
Stern	-0.34	-0.67	1.00	-0.40	-0.98	-0.50	1.00																				
Isop	0.48	0.77	-0.98	0.54	0.94	0.63	-0.99	1.00																			
Orth	-0.44	-0.07	-0.74	-0.38	0.81	-0.27	-0.70	0.58	1.00																		
Ind.arm ⁻¹ .Dia ⁻¹	1.00	0.95	-0.34	1.00	0.23	0.99	-0.40	0.53	-0.38	1.00																	
Shan	-1.00	-0.92	0.25	-1.00	-0.14	-0.98	0.31	-0.46	0.46	-1.00	1.00																
Pielou	0.66	0.33	0.54	0.61	-0.63	0.52	0.48	-0.34	-0.96	0.61	-0.68	1.00															
Riq.T	-0.82	-0.54	-0.33	-0.78	0.43	-0.70	-0.27	0.11	0.88	-0.78	0.83	-0.97	1.00														
Riq.M	-0.03	0.35	-0.95	0.04	0.98	0.16	-0.93	0.87	0.91	0.04	0.05	-0.77	0.60	1.00													
Areia T	0.30	-0.08	0.83	0.23	-0.89	0.12	0.80	-0.69	-0.99	0.24	-0.32	0.91	-0.80	-0.96	1.00												
Silte	-1.00	-0.94	0.30	-1.00	-0.19	-0.99	0.36	-0.50	0.42	-1.00	1.00	-0.64	0.80	0.00	-0.28	1.00											
Argila	-0.03	0.35	-0.95	0.04	0.98	0.16	-0.93	0.87	0.91	0.04	0.05	-0.77	0.60	1.00	-0.96	0.00	1.00										
MO	-0.25	-0.60	1.00	-0.32	-1.00	-0.42	1.00	-0.97	-0.76	-0.32	0.23	0.56	-0.35	-0.96	0.85	0.28	-0.96	1.00									
pH	1.00	0.94	-0.30	1.00	0.19	0.99	-0.36	0.50	-0.42	1.00	-1.00	0.64	-0.80	0.00	0.28	-1.00	0.00	-0.28	1.00								
P	0.95	1.00	-0.57	0.97	0.47	0.99	-0.62	0.73	-0.14	0.97	-0.94	0.39	-0.59	0.29	-0.02	-0.96	0.29	-0.55	0.96	1.00							
K	-0.17	0.22	-0.90	-0.10	0.94	0.01	-0.87	0.79	0.96	-0.10	0.19	-0.85	0.70	0.99	-0.99	0.14	0.99	-0.91	-0.14	0.15	1.00						
Ca	0.94	0.74	0.08	0.91	-0.19	0.86	0.01	0.14	-0.73	0.91	-0.95	0.88	-0.97	-0.37	0.61	-0.93	-0.37	0.10	0.93	0.78	-0.50	1.00					
Mg	0.52	0.16	0.68	0.46	-0.76	0.36	0.63	-0.50	-1.00	0.46	-0.54	0.98	-0.92	-0.87	0.97	-0.50	-0.87	0.69	0.50	0.23	-0.93	0.79	1.00				
Na	0.02	0.40	-0.97	0.09	0.99	0.20	-0.95	0.89	0.89	0.09	0.00	-0.73	0.56	1.00	-0.95	-0.05	1.00	-0.97	0.05	0.34	0.98	-0.33	-0.84	1.00			
SB	0.98	0.84	-0.09	0.97	-0.03	0.93	-0.15	0.30	-0.60	0.97	-0.99	0.79	-0.91	-0.21	0.48	-0.98	-0.21	-0.07	0.98	0.87	-0.35	0.99	0.67	-0.17	1.00		
CTC	0.84	0.57	0.30	0.80	-0.40	0.72	0.24	-0.08	-0.86	0.80	-0.85	0.96	-1.00	-0.57	0.78	-0.82	-0.57	0.32	0.82	0.62	-0.68	0.97	0.90	-0.53	0.92	1.00	
V%	1.00	0.90	-0.22	0.99	0.10	0.97	-0.28	0.42	-0.50	0.99	-1.00	0.71	-0.85	-0.09	0.36	-1.00	-0.09	-0.19	1.00	0.93	-0.23	0.96	0.57	-0.04	0.99	0.87	1.00

Ara: Araneae; Col: Coleoptera; Diplura: diplura; Ent: Entomobryomorpha; Form: Formicidae; Stern: Sternorrhyncha; Isop: Isoptera; Orth: Orthoptera; Ind.Arm⁻¹.dia⁻¹: Indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹; Shan: Diversidade de Shannon; Pielou: Equitabilidade de Pielou; Riq T: Riqueza total; Riq M:

Riqueza média; Areia T: Areia total; MO: Matéria orgânica; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: sódio; SB: Soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V %:

O sistema de cultivo em aléias apresentou maior abundância de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ ($9,49 \pm 4,00$) e ($15,71 \pm 8,86$) para ambos os períodos, chuvoso e seco respectivamente (Tabela 10). Os maiores índices de diversidade de Shannon foi registrado para cultivo em aléias (2,53) no período chuvoso e para cerrado nativo (2,23) e capim elefante (2,23) no período seco. De igual modo a equitabilidade obtida pelo índice de Pielou foi maior em aléias (0,70) no período chuvoso, e maior no cana-de-açúcar (0,60) no período seco. Os valores de CV variaram de 29,3 para cerrado nativo a 42,2 para aléias no período chuvoso. A riqueza foi maior para o cerrado nativo (15) e aléias (15) no período chuvoso. Para o período seco a maior riqueza foi para o capim elefante.

Tabela 10. Parâmetros de diversidade biológica para as áreas amostradas no período chuvoso e seco no município de Chapadinha (Maranhão, Brasil).

	Sistemas	Ind.arm ⁻¹ .dia ⁻¹ ± Erro padrão	Índice Shannon	Índice Pielou	CV (%)	Riqueza total	Riqueza media
Período chuvoso	Cerrado nativo	6,40±1,88	2,44	0,62	29,3	15	8,2
	Aléias	9,49±4,00	2,53	0,70	42,2	15	9,2
	Capim elefante	8,09±2,72	2,39	0,64	33,6	14	9,0
	Capim tanzânia	2,97±1,09	2,13	0,64	36,8	11	5,6
	Cana-de-açúcar	4,46±1,88	2,19	0,63	42,1	11	6,2
	Área degradada	3,69±1,44	1,38	0,49	39,1	7	3,4
Período seco	Cerrado nativo	5,89±2,75	2,23	0,57	46,7	15	6,8
	Aléias	15,71±8,86	2,14	0,57	56,4	13	7,4
	Capim elefante	6,34±2,12	2,23	0,53	33,4	18	8,0
	Capim tanzânia	4,23±4,43	1,35	0,40	107,1	10	4,0
	Cana-de-açúcar	5,86±5,28	1,77	0,63	90,1	7	3,4
	Área degradada	3,60±1,69	0,96	0,48	46,9	4	2,8

Ind.arm⁻¹.dia⁻¹: indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹; CV: Coeficiente de variação

DISCUSSÃO

A fauna edáfica é afetada por diversos fatores, entre eles a sazonalidade que interfere diretamente na abundância e distribuição dos grupos (NUNES et al., 2008; LIMA et al., 2010; ABREU et al., 2014). Para BARETTA et al. (2003) os cultivos com prática de manejo convencional reduzem a abundância, riqueza e diversidade da fauna do solo, de igual modo, as aplicações de agroquímicos, tipos e sucessão de culturas, cobertura do solo afetam diretamente. A presença de Formicidae e Isoptera de forma homogênea nos dois períodos

amostrais refletem o hábito social e colonial do grupo, o que é corroborado por diversos estudos (AYUKE et al., 2011; TERRY et al., 2015; FRANCO et al., 2016).

Em termos de química do solo, a quantidade e qualidade da matéria orgânica e acidez do solo regulam os grupos funcionais (MOÇO et al., 2010). Os maiores valores de abundância no período seco nas áreas cultivadas e cerrado nativo são ocasionadas pela presença de cobertura do solo, que promove a criação de habitats, disponibilidade de recursos alimentares favorecendo as populações de fauna do solo (BATISTA et al., 2014; BEDANO et al., 2016; FRANCO et al., 2016).

Os altos valores de CV relatados para o presente estudo, todos acima de 100%, são explicados pela agregação e processos intrínsecos da fauna do solo. Tais processos, como reprodução, migração e dispersão de organismos são processos ecológicos que podem determinar abundância e diversidade. No entanto, altos valores de CV são comuns para variáveis do solo, podendo chegar até 1000% (WARRICK e NIELSEN, 1980; MACHADO et al., 2007; SCHAFFRATH et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2015). Para MACHADO et al. (2006) CVs altos podem ser reflexos da grade amostral usada.

As informações condensadas pelas análises de fatores no período chuvoso associaram a maioria dos atributos ao fator 1 que são processos reguladores de cadeia trófica, principalmente para os grupos de Araneae, Diplura, Formicidae que são predadores e controladores populacionais de diversos invertebrados. Coleoptera foi associado a grupo modificador de atributos químicos do solo, uma vez que interage diretamente na fragmentação de serapilheira. A abundância desses grupos demonstra o potencial para bioindicadores de perturbações no ambiente (VASCONCELLOS et al., 2013; BARDGETT e PUTTEN, 2014). Para CORREIA (2002) os grupos fragmentadores de serapilheira são componentes importantes na biota do solo, pois agem como reguladores no processo de decomposição e na ciclagem de nutrientes.

A maior diversidade no cultivo em aléias no período chuvoso ocorre provavelmente pela maior disponibilidade de alimentos, menor amplitude térmica e umidade do solo, que é típica de sistemas conservacionistas, não havendo interferências no ciclo de vida dos artrópodes, principalmente na fase larval (BARETTA et al., 2007). Vale ressaltar que o uso de árvores no cultivo em aléias com cobertura de 90% do solo proporciona condições ambientais favoráveis a fauna edáfica, uma vez que mantem a umidade e oferece habitats e microclima. Fato importante é ausência de uso de pesticida. O uso de agroquímico reduz a diversidade da fauna do solo, pois elimina grupos importantes e mais sensíveis. SIQUEIRA et al. (2014)

encontraram maior diversidade em cultivo de maracujá, sem uso de pesticida, pouco uso e intensidade do solo e em sistema irrigado. Isso indica que o manejo do solo e o tipo de cultura influenciam a diversidade e abundância da fauna invertebrada.

VASCONCELLOS et al (2013) em estudos em floresta Atlântica nativa e reflorestada observaram diferença sazonal na fauna invertebrada coletada em pitfall, o que provavelmente reflete a maior diversidade de plantas na floresta nativa, assim como, menor oscilação do microclima, teor de nutriente no solo, qualidade da matéria orgânica e melhor retenção de água no solo, esses fatores refletiram na diversidade de Shannon e equitabilidade de Pielou.

CONCLUSÕES

O sistema de manejo irrigado e grande percentual de cobertura do solo na área cultivada com capim elefante e cultivo em aleias proporcionou a incidência de índices de biodiversidade equivalentes aos de vegetação nativa e superiores aos índices dos demais tratamentos. Nas áreas de estudo foi identificada uma determinada estrutura de cadeia trófica, pela predominância de formigas como predadoras de ácaros e dipluras. O cultivo em aleias apesar de apresentar bons índices de diversidade possui grande variação entre o número de indivíduos capturados. Os índices de diversidade da fauna do solo permitiram descrever a influência dos diferentes usos e coberturas do solo nos referidos tratamentos. O uso de fatorial permite associar os grupos da fauna do solo a atributos físicos e químicos e relações ecológicas mantidas pela fauna edáfica.

REFERÊNCIAS

AQUINO, A.M. **Manual para coleta de macrofauna do Solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 21p.

- ARZENO, J.L.; VIEIRA, S.R.; SIQUEIRA, G.M. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas sob três sistemas de preparo. **Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe**, Coruña. 2011. Vol. 36, pp. 11 – 24.
- AYUKE, F. O.; BRUSSAARDA, L.; VANLAUWE, B.; SIX, J.; LELEI, D. K.; KIBUNJA, C. N.; PULLE, M. M. 2011. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. **Applied Soil Ecology**, v.48, p.53-62.
- BARDGETT, R.D.; PUTTEN, W.H., 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**. 515: 505-511.
- BARETTA D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com *Araucária angustifolia* no estado de São Paulo**”. 2007. 158p. (Doutorado Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MAFRA, A. L.; WILDNER, L. P.; MIQUELLUTI, D. J. 2003. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **R. Ci. Agrovet.**, 2:97-106.
- BATISTA, I., CORREIA, M. E. F., PEREIRA, M. G., BIELUCZYK, W., SCHIAVO, J. A., ROUWS, J. R. C. 2014. Oxidizable fractions of total organic carbon and soil macrofauna in a crop livestock integration System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:797-809.
- BEDANO, J.C., DOMÍNGUEZ, A., AROLFO, R., WALL, L.G., 2016. Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. **Soil Till. Resear.** 158: 100-109.
- BERNARD, L., CHAPUIS-LAEDY, L., RAZAFIMBELO, T., 2012. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. **ISME J.** 6, 222–231.
- BOTTINELLI, N., JOUQUET, P., CAPOWIEZ, Y., PODWOJEWSKI, P., GRIMALDI, M., PENG, X., 2015. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil & Tillage Research** 146, 118–124.
- CARRILLO, T., BALL, B.A., BRADFORD, M.A., JORDAN, C.F., MOLINA, M., 2011. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. **Soil Biological. Biochem.** 43, 1440–1449.

- CORREIA MEF, OLIVEIRA LCM. **Fauna do solo: Aspectos Gerais e Metodológicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 46p
- CORREIA MEF. **Relações entre Diversidade da Fauna de Solo e o Processo de Decomposição e seus Reflexos sobre a Estabilidade dos Ecossistemas**”. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002. 33p.
- DE OLIVEIRA, F.S., VARAJÃO, A.F.D.C., VARAJÃO, C.A.C., SCHAEFER, C.E.G.R., BOULANGÉ, B., 2014. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. **Geoderma**. 226, 250-259.
- DE VRIES, F.T., THÉBAULT, E., LIIRI, M., BIRKHOFFER, K., TSIAFOULI, M.A., BJØRNLUND, L., JØRGENSEN, H.B., BRADY, M.V., CHRISTENSEN, S., DE RUITER, P., HERTEFELDT, T., FROUZ, J., HEDLUND, K., HEMERIK, L., HOLK, W.H.G., HOTES, S., MORTIMER, S.N., SETÄLÄ, H., SGARDELIS, S.P., UTESENY, K., VAN DER PUTTEN, W.H., WOLTERS, V., BARDGETT, R.D., 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.** 110, 14296–14301.
- DOMÍNGUEZ, A., BEDANO, J.C.; BECKER, A.R., AROLFO, R.V. 2014. Organic farming fosters agroecosystem functioning in Argentinian temperate soils: evidence from litter decomposition and soil fauna. **Applied Soil Ecology**. 83, 170-176.
- FRANCO, A.L.C., BARTZ, M.L.C., CHERUBIN, M.R., BARETTA, D., CERRI, C.E.P., FEIGL, B.J., WALL, D.H., DAVIES, C.A., CERRI, C.C., 2016. Loss of soil (macro)fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of the Total Environment**. 563: 160-168.
- MACHADO, P.L.O.A., BERNADI, A.C.C., VALÊNCIA, L.I.O., MOLIN, J.P., GIMENEZ, L.M., SILVA, C.A., ANDRADE, A.G., MADARI, B.E., MEIRELLES. M.S.P., 2007. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.** 41:1023-1031.
- OLIVEIRA JB. **Pedologia Aplicada**. 3º ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592p.
- SCHAFFRATH, V.R., TORMENA, C.A., GONÇALVES, A.C.A., JUNIOR, R.S.O., 2007. Variabilidade espacial de plantas daninhas em dois sistemas de manejo de solo. **Rev. Bras. Eng. Agr.Ambien.** 11, 53-60.

- SILVA, J., JUCKSCH, I., FERES, C.I.M.A, TAVARES, R.C., 2012, Soil faunal in management systems with coffee. **J. Biotec. Biodivers.** 3, 59-71.
- SIQUEIRA, G.M., DAFONTE DAFONTE, J., VALCÁRCEL, A.M., 2015. Correlación espacial entre malas hierbas en una pradera y su relación con la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEA). **Planta Daninha.** 33:631-641.
- SIQUEIRA, G.M., SILVA EFF, PAZ-FERREIRO J. Land Use Intensification Effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State, Brazil, v.2014, p. 7, 2014.
- SIQUEIRA, G.M., SILVA, R.A., AGUIAR, A.C.F., COSTA, M.K.L., FRANÇA E SILVA, E.F., 2016. Spatial variability of weeds in an Oxisol under no-tillage system. **Afr. J. Agric. Res.** 29, 2569-2576.
- TERRY, I.M.F., GONZÁLEZ, L.C., GALLARDO, M.F., CAIRO, N.C., ACOSTA, N.R., PRADO, R. DE M. 2015. Macrofauna del suelo em cuatro fincas en conversión hacia la producción agroecológica em el Municipio Cruces, Cuba. **Centro Agrícola**, v. 42, p. 43-52.
- WAGG, C., BENDER, S.F., WIDMER, F., VAN DER HEIJDEN, M.G.A., 2016. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 111. 5266-5270.
- WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 350p. Wolters, V., 2001. Biodiversity of soil animals and its function. **European Journal of Soil Biology.** 37, 221–227.
- ZANZINI, A.C.S., 2007. **Descritores de Riqueza e Diversidade em Espécies em Estudos Ambientais** / Antônio Carlos da Silva Zanzini. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 43p.: il. – Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Avaliação da Flora e Fauna em Estudos Ambientais. o, v.34, p.389-400.

ARTIGO 5.2: VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the spatial variability of the diversity indexes of the soil fauna under sugar cane cultivation. The experimental area is located at Usina Itajubara, in the municipality of Coelho Neto (Maranhão, Brazil). Samplings were carried out in a Red Latosol, where 100 sampling points were distributed in an area of 6.85 ha to collect the soil macrofauna. Pitfall traps were installed at 100 sampling points during the dry and rainy season. The traps remained in the area for a period of seven days. The indices of diversity, organic matter content and sugarcane productivity were analyzed using descriptive statistics. Geostatistical tools were used to characterize the variability of the attributes under study for dry and rainy periods. The Formicidae family was the most abundant and dominant group in the study area. In the rainy season we sampled 19 taxonomic groups, and in the dry period 9 taxonomic groups. The diversity indexes presented high values of coefficients of variation (CV, %) in both periods of study. The productivity was adjusted to the exponential model and altitude to the Gaussian model. In the rainy season, all diversity indexes were adjusted to the spherical model. In the dry period the number of individuals $\text{trap}^{-1} \text{ day}^{-1}$ was adjusted to the Gaussian model and the other indices to the spherical model. Range values for diversity indexes were higher in the rainy season. The variability maps for the $\text{trap}^{-1} \text{ day}^{-1}$ individuals index obtained the highest values described in the central part of the area in the two study periods, coinciding with the portion of the area with the highest content of organic matter. The abundance of the fauna of the soil presented seasonality. The greater diversity in the rainy season shows that in this period there are better environmental conditions for the development of taxonomic groups. The predominance of the Formicidae family in the dry season is justified, since it is a group with social organisms and with high adaptability to adverse environmental conditions, being thus a group with excellent characteristics to compose biological indexes of environmental quality.

Keywords: Soil diversity; Quality Indicators; Diversity indices; Spatial variability; Geostatistics

INTRODUÇÃO

A fauna dos solo compreende organismos que desempenham e influenciam os processos biológicos que contribuem para a oferta de uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, como ciclagem de nutrientes (SILVA et al., 2012, de VRIES et al., 2013; BLOUIM et al., 2013; WAGG et al., 2016, de OLIVEIRA et al., 2014), fragmentação de serapilheira (ROUSSEAU et al., 2013; SIQUEIRA et al., 2016), formação de agregados no solo (BOTTINELLI et al., 2015); (BERNARD et al., 2012), porosidade total do solo (CARRILLO et al., 2011; CABRERA, 2012), mineralização e humificação da material orgânico fundamental para a produtividade (BATISTA et al., 2011; BERNARD et al., 2012), reguladores de cadeia trófica (BACCARO et al., 2012) e bioindicadores de qualidade do solo (AZUL et al., 2011; BARDGETT e PUTTEN, 2015). Em termos de diversidade e abundância, os artrópodes são os mais representativos, com organismos habitando quase todos os ambientes, com uma ou fase de vida desenvolvida no solo.

O manejo agrícola pode afetar diretamente a fauna do solo, em relação a abundância, diversidade, riqueza e equitabilidade dos grupos (AYUKE et al., 2011; Dominguez et al., 2014; BEDANO et al., 2016). Uma vez que pode provocar a redução de recursos alimentares, perda de habitats, resistência de insetos e pragas e aumentar a competição intraespecífica e interespecífica.

Em sistemas agrícolas a diversidade da fauna invertebrada do solo é um importante bioindicador, por ser sensível a mudanças no ambiente e refletir de forma eficiente o estado da biodiversidade do solo (ROUSSEAU et al., 2013; SIQUEIRA et al., 2016).

A diversidade da fauna pode variar de acordo com fatores abióticos, como o clima, propriedades físicas e químicas do solo ou disponibilidade de recursos e por fatores bióticos como habilidades de competição ou dispersão inter-específicas e intra-específicas (AUBERT et al., 2003; SEREDA et al., 2012). Além disso, em escala de campo a fauna do solo também pode apresentar variabilidade espacial, da qual existe pouca informação e estudos em áreas agrícolas.

A análise da variabilidade espacial usando ferramentas geoestatística vem sendo amplamente utilizadas no objetivo de caracterizar estudos de química, como pH (MACHADO et al., 2007; MORALES et al., 2010; BOTTEGA et al., 2015; RUSSENEs et al., 2016), matéria orgânica (CORÁ et al., 2004; CHIBA et al., 2010), carbono orgânico (AMIRINEJAD et al.,

2011), micronutrientes (DAFONTE DAFONTE et al., 2010; MORALES et al., 2014), e física do solo, como macroporosidade, microporosidade e porosidade total (SANTOS et al., 2012; AQUINO et al., 2015), resistência a penetração (BONNIN et al., 2010), densidade do solo (SILVA et al., 2014; TAVARES et al., 2015), produtividade (GUEDES FILHO et al., 2010; DALCHIAVON et al., 2011; MONTANARI et al., 2010; MONTANARI et al., 2015; SILVA et al., 2015), atributos biométricos de cana-de-açúcar (GREGO et al., 2010), emissões de CO₂ em cultivos de soja e cana-de-açúcar (TERÇARIOL et al., 2017), condutividade elétrica (SIQUEIRA et al., 2014; SIQUEIRA et al., 2015; SIQUEIRA et al., 2016), conteúdo de água (VIEIRA et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2015), fertilidade do solo (ZONTA et al., 2014).

No que tange a estudos de variabilidade espacial de atributos biológicos são poucos os trabalhos que relatam a variabilidade usando geoestatística, como NEVES et al. (2010) usando geoestatística para avaliar a biodiversidade de reservas naturais; PAULI et al. (2010) avaliando a variabilidade temporal e espacial de minhocas em agrossistemas no oeste de Honduras; FILHO et al. (2011) em análise da variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto em latossolo vermelho; SIQUEIRA et al. (2016) em estudos de variabilidade de plantas daninhas em latossolo. No que se refere a fauna do solo o uso da geoestatística ainda é restrito e incipiente. GHOLAMI et al. (2016) avaliaram a fauna do solo em por meio de análise geoestatística ajustando os parâmetros de riqueza, abundância, equitabilidade e diversidade aos modelos esférico e exponencial em floresta ripária. GHOLAMI et al. (2017) correlacionou a abundância da macrofauna a espécies arbóreas em plantação de cacau no Irã, ajustando a diversidade e abundância da macrofauna ao modelo exponencial e abundância de minhocas a modelo esférico.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da fauna do solo e de índices de diversidade em cultivo de cana-de-açúcar, no município de Coelho Neto (MA, Brasil).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na Usina Itajubara no município de Coelho Neto (04° 15' 25" S e 43° 00' 46" O), Maranhão, Brasil. Possui aproximadamente 6.85 ha, irrigada por meio de pivot linear. A irrigação suplementar foi realizada nos meses de agosto a novembro,

aplicou-se uma lâmina de 15 mm por mês, totalizando 60 mm. O solo da região é um Latossolo Vermelho, com características físico-químicas apresentada na Tabela 1, cultivada com cana-de-açúcar desde 1980. Em setembro de 2014 a área foi renovada, gradeada, subsolada e aplicado como fonte de matéria orgânica 60 mm de vinhaça e 30 t ha⁻¹ de torta de filtro e agricultada com a cultivar RB92579. A colheita da cana-de-açúcar é realizada com queima da palhada.

Tabela 1. Caracterização das propriedades físicas e químicas do solo da área de estudo.

Prof	MO	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%	AT	Silte	Argila
0.0 – 0.2 m	g kg ⁻¹	(CaCl ₂)	mg.dm ⁻³					mmol _c dm ⁻³				g kg ⁻¹	
	15.0	5.2	16.6	4.7	18.2	12.9	4.70	43.1	61.0	70.0	736.13	168.57	95.31

Prof: profundidade; MO: Matéria orgânica; P: fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V%: Saturação por bases; AT: Areia total

O clima foi caracterizado como equatorial quente e semi-úmido, a precipitação acumulada anual foi de 1.181 mm milímetros, com temperatura média de 29°C (Figura 1).

A região possui duas estações bem definidas: uma chuvosa de janeiro a junho e uma estação seca de julho a dezembro.

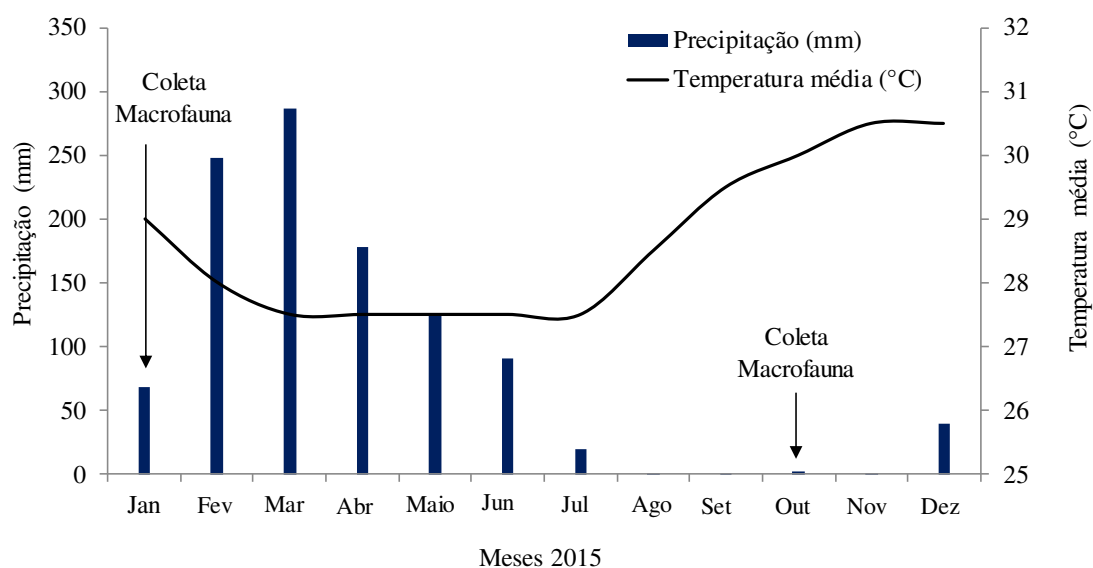


Figura 1. Temperatura e precipitação do período experimental

As amostragens da fauna invertebrada do solo foram realizadas em 28 de janeiro de 2015 (período chuvoso) e em 07 de outubro de 2015 (período seco) em 100 pontos de amostragem (Figura 2).

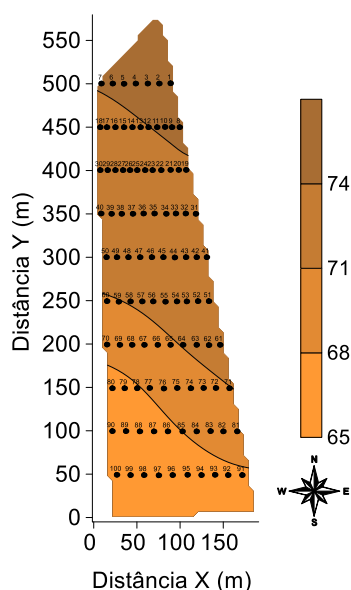


Figura 2. Mapa topográfico com altitude absoluta em metros (m) e esquema de amostragem contendo 100 pontos.

Os indivíduos da fauna foram coletados com armadilha do tipo “pitfall traps” (Correia e Oliveira, 2000). A mesma consiste em um pote plástico com aproximadamente 9 cm de altura e 8 cm de diâmetro alocados em campo ao nível do solo. Os animais de superfície caem acidentalmente na armadilha conforme se movimentam (AQUINO, 2001; SIQUEIRA et al., 2014).

Cada armadilha permaneceu no campo por um período de sete dias, contendo em seu interior 200 ml de formol a 4% para preservação dos organismos coletados (AQUINO et al., 2008; SIQUEIRA et al., 2014). Ao final do período de sete dias, as armadilhas foram retiradas do campo e o seu conteúdo armazenado em recipientes contendo álcool a 70% devidamente identificados. Em laboratório, o conteúdo de cada pote foi transferido para placa de petri e identificado com auxílio de pinça, lupa binocular e chave de identificados de acordo com os grupos taxonômicos nos níveis (classe, ordem ou família) ou estágio de desenvolvimento (larva ou adulto, em alguns casos).

Os dados foram analisados utilizando o software DIVES 3.0 (RODRIGUES, 2015) para determinação dos índices de biodiversidade: Indivíduos/armadilha/dia, Riqueza jackknife, Diversidade de Shannon Wiener, Simpson, Gleason, Margalef, Dominância de Berger Parker, Equitabilidade de Pielou e Simpson.

O estimador de riqueza Jackknife primeira ordem é uma função do número de espécies que ocorrem em uma amostra, denominadas de espécies únicas, assim quanto maior o número de espécies que ocorrem em somente uma amostra, entre todas amostras coletadas na comunidade estudada, maior será que estima o número total de espécies presente na comunidade.

$$E_D = S_{obs} + S_1 \left(\frac{f-1}{f} \right) \quad (1)$$

onde, SOBS é o número de espécies observadas, S_1 número de espécies que está presente em agrupamento e f número de amostras.

O índice de Shannon-Wiener quantifica a diversidade de uma área, mediante o número de espécies e abundância relativa, e é expressa pela seguinte fórmula:

$$H' = - \sum p_i \cdot \log_b p_i \quad (2)$$

onde, H' a diversidade, p_i é o número de frequência relativa da espécie i , $\log_b$ logaritmo na base b (2 ou 10). Nesse caso, quanto maior o valor de H' maior será a diversidade.

A diversidade de Simpson foi proposta em 1949 por Simpson, considera o número total de espécies (s), total de indivíduos (N) e a proporção total de ocorrência de cada espécie.

$$D_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n n_i \times (n_i - 1)}{N(n-1)} \quad (3)$$

onde: n_i é o número de indivíduos de cada espécie; N é o número de indivíduos.

O índice de Gleason é um índice que leva em consideração apenas somente o número de espécies (s) e o logaritmo (base 10 ou natural) do número total de indivíduos. Sendo estimado pela equação.

$$D_g = \frac{s}{\log_b N} \quad (4)$$

onde: s é o número de espécies amostradas; N é o número total de indivíduos em todas as espécies; $\log_b$ = logaritmo na base b (2 ou 10).

A diversidade de Margalef é considerado um índice simples de diversidade, pois leva em consideração apenas o número de espécies ($s-1$) e o logaritmo (na base 10 ou natural) do número total de indivíduos.

$$D_{\alpha} = \frac{s-1}{\log_b N} \quad (5)$$

onde: s é o número de espécies amostradas; N é o número total de indivíduos em todas as espécies; $\log_b$ = logaritmo na base b (2 ou 10)

Dominância de Berger-Parker é um índice, porém muito eficiente. Considera a maior proporção da espécie com maior número de indivíduos.

$$d = \frac{N_{max}}{N_t} \quad (6)$$

onde: N_{max} é o número de indivíduos da espécie mais abundante e N_t é o número total de indivíduos na amostra.

O índice de Pielou indica a uniformidade da fauna em cada área, ou seja, indica como os indivíduos estão distribuídos entre as diferentes espécies presentes na amostra, e é calculada pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (7)$$

onde, H' representa o índice de Shannon-Wiener, S número de grupos presente em cada área. Nesse caso, valores próximos a 0 indica que algum grupo mantém dominância e valores próximos de 1 indicam que a abundância relativa dos grupos se apresentam de forma semelhante.

A amostragem da produtividade foi realizada em 2015, correspondente a cana planta, e em 2016, correspondente a 1º soca da cultura. O método aplicado foi o proposto por GHELLER et al. (1999), que estima o peso total da parcela por meio da multiplicação do número de colmos da área amostrada pelo peso médio de cada colmo, determinado por meio da amostragem.

Em cada ponto amostral com área útil de 35 m², foram escolhidas três linhas de cana-de-açúcar de 10 metros de comprimento, e contados os números de colmos de cada linha para ser calculado o peso médio. Posteriormente, foram colhidos dez colmos ao acaso dentre as três linhas de cada ponto para a pesagem. A produtividade foi calculada da seguinte forma, como descrito por GHELLER et al. (1999):

Peso médio por colmo:

$$pmc = \frac{pf}{tcolmos} \quad (8)$$

sendo pf = peso do feixe de colmos; tcolmos = total de colmos contados nas três linhas.

Peso estimado no ponto amostral (pep):

$$pep = \sum_{i=1}^N pmc_i \times tcolmos_i \quad (9)$$

onde N é o número de feixes pesados em cada ponto amostral.

Produtividade agrícola:

A partir do peso médio estimado em cada ponto amostral se pode calcular a produtividade por hectare considerando a área do ponto amostral.

Os dados foram analisados pela estatística descritiva usando Software Surfer 11, onde foi calculado os valores de mínimo e máximo, média, desvio padrão coeficiente de variação (CV %), coeficientes de assimetria e curtose e teste de normalidade Kolmogorov Sminorv 1% (Kolmogorov e Sminorv, 1933). Para o coeficiente de variação foi usado a classificação de Warrick e Nielsen (1980) em: baixo (<12%), médio (12 < CV < 60 %) e alto (>60%).

Cálculos de coeficientes de correlação de Pearson foram efetuados em nível de 5 e 1% de significância utilizando-se o software STATISTICA 12.0 (STATSOFT, 2015). A classificação de SANTOS (2007) foi utilizada para determinar o valor da correlação de Pearson entre os pares de dados, sendo: $|r| = 1$: Muito forte; $0.8 \leq |r| < 1$: forte; $0.5 \leq |r| < 0.8$: moderado; $0.1 \leq |r| < 0.5$: fraco; $0 < |r| < 0.1$: muito fraco e $r = 0$: zero.

A variabilidade espacial dos dados foi verificada por meio de ferramentas geoestatísticas, usando semivariogramas e mapas de isolinhas, conforme VIEIRA (2000). A hipótese intrínseca da geoestatística foi considerada, uma vez que não há nenhuma exigência para a existência de variação finita, requer apenas a estacionariedade da média e estacionariedade da segunda ordem das diferenças $[(z(x)-z(x+h))]$, conforme JOURNAL & HUIJBREGTS (1978). O semivariograma, $\gamma(h)$, de uma variável distribuída espacialmente, $z(x_i)$, é calculado conforme equação abaixo:

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i - h)]^2 \quad (10)$$

onde: N(h) é o número de observações separadas por uma distância h.

Os dados que apresentaram variabilidade espacial foram ajustados a um modelo matemático geostatístico: gaussiano, exponencial ou esférico (VIEIRA et al. 2010). Os parâmetros de efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1) e alcance (a). O grau de dependência (GD) foi calculado de acordo com os intervalos propostos por CAMBARDELLA et al. (1994), em $GD < 25\%$ - forte dependência espacial; $25\% < GD < 75\%$ - dependência moderada; $GD > 75\%$ - fraca dependência espacial.

O programa SURFER (Golden Software Inc., 1999) foi utilizado para manipulação e visualização da distribuição espacial por meio da construção de mapas de isolinhas das variáveis que apresentaram variabilidade espacial em função da coordenada geográfica. Para efeito de comparação entre os atributos em estudo, quando detectada a presença de efeito pepita puro, foram construídos mapas de isolinhas por meio dos parâmetros de “default” do programa SURFER, que se baseia em um modelo de interpolação linear por krigagem (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

RESULTADOS

Foram coletados 792 espécimes no período chuvoso e 1190 espécimes no período seco, totalizando 1.982 indivíduos nos dois períodos. Os grupos mais abundantes no período chuvoso foram: Diplura (335 espécimes), Formicidae (132 espécimes), Sternorrhyncha (57 espécimes). No período seco predominou Formicidae (1.140 espécimes). Para o período chuvoso coletou-se 19 grupos taxonômicos, para o período seco houve uma diminuição, apenas 9 grupos foram amostrados (Tabela 2).

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros estatísticos para os dois períodos de coleta. Os valores de mínimo e máximo variaram de 0 a 55 indivíduos por amostra para o período chuvoso e de 0 a 156 indivíduos por amostra no período seco. Os coeficientes de variação (CV %) foram altos nos dois períodos, $CV = 156.66$ e $CV = 104.14$ para os períodos chuvoso e seco respectivamente. Os valores de assimetria e curtose foram próximos em ambos os períodos.

Tabela 2. Grupos taxonômicos na área amostrada no período seco e chuvoso.

Grupos Taxonômicos	Período chuvoso	Período seco
Acari	38	12
Araneae	9	4
Auchenorrhyncha	4	
Coleoptera	21	10
Diplura	335	4
Diptera	58	13
Entomobryomorpha	12	
Formicidae	132	1.140
Hymenoptera	8	
Isopoda		1
Isoptera	44	1
Larva de Coleoptera	6	
Orthoptera	6	5
Poduromorpha	33	
Scorpionida	5	
Sternorrhyncha	57	
Symphyleona	3	
Thysanoptera	4	
Thysanura	15	
Tricoptera	2	
Total	792	1.190

Tabela 3. Parâmetros estatísticos da fauna do solo em cultivo de cana-de-açúcar, Coelho Neto, Maranhão, Brasil.

	Soma	Mínimo	Máximo	Média	Variância	DP	CV	Assimetria	Curtose	D
Período chuvoso	792	0	55	7,61	131,45	11,46	150,66	2,596	7,068	0,253Ln
Período Seco	1190	0	156	28,50	880,90	29,68	104,14	2,344	7,604	0,169n

DP: Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; D: teste de normalidade Kolmogorov Smirnov à 1%. N: normal; Ln: Lognormal

O teste de normalidade de Kolmogorov Smirnov à 1 % de probabilidade obteve distribuição lognormal para o período chuvoso e distribuição normal para o período seco (Tabela 3).

Os parâmetros ecológicos estão descritos na Tabela 4. O índice de indivíduos/armadilha⁻¹ dia⁻¹ e desvio padrão para o período chuvoso foi de 1,087±1,637 e para o período seco foi de 4,265±4,243. Os valores de CV para os índices ecológicos foram baixos,

CV=10,33 e CV=9,80 para ambos os períodos (chuvoso e seco). A diversidade de Shannon ($H' = 0,84$), o índice de Pielou ($U=0,63$), e a riqueza total (19) foram maiores no período chuvoso.

Tabela 4. Parâmetros ecológicos da fauna do solo em cultivo de cana-de-açúcar, Coelho Neto, Maranhão, Brasil.

	Indivíduos armadilha ⁻¹ dia ⁻¹ ±desvio padrão	CV (%)	Diversidade de Shannon	Índice de Pielou	Riqueza média	Riqueza total
Período chuvoso	1,131±1,637	10,33	0,84	0,63	4,08	19
Período seco	1,700±4,243	9,80	0,19	0,18	2,03	9

Para os dois períodos avaliados, a diversidade dos grupos expressa pelo índice de Shannon foi baixa ($<1,99$), e o índice de Pielou variou de baixo (0,15-0,24) a moderado (0,25-0,49), de acordo com a classificação proposta por Fernando (1998).

A estatística descritiva para a altitude, produtividade de cana-de-açúcar, teor de matéria orgânica (MO) e para os índices de diversidade nos dois períodos está apresentada na Tabela 5. A média da produtividade foi de 81,80 Mg ha⁻¹ e a média de altitude de 71,182 m.

O teor médio de MO foi de 14,68 e 12,01 g dm⁻³ para o período chuvoso e seco, respectivamente. A média de indivíduos/armadilha⁻¹ dia⁻¹ e desvio padrão no período chuvoso foram de 1,087±1,638 e no período seco de 4,265±4,244.

De acordo com classificação de Warrick e Nielsen (1980), os valores de coeficiente de variação foram baixos para altitude (CV=3,67) e médio para produtividade (CV=32,41), para as demais variáveis no período chuvoso os valores de CVs foram altos.

Para o período seco apenas os índices de riqueza e dominância de Berger Parker obtiveram CVs médios, CV= 36,67 e CV= 25,70 respectivamente. Os demais índices, indivíduos/armadilha⁻¹/dia⁻¹ (CV=99,48), diversidade de Shannon (CV=121,63), Simpson (CV=114,57), Gleason (CV=69,87), Margalef (CV=105,82), equitabilidade de Pielou (CV=116,15), equitabilidade de Simpson (CV=103,01) obtiveram coeficiente de variação altos.

Os coeficientes de assimetria no período chuvoso variaram de -0,037 para diversidade de Simpson a 3.969 para produtividade. No período seco a variação foi de -0,657 para a altitude a 3.969 para produtividade. De acordo com o teste de normalidade de Kolmogorov à 1% de

probabilidade apenas a altitude e dominância de Berger Parker obtiveram normalidade no período chuvoso. No período seco a altitude, índice de indivíduos/armadilha⁻¹/dia⁻¹, riqueza, Shannon, Simpson, Gleason, Margalef, equitabilidade de Pielou e equitabilidade de Simpson obtiveram distribuição normal.

A matriz de correlação linear é apresentada na Tabela 6. Não houve correlação linear ($p < 0,01$) entre os índices de diversidade e a produtividade de cana-de-açúcar nos dois períodos avaliados.

No período chuvoso, as maiores correlações ($p < 0,01$) entre os atributos do estudo foram observadas para: riqueza x diversidade de Shannon ($r = 0,928$); diversidade de Shannon x diversidade de Simpson ($r = 0,908$); diversidade de Shannon x diversidade de Margalef ($r = 0,960$); diversidade de Shannon x equitabilidade de Pielou ($r = 0,902$); diversidade de Simpson x diversidade de Gleason ($r = 0,929$); diversidade de Simpson x diversidade de Margalef ($r = 0,935$); diversidade de Simpson x equitabilidade de Pielou ($r = 0,982$) e diversidade de Gleason x diversidade de Margalef ($r = 0,923$).

No período seco, as maiores correlações ($p < 0,01$) foram observadas entre os índices de diversidade de Shannon x diversidade de Margalef ($r = 0,908$) e diversidade de Shannon x equitabilidade de Simpson ($r = 0,956$).

Tabela 5. Parâmetros estatísticos dos índices ecológicos da fauna do solo em cultivo de cana-de-açúcar, Coelho Neto, Maranhão, Brasil.

Período chuvoso												
	Altitude (m)	Prod. Mg ha ⁻¹	MO (g dm ⁻³)	Indivíd/arm ⁻¹ dia ⁻¹	Riqueza	Diversidade Shannon-Wiener	Diversidade Simpson	Diversidade Gleason	Diversidade Margalef	Dominância Berger Parker	Equit. Pielou	Equit. Simpson
Soma	7118.206	8179.730	1406.400	108.714	242.000	25.757	40.242	271.344	175.727	55.222	47.167	46.901
Mínimo	65.556	40.653	3.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Máximo	74.977	205.714	91.90	7.857	10.000	0.838	1.000	7.686	6.918	1.000	1.000	1.000
Média	71.182	81.797	14.68	1.087	2.420	0.258	0.402	2.713	1.757	0.552	0.472	0.469
Variância	6.843	205.714	193.73	2.683	4.125	0.066	0.151	5.626	3.194	0.123	0.190	0.191
DP	2.616	26.512	13.92	1.638	2.031	0.257	0.389	2.372	1.787	0.351	0.436	0.437
CV (%)	3.675	32.412	94.80	150.66	83.92	99.67	96.60	87.41	101.70	63.58	92.50	93.26
Assimetria	-0.657	1.888	4.04	2.596	0.834	0.348	0.139	0.164	0.483	-0.171	-0.064	-0.037
Curtose	-0.793	4.854	18.135	7.068	0.671	-1.287	-1.692	-1.290	-0.863	-1.115	-1.884	-1.886
D*	0.157n	0.177Ln	0.288Ln	0.253Ln	0.198Ln	0.282Ln	0.289Ln	0.233Ln	0.277Ln	0.159n	0.30Ln	0.298Ln
Período seco												
	Altitude (m)	Prod. Mg ha ⁻¹	MO (g dm ⁻³)	Indivíd/Arm ⁻¹ dia ⁻¹	Riqueza	Diversidade Shannon-Wiener	Diversidade Simpson	Diversidade Gleason	Diversidade Margalef	Dominância Berger Parker	Equit. Pielou	Equit. Simpson
Soma	7118.206	8179.730	1201.100	179.143	94.000	3.754	8.666	71.938	31.907	38.953	10.271	13.156
Mínimo	65.556	40.653	6.55	0.143	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Máximo	74.977	205.714	20.35	22.286	4.000	0.439	1.000	6.644	3.322	1.000	1.000	1.000
Média	71.182	81.797	12.01	4.265	2.238	0.085	0.197	1.635	0.725	0.885	0.233	0.299
Variância	6.843	205.714	8.76	18.008	0.674	0.011	0.051	1.305	0.589	0.052	0.074	0.095
DP	2.616	26.512	2.96	4.244	0.821	0.104	0.226	1.142	0.767	0.228	0.271	0.308
CV (%)	3.675	32.412	24.65	99.48	36.67	121.63	114.57	69.87	105.82	25.70	116.15	103.01
Assimetria	-0.657	1.888	0.457	2.359	0.079	1.596	1.670	2.146	1.342	-3.070	1.337	1.023
Curtose	-0.793	4.854	0.075	7.623	-0.567	2.561	2.898	7.837	2.252	9.533	1.247	-0.181
D*	0.157n	0.177Ln	0.056n	0.166n	0.233n	0.206n	0.212n	0.161n	0.191n	0.315Ln	0.195n	0.187n

Prod: Produtividade; MO: Matéria orgânica; DP: Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; D: Teste de normalidade de Kolmogorov Smirnov à 1%. Ln: Lognormal; n: normal; Indivíduo/Arm./dia: Indivíduos/armadilha⁻¹/dia⁻¹; Equit. Pielou: Equitabilidade de Pielou; Equit. Simpson: Equitabilidade de Simpson.

Tabela 6. Matriz de correlação linear entre a produtividade, matéria orgânica, altitude e os índices de diversidade em cana-de-açúcar, Coelho Neto (Maranhão, Brasil).

	Altitude (m)	Prod Mg/ha	MO (g dm ⁻³)	Ind/Arm ⁻¹ / dia ⁻¹	Riqueza	Período chuvoso						
						Diversidade Shannon	Diversidade Simpson	Diversidade Gleason	Diversidade Margalef	Dominância B.Parker	Equi. Simpson	Equi. Pielou
Altitude	1,000											
Prod. Mg/ha	-0,241	1,000										
MO (g dm ⁻³)	-0,269	0,130	1,000									
Ind/Arm/dia	0,016	0,017	0,163	1,000								
Riqueza	0,008	0,079	0,161	0,606	1,000							
Diversidade Shannon	-0,035	0,081	-0,107	0,459	0,928	1,000						
Diversidade Simpson	-0,082	0,067	-0,084	0,290	0,748	0,908	1,000					
Diversidade Gleason	-0,066	0,035	-0,107	0,247	0,753	0,848	0,929	1,000				
Diversidade Margalef	-0,070	0,075	-0,074	0,346	0,888	0,960	0,935	0,923	1,000			
Dominância B.Parker	0,160	0,045	-0,154	0,085	0,006	-0,207	-0,204	-0,080	-0,203	1,000		
Equi. Simpson	0,141	-0,068	-0,239	0,374	0,176	0,039	-0,041	0,182	-0,019	0,442	1,000	
Equi. Pielou	-0,068	0,060	-0,120	0,336	0,744	0,902	0,982	0,893	0,899	-0,166	0,038	1,000
	Altitude (m)	Prod t/ha ⁻¹	MO (g dm ⁻³)	Ind/Arm ⁻¹ / dia ⁻¹	Riqueza	Período seco						
						Diversidade Shannon	Diversidade Simpson	Diversidade Gleason	Diversidade Margalef	Dominância B.Parker	Equi. Simpson	Equi. Pielou
Altitude	1,000											
Prod. Mg/ha	-0,241	1,000										
MO (g dm ⁻³)	0,018	-0,206	1,000									
Ind/Arm/dia	-0,038	0,047	0,029	1,000								
Riqueza	0,268	-0,115	0,326	0,273	1,000							
Diversidade Shannon	0,075	-0,052	0,029	-0,286	0,457	1,000						
Diversidade Simpson	0,192	-0,123	0,207	-0,388	0,278	0,671	1,000					
Diversidade Gleason	0,035	-0,123	0,118	-0,341	0,266	0,752	0,719	1,000				
Diversidade Margalef	0,059	-0,056	0,154	-0,115	0,581	0,908	0,619	0,833	1,000			
Dominância B.Parker	0,043	0,160	0,087	0,309	-0,261	-0,313	-0,221	-0,126	-0,248	1,000		
Equi. Simpson	0,146	-0,048	0,047	-0,308	0,368	0,956	0,698	0,759	0,869	-0,305	1,000	
Equi. Pielou	0,175	-0,103	0,056	-0,397	0,244	0,567	0,957	0,557	0,449	-0,131	0,600	1,000

MO: Matéria orgânica; Ind.arm.dia⁻¹: indivíduos/armadilha/dia; Dom. B. Parker: dominância de Berger Parker; Equi. Simpson: equitabilidade de Simpson; Equi. Pielou: equitabilidade de Pielou

A produtividade foi ajustada ao modelo exponencial, e a altitude e MO foram ajustadas ao modelo gaussiano (Tabela 7). No período chuvoso, o índice de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹, riqueza, diversidade de Shannon, diversidade de Margalef, equitabilidade de Pielou e equitabilidade de Simpson foram ajustados ao modelo esférico e os índices de diversidade de Simpson, diversidade de Gleason e dominância de Berger Parker obtiveram efeito pepita puro.

Tabela 7. Parâmetros geoestatísticos para os índices de diversidade do solo, Coelho Neto, Maranhão, Brasil.

Período chuvoso							
Atributos	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	R ²	GD	Classificação GD
Altitude (m)	Gaussiano	0,05	13000	120	0,999	0	Alto
Prod (Mg ha ⁻¹)	Exponencial	0,01	0,017	110	1,000	37,037	Média
Log MO (g dm ⁻³)	Gaussiano	0,00	0,073	78	0,999	0,000	Alta
Indivíduo arm ⁻¹ dia ⁻¹	Esférico	1,4	1,8	190	0,999	43,750	Média
Riqueza	Esférico	2,5	2,7	200	0,999	48,076	Média
Diversidade Shannon Wiener	Esférico	0,04	0,04	200	0,999	50,000	Média
Diversidade Simpson	Efeito pepita puro						
Diversidade Gleason	Efeito pepita puro						
Diversidade Margalef	Esférico	2	2,2	200	0,999	47,619	Média
Dominância Berger Parker	Efeito pepita puro						
Equitabilidade Pielou	Esférico	0,1	0,12	200	0,999	45,455	Média
Equitabilidade Simpson	Esférico	0,1	0,13	200	0,999	43,478	Média
Período seco							
Atributos	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	R ²	GD	Classificação GD
MO (g dm ⁻³)	Exponencial	3,5	6,5	130	0,999	35	Média
Indivíduo arm ⁻¹ dia ⁻¹	Gaussiano	6	20	120	0,999	23,076	Alta
Riqueza	Esférico	0,3	0,5	200	0,999	37,5	Média
Diversidade Shannon Wiener	Efeito pepita puro						
Diversidade Simpson	Esférico	0,02	0,04	150	0,993	33,333	Média
Diversidade Gleason	Esférico	0,004	0,002	130	0,999	66,666	Média
Diversidade Margalef	Esférico	0,6	1,02	170	0,999	37,037	Média
Dominância de B. Parker	Efeito pepita puro						
Equitabilidade Pielou	Esférico	0,036	0,04	150	0,999	47,368	Média
Equitabilidade Simpson	Esférico	0,06	0,06	150	0,999	50	Média

MO: Matéria orgânica; C₀: efeito pepita; C₁: Variância estrutural; a (m): alcance em m; R²: coeficiente de determinação; GD: Grau de dependência espacial.

No período seco, o índice de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ foi ajustado ao modelo gaussiano e os demais índices ao modelo esférico (Riqueza, diversidade de Simpson, Gleason,

Margalef, equitabilidade de Pielou e equitabilidade de Simpson). Para diversidade de Shannon e dominância de Berger Parker houve efeito pepita puro (Tabela 7 e Figura 3 e 4).

Os valores de alcance (a) foram maiores para riqueza, diversidade de Shannon, diversidade de Margalef, equitabilidade de Pielou e equitabilidade de Simpson ($a = 200$ m) no período chuvoso. No período seco apenas a riqueza obteve valor de alcance igual a 200 m. Os coeficientes de determinação foram todos $> 0,90$ representando bons ajuste dos semivariogramas. De acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994) o grau de dependência espacial foi alto apenas para o teor de MO no período chuvoso, para indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ no período seco e para a altitude da área. Para os demais índices em ambos os períodos a dependência espacial foi média.

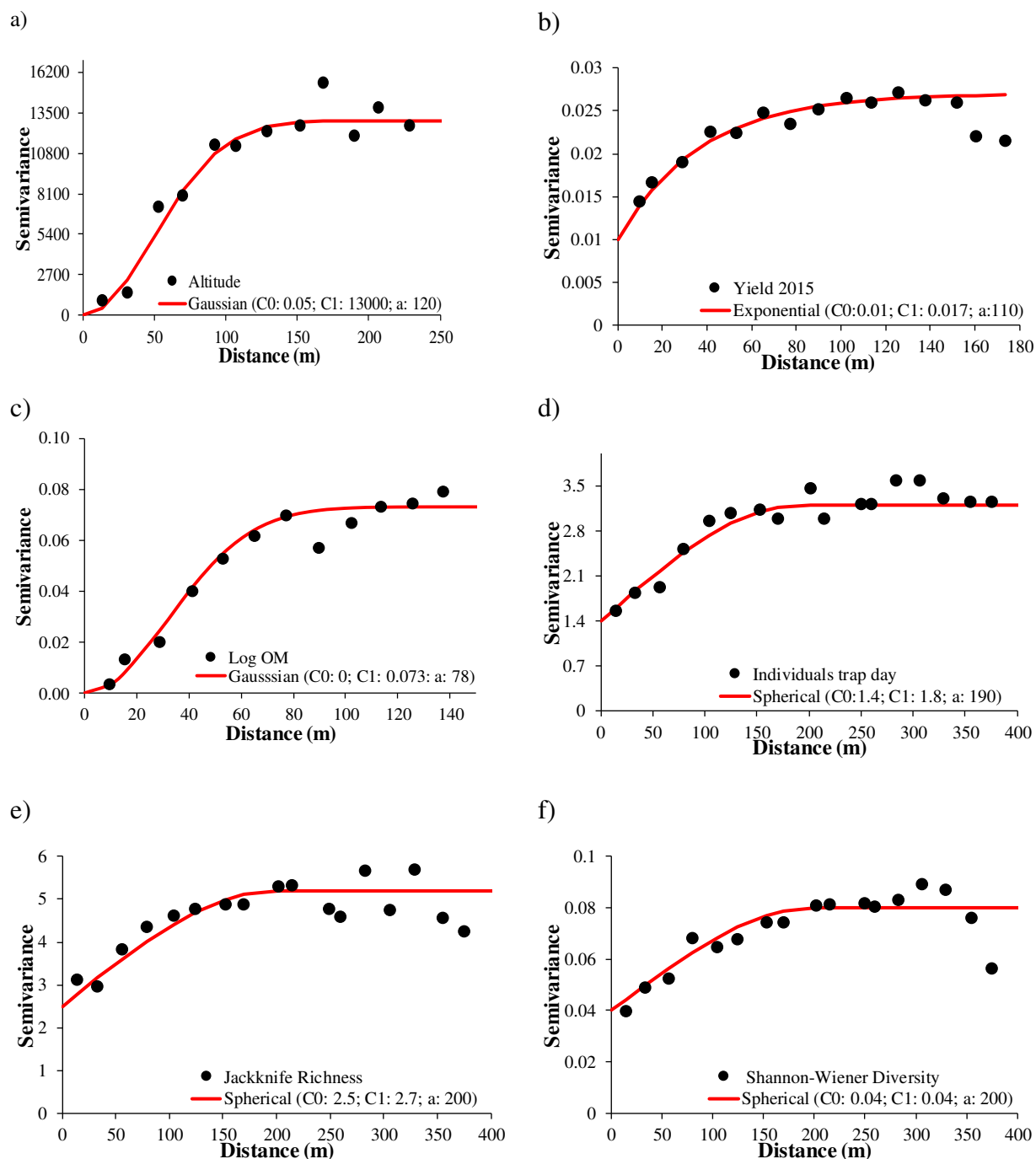


Figura 3. Semivariogramas ajustados para: a) altitude (m), b) produtividade (Mg ha⁻¹); c) matéria orgânica (g dm⁻³) e índices de diversidade da fauna do solo no período chuvoso em cultivo de cana-de-açúcar: d) Indivíduos armadilha⁻¹dia⁻¹; e) Riqueza; f) Diversidade de Shannon-Wiener.

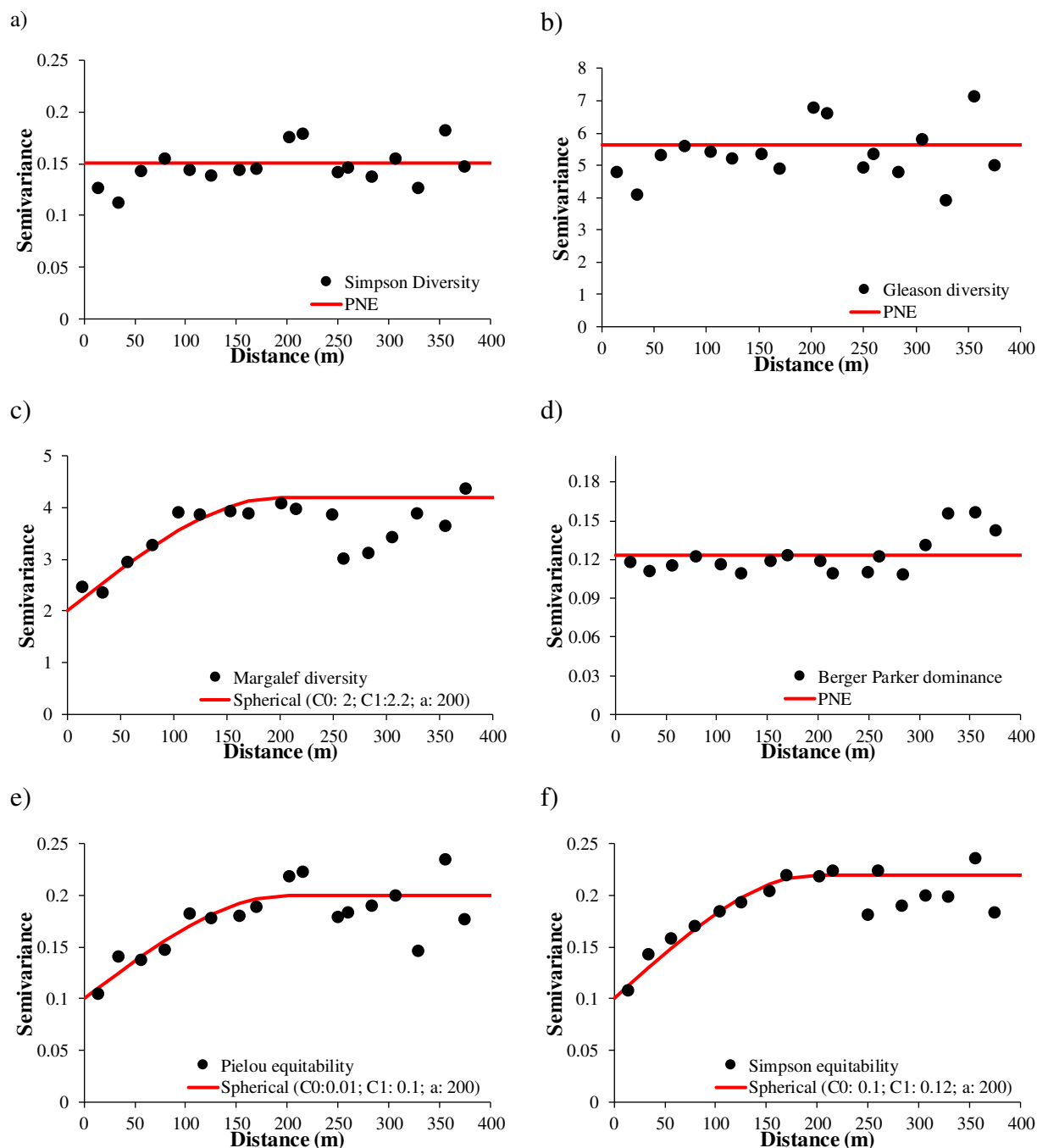


Figura 4. Semivariogramas ajustados para os índices de diversidade da fauna do solo no período chuvoso em cultivo de cana-de-açúcar: a) Diversidade de Simpson b) Diversidade de Gleason; c) Diversidade de Margalef; d) Dominância de Berger Parker; e) Equitabilidade de Pielou f) Equitabilidade de Simpson.

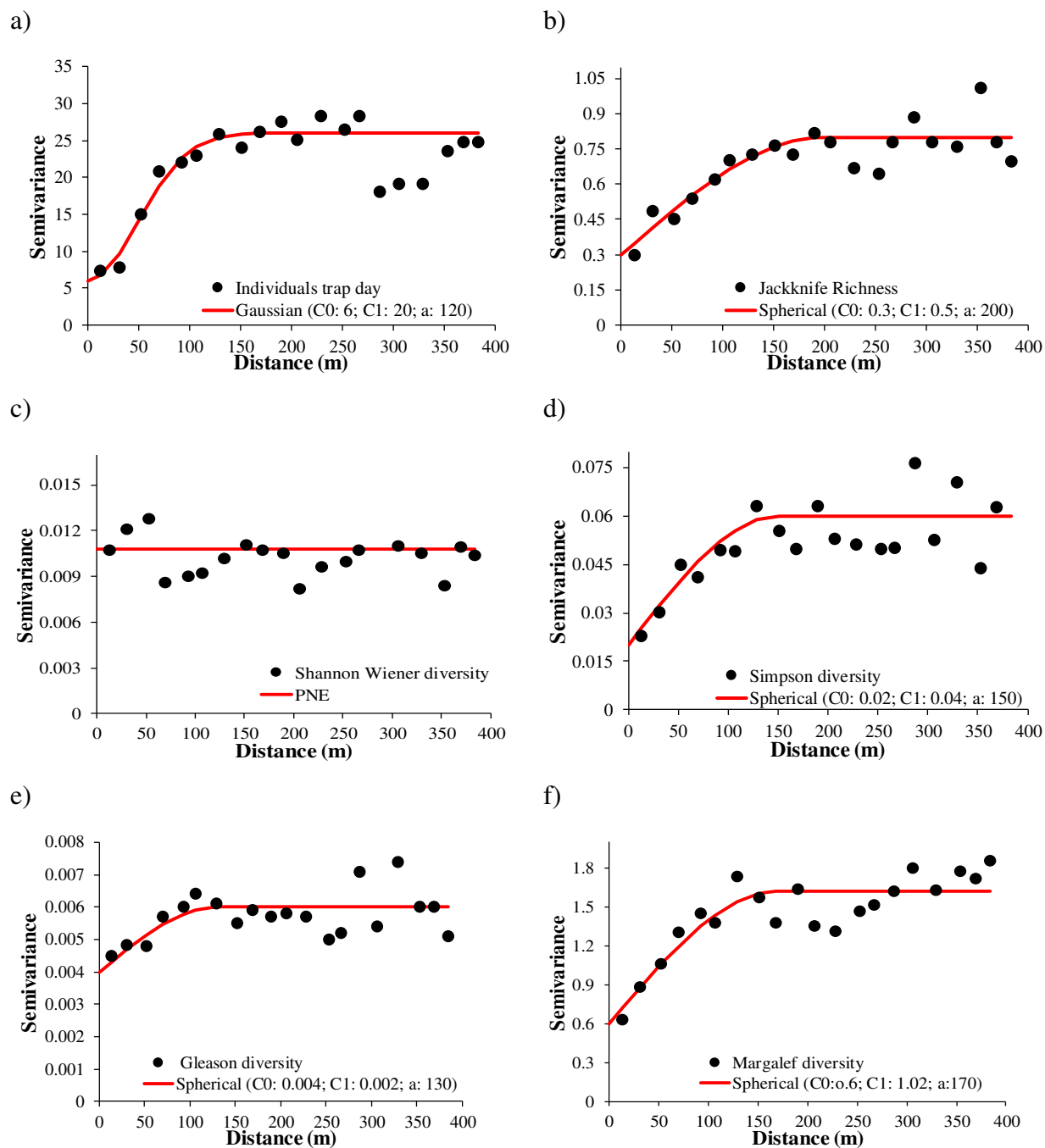


Figura 5. Semivariogramas ajustados para: os índices de diversidade da fauna do solo no período seco em cultivo de cana-de-açúcar: a) indivíduos armadilha⁻¹dia⁻¹; b) Riqueza; c) Diversidade de Shannon-Wiener; d) Diversidade de Simpson e) Diversidade de Gleason; f) Diversidade de Margalef.

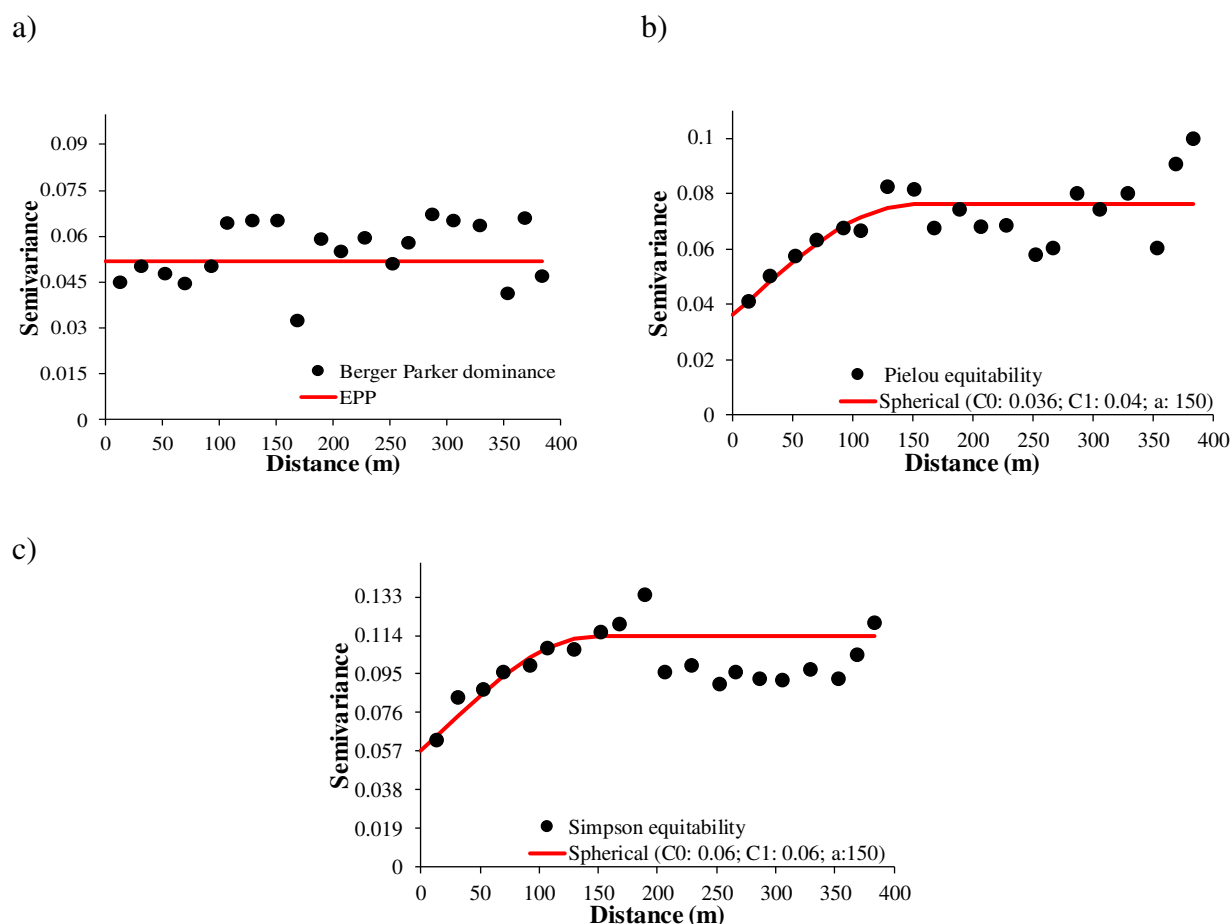


Figura 6. Semivariogramas ajustados para: os índices de diversidade da fauna do solo no período seco em cultivo de cana-de-açúcar: a) Dominância de Berger Parker; b) Equitabilidade de Pielou c) Equitabilidade de Simpson.

De acordo com o mapa de distribuição espacial da produtividade, os maiores valores foram concentrados na camada inferior da área de estudo (Figura 5).

Os mapas de variabilidade espacial para os atributos biológicos e MO no período chuvoso demonstram maior concentração de organismos na região central do mapa referente ao índice de indivíduos armadilha⁻¹dia⁻¹ (Figura 6). Os índices de diversidade de Shannon, Simpson e Gleason mantiveram padrão semelhante de distribuição. Também foi observado distribuição semelhante nos mapas dos índices de equitabilidade de Pielou e Simpson na área no período chuvoso (Figura 7).

A distribuição espacial dos índices no período seco está expressa na Figuras 8. Houve maior concentração de indivíduos/armadilha/dia na região central da área, padrão semelhante

ao período chuvoso. Para a diversidade de Shannon as maiores concentrações foram na região inferior e superior da área. Os índices de Gleason e Margalef mantiveram padrão semelhante de distribuição na área. Os índices de equitabilidades Pielou e Simpson também apresentaram padrão semelhante de distribuição com os maiores valores de concentrados na parte superior e inferior da área.

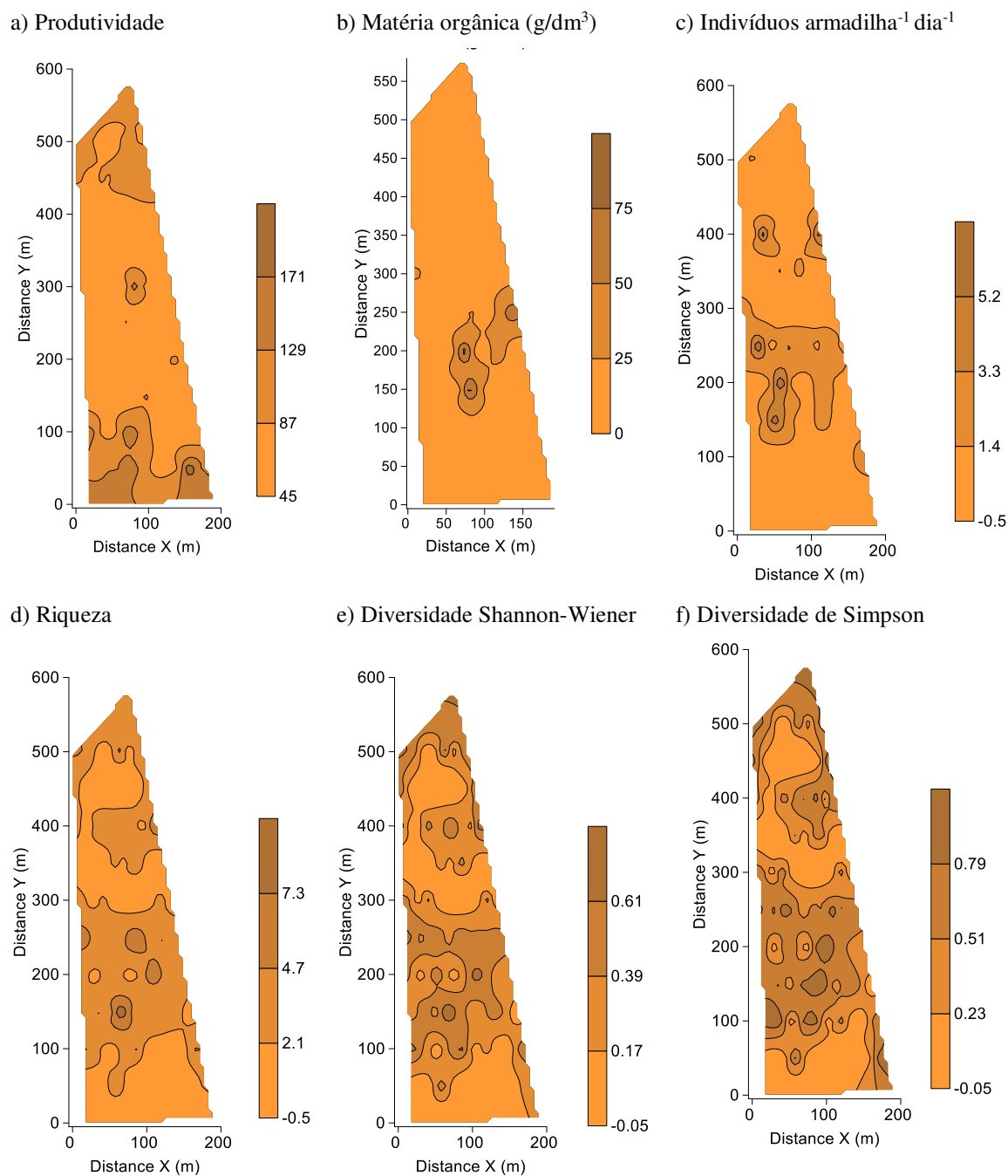


Figura 7. Mapas de distribuição espacial para: a) produtividade (Mg ha⁻¹); Matéria orgânica (g dm⁻³) e índices dos atributos biológicos para período chuvoso: c) indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹; d) Riqueza; e) Diversidade de Shannon-Wiener; f) Diversidade de Simpson

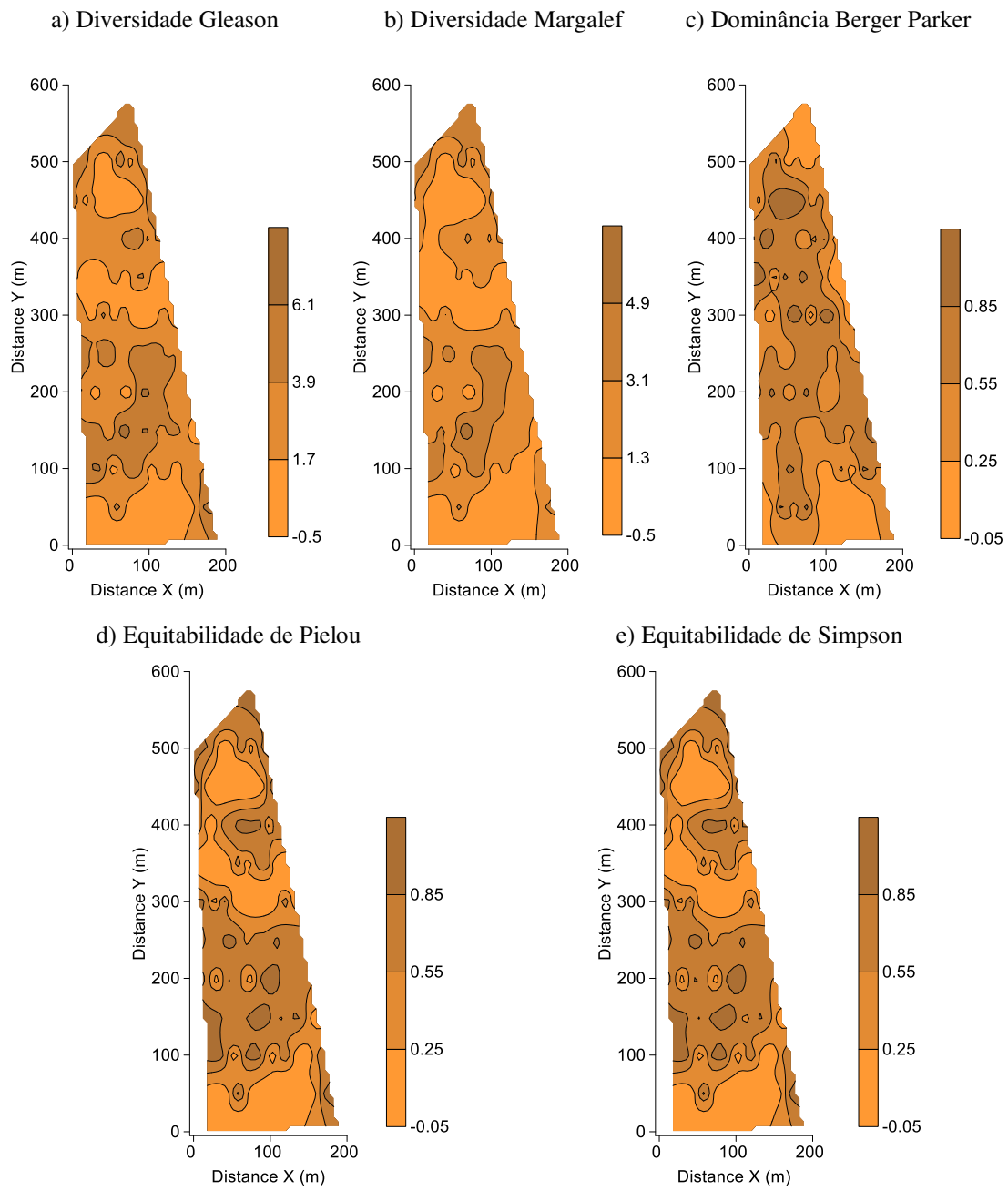


Figura 8. Mapas de distribuição espacial dos índices dos atributos biológicos para período chuvoso a) Diversidade Gleason; b) Diversidade Margalef; c) Dominância Berger Parker; d) Equitabilidade de Pielou; e) Equitabilidade de Simpson.

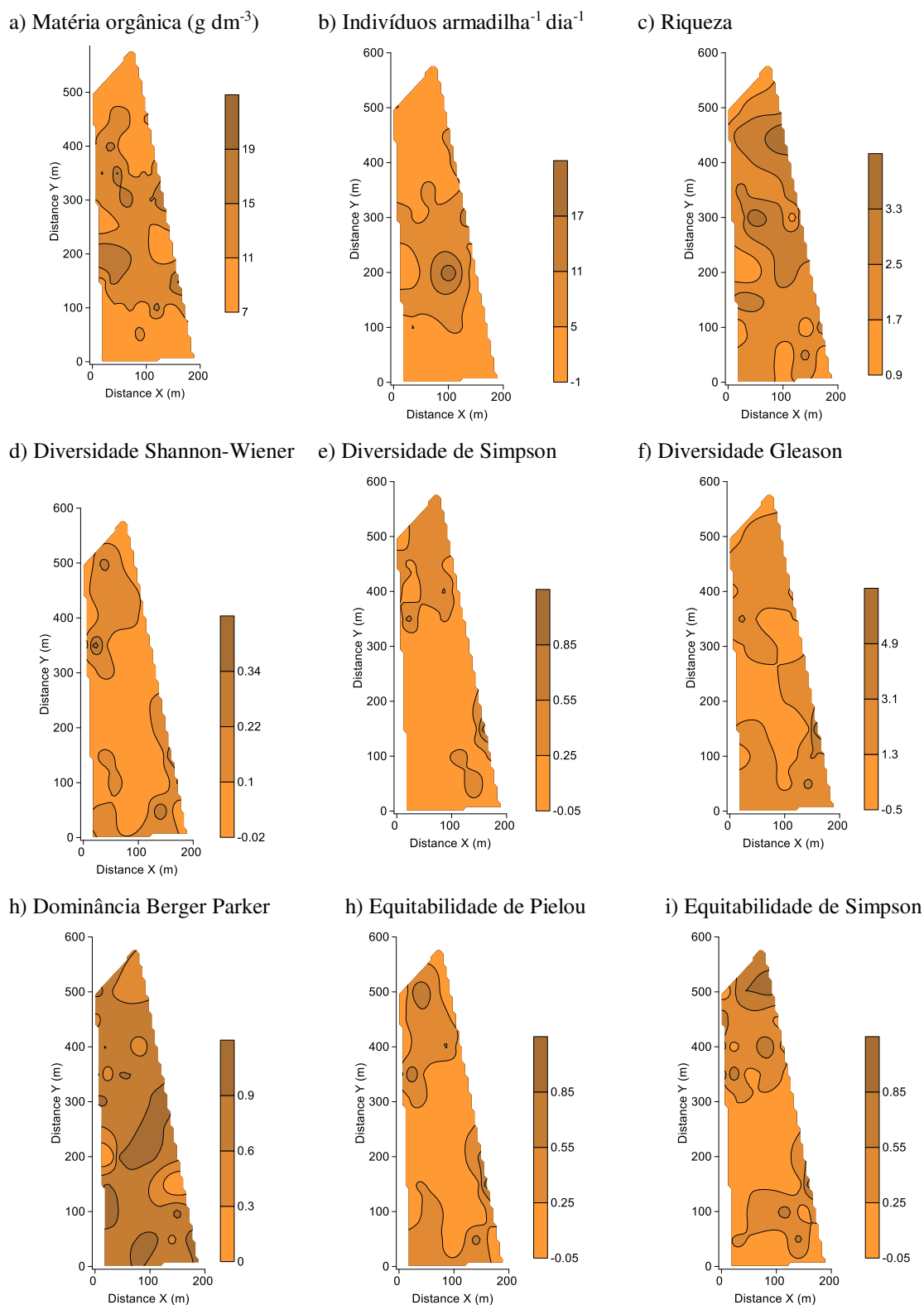


Figura 9. Mapas de distribuição espacial para a) matéria orgânica (g dm^{-3}) e índices dos atributos biológicos para período chuvoso: b) indivíduos armadilha $^{-1}$ dia $^{-1}$; c) Riqueza; d) Diversidade de Shannon-Wiener; e) Diversidade de Simpson; f) Diversidade de Gleason; g) Dominância Berger Parker; h) Equitabilidade de Pielou; i) Equitabilidade de Simpson.

DISCUSSÃO

A predominância de Formicidae nos dois períodos avaliados corrobora com os resultados de PASQUALIN et al. (2012) e PORTILHO et al. (2011) quando avaliaram a diversidade da fauna do solo em cana-de-açúcar. A alta abundância de formigas pode estar associada à sua marcante interação no ambiente por meio da herbivoria, predatismo, mutualismo e também na grande capacidade de localização do alimento mesmo distante de suas áreas usuais de forrageamento (HOFFMAN et al., 2009; SANABRIA et al., 2014). Além disso, as formigas e outros artrópodes afetam profundamente os fluxos de gases e água no solo, pela criação de canais e interferência na estrutura do solo, podendo assim modificar os microhábitats de outros organismos do solo, implicando na presença e na ausência de grupos taxonômicos (SIQUEIRA et al., 2014).

Formicidae, Coleoptera, Isoptera são grupos importantes para a biota do solo, atuam na dinâmica estrutural do solo, por meio da formação de estruturas biogênicas e galerias, abertura de poros e rompimento de horizontes (AYUKE et al., 2011; CARRILLO et al., 2011; BERNARD et al., 2012; CABRERA, 2012). Tais grupos foram observados nos dois períodos avaliados neste estudo, provavelmente por possuírem maior mobilidade e melhores condições de adaptação às condições climáticas (ABREU et al., 2014).

Embora o período chuvoso tenha apresentado menor quantidade de indivíduos (792), houve maior quantidade de grupos. A maior riqueza de indivíduos no período chuvoso pode estar relacionada a criação de ambientes mais favoráveis para o desenvolvimento e atividade biológica dos indivíduos da fauna invertebrada do solo neste período, além disso, no período seco com o aumento da temperatura e diminuição da precipitação, a disponibilidade de alimento diminui havendo predominância dos indivíduos mais adaptados, principalmente predadores (DOBLAS-MIRANDA et al., 2007; PEREZ-BOTE e ROMERO 2012).

Estes resultados corroboram com o proposto por diversos autores que afirmam que a fauna invertebrada do solo é extremamente sensível a fatores climáticos, o que é expresso na densidade e diversidade durante as estações do ano (WU et al., 2011; BARETTA et al., 2014; SANTORUFO et al., 2014).

Os altos valores de CV em dados biológicos é explicada por processos intrínsecos dos grupos, como reprodução e disponibilidade de recursos alimentares (GHOLAMI et al. 2016), além disso vale mencionar que é característico de variáveis do solo apresentar alta variação e elevados desvio padrão. Os coeficientes de assimetria e curtose são indicativos de distribuição

normal do conjunto de dados. Assim, valores de assimetria e curtose variando de 0 a 3 indicam distribuição normal (CARVALHO et al., 2002).

Os resultados de diversidade da fauna foram inferiores aos valores registrados em outros trabalhos realizados em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. No trabalho de ABREU et al (2014) os autores reportaram valores entre 1,05 a 3,11 para os índices de Shannon e valores de 0,34 a 0,78 para o índice de Pielou. SIQUEIRA et al., (2016) reportaram valores entre 1,641 a 2,744 e 0.635 a 0,915 para os índices de Shannon e Pielou, respectivamente.

Nesses estudos, o método de colheita da cana-de-açúcar era realizado sem queima da palhada, o que pode ter promovido melhores condições para a manutenção da diversidade do solo, como umidade, temperatura e matéria orgânica, que promovem a melhoria do ambiente e induzem maior ocorrência de organismos pela oferta de recursos alimentares e/ou habitats (BENAZZI et al., 2013).

A diversidade e a riqueza da fauna do solo foram influenciadas pela sazonalidade, com melhores valores observados para o período chuvoso.

A menor diversidade de Shannon no período seco resultou da alta predominância do grupo formicidae, que além de ser um grupo de insetos sociais, o que pode ter influenciado em sua maior densidade nas amostras, são também colonizadores de ambientes que oferecem poucos recursos para o desenvolvimento da vida, como campos agrícolas, pastagens e desertos (DIAS et al., 2006; CHELI et al. 2010; PEREZ-BOTE e ROMERO 2012).

O índice de equitabilidade de Pielou indica que no período chuvoso os organismos foram mais distribuídos uniformemente nos grupos do que no período seco.

A alta correlação da riqueza com a diversidade de Shannon deve-se aos parâmetros utilizados para obtenção desses índices, uma vez que tanto para a riqueza quanto para a diversidade utiliza-se o número de espécies presente na amostra. De igual modo, a alta correlação de Shannon com equitabilidade de Pielou, diversidade de Simpson e equitabilidade de Pielou. No caso da correlação da diversidade de Gleason e diversidade de Margalef foi obtida por levar em consideração o logaritmo do número total de indivíduos na base natural ou 10 (RODRIGUES, 2015).

Os resultados das análises geoestatísticas indicaram que os índices de diversidade da macrofauna do solo em cultura de cana-de-açúcar apresentam semelhança com relação a distribuição espacial de acordo com o período sazonal.

O modelo esférico foi o mais ajustado para os índices de diversidade nos dois períodos avaliados. Diversos estudos afirmam que o modelo esférico é o que mais se ajusta a atributos

de solo e planta (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 2000; SIQUEIRA et al., 2008; SIQUEIRA et al., 2009; CHIBA et al., 2010; SILVA et al., 2014; SIQUEIRA et al., 2015; GHOLAMI et al., 2017). Já no trabalho de Gholami et al (2017), em estudo realizado em sistema florestal em Zagro Irã, os parâmetros da macrofauna do solo foram ajustados ao modelo exponencial com valores de alcance de até 3110 m, as largas escalas nesse estudo refletiram a influência da cobertura do solo e heterogeneidade da área.

Para LEMOS et al. (2008) e ZONTA et al. (2014) o valor de alcance é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística para caracterizar a distância em que uma variável possui continuidade espacial. Este parâmetro representa a distância máxima dentro da qual os pontos da amostra são intercorrelados. Os maiores valores de alcance foram observados para o período chuvoso neste estudo. A distribuição espacial dos parâmetros biológicos do solo pode ser influenciada tanto por fatores abióticos como o clima, propriedades físicas e químicas do solo ou disponibilidade de recursos e por fatores bióticos como habilidades de competição ou dispersão inter-específicas e intra-específicas (AUBERT et al., 2003; SEREDA et al., 2012).

O efeito pepita puro foi determinado para alguns índices e indica que as variáveis em questão são espacialmente independentes, que apresentam distribuição casual ou que o espaçamento amostral não foi suficiente para detectar variabilidade espacial (MACHADO et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2015; SIQUEIRA et al., 2016).

CONCLUSÕES

A abundância da fauna do solo é influenciada por fatores como sazonalidades. A maior diversidade no período chuvoso reflete as melhores condições climáticas para a presença de alguns grupos. A predominância da família Formicidae no período seco é explicada melhor adaptação do grupo as condições adversas de temperatura e umidade, além de serem organismos sociais e indicadores de qualidade ambiental. Os mapas de variabilidade evidenciam semelhanças quanto equitabilidade dos organismos na área, destacando concentrações de indivíduos na parte central de ambos os períodos.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, A.M., 2001. **Manual para macrofauna do solo**. Embrapa Agrobiologia. 21p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 130).
- AQUINO, R.E., CAMPOS, M.C.C., MARQUES-JÚNIOR, J., OLIVEIRA, I.A., TEIXEIRA, D.B., CUNHA, J.M., 2015 Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**. 39:21-30.
- AYUKE, F. O.; BRUSSAARDA, L.; VANLAUWE, B.; SIX, J.; LELEI, D. K.; KIBUNJA, C. N.; PULLE, M. M. 2011. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. **Applied Soil Ecology**, v.48, p.53-62.
- AZUL, A.M., MENDES, S.M., SOUSA, J.P., FREITAS, H., 2011. Fungal fruitbodies and soil macrofauna as indicators of land use practices on soil biodiversity in Montado. **Agroforest Syst.** 82:121–138
- BACCARO, F. B., SOUZA, J.L.P., FRANKLIN, E., LANDEIRO, V.L., MAGNUSSO, W., 2012. Limited effects of dominant ants on assemblage species richness in three Amazon forests. **Ecological Entomology**, 37: 1–12.
- BANGITA, B., RAO, B.K.R., 2012. Impacts of compaction relief treatments on soil physical properties and performance of sugarcane (*Saccharum* spp.) under zonal tillage system. **Geoderma** 189-190, 351–356. doi:10.1016/j.geoderma.2012.07.002
- BARDGETT, R.D., PUTTEN, W.H., 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**. 515: 505-511.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MAFRA, A. L.; WILDNER, L. P.; MIQUELLUTI, D. J. 2003. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **R. Ci. Agrovet.**, 2:97-106.
- BATISTA, I., CORREIA, M. E. F., PEREIRA, M. G., BIELUCZYK, W., SCHIAVO, J. A., ROUWS, J. R. C. 2014. Oxidizable fractions of total organic carbon and soil macrofauna in a croplivestock integration System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:797-809.
- BEDANO, J.C., DOMÍNGUEZ, A., AROLFO, R., WALL, L.G., 2016. Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. **Soil Till. Resear.** 158: 100-109.

- BERNARD, L., CHAPUIS-LAEDY, L., RAZAFIMBELO, T., 2012. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. **ISME J.** 6, 222–231.
- BLOUIN, M., HODSON, M.E., DELGADO, E.A., BAKER, G., BRUSSAARD, L., BUTT, K.R., 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. **Eur. J. Soil. Sci.** 64, 161-182.
- BONNIN, J.J., MIRÁS-AVALOS, J.M., LANÇAS, K.P., PAZ GONZÁLEZ, A., VIEIRA, S.R., 2010. Spatial variability of soil penetration resistance influenced by season of sampling. **Bragantia.** 69, 163-173.
- BOTTEGA, E.L., QUIROZ, D.M., PINTO, F.A.C., SOUZA, C.M.A., 2013. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Rev. Ciênc. Agron.** 44:1-9.
- BOTTINELLI, N., JOUQUET, P., CAPOWIEZ, Y., PODWOJEWSKI, P., GRIMALDI, M., PENG, X., 2015. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil & Tillage Research** 146, 118–124.
- CAMBARDELLA, C.A., MOOMAN, T.B., NOVAK, J.M., PARKIN, T.B., KARLEM, D.L., TURVO, R.F., KONOPA, A.E., 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal.** 58:1501-1511.
- CARVALHO, JRP., SILVEIRA, PM., VIEIRA, SR., 2002. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de característica químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesq. Agropec. Bras.** 37:1151-1159.
- CARVALHO, M.P., TAKEDA, E.Y., FREDDI, O.S., 2003. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória Brasil (SP). **R. Bras. Ci. Solo.** 27:695-703.
- CHIBA, M.K., FILHO, O.G., VIEIRA, S.R., 2010. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. **Acta Sci Agron.** 32, 735-742.
- CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar.** Brasília: Conab, 2017.
- CORÁ, J.E., ARAÚJO, A.V., PEREIRA, G.T., BERALDO, J.M.G., 2004. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo.** 28, 1013-1021.

- DAFONTE DAFONTE, J., GUITIÁN, M.U., PAZ-FERREIRO, J., SIQUEIRA, G.M., VIDAL VÁZQUEZ, E., 2010. Mapping of soil micronutrients in an European Atlantic agricultural landscape using ordinary kriging and indicator approach. **Bragantia**. 69, 175-186.
- DALCHIAVON, F.C., CARVALHO, M. P., FREDDI, O. S., ANDREOTTI, M., MONTANARI, R., 2011. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas. 70: 908-916.
- DE OLIVEIRA, F.S., VARAJÃO, A.F.D.C., VARAJÃO, C.A.C., SCHAEFER, C.E.G.R., BOULANGÉ, B., 2014. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. **Geoderma**. 226, 250- 259.
- DE VRIES, F.T., THÉBAULT, E., LIIRI, M., BIRKHOFFER, K., TSIAFOULI, M.A., BJØRNLUND, L., JØRGENSEN, H.B., BRADY, M.V., CHRISTENSEN, S., DE RUITER, P., HERTEFELDT, T., FROUZ, J., HEDLUND, K., HEMERIK, L., HOLK, W.H.G., HOTES, S., MORTIMER, S.N., SETÄLÄ, H., SGARDELIS, S.P., UTESENY, K., VAN DER PUTTEN, W.H., WOLTERS, V., BARDGETT, R.D., 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.** 110, 14296–14301.
- DOBLAS-MIRANDA E, SÁNCHEZ-PIÑERO F, GONZÁLEZ-MEGÍAS A, 2007. Soil macroinvertebrate fauna of a Mediterranean arid system: Composition and temporal changes in the assemblage. **Soil Biol Biochem** 39: 1916-1925.
- FILHO, G. R., PASSOS CARVALHO, M., MONTANARI, R., SILVA, J. M., SIQUEIRA, G. M., ZAMBIANCO, E. C. 2011. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia**. 70, 439-446.
- FRANCO, A.L.C., BARTZ, M.L.C., CHERUBIN, M.R., BARETTA, D., CERRI, C.E.P., FEIGL, B.J., WALL, D.H., DAVIES, C.A., CERRI, C.C., 2016. Loss of soil (macro)fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of the Total Environment**. 563: 160-168.
- GHOLAMI, S., HOSSEINI, S.M., MOHAMMADI, J., MAHINI, A.S., 2016. Assessment of vegetation density and soil macrofauna relationship in riparian forest of Karkhe River for determination of rivers buffer zone. Iran. **J. Appl. Ecol**. 7: 1-13.

- GHOLAMI, S., SHEIKHMOHAMADI, B., SAYAD, E., 2017. Spatial relationship between soil macrofauna biodiversity and trees in Zagros forests, Iran. **Catena**. 159, 1-8.
- GREGO, C. R., VIEIRA, S. R., XAVIER, M. A. 2010. Spatial variability of some biometric attributes of sugarcane plants (Variety iacsp93-3046) and its relation to physical and chemical soil attributes. **Bragantia**, 69, 107-119.
- GUEDES FILHO, O., VIEIRA, S.R., CHIBA, M.K., GREGO, C.R., 2010. Geostatistical analysis of crop yield maps in a long term no tillage system. **Bragantia**. 69, 9-18.
- GUEDES FILHO, O., VIEIRA, S.R., CHIBA, M.K., NAGUMO, C.H., DECHEN, S.C.F., 2010. Spatial and temporal variability of crop yield and some Rhodic Hapludox properties under no tillage. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:1-14.
- ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, R. M., 1989. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 561p.
- LEMOES FILHO, L.C.A., OLIVEIRA, E.L., FARIA, M.A., ANDRADE, L.A.B., 2008. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**. 39, 193-202.
- MAGURRAN, A.E., 1988. **Ecological diversity and its measurement**. New Jersey: Princeton University Press.
- MOÇO, M.K.S., GAMA-RODRIGUES, E.F., GAMA-RODRIGUES, A.C., MACHADO, R.C.R., BALIGAR, V.C., 2010. Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. **Applied Soil Ecology** 46, 347–354.
- MONTANARI, R., PANACHUKI, E., LOVERA, L.H., CORREA, A.R., OLIVEIRA, I.S., QUEIROZ, H.A., TOMAZ, P.K., 2015. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **R. Bras. Ci. Solo**. 39:385-396.
- MONTANARI, R., PASSOS E CARVALHOS, M., ANDREOTTI, M., DALCHIAVON, F.C., LOVERA, L.H., HONORATO, M.A.O., 2010. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**. 2010; 34:1811-1822.
- MORALES, L.A., PAZ-FERREIRO, J., VIEIRA, S.R., VIDAL VÁZQUEZ, E., 2010. Spatial and temporal variability of EH and pH over a rice field as related to lime addition. **Bragantia**. 69, 67-76.

- MORALES, LA., VIDAL VÁZQUEZ, E., PAZ-FERREIRO, J., 2014. Spatial Distribution and Temporal Variability of Ammonium-Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in a Rice Field in Corrientes, Argentina. **The Sci. World J.** 1-13.
- NEVES, D.A., LEMOS, F., PAZ GONZÁLEZ, A., VIEIRA, S.R., SIQUEIRA, G.M., Using geostatistics for assessing biodiversity of forest reserve áreas. **Bragantia**, 69. 131-140.
- PAULI, N., OBERTH, T., BARRIOS, E., CONACHER, A.J., 2010. Fine-scale spatial and temporal variation in earthworm surface casting activity in agroforestry fields. **Pedobiologia** 53: 127–139
- RODRIGUES, W.C., DivEs - **Diversidade de Espécies** v3.0 - Guia do Usuário. Entomologistas do Brasil. 33p. 2015.
- ROUSSEAU, G.X., SILVA, P.R.S., CELENTANO, D., CARVALHO, C.J.R., 2014. Macrofauna do solo em uma cronosequência de capoeiras, florestas e pastos no Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental. **Acta amazônica**. 44, 499-512.
- RUSSENEs, A.L., KORSÆTH, A., BAKKEN, L.R., DORSCH., 2016. Spatial variation in soil pH controls off-season N₂O emission in an agricultural soil. **Soil Biology & Biochemistry** 99: 36-46.
- SANTORUFO, L., VAN GESTEL, C. A M., MAISTO, G., 2014. Sampling season affects conclusions on soil arthropod community structure responses to metal pollution in Mediterranean urban soils. **Geoderma** 226-227.
- SILVA JUNIOR, C. A., CARVALHO, L. A., CENTURION, J.F., OLIVEIRA, E.C. A., 2013. Comportamento da cana-de-açúcar em duas safras e atributos físicos do solo sob diferentes tipos de preparo. **Biosci. J.** 29, 1489–1500.
- SILVA, J., ASSIS JUNIOR, R.N., MATIAS, S.S.R., TAVARES, R.C., ANDRANDE, F.R., CAMACHO-TAMAYO, J.H., 2014. Using geostatistics to evaluate the physical attributes of a soil cultivated with sugarcane. **Rev. Cienc. Agrar.** 2: 186-193.
- SILVA, L. L.G. G., RESENDE, A. S., DIAS, P.F., CORREIA, M. E. F., SCORIZA, R. N., 2015. Soil macrofauna in wooded pasture with legume trees. **Ciência Rural**. 45: 1191-1197.
- SILVA, R. F., CORASSA, G. M., BERTOLLO, G. M., SANTI, A. LUIS., STEFFENS, R. B., 2013. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 130-137.

- SIQUEIRA, G.M., DAFONTE DAFONTE, J., PAZ GONZÁLEZ, A., ARMESTO, M.V., FRANÇA E SILVA, E.F., COSTA, M.K.L., SILVA, R.A., 2016. Measurement of apparent electrical conductivity of soil and the spatial variability of soil chemical properties by electromagnetic induction. **African Journal of Agricultural Research**. 39, 3751-3762.
- SIQUEIRA, G.M., DAFONTE DAFONTE, J., VALCÁRCEL, A.M., 2015. Correlación espacial entre malas hierbas en una pradera y su relación con la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEA). **Planta Daninha**. 33:631-641.
- SIQUEIRA, G.M., FRANÇA E SILVA, E.F., DAFONTE DAFONTE, J., 2015. Distribuição espacial da condutividade elétrica do solo medida por indução eletromagnética e da produtividade de cana-de-açúcar. **Bragantia**. 74, 215-223.
- SIQUEIRA, G.M., SILVA, E.F.F., PAZ-FERREIRO, J., 2014. Land Use Intensification effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State, Brazil, **The Sci. World J.** p. 7.
- SIQUEIRA, G.M., SILVA, J.S., BEZERRA, J.M., DAFONTE DAFONTE, J., MELO, R.F., 2015. Estacionariedade do conteúdo de água de um Espodossolo Humilúvico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 19, 439-448.
- SIQUEIRA, G.M., SILVA, R.A., AGUIAR, A.C.F., COSTA, M.K.L., FRANÇA E SILVA, E.F., 2016. Spatial variability of weeds in an Oxisol under no-tillage system. **Afr. J. Agric. Res.** 29, 2569- 2576.
- SIQUEIRA, G.M., SILVA, R.A., AGUIAR, A.C.F., COSTA, M.K.L., FRANÇA E SILVA, E.F., 2016. Spatial variability of weeds in an Oxisol under no-tillage system. **African Journal of Agricultural Research**. 29, 2569-2576.
- SIQUEIRA, G.M., VIEIRA, S.R., FALCI DECHEN, S.C., 2009. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um latossolo vermelho eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. **Bragantia**. 68, 751-759.
- TAVARES, U.E., ROLIM, M.M., OLIVEIRA, V.S., PEDROSA, E.M., SIQUIRA, G.M., MAGALHÃES, A.G., 2015. Spatial dependence of physical attributes and mechanical properties of Ultisol in a sugarcane field. **The Sci. World J.** 1-11.
- VIEIRA, S.R., 2000. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1, 1-54.

- VIEIRA, S.R., 2000. **Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo**. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Soc. Bras. Ci. Solo. 1-54.
- WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 350p. Biology. 37, 221–227.
- WU, T., AYRES, E., BARDGETT, R.D., WALL, D.H., GAREY, J.R., 2011. Molecular study of worldwide distribution and diversity of soil animals. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 108, 17720–17725. doi:10.1073/pnas.1103824108.
- ZANZINI, A.C.S., 2007. **Descritores de Riqueza e Diversidade em Espécies em Estudos Ambientais** / Antônio Carlos da Silva Zanzini. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 43p.: il.– Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Avaliação da Flora e Fauna em Estudos Ambientais.
- ZONTA, J.H., BRANDÃO, Z.N., MEDEIROS, J.C., SANA, R.S., SOFIATTI, V., 2014. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 18, 595-602.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentamos a seguir as principais conclusões deste trabalho:

- DIVERSIDADE SAZONAL DA FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEIOS NO TRÓPICO ÚMIDO

- O sistema de manejo irrigado e grande percentual de cobertura do solo na área cultivada com capim elefante e cultivo em aleias proporcionou a incidência de índices de biodiversidade equivalentes aos de vegetação nativa e superiores aos índices dos demais tratamentos;
- Nas áreas de estudo foi identificada uma determinada estrutura de cadeia trófica, pela predominância de formigas como predadoras de ácaros e dipluras;
- O cultivo em aleias apesar de apresentar bons índices de diversidade possui grande variação entre o número de indivíduos capturados;
- Os índices de diversidade da fauna do solo permitiram descrever a influência dos diferentes usos e coberturas do solo nos referidos tratamentos;
- O uso de fatorial permite associar os grupos da fauna do solo a atributos físicos e químicos e relações ecológicas mantidas pela fauna edáfica.

- ARTIGO: VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)

- A abundância da fauna do solo é influenciada por fatores como sazonalidades.
- A maior diversidade no período chuvoso reflete as melhores condições climáticas para a presença de alguns grupos;
- A predominância da família Formicidae no período seco é explicada melhor adaptação do grupo as condições adversas de temperatura e umidade, além de serem organismos sociais e indicadores de qualidade ambiental;
- Os mapas de variabilidade evidenciam semelhanças quanto equitabilidade dos organismos na área, destacando concentrações de indivíduos na parte central de ambos os períodos.

ANEXO

- Capítulo de livro publicado conforme requisitos para defesa de tese:

CÂNDIDO, C.S., SIQUEIRA, G.M., SILVA, R.A., COSTA, M.K.L., BUSS, R.N.
Recuperação de áreas degradadas e qualidade do solo. In: **Geotecnologias, agricultura de precisão e manejo dos recursos naturais**. Eds. SIQUEIRA, G.M., SILVA, R.A., COSTA, M.K.L. EDUFMA: São Luis, 2016, p.211-217.

GEOTECNOLOGIAS, AGRICULTURA DE PRECISÃO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS



**Dr. Glécio Machado Siqueira
Raimunda Alves Silva
Mayanna Karlla Lima Costa
(Orgs.)**

**Glécio Machado Siqueira
Raimunda Alves Silva
Mayanna Karlla Lima Costa
(Orgs.)**

GEOTECNOLOGIAS, AGRICULTURA DE PRECISÃO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS

São Luís



2016

Copyright © 2016 by EDUFMA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Profa. Dra. Nair Portela Silva Coutinho
Reitora

Prof. Dr. Fernando Carvalho Silva
Vice-Reitor

EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Prof. Dr. Sanatiel de Jesus Pereira
Diretor

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Jardel Oliveira Santos
Profa. Dra. Michele Goulart Massuchin
Prof. Dr. Jadir Machado Lessa
Profa. Dra. Francisca das Chagas Silva Lima
Bibliotecária Tatiana Cotrim Serra Freire
Profa. Dra. Maria Mary Ferreira
Profa. Dra. Raquel Gomes Noronha
Prof. Dr. Ítalo Domingos Santirocchi
Prof. Me. Cristiano Leonardo de Alan Kardec Capovilla Luz

Revisão

Glécio Machado Siqueira, Raimunda Alves Silva e Mayanna Karlla Lima Costa

Projeto Gráfico

Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira

ISBN: 978-85-7862-573-3

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Geotecnologias, agricultura de precisão e manejo dos recursos naturais [livro eletrônico] / Glécio Machado Siqueira, Raimunda Alves Silva, Mayanna Karlla Lima Costa. — São Luís: EDUFMA, 2016.

236 p.; ePUB

ISBN 978-85-7862-573-3

1. Geotecnologias. 2. Agricultura de precisão. 3. Recursos naturais - Manejo. 4. Solo. 5. Meio ambiente. I. Siqueira, Glécio Machado. II. Silva, Raimunda Alves da. III. Costa, Mayanna Karlla Lima.

CDD 551.600

CDU 551:6

Prefácio

A ocupação dos espaços naturais pelo homem, têm provocado diversas modificações na paisagem, principalmente no que diz respeito ao uso e manejo do solo. Contudo, o nível de tecnologia aplicado para o manejo do solo enquanto parte dos sistemas naturais aumentou consideravelmente nas últimas décadas, contribuindo para a minimização dos impactos ambientais.

A agricultura moderna se baseia no uso e aplicação de diversas tecnologias computacionais que permitem o planejamento dos cultivos de maneira integrada. Sendo então praticada a chamada agricultura de precisão, que utiliza equipamentos sofisticados e sobretudo, tendo como base sua posição no espaço. Assim, surgem as tecnologias geoespaciais que estão amplamente difundidas, nos diferentes setores da sociedade, permitindo o manejo otimizado, integrado e racional dos recursos naturais pelo homem.

A presente obra descreve resultados de pesquisas realizadas por pesquisadores de diferentes instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais, onde são tratados dilemas sobre o uso e ocupação dos recursos naturais, exibindo a necessidade do aprimoramento do nível de pesquisas e interações do homem com o meio ambiente.

Os trabalhos apresentados a seguir foram reunidos pelo Grupo de Pesquisa em Geoestatística, Solos e Meio Ambiente (<http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/2885912238931919>) do DEGEO - Departamento de Geociências da UFMA - Universidade Federal do Maranhão.

Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira
Universidade Federal do Maranhão
Departamento de Geociências

SUMÁRIO

Capítulo 1

- Avaliação da curva de retenção e condutividade hidráulica em diferentes sistemas de manejo em Latossolo Amarelo Distrófico*** 8

Carlos E. L. Feitosa & Maryzélia F. Farias

Capítulo 2

- Diversidade da macrofauna do solo cultivado com cana-de-açúcar na fronteira Amazônica*** 14

Gustavo A. A. Santos; Glécio M. Siqueira, Mayanna K. L. Costa & Rafael S. Maciel

Capítulo 3

- Estacionariedade do conteúdo de água de um Latossolo Amarelo Distrocoeso na Região do Baixo Parnaíba (Maranhão, Brasil)*** 19

Glécio M. Siqueira & Tatiana S. Santos

Capítulo 4

- Geostatística Aplicada ao estudo de fragmentos florestais*** 24

Glécio M. Siqueira; Raimunda A. Silva; Mayanna K. L. Costa & Rafael S. Maciel

Capítulo 5

- Geotecnologias na avaliação ambiental de microbacias hidrográficas*** 30

Cristhy W. S. Romero; Helio R. Silva; Artur P. Marques; Fabrício L. Macedo E Rafael M. Brito

Capítulo 6

- Geotecnologias no diagnóstico de áreas degradadas em microbacias hidrográficas*** 43

Helio. R. Silva; Artur. P. Marques; Antonio. M. G Tommaselli; Ricardo A. F. Rodrigues; Cristhy W. S. Romero; Osmar D. B. Machado; Marlene C. Alves

Capítulo 7

- Geotecnologias no zoneamento da cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) no município de Suzanópolis/SP*** 60

João M. B. Franco; Cristhy W. S. Romero; Helio R. Silva; Artur P. Marques; Fabricio L. Macedo & Heloisa B. Souza

Capítulo 8

- Histórico, importância econômica e impactos ambientais da orizicultura na Baixada Maranhense*** 70

Marcelino S. Farias Filho & Célia R. P. Bueno

Capítulo 9

- Impactos do uso e ocupação na porção superior da Bacia do Rio Paciência (MA)*** 86

Andrey A. C. Villela; Cristiane G. Moraes & Ediléa D. Pereira

Capítulo 10	
<i>Indicadores químicos da qualidade do solo em pastagens</i>	99
<i>Raimunda A. Silva; Glécio M. Siqueira; Mayanna K. L. Costa & Gustavo A. A. Santos</i>	
Capítulo 11	
<i>Indução eletromagnética para determinação da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo</i>	115
<i>Glécio M. Siqueira & Thiago I. N. Brito</i>	
Capítulo 12	
<i>Levantamento de plantas daninhas em sistema agroflorestal no trópico úmido</i>	120
<i>Gustavo A. A. Santos; Larissa B. Portela; Joab L. Pedrosa & Alana C. F. Aguiar</i>	
Capítulo 13	
<i>Lixiviação de nitrato em cultura de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada</i>	126
<i>Mayanna K. L. Costa; Francirose Shigaki; Ludhanna M. Veras; Elane T. Siqueira</i>	
Capítulo 14	
<i>Macrofauna edáfica sob diferentes usos e manejos</i>	136
<i>Glécio M. Siqueira; Mayanna K. L. Costa; Raimunda A. Silva & Romário F. Matos</i>	
Capítulo 15	
<i>Mapa de aptidão agrícola do solo como uma ferramenta para a conservação ambiental</i>	150
<i>Glécio M. Siqueira; Raimunda A. Silva & Mayanna K. L. Costa</i>	
Capítulo 16	
<i>Monitorização da permeabilidade e da macroporosidade da superfície do solo usando termografia por infravermelhos</i>	157
<i>João L. M. P. Lima; João R. C. B. Abrantes; Valdemir P. Silva Jr.; Abelardo A. A. Montenegro & Maria Isabel P. Lima</i>	
Capítulo 17	
<i>O uso das geotecnologias no estudo de bacias urbanas: o caso do Rio Urucutiua – MA</i>	165
<i>Veruska C. Jesus & Helen N. Barreto</i>	
Capítulo 18	
<i>Perdas de solo e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica com solos sob processo de degradação</i>	173
<i>Carla D. O. Costa; Marlene C. Alves; Hélio R. Silva; Antônio P. Sousa; Antonio Paz González; José M. Mirás Avalos</i>	
Capítulo 19	
<i>Práticas inovadoras de gestão ambiental para a sustentabilidade do agronegócio</i>	185
<i>Ricardo N. Buss & Glécio M. Siqueira</i>	

Capítulo 20

Índices de sustentabilidade utilizados na agricultura: ferramentas para auxílio na tomada de decisão **199**

Ana L. P. Martins; Mayanna K. L. Costa; Vilena A. R. Silva & Mayra N. A. Silva

Capítulo 21

Recuperação de áreas degradadas e qualidade do solo **211**

Clebson S. Cândido; Glécio M. Siqueira; Raimunda A. Silva; Mayanna K. L. Costa & Ricardo N. Buss

Capítulo 22

Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de manejo **218**

Carlos E. L. Feitosa & Maryzelia F. Farias

Capítulo 23

Sistemas agroflorestais como alternativa na disponibilidade de nitrogênio e fósforo em agroecossistemas do trópico úmido **224**

Andreia P. Amorim & Alana C. F. Aguiar

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E QUALIDADE DO SOLO

Clebson S. Cândido¹

Glécio M. Siqueira¹

Raimunda A. Silva¹

Mayanna K. L. Costa¹

Ricardo N. Buss¹

INTRODUÇÃO

Segundo o Banco Mundial, os solos agrícolas do mundo vêm se degradando a uma taxa de 0,1% ao ano, dados que corroboram com os estabelecidos pela FAO, que apontam a perda de cinco milhões de hectares de terras aráveis por ano devido às más práticas agrícolas, secas e pressão populacional, além de inúmeras ações antrópicas de exploração inadequada dos recursos naturais englobando o compartimento solo (EMBRAPA, 2008).

As principais contribuições para a degradação do solo são (OLDMAN, 1994):

- 1) Desmatamento ou remoção da vegetação natural para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas e urbanização (29,4%);
- 2) Superpastejo da vegetação (34,5%);
- 3) Atividades agrícolas, incluindo ampla variedade de práticas agrícolas, como o uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes, uso de água de irrigação de baixa qualidade, uso inapropriado de máquinas agrícolas e ausência de práticas conservacionistas de solo (28,1%);
- 4) Exploração intensiva da vegetação para fins domésticos, como combustíveis, cercas, etc., expondo o solo à ação dos agentes erosivos (6,8%);
- 5) Atividades industriais ou bioindustriais que causam poluição do solo (1,2%).

No Brasil não existe até o momento nenhum estudo conclusivo quanto a

¹Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Geociências, São Luís, Maranhão. E-mail: gleciosiqueira@hotmail.com

quantidade e distribuição dos solos degradados em escala nacional. É importante ressaltar, que independente da ausência de avaliações exatas a respeito da extensão de áreas degradadas no Brasil, todas as estimativas apontam o desmatamento e as atividades agropecuárias como os principais fatores de degradação dos nossos solos (EMBRAPA, 2008).

A complexidade dos processos de degradação e de recuperação de áreas degradadas deve-se aos inúmeros fenômenos biológicos e físico-químicos envolvidos. Por este motivo, a recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como um conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas das diferentes áreas do conhecimento humano, que visam proporcionar o restabelecimento das condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural. O caráter multidisciplinar das ações que visem proporcionar esse retorno deve ser tomado, fundamentalmente, como o ponto de partida do processo.

O conceito de degradação tem sido geralmente associado aos efeitos ambientais considerados negativos ou adversos e que decorrem principalmente de atividades ou intervenções humanas. Raramente o termo se aplica às alterações decorrentes de fenômenos ou processos naturais.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da sua NBR 10703, a degradação do solo é apontada como sendo a “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento, como os potenciais”.

Já o Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração do IBAMA (1990), define que “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento sócio-econômico”.

De maneira similar as conceituações de áreas degradadas e degradação, a

literatura técnica e os textos da legislação ambiental brasileira em vários níveis também deixam dúvidas e contradições sobre as definições exatas dos termos recuperação, reabilitação e restauração, que em muitos casos são apontados como diferentes, e em outros, como sinônimos. Novamente, pode-se dizer que a literatura é relativamente vasta, com contribuições das diferentes áreas do conhecimento. Observa-se que os termos recuperação, reabilitação e restauração, têm sido usados não apenas nos aspectos que caracterizam suas execuções, mas principalmente em função dos seus objetivos e metas. De modo geral, os termos se referem ao caminho inverso à degradação e é importante para facilitar a comunicação entre os interessados na escolha do processo a ser adotado na área degradada.

- **Recuperação:** A legislação federal brasileira menciona que o objetivo da recuperação é o “retorno do sítio do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente” (Decreto Federal 97.632/89). Esse decreto vai de encontro ao estabelecido pelo IBAMA, que indica que a recuperação significa que o sítio degradado será retornado a uma forma e utilização de acordo com o plano pré-estabelecido para o uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estáticos e sociais da circunvizinhança. Significa também, que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem. Procura sintetizar a definição do processo quando utilizado em Unidades de Conservação, GRIFFITH (1986), definiu recuperação como a reparação dos recursos ao ponto que seja suficiente para restabelecer a composição e a frequência das espécies encontradas originalmente no local.

- **Reabilitação:** Segundo MAJER (1989) a reabilitação é o retorno da área degradada a um estado biológico apropriado. Esse retorno pode não significar o uso produtivo da área a longo prazo, como a implantação de uma atividade que renderá lucro, ou atividades menos tangíveis em termos monetários, visando, por exemplo, a recreação ou a valorização estético-ecológica. Exemplos de reabilitação para fins recreativos é a raia olímpica da Cidade Universitária da USP, instalada em uma

antiga área de extração de areia em planície aluvionar do Rio Pinheiros; construção do parque esportivo Cidade de Toronto, instalado em área de antiga extração de areia; Centro Educacional e Recreativo do Butantã, instalado em área de antiga pedreira e o lago do parque Ibirapuera, instalado em antiga cava de extração de areia, todos esses exemplos foram realizados na cidade de São Paulo (SP).

- **Restauração:** O termo restauração refere-se à obrigatoriedade do retorno ao estado original da área, antes da degradação. Esse termo é o mais impróprio a ser utilizado para os processos que normalmente são executados. Por retorno ao estado original entende-se que todos os aspectos relacionados com topografia, vegetação, fauna, solo, hidrologia, etc., apresentem as mesmas características de antes da degradação. Logo, trata-se de um objetivo praticamente inatingível, ou seja, fazer a restauração de um ecossistema, para consequentemente recuperar sua função, é técnica e economicamente questionável, embora alguns profissionais que atuam na área ambiental tenham equivocadamente essa meta, torna-se necessária uma nova conscientização dos mesmos sobre a inviabilidade deste processo.

Nesse sentido, indiferente da finalidade a que se deseja recuperar uma área degradada é preciso respeitar os conceitos de qualidade do solo para minimizar os impactos ambientais e maximizar o uso dos recursos naturais e financeiros necessários para a realização da recuperação de uma área degradada.

O entendimento atual do conceito de qualidade de solo compreende o equilíbrio entre os condicionantes geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos do solo (BRUGGEN e SEMENOV, 2000; SPOSITO e ZABEL, 2003; SIQUEIRA et al., 2013). O termo “qualidade do solo” muitas vezes é utilizado como sinônimo de saúde do solo, e se refere à capacidade do solo de sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais e do próprio ser humano (DORAN et al., 1996; SPOSITO e ZABEL, 2003).

A cobertura vegetal, as propriedades químicas e físicas do solo e as condições climáticas influenciam a atividade e a composição da microbiota do solo (JENKINSON e LADD, 1981; TSAI et al., 1992; SIQUEIRA et al., 2014). Quanto à

cobertura vegetal, cada espécie tem capacidade diferente de produção de fitomassa, e também sua qualidade depende da espécie dentro do mesmo clima e solo.

A ciclagem de nutrientes é dependente da decomposição da serapilheira, sendo esta regulada por três grupos de variáveis: a natureza da comunidade decompositora, a qualidade do material e as condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características do sítio (ABER e MELILO, 1978; SWIFT et al., 1979; LEKHA e GUPTA, 1989).

A degradação dos solos é um grande problema para a sustentabilidade dos sistemas produtivos e para o meio ambiente. Estima-se que cerca de 80% das áreas agrícolas do Brasil, responsáveis por mais da metade da produção do país, encontra-se em degradação (PERON et al., 2004). Contudo nos últimos anos a Região Amazônica têm sofrido uma enorme pressão, devido à expansão das suas áreas de produção nesta região.

Aliada à preocupação com os altos custos de produção, cresceu nos últimos anos a atenção voltada à degradação do solo e à sua consequência na sustentabilidade da agropecuária nacional (BERNARDI et al., 2007). É considerada área degradada àquela que, após distúrbio, teve eliminados seus meios de regeneração natural, apresentando baixa resiliência, sendo necessária à ação antrópica para sua recuperação (CARPANEZZI et al., 1990). Assim, o processo de recuperação de áreas degradadas geralmente deve obedecer ao modelo de sucessão autogênica, caracterizado por mudanças sucessionais ocasionadas, principalmente, por interações internas dos ecossistemas, como o fluxo de energia e de nutrientes, a estruturação da comunidade e a elasticidade. A extrema competição por recursos limitantes em área degradadas faz com que somente os indivíduos mais aptos tenham a capacidade de estabelecer-se, crescer e reproduzir, dominando, assim, os diferentes estádios (SOUZA e SILVA, 1996).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFMA – Universidade Federal do Maranhão, à SECTI - Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação e a FAPEMA -

Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ABER, J.D; MELILO, J.M. Terrestrial ecosystems. Reinhart & Wintson, Inc. Orlando, FL. USA. 1991, 428p.
- BERNARDI, A. C. C.; VINHOLIS, M. M. B.; BARBOSA, P. F.; ESTEVES, S. N. Reforma de pastagem e terminação de bovinos jovens em sistema de integração lavourapecuária em São Carlos, SP. EMBRAPA – CPPSE, 2007. Comunicado técnico 83.
- BRUGGEN, A.H.C.; SEMENOV, A.M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.15, n.1, p.13-24, 2000.
- CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. S.; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais ... Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p. 216-221.
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 56, p. 2-54, 1996.
- EMBRAPA. Curso de recuperação de áreas degradadas. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008, 228p.
- GRIFFITH, J. J. Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. Viçosa, MG: UFV, 1986.
- IBAMA. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.M. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A.; Ladd, J.N. (Eds.) *Soil biochemistry*. New York, Marcel Dekker. v. 5, p.415-471, 1981.
- LEKHA, A.; GUPTA, S.R. Decomposition of populus and Leucaena leaf litter in a agrofloresty system. *Int. Environ. Sci.*, v.15, p. 97-108, 1989.
- MAJER, J. D. Fauna studies and land reclamation technology: review of the history and need for such studies. In: *Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands*. London: Cambridge University Press, p. 3-33, 1989.
- OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: *Soil Resiliense and sustainable Land Use*. GREENLAND, D. J. & SZABOCLS, I (Eds), Cab International, Wallingford, UK. p. 99-118. 1994.
- PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. *Ciênc. agrotec.*, Lavras , v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004.
- SIQUEIRA, G. M.; DAFONTE, J. D.; ARMESTO, M. V.; SILVA, E.F.F.E. Using Multivariate

- Geostatistics to Assess Patterns of Spatial Dependence of Apparent Soil Electrical Conductivity and Selected Soil Properties. *The Scientific World Journal*, v. 2014, p. 1-11, 2014.
- SIQUEIRA, G. M.; SILVA, E. F. F. E.; MONTENEGRO, A. A. A.; VIDAL VAZQUEZ, E. PAZ FERREIRO, J. . Multifractal analysis of vertical profiles of soil penetration resistance at the field scale. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 20, p. 529-541, 2013.
- SIQUEIRA, G.M; SILVA, E.F.F.E.; PAZ FERREIRO, J. Land Use Intensification Effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State, Brazil. *The Scientific World Journal*, v. 1, p. 1-7, 2014.
- SOUZA, F.A., SILVA, E.M.R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: Siqueira, J.O (ed.) *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras: UFLA / DCS, p.255-290, 1996.
- SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. *Geoderma*, Amsterdam, v.114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.
- Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M. (1979) *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 372p.
- TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeito de fatores do solo. In: Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M.; Neves, M.C.P. (Coords.). *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.59-73, 1992.