

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

STEPHANIE DE ALMEIDA FERREIRA

**AVALIAÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA E MACROFAUNA EDÁFICA EM
SISTEMAS DE USO DO SOLO NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO.**

CURITIBA

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

STEPHANIE DE ALMEIDA FERREIRA

**AVALIAÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA E MACROFAUNA EDÁFICA EM
SISTEMAS DE USO DO SOLO NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora: Profa. Dra. Karina Maria Vieira Cavalieri Polizeli

Co-orientador: Prof. Dr. George Gardner Brown

Co-orientador: Prof. Dr. Robson André Armindo

CURITIBA

2015

AGRADECIMENTOS

À Deus por proporcionar minha existência;

Aos meus familiares e amigos que sempre me apoiaram, especialmente minha mãe;

Aos meus orientadores, Dra. Karina M. V. Cavalieri Polizeli e Dr. George G. Brown, por acreditarem em minha capacidade;

À Universidade Federal do Paraná e aos professores do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola que sempre foram atenciosos em transmitir o conhecimento científico;

À EMBRAPA Florestas que me cedeu espaço para o desenvolvimento de parte do projeto, sendo o presente trabalho realizado com o suporte (parcial) da Cooperação Institucional IAPAR e EMBRAPA Florestas - Projeto SAIC/AJU nº 21500.10/0008-2-02;

Aos estagiários, colegas de curso e técnicos pela cooperação nos trabalhos de campo e análises;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por me conceder a bolsa de estudos.



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **STEPHANIE DE ALMEIDA FERREIRA**, intitulada: **AVALIAÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA E MACROFAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO DO SOLO NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela **“APROVAÇÃO”** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 04 de setembro de 2015.

Prof. Dra. Karina Maria Cavalieri Polizeli, Presidente

Prof. Dra. Rachel Muylaert Locks Guimarães, Iº. Examinador

Prof. Dr. Jefferson Dieckow, IIº. Examinador

Prof. Dra. Fabiane Machado Vezzani, IIIº. Examinador

“Os infinitos mistérios do universo são, dia após dia, desvendados graças à ciência e às suas ferramentas, os cientistas.”

Stephanie de Almeida Ferreira

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT.....	1
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS	4
2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	4
2.2 UNIDADES EXPERIMENTAIS.....	5
2.3 AMOSTRAGEM	8
2.4 DETERMINAÇÕES DA UMIDADE DO SOLO, TEXTURA E FERTILIDADE DO SOLO ...	9
2.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO.....	11
2.6 AVALIAÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA.....	12
2.7 ANÁLISE DOS DADOS	13
3 RESULTADOS.....	14
3.1 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO	15
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA	20
3.3 A ESTRUTURA DO SOLO E A MACROFAUNA EDÁFICA	23
4 DISCUSSÃO.....	25
4.1 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO	25
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA	30
4.3 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO E MACROFAUNA EDÁFICA	33
5 CONCLUSÕES.....	34
LITERATURA CITADA.....	35

QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO E MACROFAUNA EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS, PR.

Autor: Stephanie de Almeida Ferreira

Orientador: Profa. Dra. Karina Maria Vieira Cavalieri Polizeli

Co-orientador: Prof. Dr. George Gardner Brown

Co-orientador: Prof. Dr. Robson André Armindo

RESUMO

O manejo aplicado ao solo pode acarretar em mudanças em sua estrutura e afetar a distribuição e abundância da macrofauna edáfica, sendo o objetivo deste estudo avaliar a estrutura do solo, assim como a macrofauna edáfica, em diferentes sistemas de uso na região dos Campos Gerais, Paraná. O experimento consistiu em sete sistemas de uso do solo: sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), campo nativo pastejado (CNP), lavoura em sistema de plantio direto (PD), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (FP), floresta nativa (FN) e campo nativo não pastejado (CN). Para avaliação da estrutura foi utilizado o método "Visual Evaluation of Soil Structure" (VESS). Posteriormente, foi empregado o método "Tropical Soil Biology and Fertility" (TSBF) com modificações, para amostrar a macrofauna edáfica. Em média, nenhum sistema de uso apresentou estrutura degradada, porém foram detectadas camadas que apontam degradação da estrutura nos sistemas ILP, ILPF, CNP, PD e CN. Os sistemas FN e CNP apresentaram melhor estrutura, respectivamente, com notas VESS de 1,6 e 1,9, também apresentando os melhores resultados de diversidade da macrofauna, e o sistema CNP apresentou a maior densidade de indivíduos por metro quadrado. Os sistemas ILP e CN apresentaram a pior qualidade estrutural dos sistemas estudados, com notas 2,7 e 2,6, respectivamente. O grupo Formicidae apresentou a maior frequência de indivíduos por metro quadrado em todos os tratamentos. A melhor qualidade estrutural apresentou maior diversidade de grupos da macrofauna, maior frequência de engenheiros do ecossistema e abundância de indivíduos por metro quadrado.

PALAVRAS CHAVE: Avaliação visual da estrutura do solo, macroinvertebrados, diversidade, manejo do solo.

² Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (41 p.) Setembro, 2015.

SOIL STRUCTURAL QUALITY AND EDAFIC MACROFAUNA IN DIFFERENT SYSTEMS OF USE IN CAMPOS GERAIS, PR REGION.

Author: Stephanie de Almeida Ferreira

Advisor: Profa. Dra. Karina Maria Vieira Cavalieri Polizeli

Co-advisor: Prof. Dr. George Gardner Brown

Co-advisor: Prof. Dr. Robson André Armindo

ABSTRACT

The management applied to the soil can result in changes in soil structure and affect the distribution and abundance of soil macrofauna, then the aim of this study was to evaluate the soil structure, as well as soil macrofauna in different land use systems in the Campos Gerais region, Paraná, Brazil. The experiment consisted of seven land use systems: crop-livestock-forest integration system (ILPF), crop-livestock integration system (ILP), native grazed field (CNP), no-till system (PD) forest planting *Eucalyptus dunnii* (FP), native forest (FN) and do not grazed native pasture (CN). To evaluate the soil structure was used "Visual Evaluation of Soil Structure" method (VESS). Later, the method "Tropical Soil Biology and Fertility" (TSBF) with modifications was used to sample the soil macrofauna. On average, no land use system presented soil structure deteriorated, but they were detected layers that indicate degradation of soil structure in ILP, ILPF, CNP, PD and CN systems. The FN and CNP systems showed better structure, respectively, with VESS scores 1.6 and 1.9, also presenting the best range of macrofauna results, and the CNP system had the highest density of individuals.m⁻². The ILP and CN systems had the worst structural quality scores among the studied land use systems, 2.7 and 2.6, respectively. The Formicidae group showed the higher frequency of individuals.m⁻² for all treatments. The best structural quality showed greater diversity of macrofauna groups, higher frequency of ecosystem engineers and abundance of individuals. m⁻².

Key-words: Visual assessment of soil structure, macroinvertebrates, diversity, soil management.

¹ Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (41 p.) In September, 2015.

1 INTRODUÇÃO

O solo exerce funções primordiais para o desenvolvimento da vida no planeta. Porém, a utilização intensiva dos solos na agricultura e o inadequado uso e manejo agrícola têm gerado mudanças importantes nas funções exercidas pelo solo, como a diminuição de serviços ecossistêmicos de regulação e suporte, alterando a regulação dos fluxos da água e de gases, a erosão, a formação do solo e a ciclagem de nutrientes (MEA, 2005). Além de perda de produtividade agrícola e degradação ambiental (Macedo, 2009). Portanto, práticas agrícolas menos intensivas e diversificadas têm sido propostas e adotadas com o intuito de reverter estes fenômenos.

Os sistemas agrícolas conservacionistas, ou seja, com mínimo preparo do solo e formação e deposição de cobertura morta próxima à superfície (Derpsch et al., 1991) detêm um maior número de espécies e interações entre cultivos, árvores e animais, podendo proporcionar maior complexidade ecológica, maior produtividade e controle de pragas (Yong e Leiva, 2010). Neste contexto, Kassam et al. (2009) demonstraram que esses sistemas podem promover benefícios tais como, evitar a perda de água por evaporação na superfície do solo, reduzir a flutuação de temperatura na superfície, melhorar a infiltração de água no solo, minimizar a oxidação da matéria orgânica e manter o suprimento de matéria orgânica como substrato para a biota, tornar a recuperação da porosidade do solo mais rápida pela ação da biota, e mesmo atingir uma complexidade ecológica semelhante à de solos que não sofreram interferência antrópica.

Mello et al. (2004) mostraram que os sistemas integrados e o sistema de plantio direto (PD) têm sido utilizados na recuperação de pastagens degradadas e como alternativa para cultivos anuais, diversificando a produção. Estes sistemas agrícolas também têm melhorado as condições físicas, químicas e biológicas dos solos, aumentando a fertilidade do solo, a estabilidade de agregados, a taxa de infiltração de água no solo e diminuindo a densidade e compactação do solo (Kassam et al., 2009; Macedo, 2009).

Melhorias nas condições do solo, como algumas das citadas acima, estão relacionadas principalmente a uma boa qualidade estrutural do solo. A estrutura do solo compreende a heterogeneidade espacial dos diferentes componentes ou propriedades físicas do solo, cujos aspectos abrangem, por exemplo, o arranjo de partículas coloidais de argila em flóculos, o arranjo de torrões de solo numa camada edáfica, ou ainda a matriz de túneis feitos por

minhocas (Dexter, 1988). A estrutura é formada através do agrupamento de partículas primárias, minerais ou não, que compõem agregados em diferentes estágios de formação, os quais possuem variados tamanhos e formas (Tisdall e Oades, 1982), e a partir da organização tridimensional dos agregados surgem espaços vazios no solo, denominados poros. Estão diretamente ligados à estrutura, por exemplo, volume total de espaço poroso de um solo e sua densidade (Brady e Weil, 2002).

A matriz do solo proporciona a infiltração e a passagem da água pelos perfis do solo, e as trocas gasosas, as quais necessitam da macroporosidade e continuidade entre poros para adequado funcionamento (Dexter, 1988). Estes fatores são essenciais para o desenvolvimento de plantas, da biota do solo e a produtividade agrícola (Giarola et al., 2010). Por isso, o interesse crescente pelo estudo das funções ecológicas dos macroinvertebrados que habitam o solo, e suas relações com a estrutura do solo. Ademais, alguns grupos taxonômicos da macrofauna, tidos como “engenheiros do ecossistema”, podem modificar e influenciar muito a estrutura do solo (Lavelle, 1997) e atuar sobre propriedades físicas do solo e seus processos (Brown et al., 2001). Os engenheiros do ecossistema, como minhocas, cupins, formigas, besouros e suas larvas e as milipéias (Brown et al., 2001; Toyota et al., 2006), os quais possuem diâmetro corporal > 2 mm (Lavelle e Spain, 2001), são capazes de criar estruturas biogênicas, como bioagregados, macroporos, cavidades e canais (Brown et al., 2001). Essas estruturas biogênicas podem proporcionar aumento da infiltração de água pelo perfil edáfico, aumento na conectividade entre poros, melhorar as trocas gasosas entre solo e atmosfera. Além disso, alguns grupos taxonômicos podem também realizar outros serviços, como a fragmentação de resíduos vegetais e a translocação de matéria orgânica entre perfis (Lourente et al., 2007).

Contudo, a macrofauna edáfica apresenta enorme variabilidade quanto à distribuição e abundância, principalmente entre sistemas agrícolas (Barros et al., 2002; Brown et al., 2004; Aquino et al., 2008). Sistemas convencionais podem ser muito prejudiciais à macrofauna do solo, por promoverem a desestruturação do solo, revolvimento, compactação superficial, não cobertura do solo e retirada de resíduos orgânicos. Com este tipo de manejo, a estrutura do solo é modificada, a proporção de macro e microporos pode mudar, e os nichos da macrofauna, ou seja, os macroporos, podem deixar de existir ou ter sua proporção drasticamente diminuída (Baretta et al., 2011). O efeito de tais eventos gera a redistribuição e reequilíbrio da macrofauna no solo, com consequências como aumento do número de

indivíduos de alguns grupos taxonômicos, como a família Formicidae (Vasconcelos, 2008) e a ordem Isoptera (Constantino e Acioli, 2008).

Já os sistemas conservacionistas como, por exemplo, os sistemas Integrados de Lavoura Pecuária (ILP), Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) e sistema de lavoura em Plantio Direto (PD), podem apresentar maior diversidade e abundância da macrofauna do que sistemas agrícolas mais intensivos (Silva et al., 2006; Portilho et al., 2011). Da mesma forma, estudos têm demonstrado que sistemas com maior número de espécies vegetais e que incorporam maior quantidade de material orgânico ao solo, como os sistemas agroflorestais, desenvolvem comunidades faunísticas mais diversas (Silva et al., 2006; Lima et al., 2010; Portilho et al., 2011). Isto pode ser devido à maior oferta de matéria orgânica, alimento de muitos grupos da macrofauna, além da conservação da estrutura do solo, diminuindo a perturbação à tais organismos. Também podem representar fatores de alteração de abundância e diversidade edáfica, mudanças na oferta de alimento gerada pela deposição e incremento de material orgânico ao solo, assim como a qualidade e diversidade dos materiais orgânicos depositados na superfície do solo (Portilho et al., 2011).

Dada a importância do estudo da estrutura do solo e como o manejo aplicado pode influenciar sua qualidade e, indiretamente influenciar a estrutura da comunidade da macrofauna edáfica, o ideal é que sejam utilizados indicadores de fácil obtenção, como métodos de avaliação da qualidade do solo e identificação a nível de grandes grupos da macrofauna edáfica, realizando-se constantes monitoramentos da qualidade geral do solo. Métodos de coleta da macrofauna do solo podem ser simples e de fácil execução, como as armadilhas tipo pitfall (Aquino et al., 2006). O método utilizado para amostragem da macrofauna é o Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), desenvolvido por Anderson e Ingram (1993), que consiste basicamente na coleta do solo, destorroamento dos agregados, captura manual dos indivíduos e identificação em lupa (Aquino e Elizabete, 2005). Os métodos de avaliação da qualidade estrutural do solo, como a avaliação visual da estrutura do solo, são utilizados para avaliar a qualidade estrutural de solos de clima temperado (Ball et al., 2007), e mais recentemente, tais metodologias têm sido utilizadas para solos de clima tropical, segundo atualização proposta por Guimarães et al. (2011) e testadas por Giarola et al. (2013) e Moncada et al. (2014). Alguns dos métodos de avaliação visual da qualidade da estrutura do solo são o Visual Evaluation of Soil Structure – VESS (Ball et al., 2007) e o Visual Soil Assessment – VSA (Shepherd et al., 2000).

A estrutura do solo pode ter suas propriedades modificadas pelo manejo do solo, alterando desta forma, a composição e abundância da macrofauna edáfica. Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar e caracterizar a estrutura do solo em diferentes sistemas de uso na região dos Campos Gerais, PR, assim como a macrofauna nos mesmos locais, a fim de constatar se o manejo utilizado nos sistemas de uso influencia negativamente a qualidade estrutural do solo e a macrofauna edáfica, identificando quais sistemas de uso podem ser prejudiciais neste sentido, quais possuem maior potencial em manter a qualidade do solo e em qual condição estrutural do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O estudo foi realizado na região dos Campos Gerais, no município de Ponta Grossa, Paraná. A região está localizada no Segundo Planalto Paranaense, com substrato composto por rochas sedimentares e o relevo suave ondulado. O clima foi classificado segundo Köppen como Cfb, subtropical úmido, caracterizado por temperaturas anuais médias inferiores a 21° C, amplitude térmica entre 9° C e 23° C e precipitação pluvial total anual entre 1.300 e 1.800 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e ocorrência de geadas frequentes (IAPAR, 1994). A vegetação original é a de “campo natural - estepe gramíneo lenhosa” (ITCG, 2011), porém também ocorrem capões com mata nativa característicos da Floresta Ombrófila Mista (Maack, 1948; Milan e Moro, 2012).

As áreas experimentais estão delimitadas em três locais: na Fazenda Modelo do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) – 25° 5' S e 50° 9' W; na estação da Unidade Regional da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Produtos e Mercados – 25°08' S e 50°04' W, e no Parque Estadual de Vila Velha - 25° 13' S e 50° 01' W.

Os solos em cada área experimental estão apresentados na Tabela 1, sendo identificados na sua maioria como Latossolos, porém com presença menor de Cambissolos, os quais foram enquadrados nesta categoria principalmente devido à profundidade do horizonte B.

2.2 UNIDADES EXPERIMENTAIS

Foram avaliados sete tratamentos (TABELA 1), cada qual correspondendo a um sistema de uso do solo (SUS), sendo que o delineamento foi de blocos ao acaso. Na fazenda modelo do IAPAR estão presentes os tratamentos: sistema de integração lavoura pecuária (ILP), integração lavoura pecuária floresta (ILPF), e campo nativo pastejado (CNP). Na EMBRAPA, encontram-se os sistemas plantio direto (PD) e plantio florestal com *Eucalyptus dunii* (FP), implantado respectivamente há 30 e 22 anos. E, no Parque Estadual de Vila Velha estão as áreas de floresta nativa (FN) e campo nativo não pastejado (CN).

TABELA 1. Localização e classe de solo na região dos campos gerais, PR.

Sistemas de uso	Classe de Solo	Localização
ILP	Latossolo Vermelho + Cambissolo Háplico	IAPAR
ILPF	Latossolo Vermelho	IAPAR
CNP	Latossolo Vermelho Amarelo + Cambissolo Háplico	IAPAR
FP	Latossolo Vermelho	EMBRAPA
PD	Latossolo Vermelho	EMBRAPA
FN	Latossolo Vermelho + Cambissolo Húmico	Vila Velha
CN	Latossolo Vermelho Amarelo + Cambissolo	Vila Velha

O sistema ILP e ILPF foram implantados em 2006, com o propósito de evoluir para um sistema agrossilvipastoril (FIGURA 1). Anteriormente, as áreas foram utilizadas para pastagem convencional e a cobertura vegetal possuía pouco valor forrageiro. Foi realizada aração, gradagem do solo e aplicação de 3 ton ha⁻¹ de calcário dolomítico para a implantação dos sistemas integrados, e, desde então, o solo não foi mais revolvido. No ILPF foram plantadas, em seguida, árvores da espécie eucalipto (*Eucalyptus dunii* Maiden), aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e grevilea (*Grevillea robusta* A. Cunn Ex. R. Br.) em fila simples e de forma transversal ao sentido do declive do terreno, a fim de evitar o deslocamento do maquinário e dos animais no sentido do declive e para controle do escoamento superficial das águas da chuva (Porfirio, 2012). Nestes sistemas são cultivados no inverno aveia preta (*Avena strigosa*) em consórcio com azevém (*Lolium multiflorum*) e

pastejados por novilhas da raça Purunã numa taxa de lotação variável, mantendo-se a altura de pastejo entre 50 a 60 cm; e no verão cultivado em rotação bianual de milho (*Zea mays* L.) ou soja (*Glycine max* (L.) Meer), sendo as coletas realizadas na época de cultivo de milho a escolhida para realização das coletas. A adubação e a aplicação de ureia é realizada anualmente, e tanto o plantio quanto a colheita foi realizada com auxílio de maquinários especializados.

A prática do pastejo no sistema CNP está sendo utilizada há mais de 30 anos, como “escape” para o gado nas estre-safras de verão e inverno (FIGURA 1). A vegetação forrageira utilizada para o pastejo nesta área é nativa, não há aplicação de fertilizantes, corretivos ou defensivos químicos, e o solo não é revolvido. A composição florística é típica dos campos abertos da região dos Campos Gerais do Paraná.

No sistema de lavoura em Plantio Direto (PD), implantado em 1985, cultivava-se em rotação: trigo (*Triticum ssp*) - soja (*Glycine max* (L.) Meer)/aveia (*Avena strigosa*) – milho (*Zea mays* L.)/aveia (*Avena strigosa*) - feijão (*Phaseolus vulgaris*) (FIGURA 1), sendo utilizado adubação de plantio, assim como o uso de herbicidas, fungicidas, inseticidas e adubação de cobertura (Zagatto, 2014). As coletas neste sistema foram realizadas na época do cultivo de feijão. O sistema FP é utilizado para o cultivo de Eucalipto, não possuindo manejos como revolvimento do solo ou adubação, desde sua implantação, há 22 anos (FIGURA 1).

O sistema FN e CN localizado dentro do Parque Estadual de Vila Velha são legalmente tidos como Áreas de Preservação Permanente (APPs), possuindo restrições quanto ao uso para fim agrícola (FIGURA 1). O sistema FN é caracterizado por vegetação do tipo ombrófila mista (floresta com araucária), estando presentes famílias como Euphorbiaceae, Rubiaceae e Melastomataceae (Cervi et al., 2007). A vegetação do sistema CN é composta predominantemente por gramíneas, com presença de famílias como Poaceae, Asteraceae e Cyperaceae, e algumas espécies abundantes como *Aristida jubata* (Arechav) Herter, *Andropogon bicornis* L. e *Trachypogon canescens* Nees (Dalazoana et al., 2007).

Cada sistema de uso foi composto por três blocos de tamanho variável (0,5 a 2,4 ha). As áreas possuem variação quanto à declividade, tendo sido divididas em: porção superior da paisagem, porção intermediária e porção inferior da paisagem. Em cada bloco, foram coletados cinco monólitos de solo, aleatoriamente, totalizando 15 amostras (monólitos de solo) por tratamento.

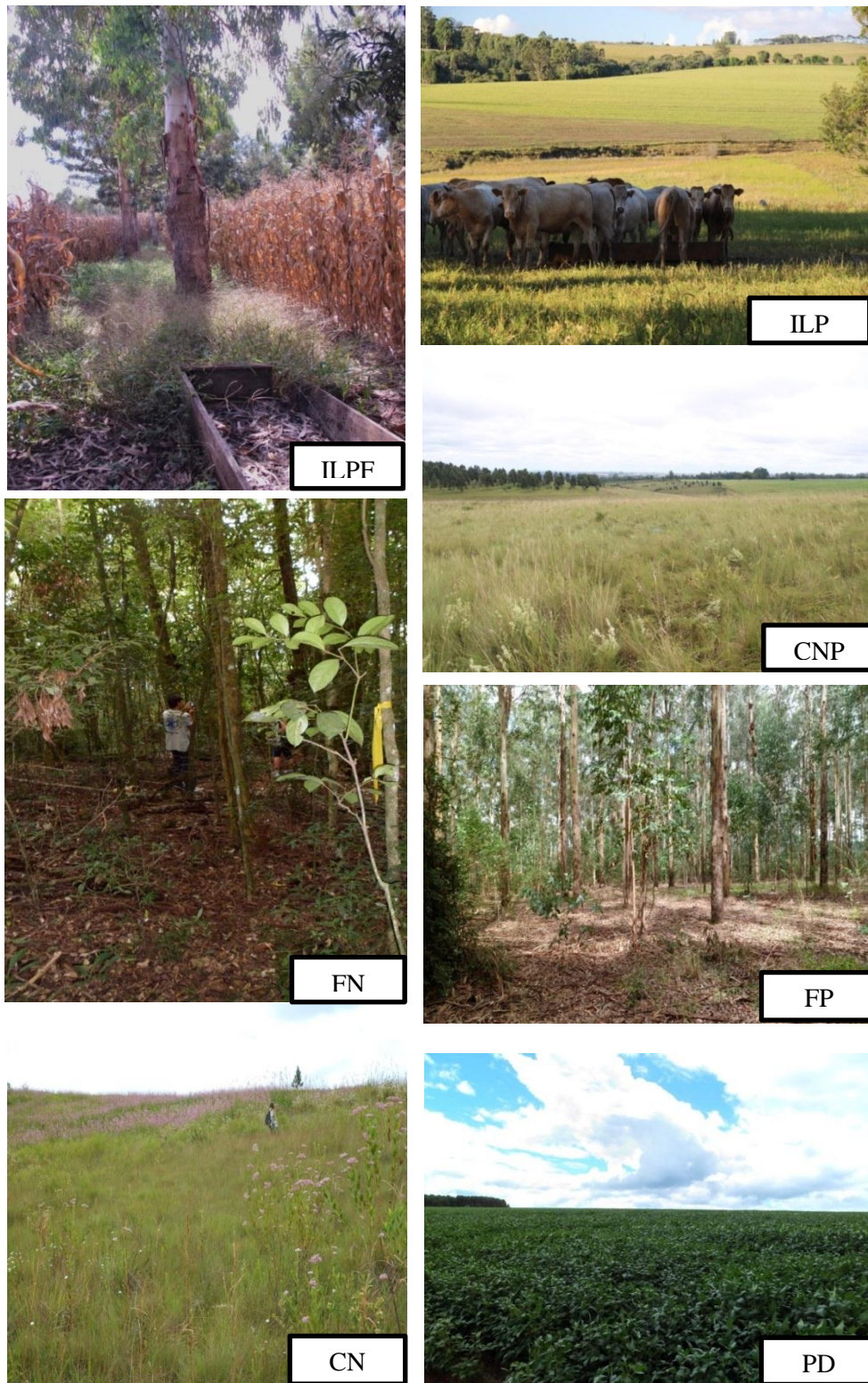


FIGURA 1. ILP: integração lavoura-pecuária; ILPF: integração lavoura-pecuária-floresta; CNP: campo nativo pastejado; PD: lavoura em sistema de plantio direto; FP: floresta plantada com eucalipto; FN: floresta nativa; CN: campo nativo não pastejado.

2.3 AMOSTRAGEM

Os monólitos foram coletados com o auxílio de uma pá reta, com dimensões de 25 cm de profundidade, 20 cm de largura e 10 cm de espessura, e em seguida, embalados com plástico filme, para mantê-los indeformados e úmidos até serem processados nos Laboratórios de Física do Solo e Biologia do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Ao mesmo tempo, foram coletadas amostras deformadas de solo para a obtenção da umidade do solo e análises químicas. As coletas foram realizadas no verão de 2014 (TABELA 2).

TABELA 2. Período da coleta, cultura implantada e estágio da cultura no momento da coleta dos monólitos nos sistemas de uso Integração Lavoura-Pecuária (ILP), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Campo Nativo Pastejado (CNP), Plantio Direto (PD), Floresta Plantada de Eucalipto (FP), Floresta Nativa (FN) e Campo Nativo (CN).

Sistema de uso	Mês da coleta	Cultura	Estádio da cultura
ILP	Março	Milho	Maturado
ILPF	Março	Milho	Maturado
CNP	Março	-	-
PD	Fevereiro	Soja	Maturação do grão
FP	Fevereiro	Eucalipto	Adulto
FN	Fevereiro	-	-
CN	Fevereiro	-	-

As coletas foram realizadas após o período de três dias de ausência de chuva ou mais. Na primeira coleta, realizada em fevereiro de 2014, foram amostradas as áreas do sistema FN e CN. Na segunda coleta, também realizada em fevereiro, foram amostradas as áreas do sistema PD e FP. A coleta de amostras no sistema CNP foi realizada em março, e a última, no mesmo mês, amostrou as áreas dos sistemas ILP e ILPF.

As amostras foram processadas sempre dentro de um período máximo de 15 dias após a coleta. Até o momento do processamento, os monólitos foram acondicionados em local fresco, na posição horizontal e sem exposição direta ao sol (FIGURA 2).



FIGURA 2. Armazenamento dos monólitos.

2.4 DETERMINAÇÕES DA UMIDADE DO SOLO, TEXTURA E FERTILIDADE DO SOLO

As amostras deformadas de solo foram usadas para a obtenção da umidade gravimétrica do solo, determinada em cada monólito através da relação entre a massa de água e a massa de solo seco, expressa em $g\ g^{-1}$.

A textura foi determinada na camada de 0 a 25 cm, utilizando o método do densímetro de Bouyoucos (Gee e Bauder, 1986), que se baseia na sedimentação das partículas que compõem o solo, segundo a lei de Stokes. Dados de textura e umidade são descritos na TABELA 3.

A caracterização dos atributos químicos dos solos foi realizada de acordo com a metodologia de Marques e Motta (2003), considerando o pH em $CaCl_2$ 0,01 M, $H^+ + Al^{3+}$ obtido pelo pH SMP, cálcio e magnésio via extração com KCl mol L^{-1} e determinação por espectrofotometria de absorção atômica; alumínio via extração com KCl mol L^{-1} e determinação por titulação com NaOH; fósforo e potássio com extração Mehlich I, sendo P determinado por calorimetria e K por fotometria de chama. O carbono orgânico total do solo (COT) e nitrogênio total (NT) foi determinado via combustão seca em analisador elementar Vario El III CHNOS Elementar Analyzer. Os dados de fertilidade do solo são descritos na TABELA 4.

TABELA 3. Umidade gravimétrica do solo (U_g , ($g\ g^{-1}$), argila, silte e areia ($g\ kg^{-1}$), e as respectivas classes texturais, conforme triângulo textural da Natural Resources Conservation Service Soil – USDA, dos sistemas Integração Lavoura-Pecuária (ILP), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Campo Nativo Pastejado (CNP), Plantio Direto (PD), Floresta Plantada de Eucalipto (FP), Floresta Nativa (FN), Campo Nativo (CN).

Sistemas	U_g ($g\ g^{-1}$)	Argila ($g\ kg^{-1}$)	Silte ($g\ kg^{-1}$)	Areia ($g\ kg^{-1}$)	Classe textural (USDA)
ILP	0,157	221	80	699	Franco-argilo-arenoso
ILPF	0,136	213	80	724	Franco-argilo-arenoso
CNP	0,155	175	87	738	Franco-arenoso
PD	0,199	289	66	645	Franco-argilo-arenoso
FP	0,185	249	62	689	Franco-argilo-arenoso
FN	0,225	187	89	724	Franco-arenoso
CN	0,159	147	118	735	Franco-arenoso

TABELA 4. Atributos químicos da camada de 0-25 cm de profundidade do solo nos sistemas de uso estudados na região dos Campos Gerais, Ponta Grossa – PR. ILP - integração lavoura-pecuária, ILPF - integração lavoura-pecuária-floresta, CNP - campo nativo pastejado, PD - plantio direto, FP - plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*, FN - floresta nativa e CN - campo nativo.

Sistemas	pH	Ca	Cl ₂	Al	Al+H	Ca	Mg	K	SB	CTC	V	m	C	N	C/N	P
ILP	4,52	0,42	4,31	1,04	0,62	0,14	1,80	6,12	29,50	18,81	10,14	0,77	13,16	2,73		
ILPF	4,52	0,32	4,52	1,42	0,66	0,08	2,16	6,68	32,34	12,74	9,02	0,70	12,76	3,68		
CNP	3,88	1,21	5,91	0,41	0,23	0,06	0,71	6,61	10,70	60,86	10,72	0,75	14,21	1,44		
PD	4,59	0,37	4,11	1,13	0,59	0,26	1,98	6,09	32,51	15,78	9,95	0,77	12,89	5,81		
FP	3,80	1,70	6,28	0,20	0,13	0,03	0,36	6,64	5,44	83,52	9,97	0,71	14,11	1,68		
FN	3,74	2,73	12,89	1,01	0,38	0,10	1,48	14,38	10,33	80,91	32,90	2,48	13,38	1,93		
CN	3,92	1,66	6,22	0,25	0,16	0,06	0,48	6,70	7,14	76,74	9,35	0,72	12,84	1,08		

2.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO

A avaliação da estrutura do solo foi realizada pelo método Visual Evaluation of Soil Structure (VESS), proposto por Ball et al. (2007) e atualizado por Guimarães et al. (2011).

O processamento dos monólitos se deu desembalando-os e colocando-os em bandejas para a fragmentação manual da amostra, respeitando os planos de fratura entre os agregados. As amostras foram analisadas para identificação de camadas com diferentes estruturas, separando-as em camadas homogêneas e medindo-se a profundidade de cada camada. Quando os agregados foram manuseados, tomou-se o cuidado de mantê-los na mesma profundidade em que foram encontrados, para posterior avaliação da macrofauna.

Após a desagregação e avaliação dos agregados, as amostras foram comparadas à carta visual (Guimarães et al., 2011), avaliando-se as seguintes características: tamanho e forma dos agregados, porosidade visível, presença e abundância de raízes, se os agregados quebram facilmente com a força aplicada pela mão, se houve dificuldade em obter agregado de 1,5 cm de diâmetro e se o solo apresentou coloração azulada.

Em seguida, foi atribuída a nota para a estrutura do solo presente nas camadas. A nota geral do monólito foi obtida através do cálculo de uma média ponderada de todas as camadas identificadas, e tanto as camadas como a amostra como um todo foi classificada através de uma escala de 1 a 5. Segundo Guimarães et al. (2011) a nota 1 corresponde a uma estrutura friável, definida como agregados que quebram facilmente entre os dedos; a nota 2 equivale a estrutura intacta, relacionada à agregados que são facilmente desfeitos com a mão; a nota 3 indica estrutura firme, que representa o rompimento da maioria dos agregados com a mão; a nota 4, que corresponde a estrutura compactada, se relaciona à agregados que exigem esforço considerável para serem desfeitos; e a nota 5 corresponde a estrutura muito compactada, cujos agregados são de difícil desagregação com a mão. A nota 1 não exige mudança no manejo, as notas 2 e 3 exigem mudanças no manejo a longo prazo, enquanto as notas 4 e 5 apontam para estrutura degradada e requerem mudança no manejo a curto prazo.

Para a apresentação dos resultados relacionados à divisão de camadas por semelhança estrutural, adotaram-se os termos camada superficial, intermediária e mais profunda, subintendendo-se que tais termos se relacionam à posição das camadas no monólito avaliado, independente da espessura ou da profundidade em que se encontram as camadas. A camada superficial corresponde a mais próxima da superfície do solo; a intermediária, a camada

abaixo da superficial, e quando houver três camadas, a mais profunda corresponde a última camada, que está mais distante da superfície do solo.

2.6 AVALIAÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA

Para avaliação da macrofauna foram utilizadas as mesmas amostras destinadas à avaliação da estrutura do solo. Para tanto, foi modificado o método proposto por Anderson e Ingram (1993) do Programa "Tropical Soil Biology and Fertility" (TSBF) da UNESCO. Foi realizada a triagem manual dos animais dos monólitos de 20 cm x 10 cm x 25 cm, para posterior identificação e contagem.

As camadas de solo classificadas estruturalmente foram divididas fisicamente com auxílio de placas, sendo avaliada a camada na qual se encontraram os indivíduos da macrofauna. A identificação dessa profundidade é importante para realizar a correlação entre a fauna e a camada identificada pelo VESS. Os indivíduos coletados foram depositados em frascos identificados, contendo álcool 70%. Os indivíduos foram identificados ao nível de grandes grupos taxonômicos e quantificados.

A partir dos dados da macrofauna obtidos, foram calculados a riqueza da fauna e sua densidade, os índices de diversidade de Shannon e índice de equitabilidade de Pielou e índice de Dominância das camadas divididas pelo VESS em cada amostra, dos monólitos inteiros e dos sistemas de uso avaliados.

Para o cálculo da diversidade foi utilizada a riqueza (número total e médio de grupos por sistema e número médio de grupos por amostra). Os dados relacionados à densidade (indivíduos m⁻²) foram calculados com base na área do monólito de solo coletados, ou seja, 10 cm x 20 cm (0,05 m²). Para avaliação da população de animais por camada, o cálculo consistiu no valor da área (m²) multiplicado pela profundidade da camada (m).

O Índice de diversidade de Shannon (H) é considerado um medidor de heterogeneidade, levando em conta o grau de uniformidade da abundância de espécies e sua importância, ou seja, o máximo valor de H ocorre quando todas as espécies ou grupos taxonômicos encontrados possuem a mesma abundância de indivíduos (Magurran, 2004). Este índice é definido pela equação 1:

$$H = \sum p_i \cdot \log p_i \quad (1)$$

Onde: $p_i = n_i/N$; n_i = valor de importância de cada grupo; N = total dos valores de importância (Odum, 1988).

O índice de uniformidade de Pielou (e) está relacionado ao padrão de distribuição dos indivíduos entre ordens. Este índice se refere ao padrão de distribuição dos indivíduos entre os grupos, sendo definido pela equação 2:

$$e = H / \log S \quad (2)$$

Onde: H = Índice de Shannon; S = Número de grupos. O e possui valor dentro do intervalo de 0 a 1, sendo que o valor 1 representa a máxima diversidade, ou seja, situação em que todas as espécies possuem a mesma abundância (Odum, 1988).

O índice de Dominância (D) está relacionado a dominância de indivíduos de um grupo taxonômico dentro do sistema avaliado, sendo que, quanto mais próximo o resultado de 1, mais diversificado o sistema, pois menor a dominância (Magurran, 2004), e é expressa pela equação 3:

$$D = \sum p_i^2 \quad (3)$$

Onde p_i = abundância relativa de cada grupo taxonômico amostrado.

2.7 ANÁLISE DOS DADOS

Com a finalidade de identificar as diferenças significativas em relação à qualidade estrutural nos sistemas de uso avaliados, primeiramente foi analisado a normalidade dos dados através do teste de Shapiro-Wilk (w) e depois foi feito a análise dos resíduos e quando necessário foi efetuada a transformação dos mesmos empregando a abordagem gráfica e analítica do Box-Cox (Montgomery, 2004). A métrica de transformação selecionada é definida como:

$$T(Y) = (Y^\lambda - 1) / \lambda \quad (4)$$

Onde: $T(Y)$ = dado transformado; Y = resposta da variável;

Após constatado a normalidade dos dados foi realizado a ANOVA. Para a comparação de médias entre os tratamentos foi utilizado teste de Tukey ($P < 0,05$). Todas as análises foram realizadas no programa STATISTICA (StatSoft, 2006).

Para avaliar a relação entre os grupos da macrofauna juntamente às variáveis do solo foi realizada a análise de componentes principais (ACP), utilizando o programa STATISTICA (StatSoft, 2006). Os tratamentos (sistemas de uso) e as variáveis (grupos da macrofauna e indicadores físicos e químicos do solo) foram transformados em coordenadas (escores), que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação ou autovetores. Autovetor é o valor que representa o peso de cada variável em cada componente (eixos), enquanto o autovalor representa a contribuição relativa de cada componente na explicação da variação dos dados. O peso de cada variável sobre o eixo pode ser vista como equivalente ao grau de correlação destas com o eixo em questão (Alvarenga e Davide, 1999; Theodoro et al., 2003).

Após a ACP foi realizada uma análise confirmatória de possíveis correlações entre a qualidade estrutural do solo avaliada pelo VESS e outras variáveis da macrofauna, através da análise de correlação não paramétrica de Spearman, utilizando o programa STATISTICA (StatSoft, 2006).

Os grupos taxonômicos com baixa densidade de indivíduos, ou seja, menos de 4% do total de indivíduos por sistema, foram agrupados e intitulados “outros” para análise de componentes principais e apresentação de alguns resultados. E o grupo Engenheiros do solo foi constituído pela soma de indivíduos dos grupos Oligochaeta, Formicidae, Isoptera, Coleoptera e Diplopoda.

3 RESULTADOS

Apenas os dados do VESS apresentaram distribuição normal segundo o teste de Shapiro Wilk ($p < 0,36$), enquanto os demais dados apresentaram normalidade dos resíduos não sendo necessária a transformação, com exceção dos dados de Carbono que foram submetidos à transformação analítica do Box-Cox (Eq. 4), onde o valor de λ foi de -0,6, o qual corresponde ao valor de transformação.

3.1 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO

A qualidade estrutural, avaliada pelo método VESS, demonstrou que, na média de cada amostra, nenhum dos sistemas avaliados apresentou estrutura física do solo considerada compactada ($VESS > 4$), as quais apresentaram nota VESS inferior a 3 (FIGURA 3), ressaltando-se que na escala proposta pelo VESS, o menor valor corresponde à melhor qualidade estrutural e o maior valor, à pior qualidade. Porém, houve redução da qualidade estrutural do solo nos sistemas integrados em relação ao sistema Floresta Nativa, e melhoria da qualidade estrutural do solo quando é introduzida a prática de pastagem em sistema de campo nativo.

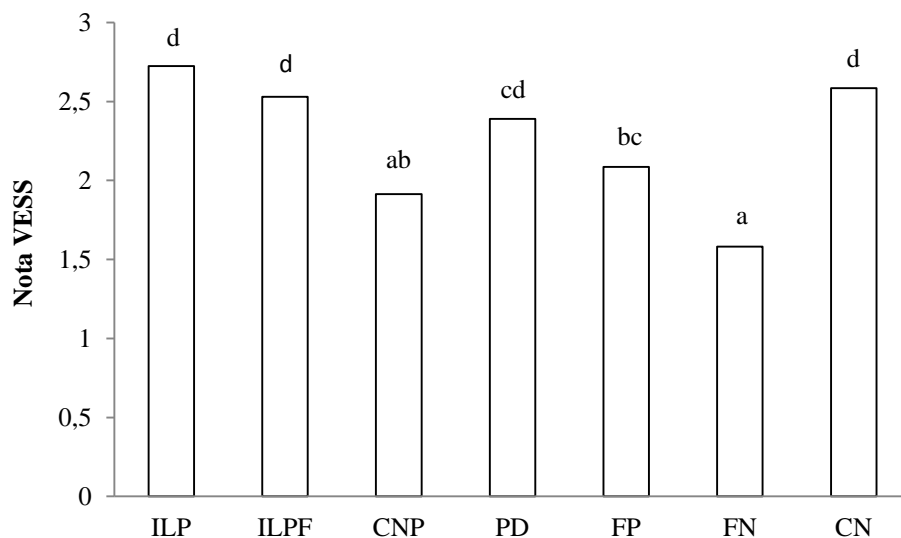


FIGURA 3. Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS) para os sistemas de uso Integração Lavoura Pecuária (ILP), Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF), Campo Nativo Pastejado (CNP), Lavoura em Plantio Direto (PD), Plantio Florestal de Eucalipto (FP), Floresta Nativa (FN) e Campo Nativo (CN). A menor nota VESS corresponde à melhor qualidade estrutural do solo. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Segundo a descrição morfológica dos agregados, realizada através da avaliação visual da estrutura do solo (VESS), os sistemas integrados (ILP e ILPF) apresentaram características estruturais semelhantes e estão entre os sistemas que receberam as maiores nota VESS (2,7 e 2,5 respectivamente). A estrutura do solo em ambos os sistemas exibiu agregados redondos a subangulares na camada superior, presença de raízes finas e em pouca quantidade ao longo dos 25 cm avaliados.

Foi relatada relativa dificuldade na fragmentação dos monólitos no sistema CNP, principalmente na camada mais próxima à superfície do solo, devido à grande quantidade de raízes presentes nas amostras. A estrutura do solo neste sistema apresentou nota superior apenas ao sistema FN (nota VESS 1,6). A maioria dos agregados presos por raízes mediu até 6 mm e exibiu formato redondo. As camadas subsuperficiais também apresentaram abundância de raízes e tamanho de agregados de até 7 cm.

O sistema PD apresentou agregados maiores, subangulares à angulares, menos porosos, pouquíssimas raízes ao longo dos 25 cm avaliados, concentradas em sua maioria na superfície, e obteve, em média, nota VESS 2,4. Já o sistema FP apresentou nota VESS 2,1 e exibiu abundância de raízes, agregados mais porosos na camada superficial e na camada subsuperficial apresentou estrutura composta por agregados de até 7 cm em média, porosos e de fácil desagregação.

As amostras do sistema FN apresentaram abundância de raízes e os monólito foram facilmente desagregados. Os agregados neste sistema mediram entre 2 mm e 40 mm de diâmetro, mesmo nas camadas mais profundas, sendo eles porosos e com presença de raízes por toda a amostra.

Em geral, o sistema CN apresentou abundância de raízes na camada superficial, muitas vezes prendendo e compondo agregados de menor tamanho. Porém na camada subsuperficial, a estrutura foi composta de agregados de maior tamanho (até 13 cm), de difícil desagregação, poucas raízes e presença de bioporos. Este sistema obteve o pior resultado (nota VESS 2,6) depois do apresentado pelo sistema ILP (FIGURA 3).

Os valores médios, mediana, máximo, mínimo e coeficiente de variação do VESS estão apresentados na Tabela 5. O sistema FN apresentou o melhor resultado quanto à qualidade estrutural do solo e o sistema ILP a nota média mais alta, seguido pelo sistema CN e ILPF.

TABELA 5. Parâmetros estatísticos para a avaliação visual da estrutura do solo (VESS). Integração Lavoura Pecuária (ILP), Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF), Campo Nativo Pastejado (CNP), Lavoura em Plantio Direto (PD), Plantio Florestal de Eucalipto (FP), Floresta Nativa (FN) e Campo Nativo (CN).

Sistemas de Uso	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variação (%)
ILP	2,7	2,7	2,0	3,3	11,3
ILPF	2,5	2,5	2,1	3,0	11,7
CNP	1,9	1,8	1,5	2,8	17,6
PD	2,4	2,4	1,8	3,1	14,6
FP	2,1	2,2	1,4	2,7	17,5
FN	1,6	1,6	1,0	2,6	29,1
CN	2,6	2,6	1,3	3,6	25,4

Os sistemas ILP e ILPF apresentaram uma diferença de 0,2 na média da nota VESS e valores máximos e mínimos também muito semelhantes. Já os sistemas CNP e CN apresentaram notas médias e máximas muito distintas, ao passo que a diferença principal entre os dois sistemas é a pastagem realizada no sistema CNP.

Os sistemas ILP e ILPF exibiram também o mesmo resultado quanto à divisão em estruturas morfológicamente semelhantes, em que 33% das amostras não apresentaram mudanças na morfologia da estrutura, sendo classificadas como uma única camada, de 0 a 25 cm de profundidade, e foram os sistemas com a maior porcentagem de camada única (TABELA 6). O sistema ILP apresentou a maior espessura da camada superficial, com a nota VESS mais alta para esta camada dentre os sistemas avaliados.

Mais de 50% de amostras dos sistemas CNP, PD, FP e CN apresentaram semelhança em questão de espessura quando a amostra apresentou duas camadas, também com notas VESS muito semelhantes. Os sistemas CNP e CN apresentaram mais de 70% de amostras com descontinuidade estrutural caracterizada pela divisão em duas camadas, e em ambos os sistemas e em FP, não foram constatadas amostras apresentando a mesma estrutura (camada única) ao longo dos 25 cm avaliados. Quando as amostras apresentaram três camadas cujas estruturas se diferenciaram, os sistemas de campo nativo (CNP e CN) exibiram a maior

espessura da camada superficial. Já os sistemas PD e FP apresentaram semelhança entre si em questão de espessura, porém o PD apresentou estrutura firme ($4 > \text{nota VESS} > 3$) na camada mais profunda. Por fim, os sistemas FP e FN exibiram notas VESS muito semelhantes, porém com espessuras diferentes.

TABELA 6. Espessura (cm) das camadas divididas pelo método VESS; porcentagem de amostras que apresentaram tal divisão de camadas; e nota VESS de cada camada nos sistemas Integração Lavoura Pecuária (ILP), Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF), Campo Nativo Pastejado (CNP), Lavoura em Plantio Direto (PD), Plantio Florestal de Eucalipto (FP), Floresta Nativa (FN) e Campo Nativo (CN). I – amostras que apresentaram uma camada; II – amostras com divisão em duas camadas; e III – amostras com divisão em três camadas.

Sistema de Uso	Espessura (cm)			Porcentagem (%)			Nota VESS		
	Camadas								
	I	I-II	I-II-III	I	I-II	I-II-III	I	I-II	I-II-III
ILP	25	10,5 – 14,5	3,3 – 13,5 – 8,25	33,3	40,0	26,7	2,6	2,1 – 2,8	1,1 – 3,3 – 2,6
ILPF	25	7,0 – 18,0	4,3 – 10,8 – 10,0	33,3	40,0	26,7	2,7	1,8 – 2,7	1,8 – 3,3 – 1,8
CNP	-	8,8 – 16,2	7,0 – 8,0 – 10,0	-	93,3	6,7	-	1,3 – 2,1	2,0 – 2,5 – 3,5
PD	25	8,5 – 16,5	4,0 – 8,0 – 12,0	6,7	53,3	40,0	2,0	1,6 – 2,4	1,0 – 2,6 – 3,3
FP	-	8,9 – 16,1	4,4 – 8,0 – 12,3	-	53,3	46,7	-	1,3 – 2,4	1,0 – 2,3 – 2,4
FN	25	7,6 – 17,4	5,8 – 10,8 – 8,5	26,7	60,0	13,3	1	1,0 – 2,1	1,0 – 2,0 – 2,5
CN	-	8,5 – 16,5	7,3 – 7,5 – 10,3	-	73,3	26,7	-	1,6 – 2,9	2,0 – 2,8 – 3,3

Uma estrutura friável (nota $\text{VESS} < 2$) foi encontrada em mais de 70 % das amostras nos sistemas de uso CNP, PD, FP, FN e CN para a profundidade de 0-5 cm (FIGURA 5). À profundidade de 5-10 cm, apenas o CNP e a FN mantiveram esta frequência, e nas profundidades superiores apenas a FN manteve mais de 70% das amostras com estrutura friável.

Em relação à estrutura considerada intacta ($3 > \text{nota VESS} > 2$), houve baixa frequência na profundidade 0-5 cm, exceto nos sistemas ILP e ILPF, que apresentaram cerca de 50% das amostras com qualidade estrutural intermediária. Foi observado incremento geral a partir de 5

cm de profundidade de nota VESS entre 2,1 e 3, ressaltando-se uma porcentagem de mais de 70% para a profundidade 10-20 nos sistemas ILP, ILPF e FP.

Amostras com a estrutura do solo classificada como firme ($4 > \text{nota VESS} > 3$) foram observadas à partir da profundidade de 5 cm. Entre 5 e 10 cm, apenas os sistemas ILP, ILPF e CN demonstraram degradação estrutural e em porcentagem inferior a 10%. Na profundidade de 10-20 cm, houve incremento na porcentagem e no número de sistemas com estrutura firme. Apenas os sistemas FP e FN não apresentaram nota VESS superior a 3, enquanto os sistemas PD e CN foram os que apresentaram a maior porcentagem de amostras com a estrutura firme ao longo da profundidade de 10 a 25 cm

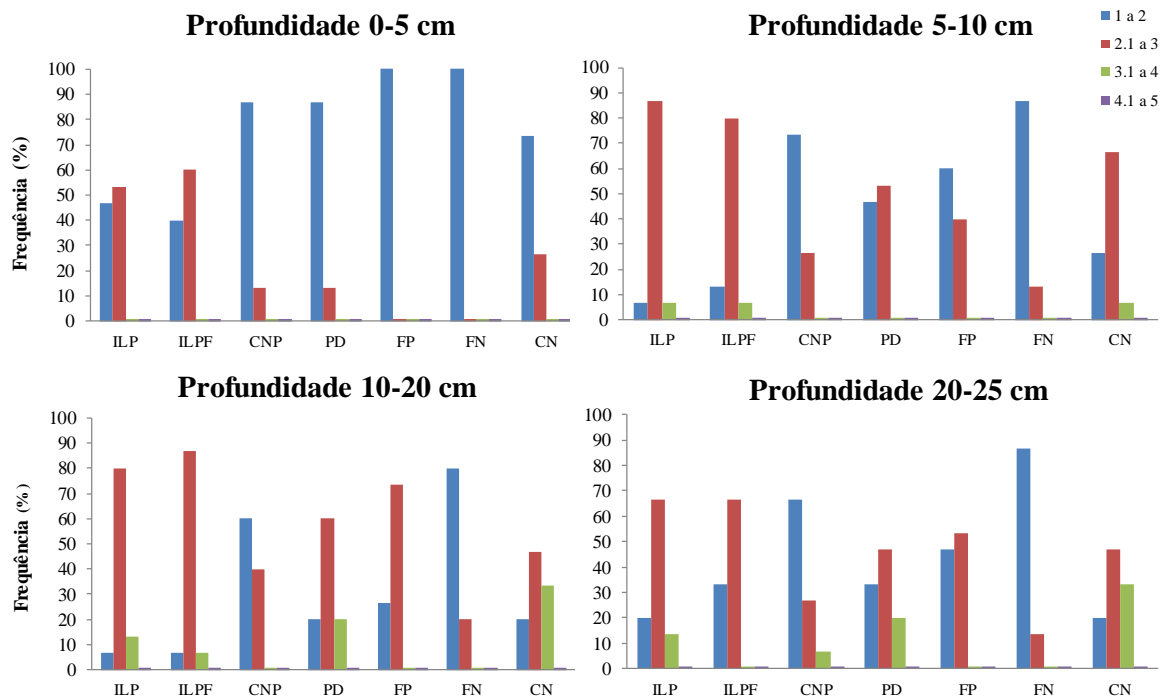


FIGURA 5. Qualidade estrutural do solo ao longo da profundidade de 25 cm, representada pelas notas do VESS: 1 a 2 - boa qualidade estrutural, 2,1 a 3 - qualidade estrutural intermediária, 3,1 a 4 - estrutura degradada, e 4,1 a 5 - estrutura extremamente degradada, nos sistemas de uso Integração Lavoura-Pecuária (ILP), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Campo Nativo Pastejado (CNP), Plantio Direto (PD), Floresta Plantada de Eucalipto (FP), Floresta Nativa (FN) e Campo Nativo (CN).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA

Considerando todos os SUS avaliados, foi encontrado um total de 5.152 indivíduos, pertencentes a 16 grupos taxonômicos. O sistema com o maior número de indivíduos da macrofauna foi CNP. Cerca de 12.000 indivíduos m^{-2} foram contabilizados neste sistema (TABELA 6). Os demais sistemas avaliados obtiveram resultados muito inferiores, que flutuaram entre aproximadamente 50 a 2.000 indivíduos m^{-2} .

TABELA 7. Grupos taxonômicos da macrofauna e suas respectivas densidades médias (indivíduos m^{-2}), total de indivíduos m^{-2} , total de engenheiros do ecossistema m^{-2} , riqueza média por amostra e riqueza total dos sistemas integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CNP), plantio direto (PD), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (FP), floresta nativa (FN) e campo nativo (CN), na região dos campos gerais, Ponta Grossa – PR.

Grupos	ILP	ILPF	CNP	PD	FP	FN	CN
Oligochaeta	97 bc	37 bc	150 a	0 c	3 c	7 c	20 bc
Isoptera	3 b	0 b	7.410 a	0 b	0 b	63 b	573 b
Formicidae	917 a	267 a	4.380 a	27 a	143 a	413 a	1.387 a
Coleoptera	150 a	43 a	183 a	20 a	190 a	123 a	120 a
Diplopoda	7 a	3 a	3 a	0 a	0 a	33 a	30 a
Chilopoda	0 a	3 a	3 a	3 a	27 a	20 a	10 a
Diptera (larva)	27 a	0 a	17 a	0 a	0 a	17 a	27 a
Vespidae	3 a	0 a	0 a	0 a	0 a	13 a	0 a
Aracnidae	3 a	0 a	23 a	0 a	7 a	10 a	10 a
Hymenoptera	3 a	3 a	0 a	0 a	3 a	13 a	0 a
Blattodea	0 a	0 a	3 a	0 a	7 a	10 a	3 a
Lepdoptera (larva)	3 a	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a
Isopoda	0 a	3 a	3 a	0 a	3 a	10 a	0 a
Orthoptera	0 a	0 a	3 a	0 a	0 a	0 a	0 a
Dermaptera	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	3 a	0 a
Gastropoda	0 b	0 b	0 b	0 b	0 b	43 a	0 b
Total	1.250 b	367 b	12.230 a	50 b	403 b	900 b	2.220 b
Engenheiros	1.173 b	350 b	12.127 a	47 b	337 b	640 b	2.130 b
Riqueza média	3 ab	1 bc	4 a	1 bc	2 b	4 ab	2 abc
Riqueza total	10	7	11	3	8	14	9

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os grupos taxonômicos mais abundantes foram, em ordem decrescente, Isoptera, Formicidae, Coleoptera, Oligochaeta, Diplopoda e Chilopoda. O sistema com o maior valor de riqueza foi FN (14 grupos taxonômicos), seguido do CNP (11 grupos taxonômicos) e ILP (10 grupos taxonômicos). Os sistemas ILPF, FP e CN foram muito semelhantes em questão de riqueza. Os grupos com menor abundância (menos de 4% de indivíduos por sistema) foram Diptera, Aracnidae, Hymenoptera, Blattodea, Lepdoptera, Isopoda, Orthoptera, Dermaptera, Vespidae e Gastropoda. Houveram grupos taxonômicos presentes apenas em um dos SUS avaliados, a exemplo dos grupos Dermaptera e Gastropoda, encontrados apenas em FN; Lepdoptera (larva) em ILP; e Orthoptera em CNP (TABELA 7).

Em relação à densidade de indivíduos, o sistema CNP apresentou a maior densidade da macrofauna (12.1823 indivíduos m^{-2}), devido, principalmente, à presença da ordem Isoptera (7.410 indivíduos m^{-2} = 61% da densidade total), com um total de cupins significativamente maior do que nos demais sistemas, e a família Formicidae (4.380 indivíduos m^{-2} = 36% da densidade total), também com total de formigas superior neste sistema do que nos demais avaliados (TABELA 7). O sistema CNP apresentou o maior número de minhocas m^{-2} , seguido do sistema ILP.

Os grupos considerados engenheiros do ecossistema obtiveram as maiores porcentagens de abundância em todos os sistemas avaliados, atingindo, por exemplo, o máximo de 98% do total da macrofauna contida nas amostras no CNP e o mínimo de 81% em FN (FIGURA 6). Foi observada uma baixa porcentagem dos grupos que não são considerados engenheiros do ecossistema, sendo que o sistema que apresentou maior porcentagem de tais grupos foi FN. Houve alta frequência da família Formicidae em todos os sistemas avaliados, se comparado aos demais grupos taxonômicos encontrados, com exceção apenas do sistema CNP, cuja frequência maior foi da ordem Isoptera.

O sistema PD apresentou a menor densidade (50 indivíduos m^{-2}) e riqueza total de todos os sistema avaliados (3 grupos apenas) e riqueza média de 1 grupo por amostra. Os grupos taxonômicos mais presentes neste sistema foram Formicidae, Coleoptera e Chilopoda. Os índices de dominância e de uniformidade não apresentaram diferenças estatísticas para os sistemas avaliados, enquanto o índice de Shannon diferiu entre os sistemas. O sistema FN apresentou os melhores índices de diversidade, porém este foi semelhante estatisticamente ao

sistema ILP, CNP e CN, e diferiu dos sistemas ILPF, PD e FP. O sistema com os piores valores de diversidade foi o sistema PD, seguido pelo sistema FP (TABELA 8).

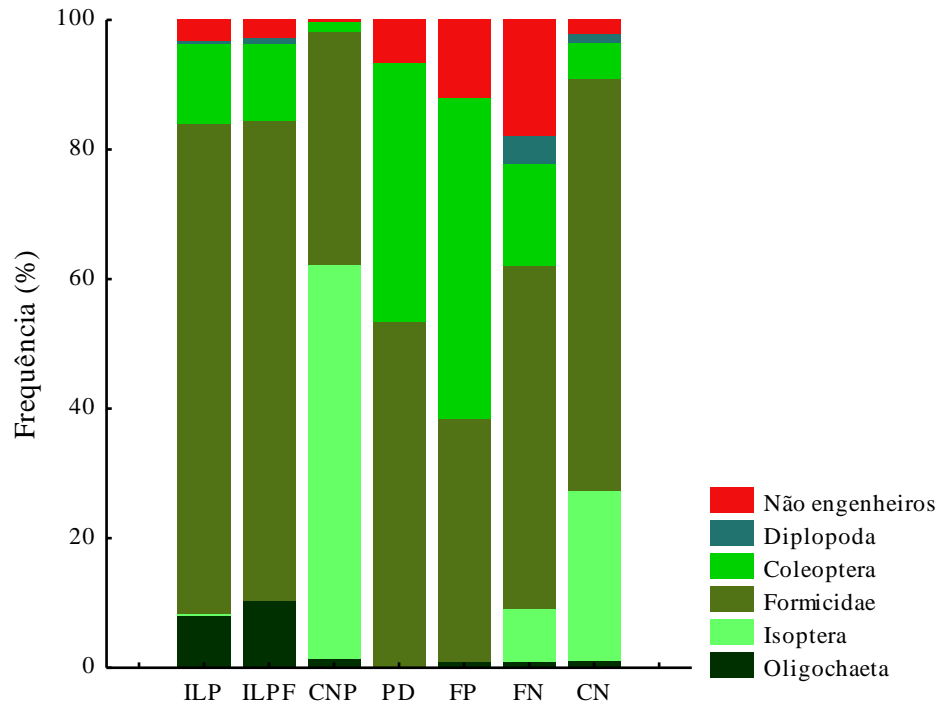


FIGURA 6. Frequência (%) relativa dos grupos de engenheiros do ecossistema (Lavelle et al., 1997; Brown et al., 2001) e de grupos não considerados engenheiros do ecossistema, em relação ao número total de indivíduos amostrados por sistema.

TABELA 8. Índices de diversidade de Shannon (H), de Equitabilidade (e) e de Dominância (D) nos sistemas Integração Lavoura-Pecuária (ILP), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Campo Nativo Pastejado (CNP), Plantio Direto (PD), Floresta Plantada de Eucalipto (FP), Floresta Nativa (FN) e Campo Nativo (CN).

	ILP	ILPF	CNP	PD	FP	FN	CN
Shannon (H)	0,71 ab	0,27 b	0,62 ab	0,08 b	0,35 b	1,02 a	0,52 ab
Equitabilidade (e)	0,64 a	0,26 a	0,40 a	0,11 a	0,35 a	0,68 a	0,49 a
Dominância (D)	0,52 a	0,58 a	0,67 a	0,28 a	0,73 a	0,48 a	0,51 a

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.3 A ESTRUTURA DO SOLO E A MACROFAUNA EDÁFICA

A qualidade estrutural do solo em cada camada avaliada foi comparada às médias dos grupos taxonômicos presentes. Constatou-se que quando o solo apresentou a melhor qualidade estrutural (nota VESS entre 1 e 2), houve maior frequência de grupos taxonômicos como os engenheiros do ecossistema (soma de indivíduos dos grupos Isoptera, Formicidae, Oligochaeta, Coleoptera e Diplopoda) e de grupos com menor expressão classificados como outros. Também foi observado maior número de grupos taxonômicos em geral e maior número de indivíduos m^{-2} nesta categoria de qualidade da estrutura do solo (TABELA 9).

Encontraram-se apenas dois grupos taxonômicos com maior número de indivíduos quando a estrutura do solo foi classificada com firme (4>nota VESS>3), sendo eles Formicidae e Chilopoda.

TABELA 9. Número médio de indivíduos m^{-2} dos grupos taxonômicos, riqueza total de grupos taxonômicos e total de indivíduos encontrados em cada categoria de qualidade estrutural do solo, correspondendo à estrutura friável (2>nota VESS>1), estrutura intacta (3>nota VESS> 2), estrutura firme (4>nota VESS>3).

Grupos taxonômicos	Nota VESS		
	1 a 2	2,1 a 3	3,1 a 4
Oligochaeta	19	27	13
Coleoptera	57	53	54
Formicidae	513	495	704
Isoptera	778	269	58
Diplopoda	8	1	0
Engenheiros	1.310	791	775
Chilopoda	5	2	8
Outros	23	16	17
Riqueza	13	14	6
Total	1.393	866	854

Observou-se maior número de Oligochaeta em solo de estrutura friável à intacta (3>nota VESS>1), sendo reduzida sua densidade em solos de estrutura considerada degradada. Foi observada maior densidade de indivíduos do grupo Isoptera e do grupo Outros

em solos de estrutura classificada como friável. Em contrapartida, o grupo Formicidae apresentou maior relação com solos com estrutura firme. O grupo Diplopoda apresentou maior densidade de indivíduos em solos de estrutura friável, enquanto o grupo Coleoptera não demonstrou densidades diferenciadas em relação a variações na estrutural do solo.

A análise de componentes principais explicou 47,4.% da variabilidade dos dados de VESS e da macrofauna, dos quais 28,8% foram explicados pela componente 1 (CP 1) e 18,6% pelo componente 2 (CP 2) (FIGURA 7). A CP 1 está relacionando às variáveis de diversidade da macrofauna, como riqueza de grupos e os índices de diversidade, enquanto a CP 2 está relacionada a abundância da fauna, como o número total de indivíduos e grupos mais abundantes nas amostras (cupins e formigas). A variável VESS se relacionou inversamente aos grupos Chilopoda, Diplopoda, Carbono Orgânico e índices de diversidade, demonstrando que o aumento de notas VESS (redução da qualidade estrutural do solo) acompanha a diminuição da abundância de indivíduos destes grupos, assim como diminuição de diversidade e menores teores de carbono orgânico.

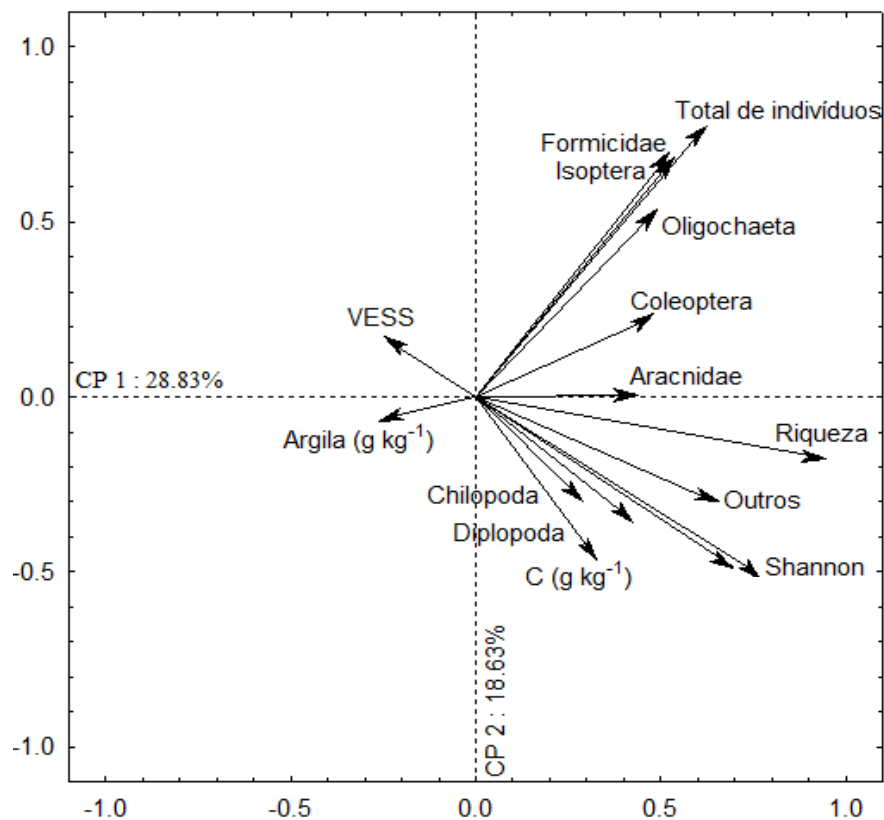


FIGURA 7. Correlação entre a componente 1 (CP 1) e a componente 2 (CP 2), considerando-se a qualidade estrutural do solo (VESS), variáveis argila, carbono orgânico no solo, e variáveis da macrofauna do solo, na região dos Campos Gerais, Paraná.

Através da análise de Spearman, foram encontradas correlações significativas entre a variável VESS e outras variáveis avaliadas (TABELA 10), apesar dos valores de ρ serem, na sua grande maioria, muito baixos. A análise de Spearman demonstrou correlação positiva entre a variável VESS e o grupo Oligochaeta, enquanto as menores notas de VESS se relacionaram ao maior número total de indivíduos m^{-2} , à maior riqueza de grupos taxonômicos e apresentaram maior número de indivíduos dos grupo Isoptera e de Engenheiros do solo.

TABELA 10. Correlações de Spearman (ρ) significativas ($p < 0.05$) entre o VESS e variáveis avaliadas.

Variável	ρ
Oligochaeta	0,21
Isoptera	-0,21
Engenheiros	-0,20
Total de indivíduos	-0,24
Riqueza	-0,19

4 DISCUSSÃO

4.1 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO

O VESS é uma ferramenta útil na avaliação da abundância e da disposição dos agregados do solo, de forma a viabilizar a detecção e monitoramento de possíveis danos causados a estrutura do solo para qualquer tipo de textura (Mueller et al, 2013), identificando camadas do solo modificadas pelo manejo (Giarola et al., 2013).

Os sistemas ILP e ILPF, que apresentaram semelhantes resultados em questão de qualidade estrutural do solo, tiveram notas médias de VESS maiores em relação aos outros sistemas, especialmente à FN (FIGURA 3). Tais resultados podem estar relacionados ao cultivo sob plantio direto, à pastagem realizada nestes locais e à lotação de animais, gerando

um efeito negativo do pisoteio do gado sobre ambos os sistemas. Ao estudarem um Latossolo argiloso no sul do Brasil, Assmann et al. (2014) concluíram que, a qualidade do solo, avaliada pelo índice de manejo de carbono, foi reduzida devido ao cultivo, especialmente sob alta intensidade de pastejo, enquanto que sob moderada intensidade de pastejo, a qualidade do solo foi similar aos sistemas não pastejados. Ademais, sob solos de textura franco siltosa e franco arenosa, Fernández et al. (2015) concluíram que o pisoteio animal durante o inverno, sob uma taxa de lotação de 1 UA ha⁻¹, não causou danos na estrutura do solo a longo prazo, e que o maior impacto sobre as propriedades físicas do solo foi devido à colheita no verão, realizada em condições de solo muito úmido.

Os sistemas ILP e ILPF apresentaram qualidade estrutural muito semelhante ao longo dos primeiros 20 cm avaliados, destacando-se melhor nota VESS de 20-25 cm no sistema ILPF (FIGURA 5), o que pode estar relacionado à presença do elemento floresta neste sistema, benéfico na manutenção da qualidade estrutural do solo para tal profundidade devido ao sistema radicular mais robusto das árvores de grande porte. Segundo Rosseau et al. (2013) a introdução de árvores nativas em sistemas pastejados podem reduzir a compactação relativa aos sistemas de cultivo tradicionais e de pastagem. Conte et al. (2011) demonstraram que houve elevação da densidade do solo e diminuição da porosidade total do solo na fase de pastagem do sistema ILP, fato que pode estar ocorrendo também nas áreas avaliadas no presente estudo. Entretanto, Souza Neto et al. (2014) observaram elevação da densidade do solo, resistência à penetração e redução da porosidade total e macroporosidade em ambos sistemas ILP e ILPF, em comparação à vegetação nativa. Além disso, tais resultados podem ser decorrentes também do tráfego mal planejado de máquinas agrícolas, o que gera modificação na estrutura do solo (Reichert et al., 2007).

Foi observado também granulometria parecida e teores de carbono orgânico muito próximos no ILP e ILPF (TABELA 3), fatores que estão diretamente relacionados à agregação e formação da estrutura do solo (Pagliai e Pellegrini, 2004), sendo que existe uma correlação positiva entre VESS e o conteúdo de argila no solo (Giarola et al., 2013), e, segundo Mueller et al. (2013), solos de textura mais argilosa proporcionam a formação de agregados angulares e maiores, fato que pode acarretar em notas mais altas pela avaliação VESS. Segundo Préchac (1992), o próprio uso contínuo do solo pode degradar as propriedades físicas do solo em sistema de lavoura, porém a recuperação pode se dar através do plantio de pastagens de gramíneas, sob lotação animal adequada.

Os sistemas que apresentaram a melhor qualidade estrutural (CNP e FN) (FIGURA 3) possuem composição florística nativa da região, baixa interferência antrópica uma vez que no sistema CNP a pastagem é de baixa lotação e no sistema FN não é praticada agricultura, e em ambos os locais não há revolvimento do solo e tráfego de máquinas agrícolas. Isso resulta em solos cuja natureza estrutural não está sendo perturbada, e por isso, tais sistemas podem ser utilizados como parâmetro de comparação aos demais sistemas avaliados. Contudo, ainda que o CN também apresente as características citadas acima, este sistema exibiu uma das piores condições de qualidade estrutural do solo, principalmente à partir da profundidade de 10 cm (FIGURA 5), em que não foram encontradas raízes e os agregados apresentaram tamanhos maiores (até 10 cm de diâmetro). A ausência de raízes pode diminuir a intensidade de agregação do solo, pois, segundo Salton et al. (2008), a abundância de raízes de gramíneas contribui para a agregação do solo, proporcionando melhor qualidade estrutural do solo, pois este tipo de vegetação apresenta sistema radicular mais volumoso e que se renova constantemente (Wendling et al., 2005, Brandão e Silva, 2012). Resultados semelhantes de nota VESS para camada superficial também foram encontrados por Guimarães et al. (2013) em Floresta nativa, diferindo que, no presente estudo, com o aumento da profundidade, a nota VESS 1 manteve-se na maioria das amostras, e no estudo citado, à partir de 10 cm de profundidade a nota VESS foi de 2,3.

A prática de pastejo no sistema CNP é de baixa intensidade e baixa lotação de animais, o que parece não ter prejudicado a qualidade estrutural dos solos dessa área. Geralmente, a compactação por pisoteio influencia a camada de 0-10 cm do solo (Collares et al., 2011), sendo que o sistema CNP não apresentou compactação em tal profundidade, exibindo boa qualidade estrutural em toda a profundidade avaliada (FIGURA 5). Uma vez bem manejado, o efeito do pisoteio pode exercer influência sobre a agregação do solo, aproximando partículas minerais e formando agregados mais estáveis (Conte et al., 2011). A utilização da vegetação de gramínea como alimento ao gado, prática que estimula o crescimento radicular das gramíneas e liberação de exsudados orgânicos no solo (Brandão e Silva, 2012), também podem ter beneficiado a formação e melhoria da estrutura ao aproximarem as partículas minerais através de seus processos de crescimento e absorção de água (Silva & Mielniczuk, 1997). Ao se comparar a qualidade estrutural do campo nativo com pastejo (CNP) e o campo nativo não pastejado (CN), por exemplo, observou-se que no campo utilizado para pastejo a qualidade estrutural do solo foi cerca de 27% melhor que a apresentada pelo sistema CN, sendo também o sistema que acumulou maior quantidade de carbono no solo depois do

sistemas FN (TABELA 4). Isto pode ser devido ao efeito do pastejo em baixa lotação, que estimula a renovação do sistema radicular, contribuindo para a agregação. Segundo Petean et al. (2010) o pastejo numa taxa adequada pode manter a pastagem com altas taxas de fotossíntese, promovendo assim, a renovação e conseqüente manutenção, crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, o que resulta na melhoria da estrutura do solo.

As propriedades apresentadas pela estrutura do solo no sistema PD, como aumento do tamanho dos agregados e ausência de raízes, são possíveis indicativos de um processo de compactação do solo decorrente do tráfego de máquinas, podendo ser minimizado através da adoção de máquinas que realizam várias operações de uma só vez, evitando a passagem pelo solo repetidas vezes (Reichert et al., 2007), e decorrente do tipo de manejo no qual não há revolvimento do solo. Contudo, essas condições não afetaram sua qualidade estrutural, principalmente nos 10 primeiros centímetros de profundidade (TABELA 6). No geral, a sobreposição de uma camada compactada sobre uma não compactada pode impor maior restrição ao desenvolvimento radicular do que camadas não compactadas próximas da superfície (Guimarães et al., 2011). Em sistemas de plantio direto, já foram descritos eventos de pé-de-plantio direto, em que o solo é compactado na camada de 8 a 15 cm e onde pode ocorrer o maior impedimento radicular (Suzuki, 2005; Reichert et al., 2007). No presente trabalho, foi verificada ausência de raízes nesta profundidade no sistema PD, agregados maiores e estrutura firme (4>nota VESS>3) a partir de 10 cm (FIGURA 5), porém tais notas foram observadas até 25 cm de profundidade, não sendo, portanto, um indicativo da formação de pé-de-plantio direto.

Mesmo que os sistemas ILP, ILPF e CN tenham apresentado as maiores notas VESS quando comparados aos sete sistemas de uso avaliados, a qualidade estrutural intacta (3>nota VESS>2) apresentada por tais sistemas é considerada boa para agricultura e requer mudanças no manejo do solo apenas à longo prazo (FIGURA 3). Segundo Souza et al. (2010a), os sistemas integrados de lavoura-pecuária, se bem manejados, podem apresentar resultados de agregação do solo melhores que os apresentados por áreas cujo sistema não envolve a pastagem de animais. No sistema ILPF, por exemplo, a fase de corte das árvores deve ser cuidadosamente planejada, uma vez que o peso das máquinas de colheita, juntamente ao arraste e levantamento dos troncos, podem exercer grandes pressões no solo (Reichert et al., 2007) e oferecer risco quanto à compactação e degradação da estrutura do solo.

Silva et al. (2009), ao compararem diferentes plantios florestais, verificaram que o plantio de eucalipto foi um dos sistemas que proporcionou os piores resultados de qualidade do solo, apresentando resultados como maior densidade do solo na profundidade de 0-10 cm dentre os plantios avaliados e redução significativa da quantidade de matéria orgânica no solo. Porém, neste estudo, o sistema FP demonstrou ótimos resultados de qualidade estrutural do solo, não tendo apresentado compactação do solo ($VESS > 4$) nem estrutura firme ($4 > \text{nota } VESS > 3$) em nenhuma das profundidades avaliadas (FIGURA 5). Ao se comparar os resultados dos sistemas de uso que possuem o elemento florestal no presente estudo (ILPF, FP e FN), todos diferiram estatisticamente, contudo o sistema FP esteve mais próximo dos resultados apresentados por FN. Possivelmente, no sistema ILPF o tráfego de maquinário esteja proporcionando maior degradação da estrutura, enquanto no FP, em que não é realizado plantio e colheita com certa frequência, o solo tenha sua estrutura preservada ao longo da profundidade avaliada, mas ainda sim a interferência antrópica contribuiu para que FP não apresentasse estrutura estatisticamente similar à FN.

A estrutura do solo nos sistemas avaliados não apresentou degradação da estrutura (nota $VESS > 4$), nem mesmo em camadas específicas nas amostras de cada sistema (TABELA 6; FIGURA 5). A maioria dos sistemas apresentou notas VESS 1 nas camadas mais superficiais (0-5 cm), corroborando com dados expostos por Giarola et al. (2013). A partir de 5 cm de profundidade, alguns sistemas, como ILP, ILPF e CN apresentaram uma baixa porcentagem de amostras com estrutura firme ($4 > \text{nota } VESS > 3$) e demandam mudanças no manejo do solo a longo prazo. A partir de 10 cm de profundidade, a maioria dos sistemas apresentou uma porcentagem de amostras com estrutura firme, sendo mais frequente na sequência $CN > PD > ILPF > ILPF$ (FIGURA 5), porém os sistemas CNP, FP e FN apresentaram estrutura friável a intacta ($3 > \text{nota } VESS > 1$) ao longo dos 25 cm avaliados, considerada uma qualidade estrutural ideal para a agricultura. Vale ressaltar que nos sistemas integrados a camada com estrutura firme ocorreu entre 3,3 e 16,8 cm, enquanto que para os sistemas PD e CN, ocorreu entre 12 e 25 cm (TABELA 6). Geralmente, em sistemas sob pisoteio animal, a camada mais afetada é superficial, entre 5 a 10 cm de profundidade (Mulholland e Fullen, 1991; Araujo et al., 2010) devido à transmissão da pressão exercida pelas patas do animal não atingirem maiores profundidades, principalmente por causa da área de contato ser pequena. Assis e Lanças (2005), avaliando os sistemas de uso plantio convencional, plantio direto e mata nativa, constataram que, em todos os sistemas, a densidade do solo foi menor na profundidade de 0-5 cm se comparado a 10-15 cm, tendo sua densidade diminuída pelo maior

teor de matéria orgânica presente nesta profundidade. A compactação do solo está relacionada ao aumento da densidade do solo (Batey et al., 2009; Giarola et al., 2013), logo, estes dados corroboram com os resultados apresentados neste estudo, uma vez que na profundidade de 0-5 cm, todos os sistemas avaliados apresentaram qualidade estrutural boa, com agregados de no máximo 2 cm, porosidade visível e presença de raízes, um indicativo de menor densidade do solo e não compactação.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA

Os grupos taxonômicos encontrados nas áreas avaliadas são comumente encontrados em áreas com remanescentes de floresta com araucária e campos gerais (Baretta et al., 2007; Baretta et al., 2010; Baretta et al., 2011). Em média, constam em literatura riqueza da macrofauna em florestas nativas com araucária e campos gerais de 11 grupos taxonômicos (Aquino et al., 2008), 8 grupos na época mais úmida (Córdova et al., 2009), sendo ambos os resultados inferiores aos encontrados na floresta nativa e campos nativos de Vila Velha. Os grupos taxonômicos mais abundantes neste trabalho também foram citados por Pauli et al. (2011), em estudo sobre a macrofauna edáfica em sistema agroflorestal, na região ocidental de Honduras.

O maior número de indivíduos encontrados no sistema CNP foi decorrente do maior número de indivíduos do grupo Isoptera, seguido do grupo Formicidae (TABELA 7; FIGURA 6). Uma maior frequência destes grupos em sistema de pastagem também foi descritos por outros autores, como Benito et al. (2004) e Brown et al. (2004). Benito et al. (2004) apresentaram valores muito semelhantes aos encontrados no presente estudo, sendo verificada maior frequência do grupo Isoptera (61,8 a 81,9 % da densidade total) e do grupo Formicidae (5 a 14% da densidade total) em sistemas de pasto com fitofisionomia semelhante, no bioma Cerrado. Segundo Baretta et al. (2007), a ordem Isoptera é amplamente utilizada como bioindicadora de qualidade do solo, estando relacionada a áreas perturbadas e/ou degradadas ambientalmente, ou ainda contaminadas quimicamente; e a presença de formigas e/ou de algumas espécies desta família, pode estar relacionada a sistemas de culturas mais duráveis, a modificações ambientais, a áreas mal manejadas e em estado de degradação ambiental. A maior abundância de minhocas nesse sistema pode estar relacionada, segundo Silva et al. (2006), ao maior volume de raízes e, por isso, aumento no teor de matéria orgânica no solo neste local.

Os sistemas ILPF, FP e CN apresentaram riqueza de grupos taxonômicos praticamente igual, porém os grupos presentes em cada sistema foram diferentes (TABELA 7), o que é decorrente das diferentes características de vegetação e manejo de cada um dos sistemas (Lavelle e Spain, 2002).

Os sistemas de campo nativo (CNP e CN) apresentaram maior valor de densidade de cupins dentre os sistemas avaliados (TABELA 7), possuindo certa fidelidade a estes tipos de ambientes. Baretta et al. (2011) afirmam que certos grupos da macrofauna, como os insetos sociais, frente a uma diminuição de recursos alimentares, podem se estabelecer facilmente e dominar a comunidade, sendo comumente encontrados em áreas de desmatamento e pastagem, o que pode estar associado, por exemplo, a capacidade em retirar nutrientes da serapilheira de gramíneas.

O sistema FN, que apresentou os melhores resultados quanto à diversidade da macrofauna (TABELA 8) também obteve a melhor nota VESS entre os sistemas (FIGURA 3), demonstrando uma conservação das condições naturais do ambiente local. Este sistema também apresentou resultados de teor de carbono significativamente maiores que os demais sistemas, e segundo Baretta et al. (2011), a maior disponibilidade de alimento diminui a competição, e isso contribui para a proliferação da macrofauna. Os grupos Dermaptera e Gastropoda estiveram presentes apenas no sistema FN. Estes grupos taxonômicos são bastante sensíveis às mudanças ambientais que podem ser decorrentes do manejo do solo para a agricultura (Moço et al., 2005; Silva et al., 2008), sendo considerado um resultado importante para estudos sobre bioindicador de qualidade do solo (Rousseau et al., 2013).

Diversos estudos apontam o sistema de lavoura em plantio direto como sendo um promotor do desenvolvimento e estabelecimento da macrofauna, uma vez que a cobertura do solo e o não revolvimento promovem o aumento da matéria orgânica no solo e, assim, a oferta de alimento, a proteção em relação a variações de temperatura e desagregação do solo (Baretta et al., 2003; Alves et al., 2006; Baretta et al., 2006). Porém, este não foi um resultado encontrado neste estudo, pois o PD foi o sistema com a menor riqueza da macrofauna (menor número de grupos taxonômicos encontrados por amostra e por sistema), valor mais baixo de indivíduos.m⁻² (TABELA 7). Os resultados do VESS para o PD demonstram estrutura preservada para este sistema, cuja nota média foi de 2,4, classificada como intacta estando ligeiramente abaixo do valor médio de ILP, ILPF e CN, que foram respectivamente de 2,7, 2,5 e 2,6. Porém, o PD apresentou mais de 20 % de amostras com estrutura firme (4>nota VESS>3) a partir de 10 cm de profundidade. Além disso, não foi encontrado minhocas nesse

sistema, o que era de se esperar segundo Brown et al. (2003) e Bartz et al. (2013), indicando um possível efeito de compactação, já que as minhocas são bastante sensíveis à compactação do solo (Baretta et al., 2011).

O fato de grupos, considerados engenheiros do ecossistema, terem sido predominantes em questão de abundância em todos os sistemas (FIGURA 6), pode ser importante para a geração de serviços ambientais associados à atividade dos mesmos no solo (Brown et al., 2015), incluindo melhorias na qualidade estrutural do solo e na infiltração e armazenamento de água, beneficiando e facilitando o estabelecimento de demais grupos (Lavelle et al., 1997).

Em relação aos índices de diversidade, é comum haver ampla variação de valores entre ambientes distintos, uma vez que cada ambiente ou sistema de uso do solo possui vegetação e/ou manejo diferenciado, o qual está diretamente relacionado à composição faunística do local (Baretta et al., 2011). Córdova et al. (2009), estudando a diversidade da fauna em sistema de vegetação nativa e povoamento de *Pinus* sp, citam que o índice H foi de 0,9 para floresta nativa de Araucária, dado muito semelhante ao demonstrado no presente estudo (TABELA 8), enquanto que para o sistema campo nativo, o mesmo estudo indica índices de 1,2 e os índices H do CN e do CNP foram 0,5 e 0,6, respectivamente, ou seja, muito inferiores. O baixo valor do índice H dos sistemas de campo nativo deste estudo podem estar relacionados a antigas práticas de queimada (CN) e de pisoteio (CNP), que não ocorreram no sistema campo nativo descrito por Córdova et al. (2009).

Segundo Baretta et al. (2011), diferenças entre diversidade nos sistemas são diretamente relacionadas a fatores abióticos locais, como clima, temperatura, textura, além do manejo específico do solo. Neste mesmo estudo, foram descritos estudos científicos de diferentes autores, relacionando índices de diversidade de Shannon para diversos sistemas de uso do solo, alguns com condições de solo, clima e sistema de uso muito semelhantes aos deste estudo. Para uma área de mata nativa com araucária, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico semelhante ao estudado neste trabalho, na cidade de Campos do Jordão (SP), o índice H foi de 0,6 para floresta de araucária natural e de 0,8 para floresta de araucária induzida, valores inferiores ao encontrado para o fragmento de floresta nativa com remanescente de araucária. Para um sistema de pasto natural + araucária da região de Campos do Jordão, o índice H encontrado foi de 0,9, enquanto no presente caso o índice H foi de 0,6. Porém, o sistema PD teve uma ampla diferença no índice H se comparado ao apresentado nessa compilação de estudos proposta por Baretta et al. (2011). O valor do índice H para o

presente estudo foi 0,1, enquanto alguns autores citam valores superiores, como índice H igual a 1,6 para um plantio direto estabelecido há 29 anos, em Latossolo da região de Campinas (Alves et al., 2006) e valor do índice H de 2,0 para um plantio direto com rotação de culturas e subsolagem em Latossolo na região de Londrina, Paraná (Brown et al., 2001).

O sistema ILP apresentou valores de índice H mais próximos dos resultados apresentados pelo sistema FN (TABELA 8), assim como exibiu a segunda maior riqueza total de grupos taxonômicos e alto valor de indivíduos.m⁻², quando comparados aos resultados de todos os sistemas avaliados neste estudo (TABELA 7). Segundo Souza et al. (2010b), sistemas de integração lavoura-pecuária em plantio direto, sob lotação animal adequada, são capazes de manter a qualidade biológica do solo, apresentando resultados similares a de um sistema sem a entrada de animais, dados que corroboram com os apresentados neste estudo, uma vez que este sistema foi capaz de manter, relativamente, a diversidade e abundância da macrofauna do solo.

4.3 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO E MACROFAUNA EDÁFICA

O maior número de variáveis da macrofauna avaliadas neste estudo se correlacionou inversamente ao VESS, isto porque a escala de notas VESS é invertida, e a melhor qualidade estrutural corresponde a menor nota VESS. Ou seja, variáveis como total de indivíduos m⁻² e riqueza de grupos apresentaram maiores valores em solos cuja estrutura recebeu notas VESS 1 a 2. (TABELA 9).

Apenas os grupos Formicidae, Chilopoda e Coleoptera (em estágio larval e adulto) apresentaram maior densidade de indivíduos em solo cuja estrutura foi classificada com nota VESS entre 3,1 e 4 (TABELA 9). As formigas se adaptam facilmente a variadas condições ambientais, podendo haver, no entanto, predomínio de uma ou poucas espécies (Silva et al., 2006) e podem, ainda, indicar degradação ambiental (Baretta et al., 2003). A qualidade estrutural parece não ter afetado a abundância de centopeias, que, na condição de predadoras, podem estar mais relacionadas à abundância de outros organismos. Foi observado, por exemplo, correlação inversa entre Chilopoda e VESS (FIGURA 7), ou seja, maior abundância de centopeias em qualidade estrutural melhor, condição essa do solo em que foi encontrado maior número de indivíduos ao total, corroborando com a hipótese de que este grupo taxonômico esteja mais relacionado ao hábito alimentar do que à qualidade estrutural do solo.

Apenas o grupo Oligochaeta apresentou correlação positiva com VESS (TABELA 10). Tal resultado pode estar relacionado à capacidade das minhocas em realizar atividades como abertura de buracos e cavidades mesmo em solos mais firmes, colaborando para a formação e regeneração da estrutura do solo. Capowiez et al. (2009) verificou, em experimentos de compactação do solo, que as minhocas são capazes de neutralizar parcialmente os efeitos prejudiciais da compactação, podendo contribuir na regeneração de tais áreas, através da sua atividade no solo. Entretanto, à partir de uma condição de solo mais degradada (notas VESS>3), este grupo têm sua população reduzida, não sendo mais hábil em manter a resiliência do solo (TABELA 9).

Observou-se uma correlação negativa entre a variável VESS e o grupo Engenheiros do ecossistema, demonstrando que o solo com melhor qualidade estrutural possui também maior número de cupins, formigas, minhocas e miliápodes juntos (FIGURA 7; TABELA 10). A alta densidade destes organismos pode estar modificando intensamente a estrutura dos solos, pois solos habitados por estes grupos em geral são coesos e de estrutura estável e possuem alta heterogeneidade espacial e temporal, fato que está diretamente relacionado ao aumento da diversidade da fauna do solo e de plantas (Jouquet et al., 2006). A mesma correlação negativa foi observada entre VESS e o total de indivíduos m^{-2} , sendo que, em todos os sistemas, os engenheiros contribuíram com mais de 80% do total de indivíduos encontrados.

5 CONCLUSÕES

Os sistemas conservacionistas avaliados neste estudo apresentaram boa qualidade estrutural, mantendo a qualidade estrutural geral do solo. Porém, há redução da qualidade estrutural à partir de 5 cm de profundidade nos sistemas integrados (ILP e ILPF) e no campo nativo (CN), e à partir de 10 cm no sistema de lavoura em plantio direto (PD), indicando que tais sistemas podem ser comprometidos em questão de qualidade estrutural do solo com o uso prolongado do solo na agricultura.

O sistema floresta nativa (FN) e campo nativo pastejado (CNP) apresentaram os melhores resultados quanto à qualidade estrutural, com estrutura friável em toda a profundidade avaliada no sistema FN, e friável a intacta no sistema CNP. Sistemas que possuem o elemento florestal, com exceção do ILPF, mantiveram estrutura friável a intacta em toda profundidade estudada.

A maior diversidade da macrofauna, assim como a melhor uniformidade de indivíduos por grupos taxonômicos foi encontrada no sistema FN. No campo nativo pastejado (CNP) houve dominância do grupo Isoptera.

O grupo Oligochaeta teve boa adaptação em solo com estrutura friável a intacta (3>nota VESS>2), tendo sua população reduzida quando a estrutura foi classificada como firme (3>nota VESS>4). Foi observada boa adaptação do grupo Formicidae em solo com estrutura firme. O grupo Chilopoda parece não ser influenciado por diferentes condições de estrutura do solo.

A melhor qualidade estrutural do solo apresentou maior frequência de engenheiros do ecossistema e de grupos taxonômicos em geral, e maior abundância de indivíduos.m⁻².

LITERATURA CITADA

- Alvarenga MI, Davide AC. Características física e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 1999; 23:933-942.
- Alves MV, Baretta D, Cardoso EJB. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no Estado de São Paulo. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 2006; 5:33-43.
- Anderson JM, Ingram JSI. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. 2nd ed. Wallingford, CAB International; 1993. Aquino AM, Aguiar-Menezes EL, Queiroz JM. Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (Pitfall-traps). *Circular Técnica, Embrapa*. 2006; 18:1-8.
- Aquino AM, Correia MEF. *Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo*. 1st ed. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 2005; 201.
- Aquino AM, Silva RF, Mercante MEFC, Guimarães PL. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in no-till system in Cerrado. *European Journal of Soil Biology*. 2008; 44:191-197. Assis RL, Lanças KP. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distrófico sob sistema de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2005; 29:515-522.

- Araújo FS, Salvino AAC, Leite LFC, Souza ZM, Sousa CMS. Physical quality of yellow latosol under integrated crop-livestock system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2010; 34:717-723.
- Assmann JM, Anglinoni I, Martins A P, Costa SEVGA, Cecagno D, Carlos FS, Carvalho PCF. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2014; 190:52–59.
- Ball BC, Batey T, Munkholm LJ. Field assessment of soil structure EJBI quality – a development of the Peerkamp test. *Soil Use and Management*. 2007; 23:329-337.
- 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). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2007.
- Baretta D, Brown GG, Cardoso EJBN. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. *Acta Zoologica Mexicana*. 2010; 2:135-150.
- Baretta D, Santos JCP, Mafra AL, Wildner LP, Miquelluti DJ. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 2003; 2:97-106.
- Baretta D, Santos JCP, Segat JC, Geremia EV, Filho LCIO, Alves MV. Fauna edáfica e qualidade do solo. *Tópicos em Ciência do Solo*. 2011; 7:119-170.
- Barros E, Pashanasi B, Constantino R, Lavelle P. *Biology and Fertility of Soils*. 2002; 35-338-347.
- Batey T. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use and Management*, 2009; 25:335–345.
- Benito NP, Brossard M, Pasini A, Guimarães MF, Bobillier B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *European Journal of Soil Biology*. 2002; 40:147-154.
- Brady NC, Weil RR. *The nature and properties of soils*. 13th ed. New Jersey: Prentice-Hall; 2002.

Brandão ED, Silva IF. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. *Ciência Rural*. 2012; 42:1193-1199.

Brown, G.G., Pasini, A., Benito, N.P., Aquino, A.M., Correia, M.E.F. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems. In: *Proceedings of the International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*; novembro 2001; Montreal, Canadá. Montreal, UNU/CBD; 2001. p.20.

Brown GG, Moreno AG, Barois I, Fragoso PR, Hernández B, Patrón J. Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 2004; 103:313-327.

Cervi A, Linsingen LV, Hatschbach G, Ribas OS. A vegetação do parque estadual de Vila Velha, município Ponta Grossa, Paraná, Brasil. *Boletim do museu botânico municipal*. 2007; 69:01-52.

Capowiez Y, Cadoux S, Bouchant P, Ruy S, Roger-Estrade, Richard G, Boizard H. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities macroporosity and water infiltration. *Soil Tillage & Research*. 2009; 105:209-216.

Collares GL, Reinert DJ, Reichert JM, Kaiser DR. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura-pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*. 2011; 41:246-250.

Constantino R, Alcioli ANS. Diversidade de cupins (Insecta: Isoptera) no Brasil. IN: Moreira FMS, Siqueira JO, Brussaard L. *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. 1st ed. Lavras: UFLA; 2008.

Conte O, Flores JPC, Cassol LC, Anghinoni I, Carvalho PCF, Levien R, Wesp CL. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2011; 46:1301-1309.

Córbova M, Chaves CM, Manfredi-Coimbra S. Diversidade edáfica em áreas de vegetação nativa e povoamento de *Pinus* sp. *Geoambiente on-line*. 2009; 12:30-41.

Dalazoana K, Silva MA, Moro RS. Comparação de três fisionomias de campo natural no parque estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, PR. *Revista Brasileira de Biociências*. 2007; 5:675-677.

Derpsch R, Roth CH, Sidiras N, Köpke U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ); 1991.

Dexter, AR. Advances in Characterization of Soil Structure. *Soil Tillage & Research*. 1988; 11: 199-238.

Fernández PL, Alvarez CR, Taboada MA. Topsoil compaction and recovery in integrated no-tilled crop-livestock systems of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 2015. p. 86-94.

Gee GW, Bauder JW. Particle-size analysis. In: Klute A. *Methods of soil analysis*. 2ed. Madison, American society of agronomy; 1986. p.383-411.

Giarola NFB, Silva AP, Tormena CA, Ball B, Rosa JA. Visual soil structure quality assessment on Oxisols under no-tillage system. *Scientia Agricola*. 2010; 67:479-482.

Guimarães RM, Ball BC, Tormena CA. Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management*. 2011; 27:395-403.

Guimarães RML, Ball BC, Tormena CA, Giarola NFB, Silva AP. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soil of contrasting texture and management. *Soil Tillage & Research*. 2013; 127:92-99.

Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). *Cartas climáticas básicas do estado do Paraná*. Londrina: IAPAR (Série Documentos, 18); 1994.

Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG). *Formações fitogeográficas do estado do Paraná*. http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf. Acesso em março de 2011.

Jouquet P, Dauber J, Lagerlöf, Lavelle P, Lepage. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Applied Soil Ecology*. 2006; 32:153-164.

Kassam A, Friedrich T, Shaxson F, Pretty J. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2009; 7:292-320.

- Lavelle, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*. 1997; 27:93-132.
- Lavelle P, Barros E, Blanchart E, Brown GG, Desjardins LM, Rossi JP. SOM management in the tropics: why feeding the soil macrofauna? *Nutrient Cycling Agroecosystems*. 2001; 61:53-61.
- Lavelle P, Spain AV. *Soil ecology*. 1st ed. Dordrecht: Kluwer Print on Dema; 2002.
- Lima SS, Aquino AM, Leite LFC, Velásquez E, Lavelle P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2010; 3:322-331.
- Lourente ERP, Silva RF, Silva DA, Marchetti, ME, Mercante FM. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Acta Ciência Agronômica*. 2007; 29:17-22.
- Maack R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE; 1992.
- Macedo MCM. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2009; 38:133-146.
- Magurran AE. *Measuring biological diversity*. 1st ed. Oxford: Blackwell Science; 2004.
- Marques R, Motta ACV. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: Lima RM. *Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícola*. 1st ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2003. p.81-102.
- Mello LMM, Yano E H, Narimatsu KCP, Takahashi CM, Borghi E. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de forragem e resíduo de palha após pastejo. *Revista Engenharia Agrícola*. 2004; 24:121-129.
- Milan E, Moro RS. Padrões de fragmentação florestal natural no parque estadual de Vila Velha, Ponta Grossa (PR). *Ambiência Guarapuava*. 2012; 8-685-697.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). *Ecosystems and human wellbeing: global assessment reports*. *Island Press*, Washington, DC. 2005.

- Moncada MP, Gabriels D, Lobo D, Rey JC, Cornelis WM. Visual field assessment of soil structural quality in tropical soils. *Soil Tillage & Research*. 2014; 139:8-18.
- Montgomery DC. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4ª ed. Rio de Janeiro; 2004.
- Mueller L, Shepherd G, Schindler U, Ball BC, Munkholm LJ, Hennings V, Smolentseva E, Rukhovic O, Lukin S, Hu C. Evaluation of soil structure in framework of an overall soil quality rating. *Soil Tillage & Research*. 2013; 127:74-84.
- Mulholland B, Fullen MA. Cattle trampling and soil compaction on loamy sands. *Soil use and management*. 1991; 7:89-193.
- Odum EP. *Ecologia*. 2nd ed. Rio de Janeiro: Guanabara; 1988.
- Pagliai M, Vignozzi N, Pellegrini S. Soil structure and the effect of management practices. *Soil Tillage & Research*. 2004; 79:131-143.
- Pauli N, Barrios e, Conacher A J, Oberthür T. Soil macrofauna in agricultural landscapes dominated by the Quesungual slash-and-mulch agroforestry system, western Honduras. *Applied Soil Ecology*. 2011; 47:119-132.
- Peerlkamp PK. A visual method of soil structure evaluation. *Meded. v.d. Landbouwhogeschool en Opzoekings stations van de Staat te Gent*. 1959; 24: 216–221.
- Petean LP, Tormena CA, Alves SJ. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo vermelho distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2010; 34:1515-1526.
- Porfírio SV. Produtividade em sistema de integração lavoura pecuária floresta no subtropical brasileiro (Tese). Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2012.
- Portilho IIR, Crepaldi RA, Borges CD, Silva RF, Salton JC, Mercante FM. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2011; 46-1310-1320.
- Préchac FG. Propriedades físicas y erosion in rotaciones de cultivos y pasturas. *Revista Investigación Agraria*. 1992; 1:127-140.
- Reichardt K. Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2nd ed. São Paulo: USP-ESALQ, 1996.

Reichert JM, Suzuki LEAS, Reinert DJ. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos em Ciência do Solo*. 2007; 5:49134.

Rousseau L, Fonte S J, Téllez O, Hoek R V D, Lavelle P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agrosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*. 2013; 27:71-82.

Salton JC, Mielniczuk J, Bayer C, Boeni M, Conceição PC, Fabrício AC, Macedo MCM, Broch DL. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2008. 32:11-21.

Shepherd, T.G. *Visual Soil Assessment: Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country*. 1 st ed. Palmerston North: horizons.mw & Landcare Research, 2000.

Silva R F, Aquino A M, Mercante F M, Guimarães M F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em latossolo da região do Cerrado. *Pesquisa agropecuária brasileira*. 2006; 41:697-704.

Silva IF, Mielniczuk J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 1998; 22:311-317.

Silva LG, Mendes IC, Junior FBR, Fernandes MF, Melo JT, Kato E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2009; 44:613-620.

Sousa Neto EL, Andrioli I, Almeida RG, Macedo MCM, Lal R. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2014; 38:608-618.

Souza ED, Costa SEVGA, Anghinoni I, Carvalho PCF, Oliveira EVF, Martins AP, Cao E, Andrighetti M. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2010; 34:1365-1374. (a)

Souza ED, Costa SEVGA, Anghinoni I, Lima CVS, Carvalho PCF, Martins AP. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2010; 34:79-88. (b)

Statsoft inc. *STATISTICA (Data Analysis Software System)*. Version 7. Inc Tulsa, 2006.

Suzuki LEAS. Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas (Dissertação). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2005.

Theodoro VCA, Alvarenga MIN, Guimarães RJ, Souza CAS. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2003; 27:1039-1047.

Tisdall JM, Oades JM. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal of Soil Science*. 1982; 33:141-163.

Toyota A, Kaneko N, Ito MT. Soil ecosystem engineering by the train millipede *Parafontaria laminata* in a Japanese larch forest. *Soil Biology & Biochemistry*. 2006; 38: 1840–1850.

Vasconcelos HL. Formigas do solo nas florestas da Amazônia de diversidade e respostas aos distúrbios naturais e antrópicos In: Moreira FMS, Siqueira JO, Brussaard L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. 1ª ed. Lavras: UFLA. 2008. p.223-244.

Zagatto MRG. Fauna edáfica em sistemas de uso do solo no município de Ponta Grossa-PR (dissertação). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2014.

Yong A e Leiva A. La biodiversidade florística em los sistemas agrícolas. *Cultivos Tropicales*. 2004; 31:5-11.

Wendling B, Jucksch I, Mendonça E Sá, Neves J C L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2005; 40: 487-494.