



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

AVALIAÇÃO VISUAL DA SAÚDE DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS

LUCAS JOSÉ BEVILAQUA

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARIA LEONOR R. C. LOPES ASSAD

ARARAS

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

AVALIAÇÃO VISUAL DA SAÚDE DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS

LUCAS JOSÉ BEVILAQUA

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARIA LEONOR R. C. LOPES ASSAD

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agroecologia e
Desenvolvimento Rural como requisito
parcial à obtenção do título de MESTRE
EM AGROECOLOGIA E
DESENVOLVIMENTO RURAL

ARARAS

2017

Bevilaqua, Lucas José

Avaliação visual da saúde de solos sob diferentes usos / Lucas José
Bevilaqua. -- 2017.
149 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Araras, Araras

Orientador: Maria Leonor R.C. Lopes Assad

Banca examinadora: Maria Leonor R.C. Lopes Assad, Anastácia
Fontanetti, Tiago Osório Ferreira

Bibliografia

1. Indicadores visuais. 2. Biofuncionamento do solo. 3. Macrofauna
edáfica de invertebrados. I. Orientador. II. Universidade Federal de São
Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Lucas José Bevilaqua, realizada em 21/07/2017:

Profa. Dra. Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad
UFSCar

Profa. Dra. Anastacia Fontanetti
UFSCar

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira
USP

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, fonte de força, amor e luz na minha vida.

À minha família, principalmente meus pais José Roberto e Ruth, e aos meus irmãos, Carlos, Paulo, Rita e Pedro, por todo apoio, compreensão e incentivo.

À Maisa, minha companheira em todos os momentos e a nossa filha, Clara Lua que vem chegando.

Ao Tavico, pelo incentivo para que eu prestasse o mestrado e por todos ensinamentos.

À Leonor, minha orientadora, por acreditar neste trabalho e por toda atenção, dedicação e ensinamentos desde a elaboração do projeto até as etapas finais da pesquisa.

Aos colegas de Araras, principalmente à Elaine e Maria Angélica pelo acolhimento e amizade.

Aos colegas do mestrado, principalmente ao Gabriel, à Vivian, Caio, Very e todos que sempre apoiaram nossos trabalhos com agrofloresta.

Aos professores Fernandinho e Fabrício Rossi pela visão que transmitem da agroecologia.

Aos amigos do Coletivo Pés Vermelhos e da Refazenda pelo carinho de sempre.

Aos grandes amigos de São Simão, Fabio, Budé, Pitú, Públio, Gui e Juninho.

Aos amigos da Fazenda São Luiz, do projeto Arte na Terra, do Mutirão Agroflorestal, dos assentamentos Sepé Tiarajú e Mário Lago, e da USP de Ribeirão Preto, que são muitos.

Aos irmãos da Rainha do Céu pela amizade.

Em especial, agradeço a todos do Sítio São Sebastião, principalmente ao Pelicano e à Jaci, e também ao Marco, Vinícius, Emílio, Leandro, Ivair, Gabriel, João, César e Arthur, por apoiarem a prática agroflorestal e pela ajuda durante todo o mestrado.

Finalmente, agradeço à CAPES pela Bolsa recebida durante 12 meses.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE SIGLAS.....	i
ÍNDICE DE TABELAS.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
RESUMO GERAL.....	x
ABSTRACT.....	x
i	
INTRODUÇÃO GERAL.....	xii
CAPÍTULO 1- REVISÃO DE LITERATURA	1
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1. Avaliação visual da estrutura do solo	5
1.2. Métodos agroecológicos de avaliação da saúde do solo	13
1.3. Métodos de avaliação da bioestrutura do solo	17
1.4. Métodos integrados e avaliação visual do solo	21
1.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO VISUAL DA SAÚDE DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS	30
RESUMO	30
VISUAL EVALUATION OF SOIL HEALTH UNDER DIFFERENT USES	31
SUMMARY.....	31
2. INTRODUÇÃO	32
2.1. Indicadores de qualidade e saúde do solo	33
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
2.2.1. Método VSA proposto por SHEPHERD et al. (2008)	39
2.2.2. Método VESS, proposto por Ball e Guimarães (2011)	40
2.2.3. Metodologia VSA proposta por Niero et al. (2010)	41
2.2.4. Método Estrutural Modificado (MEM), de Marques (2014).....	42
2.2.5. Método Agroecológico proposto por Altieri e Nicholls (2002)	42
2.2.6. Método Integrativo (MIAVS) proposto por Casalinho et al. (2007)	43
2.2.7. Método de Avaliação Visual da Saúde do Solo (AVSS)	43
2.2.8. Formas de avaliação dos resultados.....	44
2.3.1. Resultados obtidos pelo método VSA de Shepherd et al. (2008).....	44

2.3.2. Resultados obtidos pelo método Visual Evaluation of Soil Structure (VESS) proposto por Ball e Guimarães (2011).....	49
2.3.3. Resultados obtidos pelo método VSA adaptado por Niero et al. (2010)	52
2.3.4. Resultados obtidos pelo Método Estrutural Modificado por Marques (2014).....	55
2.3.5. Resultados obtidos pelo Método Agroecológico de Altieri e Nicholls (2002).....	62
2.3.6. Resultados obtidos pelo Método Integrativo para Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS) de Casalinho et al. (2007)	65
2.3.7. Resultados obtidos pelo método Avaliação Visual da Saúde do Solo (AVSS), desenvolvido na atual pesquisa.....	68
2.3.8. Comparação entre as metodologias	81
2.4. CONCLUSÕES	84
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
CAPÍTULO 3 - MACROFAUNA INVERTEBRADA E A SAÚDE DO SOLO.....	89
RESUMO	89
SUMMARY	90
3.1. INTRODUÇÃO	90
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	95
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
3.4. CONCLUSÕES	105
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
CONCLUSÕES GERAIS.....	110
APÊNDICES	111
Apêndice 1. Cartão de campo utilizado na metodologia VSA de Shepherd et al. (2008).....	112
Apêndice 2. Cartão de campo utilizado na metodologia VESS de Ball e Guimarães (2011).	113
Apêndice 3. Cartão de campo utilizado na metodologia VSA modificada por Niero et al. (2010).....	115
Apêndice 4. Cartão de campo utilizado na metodologia MEM de Marques (2014).....	116
Apêndice 5. Cartão de campo utilizado no método agroecológico de Altieri e Nicholls (2002).	0
Apêndice 6. Cartão de campo utilizado no MIAQS de Casalinho et al. (2007).	2
Apêndice 7. Pontuações visuais obtidas pelo método VSA de Shepherd et al. (2008).....	123

Apêndice 8. Pontuações visuais obtidas pelo método VSA modificado por Niero et al. (2010).....	6
Apêndice 9. Pontuações visuais obtidas pelo método Estrutural modificado por Marques (2014).....	7
Apêndice 10. Pontuações visuais obtidas pelo método agroecológico de Altieri e Nicholls (2002).....	10
Apêndice 11. Pontuações visuais obtidas pelo MIAQS de Casalinho et al. (2007).....	11

LISTA DE SIGLAS

- APP – Área de Preservação Permanente
- AVS – Avaliação Visual do Solo
- AVSST – Avaliação Visual da Saúde do Solo Tropical
- CAN – Cana-de-açúcar
- GISQ - Indicador Geral de Qualidade do Solo
- IAQS - Índice Acumulativo de Qualidade de Solos
- IAVS – Índice de Avaliação Visual do Solo
- IQS - Índice de Qualidade do Solo
- ISTRO - International Soil Tillage Research Organisation
- MCI – Mata Ciliar
- MEM - Método Estrutural Modificado
- MIAQS - Método Integrativo para Avaliação da Qualidade do Solo
- MSQR - Muencheberg Soil Quality Rating
- NEIKER - Instituto Basco de Investigación e Desenvolvimento Agrário
- ODM - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
- ONU - Organização das Nações Unidas
- PAS – Pastagem
- POM - Pomar
- Qe – Qualidade estrutural
- RAQS - Referência para Avaliação da Qualidade do Solo
- SAF – Sistema Agroflorestal
- SubVESS – Subsoil Visual Evaluation of Soil Structure
- TSBF - Tropical Soil Biology and Fertility
- TSEA - Tarjetas de Salud de los Ecosistemas Agrícolas
- VESS - Visual Evaluation of Soil Structure
- VSA - Visual Soil Assessment
- VS-Fast - Visual Soil - Field Assessment Tool
- VSSQA - Visual Soil Structure Quality Assessment

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Capítulo 1	
Tabela 1. Métodos de avaliação visual da estrutura do solo	7
Tabela 2. Métodos agroecológicos de avaliação da saúde do solo	15
Tabela 3. Métodos de avaliação da bioestrutura do solo	21

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Capítulo 2	
Figura 1. Imagem atual do Sítio São Sebastião (Sítio Agroflorestal)	36
Figura 2. Campos experimentais nos quais foram aplicadas a metodologia de avaliação visual do solo em Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C); cana-de-açúcar (CAN); D) pomar (POM).....	37
Figura 3. Campos experimentais nos quais foram aplicadas a metodologia de avaliação visual do solo em Gleissolo: A) área de preservação permanente (APP); B) pastagem (PAS).....	37
Figura 4. Região onde foi realizado o trabalho. A) Sítio São Sebastião; (B) Pontos de coleta na Mata Ciliar.....	38
Figura 5. Pontos de amostragem na propriedade. A) sistema agroflorestal (SAF); B) cana-de-açúcar (CAN), e C) pomar (POM) em Latossolo Vermelho e área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS) em Gleissolo.....	39
Figura 6. Materiais utilizados na coleta de dados no campo. A) Mata Ciliar em Latossolo Vermelho; B) Pastagem em Gleissolo.....	39
Figura 7. Resultados obtidos pelo método VSA de Shepherd et al. (2010) nas áreas de Latossolo Vermelho: mata Ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN), e pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	46
Figura 8. Resultados obtidos pelo método VSA de Shepherd et al. (2010) nas áreas de Gleissolo: área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	47
Figura 9. Avaliação visual da estrutura do solo em Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C) cana-de-açúcar (CAN); D) pomar (POM).....	48

Figura 10. Avaliação visual da estrutura do solo em Gleissolo: A) área de proteção permanente (APP); B) pastagem (PAS).....	49
Figura 11. Blocos de solo desestruturados de acordo com o método VESS de Ball e Guimarães em Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C) cana-de-açúcar (CAN); D) pomar (POM)...	51
Figura 12. Blocos de solo desestruturados de acordo com o método VESS de Ball e Guimarães em Gleissolo: A) área de proteção permanente (APP); B) pastagem (PAS).....	52
Figura 13. Pontuações visuais obtidas pelo método VSA modificado por Niero et al. (2010) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN) e pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	53
Figura 14. Pontuações visuais obtidas pelo método VSA modificado por Niero et al. (2010) em Gleissolo: área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	54
Figura 15. Indicadores de profundidade utilizados na metodologia de Marques (2014): A) Avaliação da cor e estrutura do solo; B) Avaliação dos agregados de 1cm ³ ; C) Avaliação da estabilidade dos agregados em água e teste de efervescência com água oxigenada.....	55
Figura 16. Trincheiras abertas (0-40cm) para as avaliações de profundidade de acordo com o método modificado por Marques (2014) em Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C) cana-de-açúcar (CAN) e D) pomar (POM).....	56
Figura 17. Trincheiras abertas (0-40cm) para as avaliações de profundidade de acordo com o método modificado por Marques (2014) em Gleissolo: A) área de proteção permanente (APP); B) pastagem (PAS).....	57
Figura 18. Pontuações visuais obtidas pelo método de Marques (2014) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN) e pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	58

Figura 19 Pontuações visuais obtidas pelo método de Marques (2014) em Gleissolo: área de proteção permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	59
Figura 20. Pontuações visuais de profundidade obtidas pelo MEM de Marques (2014) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN) e pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	60
Figura 21. Pontuações visuais de profundidade obtidas pelo MEM de Marques (2014) em Gleissolo: área de proteção permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	61
Figura 22. Resultados obtidos com o método agroecológico de Altieri e Nicholls (2002) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI); sistema agroflorestal (SAF); cana-de-açúcar (CAN); pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	63
Figura 23. Resultados obtidos com o método agroecológico de Altieri e Nicholls (2002) em Gleissolo: área de proteção permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	64
Figura 24. Plantas indicadoras. A) Grama-seda (<i>Cynodon dactylon</i>) indicando solo compactado. B) Caruru (<i>Amaranthus viridis</i>) indicando solo com boa fertilidade.....	65
Figura 25. Resultados obtidos pelo Método Integrativo para Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS) de Casalinho et al. (2007) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI); sistema agroflorestal (SAF); cana-de-açúcar (CAN); pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	66

Figura 26. Resultados obtidos pelo Método Integrativo para Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS) de Casalinho et al. (2007) em Gleissolo: área de proteção permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	67
Figura 27. Indicadores de descrição do solo utilizados no método AVSS.....	69
Figura 28. Indicadores de descrição do solo utilizados no método AVSS.....	70
Figura 29. Indicadores de descrição da vegetação utilizados no método AVSS.....	71
Figura 30. Indicadores de descrição da macrofauna edáfica utilizados no método AVSS.....	72
Figura 31. A) Pontuações visuais obtidas pelo método AVSS; B) Índices de AVS; C) Classificação do solo.....	73
Figura 32. Pontuações visuais obtidas pelo método AVSS em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI); sistema agroflorestal (SAF); cana-de-açúcar (CAN); pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	74
Figura 33. Pontuações visuais obtidas pelo método AVSS em Gleissolo: área de preservação permanente (APP); pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	75
Figura 34. Indicadores biológicos utilizados no método AVSS em Latossolo Vermelho: macrofauna edáfica; bioestruturas; plantas indicadoras; minhocas; diversidade vegetal; sistema radicular. A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	77
Figura 35. Indicadores biológicos utilizados no método AVSS em Gleissolo: macrofauna edáfica; bioestruturas; plantas indicadoras; minhocas; diversidade vegetal; sistema radicular. A) Estação chuvosa; B) Estação seca.....	78
Figura 36. Bioestruturas e organismos edáficos: A) Coprólito em cavidade; B) Minhoca em cavidade; C) Larva de coleóptera em cavidade; D) Ovo de oligoqueta; E) Cavidade de Orthoptera; F) Canais de térmitas; G) Galeria	

preenchida com coprólitos; H) Homoptera em cavidade..... 79

Figura 37. O método do quadro telado (40 x 40 cm), aplicado nas áreas de Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C) cana-de-açúcar (CAN); D) pomar (POM)..... 80

Figura 38. O método do quadro telado (40 x 40 cm), aplicado nas áreas de Gleissolo: A) área de preservação (APP); B) pastagem (PAS)..... 81

Capítulo 3

Figura 1. Macrofauna edáfica preservada em álcool 70%..... 96

Figura 2. Funções ecológicas dos grupos de invertebrados edáficos encontrados nas áreas mata ciliar (MAT), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN), e pomar (POM) em Latossolo Vermelho, e área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS) em Gleissolo..... 97

Figura 3. Densidades da macrofauna invertebrada encontradas em: A) Mata ciliar; B) Sistema Agroflorestal..... 98

Figura 4. Densidades da macrofauna invertebrada encontradas nas áreas de Gleissolo: A) área de preservação (APP); B) Pastagem..... 100

Figura 5. Diversidade de grupos encontrados nas áreas mata ciliar (MAT), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN), e pomar (POM) em Latossolo Vermelho, e área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS) em Gleissolo durante as estações chuvosa e seca..... 101

Figura 6. Macrofauna invertebrada: A) larva de homóptera; B) ninho de térmitas; C) diplópode; D) quilópode; E) ortóptera; F) ninho de formigas; G) oligoqueta; H) larva de coleóptera..... 104

AVALIAÇÃO VISUAL DA SAÚDE DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS

Autor: LUCAS JOSÉ BEVILAQUA

Orientadora: Profa. Dra. MARIA LEONOR R. C. LOPES ASSAD

RESUMO

Definir quando um agroecossistema pode ser considerado saudável é um dos desafios que enfrentam tanto agricultores familiares como extensionistas e pesquisadores. Os termos “qualidade” e “saúde” do solo podem ser utilizados como sinônimos, porém, geralmente o termo qualidade é associado a uma utilidade específica do solo, visando atender as necessidades humanas de produção agrícola. Por outro lado, o termo saúde do solo refere-se ao solo como um sistema dinâmico, vivo, cujas funções são mediadas por uma diversidade de organismos que necessitam da conservação dos recursos naturais. Existem várias metodologias de avaliação visual de indicadores que indicam sua saúde e o primeiro capítulo é uma revisão bibliográfica sobre os métodos de avaliação visual do solo. O segundo capítulo aborda um trabalho de campo onde são aplicados sete métodos para determinação de índices de avaliação visual do solo (IAVS) em seis diferentes usos do solo, incluindo o método Avaliação Visual da Saúde do Solo (AVSS), modificado nesta pesquisa e com ênfase na macrofauna edáfica. O estudo foi realizado no Sítio São Sebastião, localizado no município de Terra Roxa (SP) em áreas de mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar orgânica (CAN) e pomar (POM), todas em Latossolo Vermelho, em área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS), ambas em Gleissolo. Os tratamentos MCI e SAF e a APP, que possuíam maiores diversidades vegetais e espécies arbóreas, apresentaram os maiores IAVS. O AVSS mostrou-se útil, e de grande sensibilidade na avaliação da qualidade do solo nos diferentes sistemas de manejo analisados na propriedade. O terceiro capítulo discute o uso da macrofauna edáfica como bioindicadora de saúde do solo e como ela pode ser incluída nos métodos de avaliação visual do solo de forma simples e acessível para agricultores. Foram encontrados um total de 10 grupos da macrofauna edáfica, além de ovos e estágios larvais, incluindo animais que executam diversas funções ecológicas no solo. A diversidade da macrofauna foram maiores nas áreas que receberam os maiores índices nas avaliações visuais do solo. O SAF apresentou a maior diversidade de espécies da macrofauna invertebrada do solo. Os sistemas de manejo e de preparo do solo afetam a estrutura dos grupos taxonômicos dominantes da macrofauna edáfica. A fauna edáfica pode ser usada como bioindicadora da saúde do solo.

Palavras-chave: indicadores visuais; qualidade do solo; macrofauna edáfica de invertebrados; bioestrutura do solo; agricultura familiar.

VISUAL EVALUATION OF SOIL HEALTH UNDER DIFFERENT USES

Author: LUCAS JOSÉ BEVILAQUA

Adviser: Profa. Dra. MARIA LEONOR R. C. LOPES ASSAD

ABSTRACT

Defining when an agroecosystem can be considered healthy is one of the challenges faced by both family farmers and extension workers and researchers. The terms "quality" and "health" of the soil can be used synonymously, however, the term quality is usually associated with a specific soil utility to meet the human needs of agricultural production. On the other hand, the term soil health refers to soil as a dynamic, living system whose functions are mediated by a diversity of organisms that need the conservation of natural resources. There are several methodologies of visual evaluation of indicators that indicate their health and the first chapter is a bibliographical review on the methods of visual evaluation of the soil. The second chapter deals with a fieldwork in which seven methods for the determination of soil visual assessment indexes (IAVS) in six different soil uses, including the Visual Soil Health Assessment Method (AVSS), modified in this research and with emphasis on edaphic macrofauna. The study was carried out at the São Sebastião site, located in the city of Terra Roxa (SP) in areas of riparian forest (MCI), agroforestry system (SAF), organic sugar cane (CAN) and orchard (POM), all in Red Latosol, in a permanent preservation area (APP) and pasture (PAS), both in Gleissolo. MCI and SAF and APP treatments, which had greater plant diversity and tree species, had the highest IAVS. The AVSS proved to be useful and very sensitive in the evaluation of soil quality in the different management systems analyzed in the property. The third chapter discusses the use of soil macrofauna as a soil health bioindicator and how it can be included in soil visual assessment methods in a simple and accessible way for farmers. A total of 10 groups of edaphic macrofauna were found, in addition to eggs and larval stages, including animals that perform several ecological functions in the soil. Macrofauna diversity was higher in the areas that received the highest indices in the visual evaluations of the soil. The SAF presented the highest diversity of invertebrate macrofauna in the soil. Soil management and tillage systems affect the structure of the dominant taxonomic groups of the edaphic macrofauna. Soil fauna can be used as a bioindicator of soil health.

Keywords: visual indicators; soil quality; edaphic macrofauna of invertebrates; biostructure of soil; family farming.

INTRODUÇÃO GERAL

Saber definir quando um agroecossistema pode ser considerado saudável é um dos desafios que enfrentam tanto agricultores familiares como extensionistas e pesquisadores (ALTIERI; NICHOLLS, 2002). Os termos “qualidade” e “saúde” do solo podem ser utilizados como sinônimos, porém, geralmente o termo qualidade é associado a uma utilidade específica do solo, visando atender as necessidades humanas de produção agrícola (DORAN, 2002). Por outro lado, o termo saúde do solo refere-se ao solo como um sistema dinâmico, vivo, cujas funções são mediadas por uma diversidade de organismos que necessitam da conservação dos recursos naturais (DORAN, 2002).

A necessidade de diagnóstico rápido e confiável da qualidade do solo conduziu ao desenvolvimento de metodologias baseadas na avaliação visual de indicadores que indiquem sua qualidade. O conhecimento do agricultor sobre a qualidade do solo é um fator importante a considerar e é preciso adaptar ferramentas e metodologias usadas pelos pesquisadores para que os próprios agricultores possam delas fazer uso. (CASALINHO et al., 2007).

Segundo Doran & Zeiss (2000), os indicadores de saúde do solo devem ser medidos baseando-se em cinco requisitos: devem ser sensíveis às variações de manejo; relacionados com as funções benéficas do solo; úteis para elucidar processos ecossistêmicos; compreensíveis e úteis para os agricultores; fáceis e baratos de medir. As propriedades físicas e químicas como indicadores da qualidade do solo são mais difíceis de medir e muitas vezes difíceis de interpretar. Os indicadores biológicos, por serem mais dinâmicos do que outros, podem sinalizar antecipadamente a degradação ou a reabilitação do solo (AQUINO, 2006).

Os métodos de avaliação visual do solo (AVS), de modo geral, preenchem estes requisitos, porém muitas metodologias se restringem ao estudo da estrutura física do solo, sendo pouco relacionados com os processos ecossistêmicos. Assim, necessita-se de uma considerável reflexão e criatividade para que sejam desenvolvidos métodos de avaliação da saúde do solo que considerem os organismos do solo e que sejam acessíveis e úteis para os

agricultores.

O primeiro capítulo é uma revisão bibliográfica sobre os métodos de avaliação visual do solo. Conforme as necessidades locais e o avanço do conhecimento científico de cada época, os métodos de avaliação visual do solo foram, e continuam sendo, desenvolvidos e modificados por diversos pesquisadores. Não existem métodos que são melhores ou piores que os outros, mas métodos adaptados a necessidade de cada local.

Nos países de clima temperado surgiram os métodos que analisam principalmente a estrutura física do solo. Nos países de clima tropical, com influência da agroecologia, foram desenvolvidos métodos que consideram o conhecimento popular dos agricultores e a biologia do solo. Mais recentemente, com o reconhecimento cada vez maior do trabalho realizado pela macrofauna edáfica na melhoria da saúde do solo, novos métodos têm sido aplicados, dando-se maior ênfase no biofuncionamento do solo. A utilização dos métodos de análise visual, integrados com os bioindicadores da fauna edáfica de invertebrados e com o conhecimento dos agricultores familiares torna-se um caminho promissor na avaliação da saúde dos solos.

O segundo capítulo aborda um trabalho de campo onde são aplicados sete métodos de avaliação visual do solo em seis diferentes usos do solo, incluindo um método desenvolvido nesta pesquisa com ênfase na macrofauna edáfica. Foram utilizados quatro métodos de estrutura (Shepherd et al., 2008; Niero et al., 2010; Ball e Guimarães, 2011; Marques, 2014) e dois métodos agroecológicos (Altieri e Nicholls, 2002; e Casalinho et al., 2007) para comparação e auxílio no desenvolvimento do novo método.

O estudo foi realizado no Sítio São Sebastião, localizado no município de Terra Roxa (SP). Como o sítio possui diferentes usos do solo, torna-se um local interessante para a aplicação e o aprimoramento dos métodos de AVS. Os seis campos experimentais nos quais foi feita a aplicação da AVS são: mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar orgânica (CAN) e pomar (POM) em Latossolo Vermelho, e a área de preservação permanente (APP) e a pastagem (PAS) em Gleissolo. Em cada tratamento foram selecionadas quatro parcelas de 10 m², onde foram coletadas as amostras para

as análises. A pesquisa foi realizada em duas épocas: estação chuvosa (entre 05 de março de 2016 e 03 de abril de 2016) e estação seca (entre 15 de agosto de 2016 e 8 de outubro de 2016). Os tratamentos mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF) e área de proteção ambiental (APP), que possuíam maiores diversidades vegetais e espécies arbóreas, apresentaram os maiores índices de avaliação visual do solo.

O método Avaliação Visual da Saúde do Solo (AVSS) desenvolvido neste trabalho mostrou-se extremamente útil, facilmente replicável e de grande sensibilidade na avaliação da qualidade do solo nos diferentes sistemas de manejo analisados na propriedade. A inclusão dos atributos referentes ao biofuncionamento do solo tornou o método AVSS mais completo para a avaliação dos efeitos da macrofauna invertebrada na saúde do solo.

O terceiro capítulo discute o uso da macrofauna edáfica como bioindicadora de saúde do solo e como ela pode ser incluída nos métodos de avaliação visual do solo de forma simples e acessível para agricultores. Foram encontrados um total de 10 grupos da macrofauna edáfica, além de ovos e estágios larvais, incluindo animais que executam diversas funções ecológicas no solo. A diversidade de espécies dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica varia com a época de coleta e são favorecidas na estação chuvosa. A diversidade da macrofauna foram maiores nas áreas que receberam os maiores índices nas avaliações visuais do solo. O sistema agroflorestal apresentou a maior diversidade de espécies da macrofauna invertebrada do solo. Os sistemas de manejo e de preparo do solo afetam a estrutura dos grupos taxonômicos dominantes da macrofauna edáfica e a fauna edáfica pode ser usada como bioindicadora da saúde do solo.

CAPÍTULO 1- REVISÃO DE LITERATURA

AVALIAÇÃO VISUAL DA SAÚDE DO SOLO¹

RESUMO

Os solos vêm sofrendo grande degradação, principalmente por compactação, erosão e perda de matéria orgânica. A manutenção da saúde do solo e a compreensão do impacto dos sistemas de manejo do solo são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. A necessidade de diagnóstico rápido e confiável da saúde do solo conduziu ao desenvolvimento de métodos baseados na avaliação visual de indicadores de sua saúde. A avaliação da saúde dos solos de forma simples e rápida é de grande importância, principalmente para os agricultores familiares de baixa renda. Este artigo de revisão discute diversos métodos de avaliação visual, apontando seus objetivos e as modificações que sofreram ao longo do tempo. Para o levantamento dos artigos científicos foram consultadas as Bases de Dados: Scielo - Scientific Electronic Library Online, CAPES – Portal Periódicos e Google Acadêmico - Scholar Google. Foram utilizadas as palavras-chave: saúde do solo, análise visual do solo, qualidade do solo e avaliação visual do solo, em português, inglês e espanhol. Surgidos inicialmente em países temperados, os métodos de análise visual concentravam-se na avaliação da estrutura do solo. Estes métodos têm sido modificados e adaptados para os países tropicais, com a inclusão de indicadores biológicos. Na América Latina, surgiram diversos métodos agroecológicos de avaliação visual do solo, que consideram o conhecimento tradicional de agricultores e a biologia do solo. A utilização de métodos de análise visual, integrando bioindicadores de macrofauna invertebrada edáfica e o conhecimento dos agricultores, é um caminho promissor na avaliação da saúde dos solos, particularmente para os agricultores familiares de baixa renda.

¹Trabalho submetido à Revista Científica de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agroecologia e Desenvolvimento Rural. Em avaliação.

Palavras-chave: agricultura familiar; bioestrutura; macrofauna invertebrada edáfica; qualidade do solo.

VISUAL EVALUATION OF SOIL HEALTH

ABSTRACT

The soils have suffered great degradation, mainly by compaction, erosion and loss of organic matter. Maintaining soil health and understanding the impact of soil management systems are key to the development of sustainable agricultural systems. The need for rapid and reliable soil health diagnosis has led to the development of methods based on visual assessment of health indicators. The assessment of soil health in a simple and rapid way is of great importance, especially for low-income family farmers. This review article discusses several methods of visual assessment, pointing out their goals and the modifications they have undergone over time. For the survey of the scientific articles were consulted the Databases: Scielo - Scientific Electronic Library Online, CAPES - Portal Periodicals and Google Scholar - Scholar Google. The keywords: soil health, visual soil analysis, soil quality and visual soil evaluation were used in Portuguese, English and Spanish. Emerging initially in temperate countries, methods of visual analysis focused on the evaluation of soil structure. These methods have been modified and adapted to tropical countries with the inclusion of biological indicators. In Latin America, several agroecological methods of visual soil evaluation have emerged, which consider traditional farmers' knowledge and soil biology. The use of visual analysis methods, integrating bioindicators of edaphic invertebrate macrofauna and farmers' knowledge, is a promising pathway in the evaluation of soil health, particularly for low-income family farmers.

Keywords: family agriculture; biostructure; edaphic invertebrate macrofauna; soil quality

1. INTRODUÇÃO

O solo é a base para a produção de alimentos, fibras, madeira, combustível e desempenha um papel fundamental na qualidade do ambiente. Por ser fonte de nutrientes para a biosfera e interface com litosfera, hidrosfera e a atmosfera, é um sistema complexo, que se modifica no tempo. É também um sistema resiliente, pois possui a capacidade de recuperar sua integridade funcional e estrutural após um distúrbio (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009), e depende do balanço entre os processos que o degradam e os que levam à sua restauração (LAL, 1994).

Os solos possuem diversas funções ambientais, de manutenção da vida no planeta Terra, e funções técnicas e culturais, relacionadas com atividades

antrópicas (AZEVEDO et al., 2007). As funções ambientais, que beneficiam a humanidade, são consideradas serviços ecossistêmicos (ALCAMO et al., 2003). Diversos fatores, naturais ou induzidos pelo homem, alteram direta ou indiretamente, o ecossistema. Esses fatores podem ser agrupados em econômicos, sociopolíticos, científicos e tecnológicos, culturais e religiosos, biológicos e físico-químicos (ALCAMO et al., 2003). O aumento da população mundial e da produção agrícola para suprimento de alimentos, fibras, madeira e combustível causou degradação e compromete muitas funções dos solos, tais como seu papel na regulação dos ciclos hidrológicos e no fornecimento de nutrientes. Um amplo estudo coordenado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) mostrou que mais de 30% dos solos do mundo estão degradados e as principais ameaças são a compactação, a erosão e a perda de matéria orgânica (FAO & ITPS, 2015).

Em 2000, a Organização das Nações Unidas (ONU), com o apoio de 191 nações, estabeleceu as metas do milênio (ONU, 2000), que ficaram conhecidas como Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). São eles: 1- acabar com a fome e a miséria; 2 - oferecer educação básica de qualidade para todos; 3 - promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres; 4 - reduzir a mortalidade infantil; 5 - melhorar a saúde das gestantes; 6 - combater a aids, a malária e outras doenças; 7 - garantir qualidade de vida e respeito ao meio ambiente e 8 - estabelecer parcerias para o desenvolvimento (ONU, 2005). Conforme destacam Palm et al. (2007), muitos dos ODM dependem dos serviços ecossistêmicos dos solos: a redução da fome (ODM 1) depende diretamente dos solos e de sua capacidade de ciclar e fornecer nutrientes; aumentar o acesso à água potável e saneamento (ODM 7), em especial para as pessoas que vivem em áreas rurais, depende diretamente dos serviços de filtragem de água e tamponamento desintoxicante; os ODM 5, 6 e 7, relacionados com a saúde, são dependentes de forma indireta dos solos, pois a desnutrição, decorrente da alimentação insuficiente, reduz o sistema imunológico tornando as pessoas mais suscetíveis a doenças infecciosas, como a malária; incorporar os princípios do desenvolvimento sustentável nas políticas e programas nacionais e reverter a perda de recursos ambientais (ODM 7 e 8) depende da capacidade dos solos

para integrar os serviços dos ecossistemas necessários.

No Brasil, onde a agricultura desempenha papel social e econômico importante, constatam-se, com base em dados do Censo de 2006, três segmentos: um altamente produtivo, do tipo patronal empresarial; um segmento também eficiente e rentável, do tipo familiar empresarial; e um segmento dos agricultores familiares de baixa renda ou camponeses que produz para autoconsumo, mora no estabelecimento, gera emprego para os filhos, e que não migra porque sua oportunidade para migrar é baixa (GUANZIROLI et al., 2014). O segmento de agricultores familiares de baixa renda, com renda líquida anual inferior a R\$1.500,00, representava em 2006 quase 70% do total de agricultores familiares (GUANZIROLI et al., 2012). Para esse contingente expressivo é difícil a superação da pobreza em função de diversos fatores tais como a produção de subsistência, a limitação em terras decorrentes de problemas fundiários ainda não resolvidos, o baixo acesso a tecnologias, água e educação, dentre outros fatores.

Considerando que os solos são a base fundamental da produção agrícola e que impactos são inerentes às atividades produtivas, é necessário um monitoramento periódico da saúde do solo, principalmente para os agricultores menos favorecidos. Geralmente, as análises são realizadas por meio de métodos tradicionais, que requerem equipamentos sofisticados e que nem sempre estão ao alcance dos agricultores familiares. Portanto, são necessários métodos simples e objetivos que permitam o monitoramento, como a avaliação visual dos solos.

Este artigo de revisão discute diversos métodos de avaliação visual do solo, apontando seus objetivos e as modificações que sofreram ao longo do tempo, visando contribuir para o conhecimento e desenvolvimento de metodologias de avaliação visual do solo que sejam acessíveis e úteis aos agricultores familiares de baixa renda.

Para o levantamento dos artigos científicos foram consultadas as Bases de Dados: Scielo - Scientific Electronic Library Online, CAPES – Portal Periódicos e Google Acadêmico - Scholar Google. Foram utilizadas as palavras-chave: saúde do solo, análise visual do solo, qualidade do solo e avaliação visual do solo, em

português, inglês e espanhol. A opção por esses bancos de dados justifica-se por serem os mais visitados pela comunidade científica.

1.1. Avaliação visual da estrutura do solo

Até 1945, a tração animal ainda era predominante na maior parte dos países industrializados, mas, depois da Segunda Guerra Mundial, a motomecanização se expandiu nas diferentes regiões temperadas do mundo (MAZOYER; ROUDART, 2008). Devido à ação das máquinas e implementos na estrutura física do solo, a partir deste período, começou-se uma nova abordagem da avaliação da saúde do solo (TAVARES-FILHO et al., 1999). A avaliação da saúde dos solos por métodos de campo passou a ser objeto de pesquisas e sofreram mudanças e ajustes ao longo do tempo, conforme aumentavam o conhecimento dos impactos dos sistemas agrícolas de produção nos solos (Tabela 1).

Na Holanda, Ferwerda (1951) tentou caracterizar a estrutura superficial do solo por um método de avaliação visual em campos aráveis em que os agricultores utilizaram diferentes tratamentos de esterco. Peerlkamp (1959), baseando-se no trabalho de Ferwerda (1951), publicou um breve artigo descrevendo um método de avaliação visual da estrutura do solo. Utilizando uma pá, blocos de solo foram retirados e desestruturados com as mãos, analisando-se a estrutura. Com base nas observações, um índice numérico (de 1 a 10) foi estimado, permitindo-se a comparação da estrutura do solo em diferentes lugares (PEERLKAMP, 1959). Este foi o primeiro método conhecido que utilizou uma escala numérica para classificar visualmente o solo, e a partir de então, diversos pesquisadores passaram a adotar também a escala numérica.

Algumas décadas após, surge na França o método do Perfil Cultural, desenvolvido por Gautronneau & Manichon (1987), que permite uma nova abordagem para a avaliação dos efeitos da exploração agrícola do solo. Esse método consiste na abertura de trincheiras e da observação da organização e da morfologia da estrutura do solo nas diferentes partes do perfil. Para utilização do perfil cultural, as trincheiras podem ser abertas tanto perpendicularmente como longitudinalmente ao sentido de trabalho das máquinas agrícolas, o que

permite detectar as modificações estruturais provocadas no solo (GAUTRONNEAU; MANICHON, 1987). O método do perfil cultural é amplamente utilizado, mas requer conhecimento específico, necessita de grande esforço e tempo, e ressalta-se que os resultados ainda são subjetivos.

Roger-Estrade et al. (2004) descrevem o método do perfil cultural desenvolvido por Gautronneau & Manichon (1987) em duas etapas: a primeira analisando a estratificação vertical e horizontal e classificando o grau de compactação e a distribuição dos agregados no perfil; e a segunda analisando a porosidade em agregados menores que 2 cm. A metodologia apresenta fotografias com três tipos básicos de estrutura e três tipos básicos de agregados, o que facilita a classificação por comparação com as imagens. Outro método de avaliação que utiliza o perfil do solo é o método "SOILpak", desenvolvido por McKenzie (2001) para avaliar os cultivos de algodão na Austrália. Utilizando uma escavadeira mecânica, é aberta uma trincheira com cerca de 1,4 metros de profundidade e 0,8 metros de largura.

O procedimento avalia principalmente a compactação do solo. Como se trata de um método desenvolvido para atender aos interesses da indústria de algodão, e é dependente da utilização de uma escavadeira, sua utilização por agricultores familiares é dificultada e os impactos no solo em propriedades de pequena escala são maiores.

Nas últimas décadas, os pesquisadores voltaram a desenvolver métodos de avaliação visual da superfície do solo. Shepherd (2000) desenvolveu na Nova Zelândia, o método *Visual Soil Assessment* (VSA), um método mais abrangente, simples e conciso. Não necessita de treinamentos especiais ou habilidades técnicas, fornece uma metodologia padronizada, que pode ser replicada para avaliar diversos indicadores que juntos podem indicar a saúde do solo. O método possui também indicadores em função da cobertura vegetal, e é dividido em uma seção sobre solos com cultivos agrícolas e solos com pastagens. Possui uma planilha para a organização das anotações e contém fotografias para a comparação e atribuição das pontuações visuais. Além das observações na estrutura do solo, Shepherd (2000) incluiu como indicador a presença de minhocas em blocos de solo.

Tabela 1. Métodos de avaliação visual da estrutura do solo.

Métodos de avaliação	Indicadores Visuais
Structuraspect van de grond (Ferwerda 1951)	Tamanho médio dos agregados, coesão das partículas do solo, porosidade dos agregados nos primeiros 20 cm de solo.
A visual method of soil structure evaluation (Peerlkamp 1959)	Indicadores de Ferwerda (1951) acrescentando o desenvolvimento radicular e a estabilidade dos agregados na superfície do solo.
Guide méthodique du profil cultural (Gautronneau & Manichon 1987)	Forma e tamanho dos elementos estruturais, distribuição dos elementos estruturais, porosidade visível a olho nu e a continuidade dos poros, forma e dureza dos agregados e torrões.
Visual soil assessment (VSA)(Shepherd 2000)	Estrutura, porosidade, cor, mosqueados, minhocas, compactação, desenvolvimento dos torrões, erosão.
The spade analysis (Munkholm 2000)	Cobertura, umidade, textura, estrutura, macroporos, desenvolvimento radicular, fauna do solo, matéria orgânica, cor, consistência, nódulos em leguminosas.
SOILpak (McKenzie 2001)	Umidade, consistência, desenvolvimento radicular, estrutura, porosidade, compactação, tamanho dos torrões, facilidade de quebrar os torrões, forma dos torrões, cor
Morphological characterization of soil structure in tilled fields (Roger-Estrade et al. 2004)	Compactação, distribuição dos agregados no perfil, porosidade em agregados menores que 2cm
Visual Soil - Field Assessment Tool (VSFast) (McGarry 2005)	Profundidade do solo, estrutura, consistência, distribuição de tamanho dos agregados, textura, cor, minhocas (estruturas biogênicas) e desenvolvimento radicular.
Visual Soil Structure Quality Assessment (VSSQA) (Ball et al. 2007)	Qualidade estrutural, facilidade de quebrar os agregados, tamanho e aparência dos agregados, porosidade visível, raízes, aparência após manuseio, características distintivas.

Tabela 1. Métodos de avaliação visual da estrutura do solo (cont.).

Métodos de avaliação	Indicadores Visuais
Muencheberg Soil Quality Rating (SQR) (Mueller et al. 2007)	Textura, profundidade do solo, estrutura, compactação do subsolo, desenvolvimento radicular, disponibilidade de água, encharcamento e declividade.
Visual Soil Assessment (VSA) (Shepherd et al. 2008)	Indicadores de Shepherd (2000), acrescentando os atributos desenvolvimento radicular, empoçamento de água e cobertura do solo, e excluindo os atributos compactação e desenvolvimento dos torrões.
Avaliações visuais como índice de qualidade do solo. (Niero et al. 2010)	Acrescentaram ao método de Shepherd (2000) os atributos consistência e profundidade do solo, e excluíram os atributos profundidade radicular potencial, empoçamento d'água, crostas superficiais e erosão.
Visual Evaluation of Soil Structure (VESS) Guimarães et al. (2011)	Indicadores de Ball et al. (2007) acrescentando a aparência e descrição da porosidade em agregados de 1cm.
Método Estrutural Modificado (Marques 2014)	Erosão, empoçamento de água, cobertura, espessura do horizonte escurecido, textura, estrutura, formato do agregado de 1cm ² , porosidade, fragmentação do agregado na água, efervescência da água oxigenada, compactação, cor e desenvolvimento radicular.
Visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) (Ball et al. 2015)	Presença de mosqueados, compactação, porosidade, desenvolvimento radicular, formato e tamanho dos agregados

Em 2005, McGarry, publicou o guia *Visual Soil - Field Assessment Tool* (VS-Fast), baseando-se no método de Shepherd (2000). McGarry ressalta a importância do conhecimento de que as minhocas são animais sazonais e migratórios, pois buscam calor, alimento e umidade. Desse modo, pode acontecer que, durante uma análise do solo, as minhocas não sejam encontradas, mas a evidência de sua presença anterior é visível, com cavidades e galerias no perfil do solo e coprólitos na superfície. Assim, na ausência destes animais, a nota do solo deve ser atribuída considerando o número e a concentração das estruturas biogênicas.

Alguns anos depois, Shepherd et al. (2008) publicaram uma nova edição do método de análise visual do solo (VSA). Em relação ao indicador “número de minhocas”, os autores propuseram o aumento na quantidade de minhocas necessárias para atribuir as pontuações, contando também o número de espécies das mesmas, dessa forma um solo com saúde deve possuir mais de três espécies e mais de 30 minhocas por bloco de solo (SHEPHERD et al., 2008). No método anterior, Shepherd (2000) considerava um solo de qualidade quando possuía mais de oito minhocas por bloco de solo.

A “análise da pá”, desenvolvida pelos dinamarqueses Munkholm et al. (2000), também possui o objetivo de avaliar a qualidade do solo na camada superficial (0-30 cm) a partir da estrutura e de características de enraizamento, relacionando-as com as práticas de manejo adotadas. Como novidade, em relação às raízes estão a avaliação do número de raízes, das ramificações e das restrições e até as nodulações nas leguminosas. Em relação às minhocas, avaliam-se também o número, a orientação e a continuidade dos canais em amostras de solo, acrescentando também as estruturas biogênicas e não apenas o número de minhocas como nos métodos de Shepherd (2000) e Shepherd et al. (2008).

Em 2005, na França, o grupo de trabalho *Visual Soil Examination and Evaluation* da International Soil Tillage Research Organisation (ISTRO) promoveu uma reunião onde foram testados e discutidos dez métodos de avaliação da estrutura do solo, incluindo os métodos citados acima (Boizard et al., 2006). Após avaliar os métodos existentes, concluiu-se que um novo “teste

da pá” seria necessário e que a atividade da fauna do solo também deveria receber mais atenção nas avaliações visuais (BOIZARD et al., 2006).

Com o intuito de proporcionar um teste mais simples, mais objetivo, facilmente compreendido e rápido de ser ensinado, Ball et al. (2007) desenvolveram o método Visual Soil Structure Quality Assessment (VSSQA) baseado no teste de Peerlkamp (1959). Com isso, foi desenvolvida uma carta de avaliação visual incluindo fotografias de amostras típicas para diferentes tipos de solo e diferenças na qualidade estrutural (BALL et al., 2007). Este método consiste na extração de uma fatia de solo de cerca de 25 cm de profundidade e 10 cm de espessura com o auxílio de uma pá e posterior quebra manual, respeitando as linhas de fratura naturais entre os agregados (BALL et al., 2007). A existência de um guia simples e ilustrado facilita a utilização do método por agricultores e outros não-especialistas em ciência do solo.

Mueller et al. (2009) aplicaram o método desenvolvido por Ball et al. (2007) em solos da Alemanha, China e Canadá e concluíram que este método de avaliação visual é uma ferramenta viável por proporcionar avaliações rápidas da estrutura do solo e indicou boa correlação com a produtividade das culturas de cereais nestes países (MUELLER et al., 2009). Entretanto, Mueller et al. (2009) levantaram questões sobre a subjetividade do método, principalmente em relação à fragmentação dos agregados da fatia do solo e a influência do operador na atribuição das pontuações.

Assim, Guimarães et al. (2011) aprimoraram a metodologia VSSQA de Ball et al. (2007) e utilizaram as informações para produzir uma versão atualizada da carta de avaliação. Neste trabalho, os autores desenvolveram procedimentos para tornar a avaliação visual da estrutura do solo mais objetiva, comparando com a técnica de fragmentação de Shepherd (2000) e incluindo a observação da porosidade visível dentro dos agregados, baseando-se no método de Roger-Estrade et al. (2004). Também foi proposta a mudança do nome VSSQA (*Visual Soil Structure Quality Assessment*) para VESS (*Visual Evaluation of Soil Structure*). Uma nova coluna foi acrescentada à carta de avaliação, contendo a aparência e descrição de agregados naturais ou fragmentos reduzidos de aproximadamente 15 mm de diâmetro. Guimarães et al. (2013) testaram o

método VESS (Guimarães et al. 2011) em solos escoceses e brasileiros e concluíram que o método permite a avaliação da estrutura física do solo de forma eficiente.

Mueller et al. (2007) publicaram o método *Muencheberg Soil Quality Rating* (MSQR) que analisa indicadores visuais básicos compatíveis com os métodos internacionais de McKenzie (2001), Shepherd (2000), Munkholm (2000), e Ball et al. (2007). Além disso, o método acrescenta indicadores de risco como contaminação, salinização, sodificação, acidificação, baixa disponibilidade de nutrientes, dentre outros. Mueller et al. (2013) aplicaram o método MSQR em diferentes regiões da Alemanha, utilizando os métodos VSA de Shepherd (2000) e VESS de Ball et al. (2007) para a avaliação da estrutura do solo. Os autores também concluíram que os métodos de avaliação visual utilizados são ferramentas de diagnóstico úteis para monitorar e controlar a qualidade física do solo agrícola.

Murphy et al. (2013) utilizaram os métodos SOILpak (McKenzie, 2001) e VSA (Shepherd, 2000) de forma integrada e desenvolveram um indicador de friabilidade baseando-se no teste de queda de Shepherd (2000).

Recentemente, Ball et al. (2015) desenvolveram um método para a avaliação visual da estrutura do subsolo (SubVESS), muito semelhante ao método SOILpak desenvolvido por McKenzie (2001). Este método de avaliação do subsolo tem o objetivo de identificar modificações provocadas, principalmente pelo uso de máquinas, nas camadas logo abaixo da camada superficial, geralmente após os primeiros 30 cm de profundidade (BALL et al., 2015). A maioria dos perfis é avaliada entre 1 e 1,4 metros de profundidade, e também recomenda-se o uso de uma escavadeira mecânica para a abertura das trincheiras (Ball et al., 2015). Todos os indicadores estão presentes em uma carta de avaliação com fotografias que facilitam a atribuição das pontuações por comparação. Ao contrário do método VESS, de Guimarães et al. (2011), que é um dos métodos mais rápidos de serem aplicados, o método SubVESS torna-se mais trabalhoso, pois avalia as camadas mais profundas do solo. Além disso, o uso de uma escavadeira mecânica muitas vezes não é viável principalmente em pequenas propriedades de agricultura familiar.

O método do perfil cultural do solo é utilizado no Brasil desde a década de 1990, Tavares-Filho et al. (1999) ressaltam que, por ter sido este método desenvolvido para as condições de solos temperados, algumas dificuldades foram encontradas para sua aplicação em condições de solos tropicais. Segundo Tavares-Filho et al. (1999), a observação detalhada da organização estrutural, conforme a proposta de Gautronneau & Manichon (1987) mostrou-se demasiadamente rigorosa no estudo, dificultando a sua interpretação. Assim, Tavares-Filho et al. (1999) buscaram a utilizar critérios mais simplificados e abrangentes, privilegiando-se mais o modo de organização do que o estado interno dos torrões. Obtiveram, assim, um método de diagnóstico particularmente adaptado ao estudo da evolução da estrutura dos solos cultivados e dos diferentes sistemas de manejo em domínio tropical (TAVARES-FILHO et al., 1999).

Giarola et al. (2009, 2013) verificaram a aplicabilidade do método VESS desenvolvido por Ball et al. (2007) em solos com usos e manejos característicos do Paraná, encontraram dificuldades em replicar o mesmo, pois a operação de extração dos blocos em solos muito argilosos e com compactação implicou em um esforço maior de trabalho e tempo. Segundo Giarola et al. (2009, 2013), a proposta metodológica também demandou a habilidade para manipular e reconhecer aspectos da estrutura do solo, indicando que o observador necessita de conhecimento prévio sobre a morfologia da estrutura do solo.

No Brasil, Niero et al. (2010) acrescentaram ao método de Shepherd et al. (2008) os atributos consistência e profundidade do solo, e excluíram outros indicadores. Além disso, após realizarem avaliações físicas e químicas e compararem com o método VSA de Shepherd et al. (2008) propuseram incluir mais uma classe na classificação visual, deixando o método mais acurado (NIERO et al., 2010).

Pulido Moncada et al. (2014) compararam o desempenho dos métodos VSA de Shepherd et al. (2008) e VESS de Guimarães et al. (2011) nos solos da Venezuela e concluíram que tais métodos são capazes de distinguir diferenças na qualidade estrutural do solo, mostrando-se eficazes na avaliação da qualidade dos solos tropicais. Uma melhoria proposta pelos autores foi o ajuste

do indicador número de minhocas no método VSA para solos tropicais (PULIDO MONCADA et al., 2014).

Eurich et al. (2014) utilizaram a metodologia VESS proposta por Ball et al. (2007) e modificada por Guimarães et al. (2011) para avaliar a qualidade do solo em áreas de floresta nativa, pastagem e cultivos agrícolas no Paraná, e concluíram que as pontuações visuais foram eficientes para indicar as diferenças entre os sistemas de manejo.

Cherubin et al. (2016a, b, c) utilizaram indicadores físicos, químicos e biológicos integrados ao método VESS de Ball et al. (2007) para avaliar a qualidade do solo em plantações de cana-de-açúcar no Brasil por meio do índice de qualidade do solo (SQI).

Nos métodos de avaliação visual da estrutura do solo, a atividade biológica poderia ser melhor explorada. Os métodos consideram entre os organismos da macrofauna edáfica, apenas as minhocas nas avaliações. O mesmo foi observado em um levantamento realizado por Bottinelli et al. (2015) que revela que a maioria dos artigos publicados recentemente sobre o papel da macrofauna na estrutura do solo aborda apenas a influência das minhocas na estrutura, sendo reduzidas as pesquisas feitas com térmitas e formigas.

1.2. Métodos agroecológicos de avaliação da saúde do solo

O estudo da saúde do solo, sob a perspectiva agroecológica, implica na compreensão desse recurso como um sistema vivo e dinâmico, ou seja, como um ecossistema (GLIESSMAN, 2000). Portanto, sua avaliação deve ser feita, não no sentido de verificar sua capacidade para atender uma única ou específica função, mas sim para sustentar, de forma estável e duradoura, a atividade, a produtividade e a diversidade biológica dentro de um sistema de produção (CASALINHO et al. 2007). Dessa forma, diversos autores desenvolveram métodos de análise visual dos solos baseados nos princípios da Agroecologia (Tabela 2).

Na Colômbia, Moncayo (2001) publicou um guia para a avaliação da saúde dos solos. Em relação ao indicador número de minhocas, a metodologia de coleta e análise de Moncayo (2001) se assemelha com o método do australiano

Shepherd (2000), que propôs a contagem do número de minhocas em um bloco retirado do solo. Porém, o autor colombiano ressalta que a quantidade de minhocas é um número estimado, ou seja, novos estudos em solos tropicais podem alterar este indicador. A novidade deste atributo no método de Moncayo é a observação do número de canais e coprólitos de minhocas encontrados nas análises, considerando as estruturas biogênicas. É um método simples, de fácil utilização por agricultores, com ilustrações didáticas e uma planilha organizada para a anotação dos indicadores visuais.

Dez anos depois, Moncayo et al. (2011) publicaram um novo material, propondo a utilização de um índice acumulativo da qualidade dos solos (IAQS). Os autores colombianos também utilizaram a pesquisa participativa para a escolha dos indicadores locais de qualidade do solo. Os resultados, em forma de gráficos e índices acumulativos, permitem que os agricultores visualizem o estado em que se encontram seus solos.

Altieri e Nicholls (2002) propuseram uma metodologia para o diagnóstico da qualidade do solo e saúde dos cultivos em plantações de café na Costa Rica. Os indicadores foram selecionados por serem fáceis e práticos para serem aplicados pelos agricultores. Além disso, são precisos, fáceis de interpretar, sensíveis às mudanças ambientais e aos impactos das práticas de manejo dos solos, e integram propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo. Além dos indicadores da saúde do solo, são avaliados também indicadores de saúde dos cultivos, considerando os atributos como a diversidade vegetal e o sistema de manejo, tendo como referência sistemas agroecológicos de produção. Altieri e Nicholls (2002) ressaltam que à medida que o usuário se familiariza com o método, as observações podem ser mais detalhadas, e instrumentos adicionais, como por exemplo, a utilização de água oxigenada para avaliar a presença de matéria orgânica e microrganismos no solo podem ser incorporadas (ALTIERI; NICHOLLS, 2002).

Mais tarde Nicholls et al. (2004) alteraram o método, retirando os indicadores do desenvolvimento radicular e da atividade biológica e incluindo a presença de invertebrados, e a atividade microbiológica, aumentando assim o valor da fauna do solo nas avaliações visuais.

Tabela 2. Métodos agroecológicos de avaliação da saúde do solo.

Métodos	Indicadores Visuais
Cartilla guía para la evaluación de la salud del suelo (Moncayo 2001)	Estrutura, compactação, facilidade de trabalhar o solo, organismos, número de minhocas e de canais de minhocas, fertilidade, matéria orgânica, vigor vegetal, desenvolvimento radicular, infiltração, disponibilidade de água.
Método agroecológico rápido para la evaluación de cafetales (Altieri e Nicholls 2002)	Estrutura, compactação, profundidade, atividade biológica, erosão, estado de resíduos, cor, odor, matéria orgânica, desenvolvimento radicular, umidade, cobertura.
Guía salud de suelos (Reilly et al. 2004)	Cor, fertilidade, profundidade, dureza, drenagem, facilidade de trabalhar o solo, estrutura, pedras, inclinação, erosão, infiltração, retenção de água, doenças, minhocas, atividade biológica, disponibilidade de água.
Mediciones simples para evaluar el estado de la calidad y salud del suelo (Espinoza & Malpica 2006)	Estrutura, compactação, infiltração, invertebrados, buracos de minhocas, minhocas.
Método Integrativo para Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS) (Casalinho et al. 2007)	Compactação, erosão, profundidade, atividade biológica, minhocas, matéria orgânica, vigor vegetal, porosidade, cor, plantas indicadoras.
Evaluación de la calidad del suelo (Moncayo et al. 2011)	Mesmos indicadores de Moncayo (2001), destacando-se a utilização da diversidade da macrofauna ao invés da diversidade de organismos, e a inclusão da estabilidade dos agregados.
Tarjetas de Salud de los Ecosistemas Agrícolas (NEIKER 2015)	Colheitas, pragas, diversidade de cultivos, estratos, ausência de invasoras, macrofauna, mesofauna, erosão, infiltração, compactação, matéria orgânica, cor, atividade biológica, minhocas, raízes.

Em Honduras, Reilly et al. (2004) organizaram um manual para que agricultores e extensionistas possam avaliar a saúde do solo. O método possui mais indicadores relacionados às práticas de manejo, como a cobertura do solo e a presença de cercas vivas, e também indicadores relacionados à saúde das plantas, como a germinação de sementes e a produtividade (REILLY et al., 2004).

Além disso, também são avaliadas a saúde humana, a saúde animal e a vida silvestre na região, tornando-se assim um método extremamente holístico.

Na Venezuela, Espinoza & Malpica (2006) publicaram um guia com o método de avaliação visual da saúde do solo em pastagens baseando-se nos trabalhos de Altieri e Nicholls (2002). O objetivo principal do método é servir de auxílio a produtores e técnicos agrícolas, com indicadores de fácil acesso e baixo custo (ESPINOZA; MALPICA, 2006). Nota-se que neste método metade dos indicadores são relacionados à atividade da fauna edáfica e aparece novamente uma referência às bioestruturas criadas pelas minhocas.

Em 2015, na Europa, o Instituto Basco de Investigação e Desenvolvimento Agrário (NEIKER) criou o Manual de Avaliação de Saúde dos Ecossistemas Agrícolas (TSEA), com o objetivo de auxiliar os agricultores na gestão dos agroecossistemas (NEIKER, 2015). Permitindo a adaptação do manual para os conhecimentos e interesses de cada usuário, os indicadores são divididos em categorias que permitem realizar um diagnóstico básico ou avançado. O diagnóstico básico pode ser realizado por qualquer pessoa, independentemente de sua formação e de recursos financeiros, seguindo as observações visuais presentes no método. Entre os indicadores básicos, se encontram atributos relacionados com a produtividade, a biodiversidade vegetal e animal e indicadores físicos e químicos do solo. Neste trabalho a macrofauna é avaliada de forma quantitativa, porém, de forma mais simples, facilitando o entendimento dos agricultores. Para facilitar a identificação dos grupos da macrofauna e mesofauna, o manual contém fotografias com exemplos destes animais. Assim como proposto por Altieri e Nicholls (2002), neste método também é indicada a utilização da água oxigenada para estimar a matéria orgânica presente no solo (NEIKER, 2015).

No Brasil, Casalinho et al. (2007) avaliaram o comportamento da qualidade do solo por meio do Método Integrativo para Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS), desenvolvido com base no conhecimento dos agricultores sobre a qualidade do solo. Neste método, destaca-se a presença do atributo plantas indicadoras, como por exemplo, a presença de guanxuma (*Sida sp*) indicando solos compactados, e a ocorrência de serralha (*Sonchus oleraceus*), sugerindo solos de boa fertilidade e com bons teores de matéria orgânica (CASALINHO et al., 2007). Além disso, o método também possui indicadores físicos e químicos tradicionais de forma a complementar o método criado com base no conhecimento local, tornando-se assim um método integrativo entre o conhecimento popular e o conhecimento científico.

Em outro trabalho, Shiavon et al. (2015) realizaram um estudo sobre o conhecimento local em relação à macrofauna edáfica em uma propriedade agrícola familiar de base ecológica no Rio Grande do Sul. Os autores salientaram que a família agricultora possuía conhecimentos de vários grupos taxonômicos da fauna edáfica, com ênfase no papel das minhocas. As propriedades do solo que a família reconheceu como condicionante para a fauna edáfica são a quantidade de matéria orgânica e a estrutura física do solo (SHIAVON et al., 2015).

1.3. Métodos de avaliação da bioestrutura do solo

As bioestruturas do solo estão presentes em alguns dos métodos apresentados até o momento, mas não são o foco principal desses. Diversos autores têm desenvolvido métodos de avaliação da saúde do solo baseando-se no seu biofuncionamento e nas estruturas biogênicas (Tabela 3).

Topolanz et al. (2000) realizaram um estudo na França comparando a atividade da fauna edáfica em quatro diferentes sistemas de manejo agrícola. A diversidade de minhocas e enquitreídeos foi levantada nas diferentes áreas e as estruturas biogênicas foram identificadas e contadas em perfis de solo pouco profundos (7x7 cm e 14 cm de profundidade). Os autores aplicaram em áreas agrícolas um método micromorfológico utilizado para os estudos em perfis de solos de florestas. Os componentes destes perfis foram identificados por suas

características morfológicas e a análise quantitativa destas características forneceu informações sobre a compactação do solo, a atividade de enquitreídeos e minhocas, a distribuição das raízes e dos resíduos de culturas no solo. A atividade dos enquitreídeos foi determinada pela presença dos seus excrementos fecais (coprólitos) e dados relativos às galerias de minhocas foram comparados com as estimativas de populações de minhocas. Concluíram que na área de estudo abrangendo quatro sistemas agrícolas, os enquitreídeos desempenharam um papel importante na criação de porosidade e estruturas estáveis do solo (TOPOLIANZ et al., 2000).

Alguns anos mais tarde, Velasquez et al. (2007) baseando-se no trabalho de Topolanz et al. (2000), desenvolveram um indicador de qualidade que avalia os serviços ecossistêmicos do solo por um conjunto de cinco sub-indicadores (macrofauna, morfologia, química, física e matéria orgânica do solo) que foram combinados em um único Indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ). A macrofauna do solo foi determinada utilizando o método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) de Anderson & Ingram (1993). A avaliação visual da morfologia do solo se desenvolveu segundo a metodologia desenvolvida por Velasquez et al. (2007) em uma versão simplificada de Topolanz et al. (2000). Em cada ponto extraiu-se um bloco de 5x5 cm e 5 cm de profundidade, separando-se visualmente os componentes físicos e biológicos, com destaque para os agregados biogênicos, produzidos pelos “engenheiros do ecossistema”, como as minhocas, formigas, térmitas e algumas larvas de coleópteros. A pesquisa foi realizada na Colômbia e Nicarágua, com usos similares de solo (VELASQUEZ et al., 2007).

Rousseau et al. (2013) avaliaram a influência de práticas agrícolas comuns na Nicarágua sobre diversos parâmetros da qualidade e função do solo. Utilizou a mesma metodologia de Velasquez et al. (2007), modificando na análise visual da morfologia o tamanho do bloco de solo (10x10x10 cm). Com o auxílio dos agricultores locais, os pesquisadores identificaram as espécies da macrofauna que podem ser usadas como bioindicadores da qualidade do solo, como por exemplo, um coleóptero que indica solos compactados e uma espécie de aranha que indica solos com boa fertilidade química. Os pesquisadores ressaltam que

os bioindicadores utilizados na pesquisa são úteis apenas em escala local, porém, a metodologia é aplicável a diferentes contextos agroecológicos, permitindo uma rápida avaliação da qualidade do solo.

Oliveira et al. (2012) realizaram no Brasil um estudo sobre as bioestruturas produzidas por térmitas que criam microagregados ao longo do perfil do solo. No decorrer do trabalho, foram descritos restos de montículos e galerias de térmitas evidenciando a presença de macro e microagregados produzidos por estes insetos. Também ressalta que neste estudo foi desenvolvida uma metodologia de dissecação do solo, de difícil aplicação, necessitando de grande cuidado e destreza na observação e contabilização de todas as bioestruturas (OLIVEIRA et al., 2012).

Piron et al. (2012) propuseram um método de avaliação da qualidade do solo incluindo observações de estruturas biogênicas de minhocas na descrição da estrutura em um perfil de solo. Os pesquisadores examinaram áreas com diferentes práticas agrícolas para distinguir padrões de estrutura do solo resultantes das atividades realizadas pelas minhocas. Um quadro quadriculado (5x5cm) com um metro de comprimento e 60 cm de profundidade foi colocado verticalmente na parede do perfil do solo para facilitar o mapeamento e a delimitação à mão livre dos padrões de estrutura e bioestrutura do solo (PIRON et al., 2012). De acordo com os autores, a tipologia pode ser melhorada por meio da inclusão de outras bioestruturas de minhocas, como as câmaras de habitação, e também da integração de outras estruturas biogênicas, tais como as produzidas por enquitreídeos, formigas e cupins (PIRON et al., 2012).

O uso de formigas como bioindicadores tem sido empregado desde o início dos anos 1980, com os trabalhos de Majer (1983), por apresentarem grande complexidade estrutural e sensibilidade às mudanças do ambiente (CREPALDI et al., 2014). Para a compreensão do funcionamento dos solos tropicais é extremamente necessário o estudo destes organismos, pois participam ativamente nos processos de reciclagem da matéria orgânica e as atividades que realizam na engenharia de seus ninhos interferem na formação do solo (MOUTINHO et al., 2003). A maioria dos estudos sobre as formigas como bioindicadores baseia-se na riqueza de espécies encontradas (COELHO et al.,

2009). Porém, segundo Bruyn (1999), o avanço no uso destes animais como bioindicadores exigirá também o desenvolvimento de ferramentas taxonômicas mais simples que possam ser utilizadas pelos agricultores e outros não-especialistas para identificar os principais grupos.

Como mencionado anteriormente, diversos trabalhos evidenciam a importância de novos estudos relacionados à bioestrutura do solo. Porém, os testes laboratoriais empregados, e as classificações taxonômicas tornam o acesso muito restrito a agricultores, técnicos e extensionistas. Podemos considerar que estes métodos precisam ser adaptados para que possam ser replicados por agricultores.

Segundo Bottinelli et al. (2015), para o entendimento mais completo da influência dos engenheiros do ecossistema na estrutura e dinâmica do solo, algumas questões devem ser respondidas, como estimar a quantidade de bioporos e agregados biogênicos que estes animais são capazes de produzir, a distribuição destas estruturas no solo e na paisagem, e o tempo de existência destas estruturas no solo. Estas são questões que exigem a colaboração e o trabalho integrado entre ecólogos e físicos do solo. Sendo assim, torna-se cada vez mais necessária, a integração da física, com a biologia e ecologia do solo, para que possamos compreender cada vez melhor os efeitos destes organismos na estrutura do solo.

1.4. Métodos integrados e avaliação visual do solo

Alguns autores têm desenvolvido métodos integrados de avaliação da saúde do solo, como por exemplo, as metodologias já citadas de Casalinho et al. (2007) e Rousseau et al. (2013), que integraram o conhecimento local dos agricultores com metodologias de análise visual do solo.

Silva et al. (2011) realizaram um trabalho no Mato Grosso do Sul utilizando o método do perfil cultural em uma análise conjunta sobre os atributos morfológicos, físicos e biológicos do solo. Além do método do perfil cultural, os autores avaliaram os macroinvertebrados conforme o método TSBF de Anderson e Ingram (1993) e amostras de solo indeformadas para avaliação dos atributos físicos do solo (SILVA et al., 2011).

Tabela 3. Métodos de avaliação da bioestrutura do solo.

Métodos	Indicadores Visuais
Earthworm and Enchytraeid activity (Topolanz et al. 2000)	Estruturas biogênicas (coprólitos, galerias, canais) identificadas e contadas em pequenos blocos de solo.
GISQ, a multifunctional indicator of soil quality (Velasquez et al. 2007)	Agregados biogênicos, agregados físicos, agregados produzidos pelas raízes, matéria orgânica, raízes, pedras e materiais residuais.
Soil macrofauna as indicators of soil quality (Rousseau 2013)	Mesmos indicadores morfológicos de Velasquez et al. (2007).
Bioestruturas produzidas por organismos geófagos (Oliveira et al. 2012)	Observações de estruturas macro e microagregadas produzidas por térmitas ao longo do perfil do solo
Morphological description of soil structure patterns (Piron et al. 2012)	Observações de processos antropogênicos (compactação, preparo do solo), padrões de raízes (agregados associados com raízes finas) e minhocas (buracos preenchidos ou vazios e agregados) no perfil do solo.

Marques (2014) propôs o Método Estrutural Modificado, composto pela integração de avaliações dos métodos de Shepherd et al. (2008) e Guimarães et al. (2011), incluindo ainda indicadores dos métodos apresentados por Silva et al. (2000), Altieri e Nicholls (2002) e Casalinho et al. (2007). Marques (2014) acrescentou indicadores não contemplados nos métodos, principalmente relacionados à atividade microbológica, como a espessura da camada superficial escurecida, a efervescência da água oxigenada no solo, estabilidade de agregados na água e contagem de poros com lupa. Além disso, incluiu a utilização de um quadro telado para a observação do sistema radicular, adaptando a metodologia desenvolvida por Silva et al. (2000).

Souza et al. (2016) aplicaram cinco diferentes metodologias de avaliação visual da qualidade do solo em pastagens sob diferentes condições no sul de Minas Gerais. Além de comparar os diferentes métodos, os autores desenvolveram uma nova metodologia denominada RAQS (Referência para Avaliação da Qualidade do Solo). A metodologia RAQS mostrou-se útil, facilmente replicável e de grande sensibilidade para a avaliação da qualidade do solo, englobando um maior número de indicadores do solo, plantas e fauna, em relação às demais metodologias.

Os métodos integrados de AVS são muito interessantes, principalmente os que buscam correlacionar os experimentos científicos com o conhecimento popular dos agricultores, tornando o conhecimento acadêmico mais acessível aos agricultores que dependem diretamente da saúde do solo para sobreviverem.

1.5. Considerações finais

Conforme as necessidades locais e o avanço do conhecimento científico de cada época, os métodos de avaliação visual do solo foram, e continuam sendo, desenvolvidos e modificados por diversos pesquisadores. Não existem métodos que são melhores ou piores que os outros, mas sim métodos adaptados a necessidade de cada local.

Assim, surgiram nos países temperados os métodos que analisam principalmente a estrutura física do solo. Nos países tropicais, com influência da agroecologia, foram desenvolvidos métodos que consideram o conhecimento popular dos agricultores e a biologia do solo. Mais recentemente, com o reconhecimento cada vez maior do trabalho realizado pela macrofauna edáfica na melhoria da saúde do solo, novos métodos têm sido aplicados, dando-se maior ênfase no biofuncionamento do solo.

A utilização dos métodos de análise visual, integrados com os bioindicadores da fauna edáfica de invertebrados e com o conhecimento dos agricultores familiares torna-se um caminho promissor na avaliação da saúde dos solos.

1.6. LITERATURA CITADA

ALCAMO, J.; ASH, N.J.; BUTLER, C.D. **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Island Press, 2003. 245p.

ALTIERI, M.; NICHOLLS, C. I. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, n. 64, p.17-24, 2002.

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. CAB International, 1994. 265p.

AZEVEDO A.C.; PEDRON, F.A.; DALMON, R.S.D. (2007). A evolução da vida e as funções do solo no ambiente. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 5, p.1-47, 2007.

BALL, B.C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L.J. Field assessment of soil structural quality—a development of the Peerlkamp test. **Soil use and Management**, v. 23, n. 4, p. 329-337, 2007. doi: 10.1111/j.1473-2743.2007.00102.x

BALL, B.C. et al. The numeric visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) under agricultural production. **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 85-96, 2015.

BOIZARD H. et al. **Field meeting “visual soil structure assessment”**. INRA Research Station. 2006. 52p.

BOTTINELLI, N. et al. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 118-124, 2015.

BRUYN, L.L. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.74, n.1, p. 425-441, 1999.

CASALINHO, H.D. et al. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 2, p.195-203, 2007.

CHERUBIN, M.R. et al. A soil management assessment framework (SMAF) Evaluation of brazilian sugarcane expansion on soil quality. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n 1, p. 215-226, 2016a. doi:10.2136/sssaj2015.09.0328

CHERUBIN, M.R. et al. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma**, v. 267, p.156-168, 2016b.

CHERUBIN, M.R. et al. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane

expansion in Brazil. **PloS One**, v. 11, n. 3, p. 1-26, 2016c. doi: 10.1371/journal.pone.0150860

COELHO, M.S. et al. Ants (Hymenoptera: Formicidae) as bioindicators of land restoration in a Brazilian Atlantic forest fragment. **Sociobiology**, v. 54, n.1, p. 51-63, 2009.

CREPALDI, R.A. et al. (2014) Ants as bioindicators of soil quality in integrated crop-livestock system. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 781-787, 2014.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n.1, p.3-11, 2000.

DORAN, J.W. (2002) Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 88, n. 2, p.119-127, 2002.

EURICH, J. Avaliação visual da qualidade da estrutura do solo em sistemas de uso das terras. **Revista Ceres**, v. 61, n. 6, p. 1006-1011, 2014.

ESPINOZA, Y.; MALPICA, L. Mediciones simples para evaluar el estado de la calidad y salud del suelo bajo pasturas. **Revista Digital CENIAP HOY**, v. 11, 2006.

FAO; ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015. 650p.

FERWERDA, J.D. Over de werking van stalmeest op bouwland II. **Versl Landouwk Onderz**, v. 57, n.16, p. 75-80, 1951.

GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H. **Guide méthodique du profil cultural**. GEARA et CEREF, 1987. 62p.

GUANZIOLI, C.E.; BUAINAIN, A.M.; DI SABBATO, A. Dez anos de evolução da agricultura familiar no Brasil:(1996 e 2006). **Revista Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 2, p. 351-370. 2012. doi: 10.1590/S0103-20032012000200009

GUANZIOLI, C.E.; DI SABBATO, A. (2014). Existe na agricultura brasileira um setor que corresponde ao "family farming" americano? **Revista Economia e Sociologia Rural**, v. 52, n. 69-88, 2014.

GIAROLA, N.F.B. et al. Método de avaliação visual da qualidade da estrutura aplicado a Latossolo Vermelho Distroférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2531-2534, 2009.

GIAROLA, N.F.B. et al. On the visual evaluation of soil structure: the Brazilian experience in oxisols under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 60-64, 2013. doi:10.1016/j.still.2012.03.004

GLIESSMAN, S.R. **Agroecosystem sustainability: developing practical strategies**. CRC Press, 2000. 209 p.

GUIMARÃES, R.M.L.; BALL, B.C.; TORMENA, C.A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 3, p. 395-403, 2011. doi: 10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x

GUIMARÃES, R.M.L. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 92-99, 2013. doi:10.1016/j.still.2012.01.020

KHATOUNIAN, C.A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Agroecológica, 2001. 345 p.

LAL, R. Sustainable land use systems and soil resilience. In: GREENLAND, D.J.; ZABOLCS, I. (eds.) **Soil resilience and sustainable land use**. CAB International, 1994. p. 41-67.

MARQUES, E. A. **Uso e adaptação de métodos de avaliação da qualidade do solo no campo como ferramenta de extensão rural**. 2014. 74f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2014.

MAZOYER, M.; ROUART, L. **História das agriculturas no mundo. Do Neolítico à crise contemporânea**. UNESP, 2008. 568p.

MCGARRY, D. **A methodology of a Visual Soil-Field Assessment Tool.** Natural Resources Sciences, 2005. 50 p.

MCKENZIE, D.C. Rapid assessment of soil compaction damage I. The SOILpak score, a semi-quantitative measure of soil structural form. **Soil Research**, v. 39, n. 1, p.117-125, 2001.

MONCAYO, F.H.O. **Cartilla guía para la evaluación de la salud del suelo.** 2001.

MONCAYO, F.H.O.; ACUÑA, I.T.; GÓMEZ, J.M. Evaluación de la calidad del suelo por medio de indicadores locales en sistemas con predominio de café y ganadería en zonas de ladera en Colombia. In: VILLANUEVA, C.; SEPÚLVEDA, L.C.J. IBRAHIM, M. (eds.) **Manejo agroecológico como ruta para lograr la sostenibilidad de fincas con café y ganadería**, CATIE, 2011. p 71-93.

MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D.C.; DAVIDSON, E.A. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth a soil properties in Amazonia. **Ecology**, v. 84, n. 5, p. 1265-1276, 2003. doi: 10.1890/0012-9658(2003)084[1265:IOLANO]2.0.CO;2

MUELLER, L. et al. The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR). **Field manual for detecting and assessing properties and limitations of soils for cropping and grazing.** Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), 2007. 103 p.

MUELLER, L. et al. Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany: Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 1, p. 178-187, 2009. doi: [10.1016/j.still.2008.12.015](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.12.015)

MUELLER, L. et al. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 74-84, 2013.

MUNKHOLM, L.J. **The spade analysis: a modification of the qualitative spade diagnosis for scientific use.** Plant Production, 2000. 73 p.

MURPHY, B.W. et al. The use of visual soil assessment schemes to evaluate

surface structure in a soil monitoring program. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 3-12, 2013.

NEIKER - Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario. **Tarjetas de Salud de los Ecosistemas Agrícolas**, 2015.

NICHOLLS, C.I. et al. A rapid, farmer-friendly agroecological method to estimate soil quality and crop health in vineyard systems. **Biodynamics**, p. 33-39, 2004.

NIERO, L.A.C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010. doi: 10.1590/S0100-06832010000400025

OLIVEIRA, M.I.L. et al. Cornitermes cumulans (Isoptera, Nasutitermitinae) colonies activity in controlled conditions on macro and micro-aggregated soil structures. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 1733-1744, 2012.

ONU – Organização das Nações Unidas (2000) United Nations Millennium Declaration. Disponível em: <http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.pdf> (Acesso em 12 set 2016).

ONU – Organização das Nações Unidas (2005) United Nations Millennium Project. Investing in Development: A Practical Plan to Achieve the Millennium Development Goals. Disponível em: <http://www.unmillenniumproject.org/documents/MainReportChapter0Frontmatter-lowres.pdf> (Acesso em 12 set 2016).

PALM, C. et al. Soils: A Contemporary Perspective. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 32, p. 99-129, 2007.

PEERLKAMP, P.K. A visual method of soil structure evaluation. **Meded.v.d. Landbouwhogeschool en Opzoekingsstations van de Staat te Gent**, v. 24, p. 216-221, 1959.

PIRON, D. et al. Morphological description of soil structure patterns produced by earthworm bioturbation at the profile scale. **European Journal of Soil Biology**, v. 50, p. 83-90, 2012. doi:10.1016/j.ejsobi.2011.12.006

PULIDO MONCADA, M. et al. Visual field assessment of soil structural quality in tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 139, p. 8-18, 2014.

REILLY, J.; TRUTMANN, P.; RUEDA, A. **Guía salud de suelos**. Programa Para el Manejo Integrado de Plagas, PROMIPAC; Programa Para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central PASOLAC, 2004.

SHEPHERD, T.G. **Visual soil assessment. Field guide for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country**. Horizons Regional Council, 2000. 84 p.

SHEPHERD, T.G. et al. **Visual Soil Assessment–Field guide for annual crops**. FAO, 2008. 504 p.

SHIAVON, A.G. et al. O conhecimento local sobre a fauna edáfica e suas relações com o solo em agroecossistema familiar de base ecológica: um estudo de caso. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 658-660, 2015.

SILVA, V.D. et al. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191-199, 2000.

SILVA, R.D. et al. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1277-1283, 2011.

ROGER-ESTRADE, J. et al. Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 1, p. 33-49, 2004.

ROUSSEAU, G.X. et al. Earthworms, ants and other arthropods as soil health indicators in traditional and no-fire agro-ecosystems from Eastern Brazilian Amazonia. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 2, p. 117-134, 2010.

ROUSSEAU, L. et al. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, v. 27, p. 71-82, 2013.

SOUZA, K.R. et al. Proposta da Metodologia RAQS para avaliação visual da qualidade do solo (Proposal of RAQS methodology for evaluation of soil quality). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 1815-1824, 2016.

TAVARES-FILHO, J. et al. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 393-399, 1999. doi: 10.1590/S0100-06831999000200022

TOPOLIANZ, S. et al. Earthworm and enchytraeid activity under different arable farming systems, as exemplified by biogenic structures. **Plant and Soil**, v. 225, n. 1-2, p. 39-51, 2000.

VELASQUEZ, E. et al. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 12, p. 3066–3080, 2007. doi:10.1016/j.soilbio.2007.06.013

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009. doi: 10.1590/S0100-06832009000400001

WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, n. 1, p. 1-19, 2000.

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO VISUAL DA SAÚDE DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS

RESUMO

A saúde do solo é resultante do seu bom funcionamento. Organismos do solo, como a macrofauna edáfica de invertebrados, são sensíveis às variações de manejo e podem ser usados como bioindicadores da saúde do solo. O método de avaliação visual do solo, por ser uma forma rápida de identificar a saúde do solo, pode ser uma importante estratégia no planejamento agrícola. Os termos “qualidade” e “saúde” do solo podem ser utilizados como sinônimos, porém, geralmente o termo qualidade é associado a uma utilidade específica do solo, visando atender as necessidades humanas de produção agrícola. Por outro lado, o termo saúde do solo refere-se ao solo como um sistema dinâmico, vivo, cujas funções são mediadas por uma diversidade de organismos que necessitam da conservação dos recursos naturais. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade e saúde de um Latossolo Vermelho sob seis diferentes sistemas de manejo, utilizando seis métodos de avaliação visual do solo e desenvolver um novo método de avaliação visual considerando o biofuncionamento do solo. Os seis campos experimentais nos quais foi feita a aplicação da AVS foram a mata ciliar (MCI), o sistema agroflorestal (SAF), a cana-de-açúcar orgânica (CAN) e o pomar (POM) em Latossolo Vermelho e a área de preservação permanente (APP) e a pastagem (PAS) em Gleissolo. O trabalho foi realizado no Sítio São Sebastião, no município de Terra Roxa (SP), que se encontra em processo de conversão de agricultura convencional de cana-de-açúcar para agricultura orgânica e agroecológica. Em cada tratamento foram selecionadas quatro parcelas de 10 m², onde foram coletadas as amostras para as análises. A pesquisa foi realizada em duas épocas: estação chuvosa (entre 05 de março de 2016 e 03 de abril de 2016) e estação seca (entre 15 de agosto de 2016 e 8 de outubro de 2016). A inclusão dos indicadores biológicos diversidade vegetal,

macrofauna edáfica, bioestruturas e plantas indicadoras contribuíram para a maior diferenciação das áreas de estudo. A mata ciliar, a área de preservação permanente e o sistema agroflorestal são áreas com maior diversidade biológica e melhores indicadores de saúde do solo. Todas as metodologias possibilitaram a avaliação da qualidade do solo de forma fácil, rápida e sem custos, nos diferentes ambientes estudados.

Palavras-chave: análise, macrofauna edáfica, bioindicadores, biofuncionamento

VISUAL EVALUATION OF SOIL HEALTH UNDER DIFFERENT USES

SUMMARY

The health of the soil is a result of its good functioning. Soil organisms, such as the edaphic macrofauna of invertebrates, are to management variations and can be used as bioindicators of soil health and quality. The method of visual evaluation of the soil, as it is a quick way of identifying soil health, can be an important strategy in agricultural planning. The term "quality" and "health" of the soil can be used as synonyms, but generally the term quality is associated with a specific soil utility to meet the human needs of agricultural production (DORAN, 2002). On the other hand, the term soil health refers to soil as a dynamic, living system whose functions are mediated by a diversity of organisms that need the conservation of natural resources (DORAN, 2002). The objective of the present work was to evaluate the quality and health of a Red Latosol under six different management systems, using six methods of visual evaluation of the soil and to develop a new method of visual evaluation considering the soil biofunction. The six experimental fields in which the AVS was applied were ciliary forest (MCI), agroforestry system (SAF), organic sugar cane (CAN) and orchard (POM) in Red Latosol and the area of preservation (APP) and pasture (PAS) in Gleissolo. The work was carried out in the Sítio São Sebastião, in the municipality of Terra Roxa (SP), which is in the process of converting from conventional sugar cane agriculture to organic and agroecological agriculture. The areas for visual evaluation of the soil were native forest, permanent protection area, agroforestry system, sugar cane, pasture with brachiaria and orchard with various fruit trees. In each treatment, four plots of 10 m² were selected, where the samples were collected for analysis. The research was carried out in two seasons: rainy season (between March 5, 2016 and April 3, 2016) and dry season (between August 15, 2016 and October 8, 2016). The inclusion of biological indicators plant diversity, edaphic macrofauna, biostructures and indicator plants contributed to the greater differentiation of the study areas. The riparian forest, the permanent preservation area and the agroforestry system are areas with greater biological diversity and better soil health indicators. All the methodologies allowed the evaluation of the soil quality in an easy, fast and free way, in the different environments studied.

Key words: analysis, edaphic macrofauna, bioindicators, biofunctioning

2. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a adoção de tecnologias de produção mecanizada no Brasil tem provocado a perda da saúde dos solos pela redução da matéria orgânica, compactação, redução da infiltração de água, aumento da erosão e mudanças no tamanho e estabilidade dos agregados, afetando a sustentabilidade dos sistemas de produção (GUIMARÃES, 2011; SILVA et al. 2011). Saber definir quando um agroecossistema pode ser considerado saudável é um dos desafios que enfrentam tanto agricultores familiares como extensionistas e pesquisadores (ALTIERI; NICHOLLS, 2002).

Os termos “qualidade” e “saúde” do solo podem ser utilizados como sinônimos, porém, geralmente o termo qualidade é associado a uma utilidade específica do solo, visando atender as necessidades humanas de produção agrícola (DORAN, 2002). Por outro lado, o termo saúde do solo refere-se ao solo como um sistema dinâmico, vivo, cujas funções são mediadas por uma diversidade de organismos que necessitam da conservação dos recursos naturais (DORAN, 2002). Ao longo deste trabalho, adotou-se o termo “saúde” do solo, considerando-se a vida do solo como essencial para o desenvolvimento de agroecossistemas sustentáveis.

A manutenção da qualidade e saúde do solo e a compreensão do impacto dos sistemas de manejo no mesmo solo são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (SILVA et al., 2008). Um dos desafios contemporâneos é como avaliar a qualidade de um solo de maneira simples e confiável, tanto para agricultores, como para pesquisadores e extensionistas (GUIMARÃES, 2011).

Os métodos convencionais, ainda que constituam importantes ferramentas para o manejo e sejam bastante precisos, são muitas vezes de difícil utilização por agricultores devido ao custo e tempo (NIERO et al., 2010). Avaliar a saúde e qualidade do solo de forma rápida e acessível é uma importante estratégia no planejamento agrícola, possibilitando a identificação e o aprimoramento de sistemas de manejo com características de alta produtividade e de preservação ambiental (AMADO et al., 2007). A necessidade de diagnóstico rápido e confiável da qualidade do solo conduziu ao desenvolvimento de métodos baseados na

avaliação visual de indicadores da sua qualidade, conforme abordado no capítulo 1.

2.1. Indicadores de qualidade e saúde do solo

A identificação de indicadores da qualidade do solo é atualmente um problema global, devido à importância deste recurso para a produção vegetal e para a alimentação humana e animal. Em geral, tem-se utilizado um grupo de variáveis para definir a saúde do solo, a partir do estado de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (CABRERA, 2012).

Os indicadores mais utilizados para a avaliação da qualidade dos solos são a textura, a profundidade do solo e das raízes, a densidade, a infiltração de água no solo, a capacidade de armazenamento e retenção de água, conteúdo de água, temperatura, teores de C e N orgânico total, pH, condutividade elétrica, teores de N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), P, K, C e N da biomassa microbiana, N potencialmente mineralizável, respiração, C na biomassa em relação ao C orgânico total e respiração microbiana em relação à biomassa (VEZZANNI & MIELNICZUK, 2009).

O conhecimento do agricultor sobre a qualidade do solo é um fator importante a considerar, e é preciso adaptar as ferramentas e os métodos utilizados pelos pesquisadores para que os próprios agricultores possam fazer uso. Isto significa desenvolver metodologias de monitoramento da qualidade do solo que apresentem simplicidade operacional, mostrem resultados imediatos e contemplem indicadores que sejam significativos para os agricultores, de modo a compreenderem o solo e seus processos, proporcionando resultados confiáveis e de fácil interpretação (CASALINHO et al., 2007). Os indicadores visuais mais utilizados são a estrutura, a compactação, a porosidade, a cobertura do solo, a infiltração, dentre outros.

No passado, as propriedades físicas e químicas foram utilizadas para avaliar a qualidade do solo e ganharam mais importância do que as propriedades biológicas, as quais são mais difíceis de mensurar e muitas vezes difíceis de interpretar. Entretanto, os indicadores biológicos, por serem mais dinâmicos do que os outros, podem sinalizar antecipadamente a degradação ou a reabilitação

do solo (AQUINO, 2006).

Os bioindicadores consistem em organismos que realizam inúmeras funções no solo, como: (a) promovem a fragmentação da serapilheira, que aumenta a área de superfície exposta ao ataque de micro-organismos; (b) melhoram a distribuição da matéria orgânica e nutrientes tanto vertical quanto horizontal, da superfície para as camadas mais profundas (oligoquetas, coleópteros); (c) constroem galerias, que podem ser feitas pelas minhocas, larvas de insetos, térmitas e formigas, formando canais, que servem para facilitar a penetração das raízes, a aeração e a capacidade de infiltração de água; (d) melhoram a estrutura do solo pelo revolvimento e pela deposição dos seus excrementos, aumentando a estabilidade de agregados à água e ao vento; (e) digerem a celulose, lignina e hemicelulose (colêmbolos, térmitas, ácaros); (f) permitem o controle biológico; e (g) degradam substâncias tóxicas no solo (BARETTA et al., 2011).

Segundo Doran & Zeiss (2000), os indicadores de saúde e qualidade do solo devem ser medidos baseando-se em cinco requisitos: 1 - devem ser sensíveis às variações de manejo; 2 - relacionados com as funções benéficas do solo; 3 - úteis para elucidar processos ecossistêmicos; 4 - compreensíveis e úteis para os agricultores; e 5 - fáceis e baratos de medir.

Os métodos de avaliação visual do solo (AVS), de modo geral, preenchem estes requisitos, porém muitas metodologias se restringem ao estudo da estrutura física do solo, sendo pouco relacionados com os processos ecossistêmicos. O uso de organismos do solo como bioindicadores atende à maioria dos requisitos mencionados acima, com exceção do último, pois geralmente os métodos utilizados nas amostragens de fauna edáfica são de difícil acesso para os agricultores. De acordo com Doran & Zeiss (2000), necessita-se de uma considerável reflexão e criatividade para que sejam desenvolvidos métodos de avaliação da saúde do solo que considerem os organismos do solo e que sejam acessíveis e úteis para os agricultores. Na reunião da *International Soil Tillage Research Organisation* (ISTRO) em 2005, os pesquisadores, após testarem dez métodos de AVS também concluíram que a atividade da fauna do solo deveria receber mais atenção nas avaliações visuais

(BOIZARD et al., 2006).

Partindo da necessidade de desenvolver métodos acessíveis, incluindo bioindicadores, o presente capítulo teve por objetivo avaliar a saúde de solos sob diferentes usos de solo em uma propriedade utilizando-se seis métodos de avaliação visual do solo (Shepherd et al., 2008; Ball e Guimarães, 2011; Niero et al.; 2010; Marques, 2014; Altieri e Nicholls. 2002; e Casalinho et al.; 2007), e além disso, desenvolver um novo método de avaliação visual considerando o biofuncionamento do solo.

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Sítio São Sebastião, localizado no município de Terra Roxa (SP). Historicamente, a área do sítio foi ocupada pelos cultivos de arroz, soja, milho e algodão até a década de 1980; posteriormente com monocultura da laranja e pastagens, e mais recentemente, desde 2010, com monocultivo da cana-de-açúcar.

O Sítio (Figura 1) possui área total de 34,5 hectares e atualmente conta com 12,5 hectares de cana-de-açúcar orgânica, 10 hectares de área de preservação permanente (APP), oito hectares de pastagem com braquiária (*Brachiaria decumbens*), dois hectares de pomar com a sede e um hectare de sistema agroflorestal (SAF). A área ocupada por cana-de-açúcar orgânica foi cultivada até a década de 1980 com cultivos anuais, passando posteriormente para o cultivo de laranja até 2010 e cana convencional até 2014. A área de APP foi cultivada com arroz até 1980, depois por pastagens e, em 2008, foi restaurada com árvores nativas. A atual área de pastagem foi ocupada por cultivos anuais até 1980 e em seguida convertida em pasto.

de braquiária. O atual pomar também recebeu cultivos anuais até 1980 e, posteriormente, foram feitos plantios de mangueiras, cajamangueiras, tamarindeiros, limoeiros, laranjeiras, cajueiros e abacateiros, dentre outras. Para a instalação do SAF foi retirada uma faixa de cana-de-açúcar em dezembro de 2014. Atualmente o SAF produz hortaliças consorciadas com os canteiros de bananeiras e árvores nativas e frutíferas.

Atualmente, a área de estudo encontra-se em processo de conversão da

Figura 1. Imagem atual do Sítio São Sebastião (Sítio Agroflorestal).



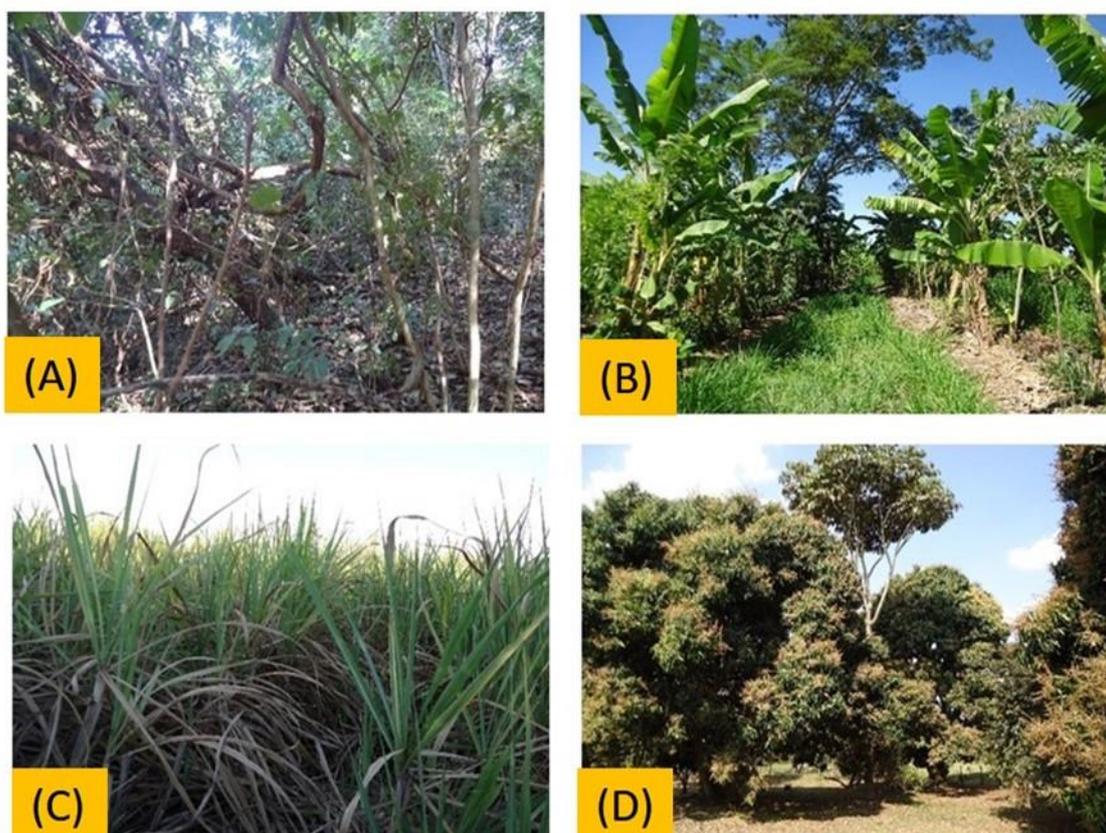
Fonte: Bruno Padula Furgeri (2017).

agricultura convencional da cana-de-açúcar para a agricultura orgânica e agroecológica. Assim, os produtores pretendem manter a propriedade orgânica e aumentar as áreas de produção de hortaliças e sistemas agroflorestais, reduzindo as áreas de pastagens e de cana-de-açúcar. Como o sítio possui diferentes usos do solo, considerou-se tratar-se de um local interessante para a aplicação e o aprimoramento dos métodos de AVS. Os seis campos experimentais nos quais foi feita a aplicação da AVS foram a mata ciliar (MCI), o sistema agroflorestal (SAF), a cana-de-açúcar orgânica (CAN) e o pomar (POM) em Latossolo Vermelho e a área de preservação permanente (APP) e a pastagem (PAS) em Gleissolo (Figuras 2 e 3).

Na seleção dos métodos, buscou-se utilizar aqueles que já foram amplamente utilizados em países temperados, e testados em países tropicais, como as metodologias de Shepherd et al. (2008) e Ball e Guimarães (2011), e as modificações que estes métodos sofreram ao serem aplicados em solos

brasileiros por Niero et al. (2010) e Marques (2014).

Figura 2. Campos experimentais nos quais foram aplicadas a metodologia de avaliação visual do solo em Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C) cana-de-açúcar (CAN); D) pomar (POM).



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 3. Campos experimentais nos quais foram aplicadas a metodologia de avaliação visual do solo em Gleissolo: A) área de preservação permanente (APP); B) pastagem (PAS).



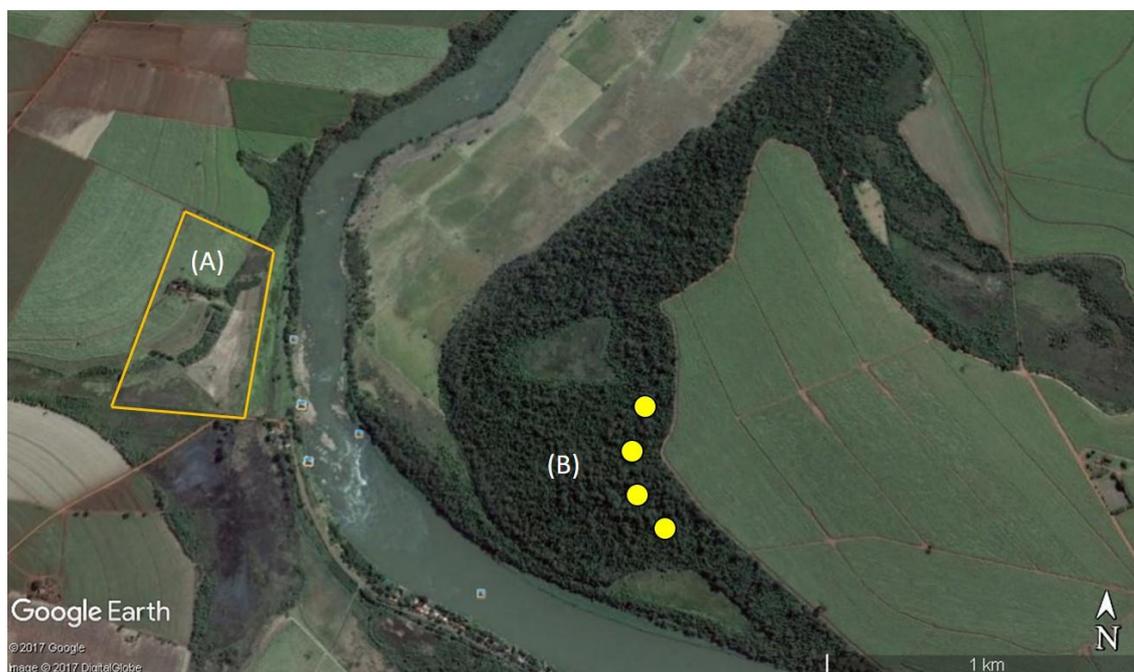
Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Também foi escolhido o método agroecológico de Altieri e Nicholls (2002) desenvolvido em um país tropical, e por fim o método de Casalinho et al. (2007) que considera o conhecimento popular de agricultores brasileiros. Estes foram considerados para a elaboração de um novo método proposto no atual estudo, incluindo também indicadores relacionados ao biofuncionamento dos solos, presentes nos trabalhos propostos por Topolizanz et al. (2000) e Moncayo (2011).

Em cada tratamento foram selecionadas aleatoriamente quatro parcelas de 10 m², onde foram coletadas as amostras para as análises (Figuras 4 e 5).

As metodologias foram aplicadas atribuindo-se notas de forma independente, conforme as planilhas de cada autor. Para facilitar a avaliação no campo, todas as planilhas elaboradas para a avaliação visual da qualidade do solo propostas sofreram adaptações.

Figura 4. Região onde foi realizado o trabalho. A) Sítio São Sebastião; (B) Pontos de coleta na Mata Ciliar

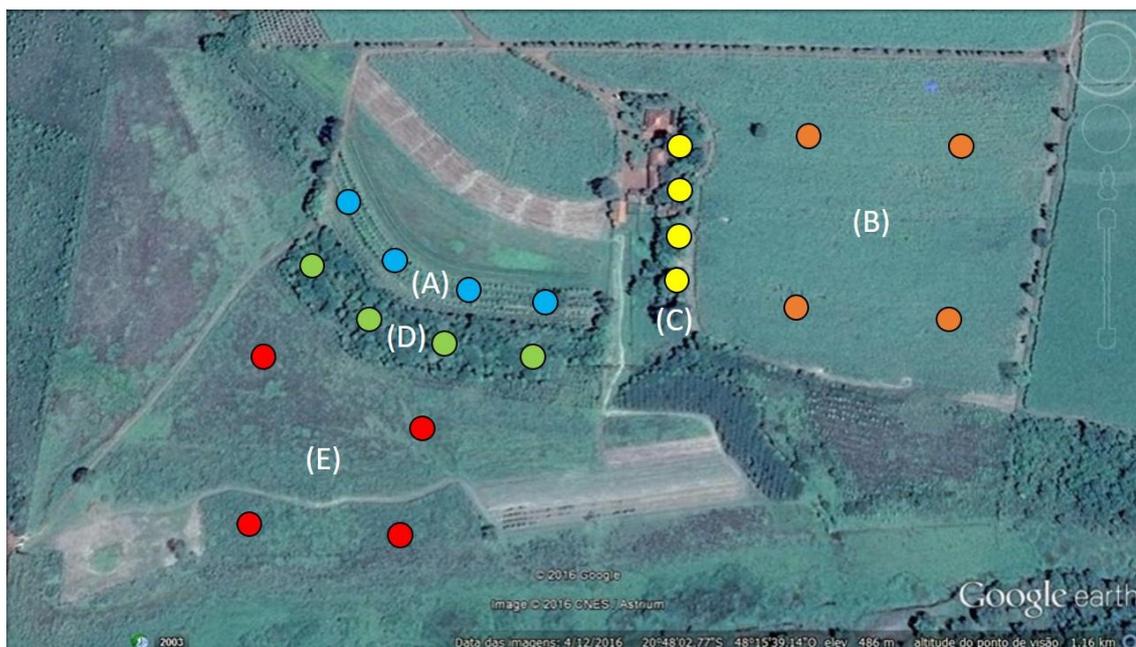


Fonte: Google Earth (2017).

A pesquisa foi realizada em duas épocas, na estação seca e na estação chuvosa. As avaliações na estação chuvosa foram feitas entre 05 de março de 2016 e 03 de abril de 2016 e as avaliações na estação seca foram feitas entre

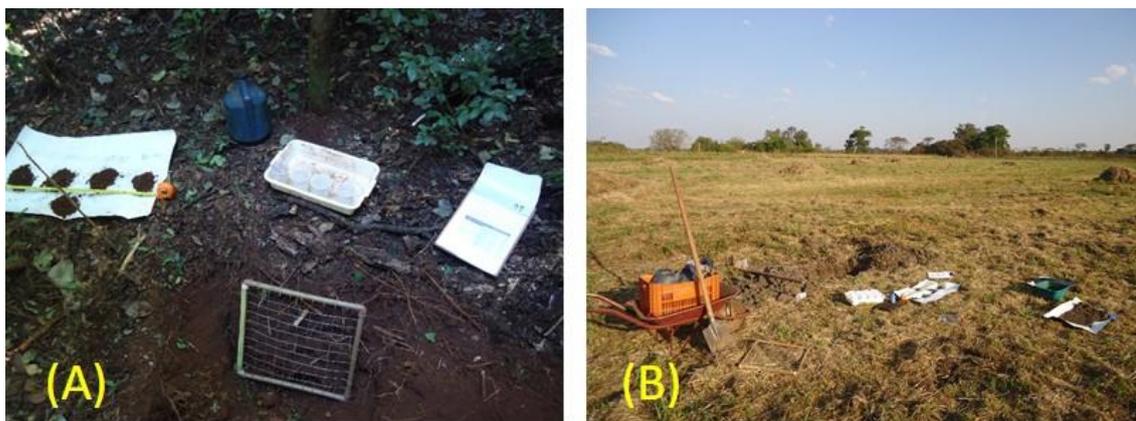
15 de agosto de 2016 e 8 de outubro de 2016 (Figura 6).

Figura 5. Pontos de amostragem na propriedade. A) sistema agroflorestal (SAF); B) cana-de-açúcar (CAN), e C) pomar (POM) em Latossolo Vermelho e área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS) em Gleissolo.



Fonte: Google Earth (2016).

Figura 6. Materiais utilizados na coleta de dados no campo. A) Mata Ciliar em Latossolo Vermelho; B) Pastagem em Gleissolo.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

2.2.1. Método VSA proposto por SHEPHERD et al. (2008)

Cada indicador foi avaliado com as notas 0 (ruim), 1(médio) e 2 (bom),

baseado na qualidade observada e nas referências descritivas e fotográficas. Após a realização das avaliações foi feita a ponderação das notas com pesos diferentes para os indicadores. Por fim, foi feita a soma da pontuação dos indicadores, que geraram um Índice de qualidade do solo, que apontou, de forma geral, se a qualidade do solo estava ruim (menos de 15 pontos), média (15 a 30 pontos), ou boa (mais de 30 pontos).

A avaliação da cobertura do solo foi realizada com base na porcentagem de solo coberto. A nota de erosão foi dada a partir das evidências visuais de erosão, como por exemplo, exposição do sistema radicular, desnivelamento do terreno e presença de sulcos. O acúmulo em superfície de água foi avaliado observando-se o tempo de permanência de lamina de água no talhão após um período chuvoso.

A avaliação para verificação da existência de camadas compactadas foi feita fincando-se uma faca no perfil do solo, no ponto de avaliação, de cima para baixo, com movimentos rápidos, observando a facilidade ou dificuldade de penetração. As camadas compactadas foram identificadas por serem visivelmente mais densas e apresentarem maior resistência à penetração da faca. A avaliação da estrutura, número de minhocas, porosidade, cor e mosqueados foi feita a partir de blocos de solo retirados com uma pá reta.

Para a avaliação da estrutura foi retirado um bloco de 200 mm³ da camada superficial do solo, que foi solto da altura de um metro, por até três vezes, se necessário, sobre uma caixa plástica. Após a soltura do bloco, os torrões foram separados por tamanho e organizados numa camada uniforme sobre uma lona plástica de 75 cm x 50 cm. Este mesmo bloco foi utilizado para avaliação da presença de minhocas, através da contagem do número de minhocas observadas no bloco.

Para avaliação da porosidade foi retirado outro bloco de solo, que foi quebrado ao meio. A cor foi avaliada comparando-se a cor do solo do ponto avaliado com o solo de uma mata nativa. O número e cor de mosqueados no solo foram avaliados utilizando o mesmo torrão da porosidade (Apêndice 1).

2.2.2. Método VESS, proposto por Ball e Guimarães (2011)

Retirou-se, com uma pá reta, um bloco de solo da largura da pá,

espessura de 15 cm e 22 cm a 25 cm de profundidade. O bloco foi colocado sobre uma bandeja, onde foi delicadamente fragmentado, em torrões, utilizando as duas mãos e tentando rompê-los em suas divisões naturais. Alguns agregados foram reduzidos a agregados de 1,5 cm a 2 cm. Neste momento, observou-se a forma, a porosidade, raízes e facilidade de quebra dos agregados.

A aparência do bloco fragmentado e dos agregados foi comparada às referências descritivas e fotográficas da chave de avaliação. Esta possui cinco categorias para qualidade da estrutura do solo, pontuadas de Qe1 a Qe5, sendo Qe1 a melhor qualificação e Qe5 a pior. A nota foi dada analisando-se o tamanho e aparência dos agregados, porosidade visível e raízes, aparência do bloco depois do manuseio e aparência e descrição de agregados de 1,5cm a 2 cm (Apêndice 2).

2.2.3. Metodologia VSA proposta por Niero et al. (2010)

No Brasil, Niero et al. (2010) acrescentaram ao método de Shepherd et al. (2008) os atributos compactação e profundidade do solo, e excluíram os indicadores como erosão e empoçamento de água. Além disso, após realizarem avaliações físicas e químicas e compararem com o método VSA de Shepherd et al. (2008), propuseram incluir mais uma classe na classificação visual, deixando o método mais acurado (Niero et al., 2010).

Para cada indicador foi atribuída uma pontuação visual de 0 (ruim), 1 (moderada) ou 2 (bom) com base na condição do solo observada. Esse método permite uma pontuação flexível, ou seja, se a amostra avaliada não for parecida com as fotos do guia de campo, mas situar-se entre duas paisagens, é possível pontuar o solo com uma nota 0,5 ou 1,5. Para se obter o resultado da qualidade do solo as notas são multiplicadas por diferentes pesos e posteriormente somadas.

Com base nos resultados de Niero et al. (2010), foi proposta uma classificação visual com quatro classes e os seguintes valores de índice visual: muito boa, maior que 25,00; boa, entre 20,00 e 25,00; moderada, entre 15,00 e 19,99; e pobre, menor que 15,00 (Apêndice 3).

2.2.4. Método Estrutural Modificado (MEM), de Marques (2014)

A avaliação da superfície ou avaliação da paisagem seguiu os indicadores sugeridos por Shepherd et al. (2008), avaliando-se erosão, empoçamento d'água e cobertura do solo. Porém na avaliação da cobertura foi realizada uma modificação, passando-se a considerar separadamente a cobertura morta e a cobertura viva.

Depois de retirados, os blocos de 10 cm² foram quebrados com as mãos para dar nota de estrutura, seguindo o proposto por Ball e Guimarães (2011).

Foi avaliada a influência da compactação na estrutura utilizando-se a chave de avaliação e acrescentando-se a atividade biológica e matéria orgânica na estrutura. A contagem do número de poros foi feita utilizando-se lupa de aumento de 10 vezes.

A estabilidade do agregado na água foi avaliada coletando-se agregados de aproximadamente 2cm, das amostras nas profundidades de 0 a 40 cm, colocando-os em copos plásticos (180 ml), com água e aguardando-se aproximadamente cinco minutos.

A efervescência em água oxigenada foi utilizada para avaliar a atividade biológica no solo. O teste com água oxigenada é utilizado em bacteriologia com o nome de "Teste da Catalase", para diferenciar alguns tipos de bactérias. A efervescência ocorre devido à ação da enzima catalase sobre o peróxido de hidrogênio que quebra suas moléculas, liberando água e oxigênio (CASALINHO et al., 2007). A avaliação foi feita em copo plástico com escala a cada 20 ml. A cada 20 ml que a efervescência subia contava-se um ponto. Apenas o primeiro ponto foi dado com 10 ml de altura de efervescência.

Em trincheiras de 40 cm x 40 cm avaliou-se a distribuição de raízes, com o objetivo de compará-la com outras condições do solo, como adensamento, cobertura do solo e espessura da camada escurecida. Foi construído um quadro telado de 40 cm x 40 cm, com 100 células, uma adaptação do método de Silva et al. (2000) (Apêndice 4).

2.2.5. Método Agroecológico proposto por Altieri e Nicholls (2002)

Na metodologia proposta por Altieri e Nicholls (2002) foram aplicados

apenas os indicadores relacionados ao solo. Os indicadores de saúde da vegetação não foram utilizados pois no método original foram desenvolvidos para a avaliação de cafezais.

Nessa metodologia, cada indicador recebeu uma nota de 1 a 10 de acordo com a definição das características correspondentes. As propriedades que apresentaram um valor médio geral inferior a 5 para a saúde do cultivo foram consideradas abaixo do valor de sustentabilidade (Apêndice 5).

2.2.6. Método Integrativo (MIAVS) proposto por Casalinho et al. (2007)

A metodologia proposta por Casalinho et al. (2007) requer a avaliação dos indicadores identificando seu desempenho, o que representa seu nível de limitação. Por isso, nessa avaliação foram atribuídas as letras A, M e B que correspondem à alta, média e baixa limitação respectivamente, ou seja, quanto melhor o solo de um ambiente, menor será sua limitação.

Para este estudo, as classificações foram transformadas nos valores 1 (alta limitação), 3 (média limitação) e 5 (baixa limitação). Dessa forma, foi possível fazer a média das notas atribuídas para os indicadores (Apêndice 6).

2.2.7. Método de Avaliação Visual da Saúde do Solo (AVSS)

Na metodologia modificada e denominada AVSS observaram-se quais foram os indicadores mais sensíveis nas seis metodologias e que melhor representavam a situação de cada ambiente avaliado. Os indicadores cor, matéria orgânica, diversidade vegetal, erosão, cobertura e compactação do solo foram realizados de acordo com a metodologia de Altieri e Nicholls (2002). Número de minhocas, empoçamento de água, estrutura, porosidade do solo e mosqueados seguiram a metodologia de Shepherd et al. (2008). O sistema radicular seguiu a metodologia de Marques (2014) e as plantas indicadoras foram avaliadas de acordo com a metodologia de Casalinho et al. (2007).

As novidades no método atual foram a inclusão do indicador macrofauna edáfica, a partir da metodologia de Moncayo (2011), e o indicador bioestruturas, adaptado a partir da metodologia de Topolanz (2000). Maiores detalhes destes métodos estão presentes no capítulo 1.

As notas para a macrofauna edáfica foram feitas a partir dos dados de

riqueza de espécies encontradas nas amostras de solo analisadas. A análise das estruturas biogênicas foi feita de acordo com observações da distribuição dos canais, galerias e coprólitos nas camadas do perfil do solo. As pontuações obtidas em cada metodologia adotada foram comparadas entre si e os índices de avaliação visual do solo (IAVS) foram atribuídos de acordo com o método de Niero et al. (2010).

2.2.8. Formas de avaliação dos resultados

Os indicadores de cada método aplicado foram definidos no campo e a visualização gráfica dos resultados foi feita por meio de gráficos em formato radar, nos quais os eixos de valores partem de um centro comum. Os eixos representavam a escala numérica adotada para cada indicador representado em quadrantes. Uma linha faz a conexão das notas obtidas em cada avaliação, formando um polígono preenchido. A forma do polígono é relevante, uma vez que as assimetrias indicam que no sistema avaliado um ou mais indicadores interfere mais no seu desempenho, em detrimento dos demais.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Resultados obtidos pelo método VSA de Shepherd et al. (2008)

No método de Shepherd et al. (2008), o único indicador que não sofreu variações foi a textura do solo, sendo todos classificados como textura média (Figuras 7 e 8). Um dos indicadores que sofreu grandes variações durante os períodos seco e chuvoso foi o indicador número de minhocas (Figuras 7 e 8).

Segundo Righi (1990), na estação seca, as minhocas tendem a buscar abrigo nas camadas mais úmidas do solo; se a seca persiste ou se o lençol freático é muito profundo, várias espécies cavam câmaras individuais, arredondadas, revestidas por um muco espesso e se enrolam de modo a deixar a boca e o ânus protegidos. Nessa fase, denominada estivação, as minhocas diminuem o metabolismo, deixam de se alimentar, permanecem mais ou menos ativas e podem regenerar partes perdidas do corpo (RIGHI, 1990; LOPES ASSAD, 1997). A única exceção em relação ao número de minhocas ocorreu no sistema agroflorestral (SAF), onde foi encontrado um maior número durante a

estação seca. Isto se deve provavelmente à existência de irrigação no SAF, proporcionando a umidade necessária para a atividade das minhocas (Figura 7 B).

No método de Shepherd, a área ocupada pelo pomar (POM) recebeu baixos índices de qualidade do solo, principalmente pela falta de cobertura, que pode agravar outros problemas como a compactação e a erosão do solo (Figura 7). A palha fornecida pelas culturas protege o solo do impacto da gota de chuva e mantém-se sua capilaridade, promovendo o aumento da infiltração, a eliminação do selamento superficial, maior agregação do solo e redução das perdas por erosão (GUEVARA et al., 2007).

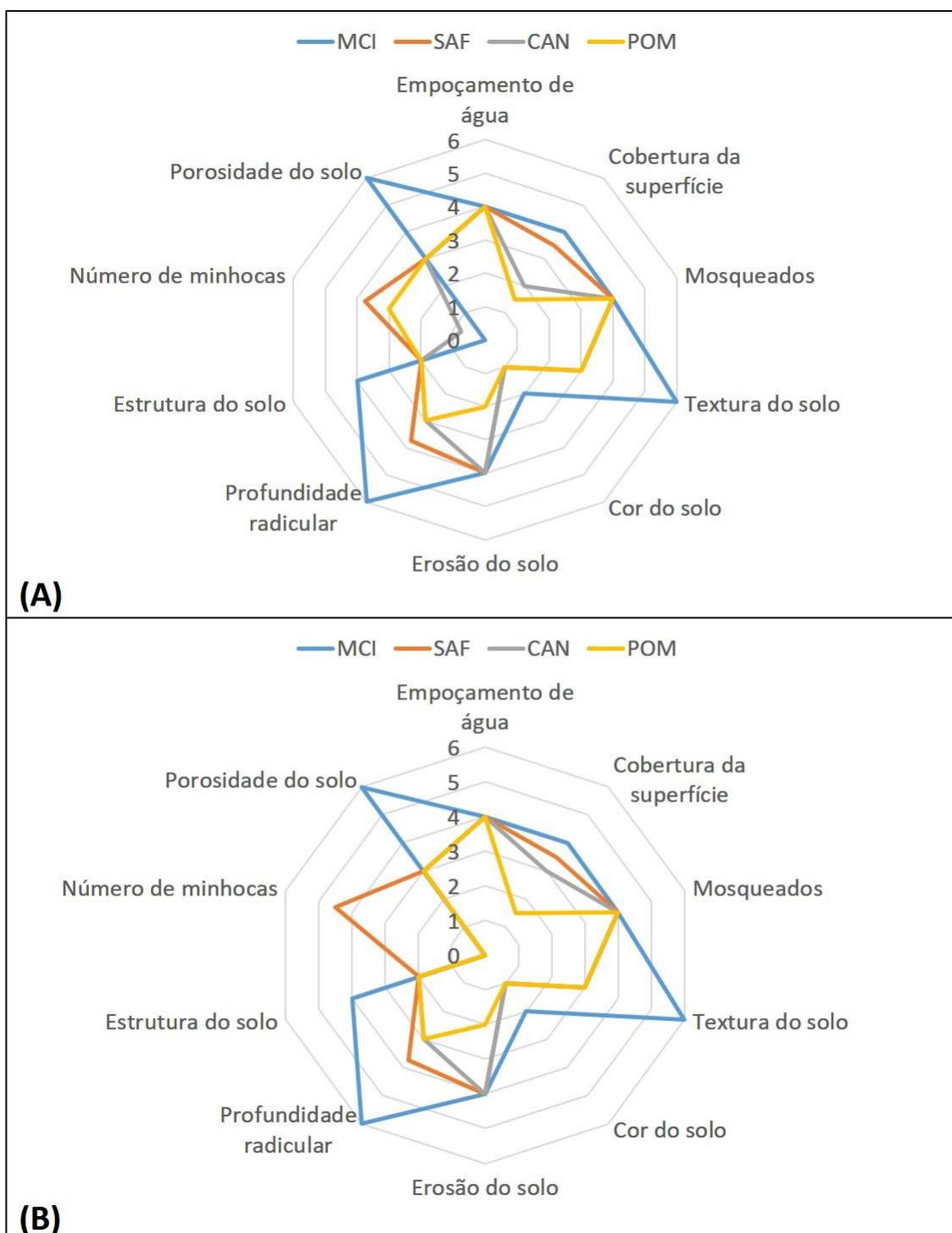
A área da pastagem (PAS) encontra-se em Gleissolo, que sofre com alagamentos durante o período das chuvas (Figura 8). Nesta área, a escolha das espécies deve ser feita respeitando-se a dinâmica deste local, com solo seco durante o inverno e encharcado durante o verão.

Em relação à cobertura do solo, a única área que recebeu uma pontuação inferior durante o período das chuvas foi a cana-de-açúcar (CAN), devido à colheita realizada durante este período, retirando a cobertura verde do local. De acordo com Mielniczuk (1999), os resíduos culturais na superfície do solo, permitem mais reciclagem de nutrientes, aumento do estado de agregação, da disponibilidade de água e da atividade biológica, além da redução da erosão.

A estrutura do solo também apresentou diferenças entre as áreas (Figuras 9 e 10). Nas imagens é possível notar as diferenças em relação ao indicador cor do solo.

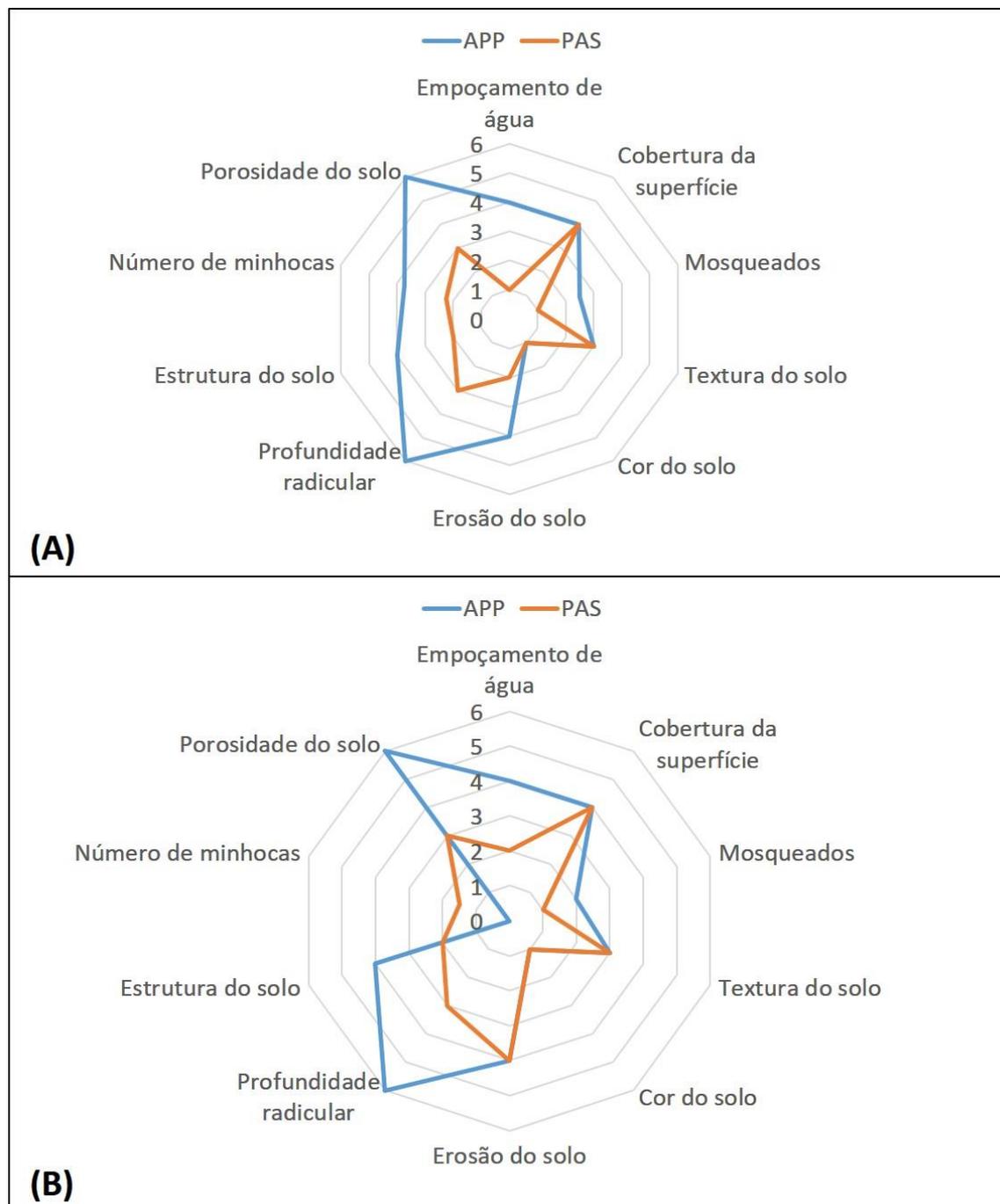
De acordo com o manual de Shepherd et al. (2008), ao final da avaliação do solo, é gerado um índice visual de qualidade do solo, classificando o solo como bom, moderado ou ruim (Apêndice 7C). Neste trabalho, a aplicação do método Shepherd permitiu dividir as áreas em dois grupos, um com qualidade do solo considerada boa e outro com qualidade moderada. As áreas MCI, APP e SAF foram consideradas boas, enquanto as áreas PAS, CAN e POM foram classificadas com qualidade de solo moderada (APÊNDICE 7B).

Figura 7. Resultados obtidos pelo método VSA de Shepherd et al. (2010) nas áreas de Latossolo Vermelho: mata Ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN), e pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



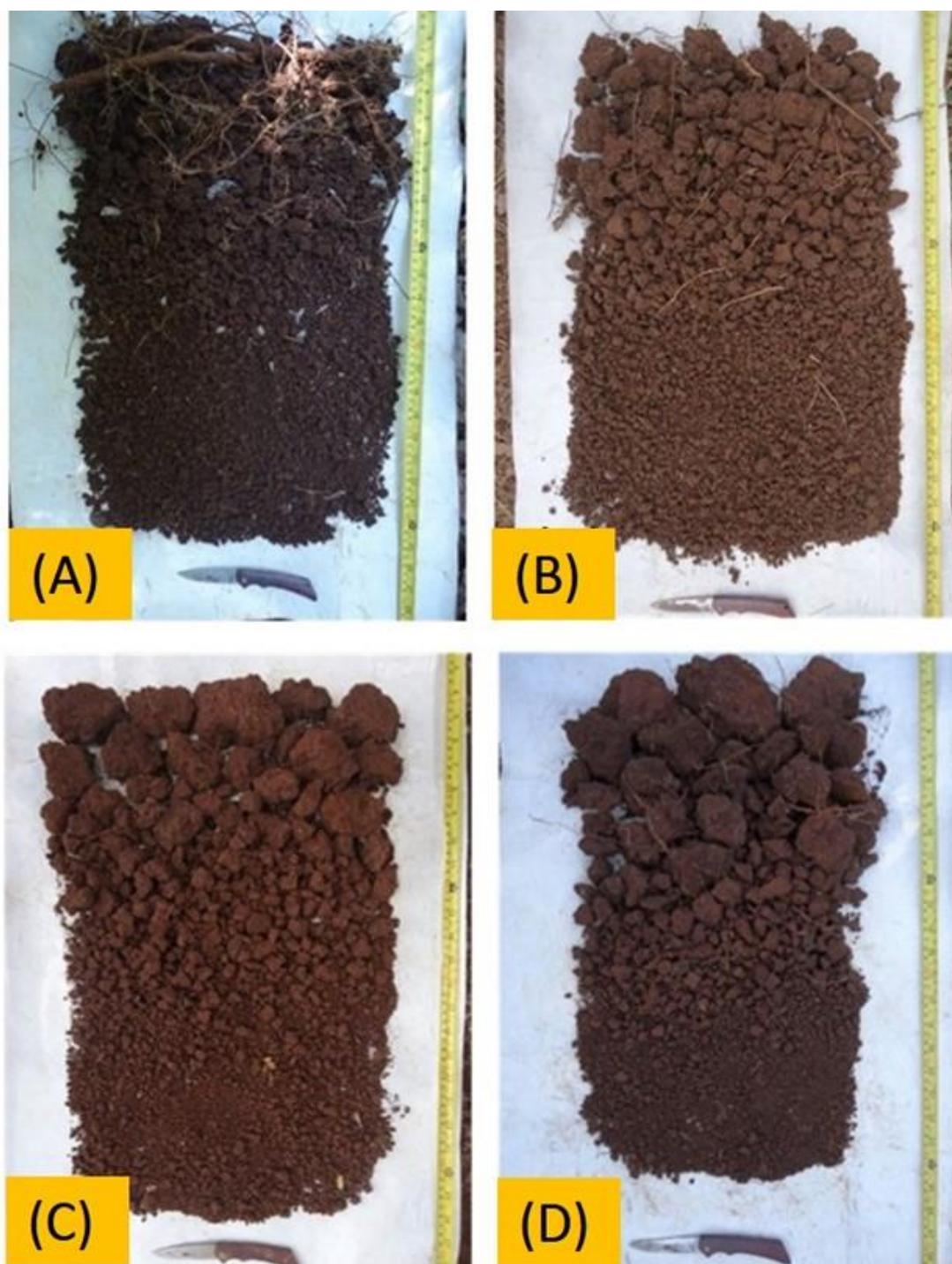
Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 8. Resultados obtidos pelo método VSA de Shepherd et al. (2010) nas áreas de Gleissolo: área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 9. Avaliação visual da estrutura do solo em Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C) cana-de-açúcar (CAN); D) pomar (POM).



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Apenas as áreas SAF e CAN receberam um índice levemente maior durante a estação seca. No caso do SAF, isto se deve ao indicador número de minhocas, que foram encontradas em maior número durante a estação seca.

Os mosqueados tornaram-se mais evidentes na pastagem (PAS) e na área de preservação permanente (APP), áreas que estão sujeitas a alagamentos.

Figura 10. Avaliação visual da estrutura do solo em Gleissolo: A) área de proteção permanente (APP); B) pastagem (PAS).



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

2.3.2. Resultados obtidos pelo método Visual Evaluation of Soil Structure (VESS) proposto por Ball e Guimarães (2011)

Na metodologia proposta por Ball e Guimarães (2011), não houve diferenças nas amostragens durante o inverno e verão.

Nesta metodologia, uma das dificuldades foi retirar uma fatia de solo na profundidade de uma pá para avaliação, principalmente quando o trabalho foi realizado sozinho. Giarola et al. (2009) e Marques (2014) observaram o mesmo ao aplicar este método. Nas áreas de Latossolo Vermelho a dificuldade de extrair

os blocos de solos com uma pá foi maior do que nas áreas de Gleissolo. Mesmo assim, foi possível distinguir a estrutura do solo nas diferentes áreas de avaliação.

Observaram-se diferentes qualidades estruturais (Qe) nos usos e manejos do solo, sendo que o de melhor Qe ocorreu em MCI. Conforme a carta de avaliação visual do método (Apêndice 2), este sistema apresentou Qe 1 que corresponde a solo com agregados que quebram facilmente com os dedos devido a presença de raízes por todo o solo, uma mistura de agregados de alta porosidade menores que 6 mm após a quebra e poucos agregados com diâmetro maior que 1 cm (Figura 11 A). Não foi observada variação na qualidade estrutural nas camadas avaliadas.

No SAF, as amostras coletadas apresentaram Qe 3, com uma mistura de agregados porosos entre 2mm -10 cm; e menos de 30% menores que 1 cm. Nesta classe, alguns torrões angulares não porosos podem estar presentes, macroporos, fissuras estão presentes, a porosidade e as raízes estão presentes dentro dos agregados (Figura 11 B).

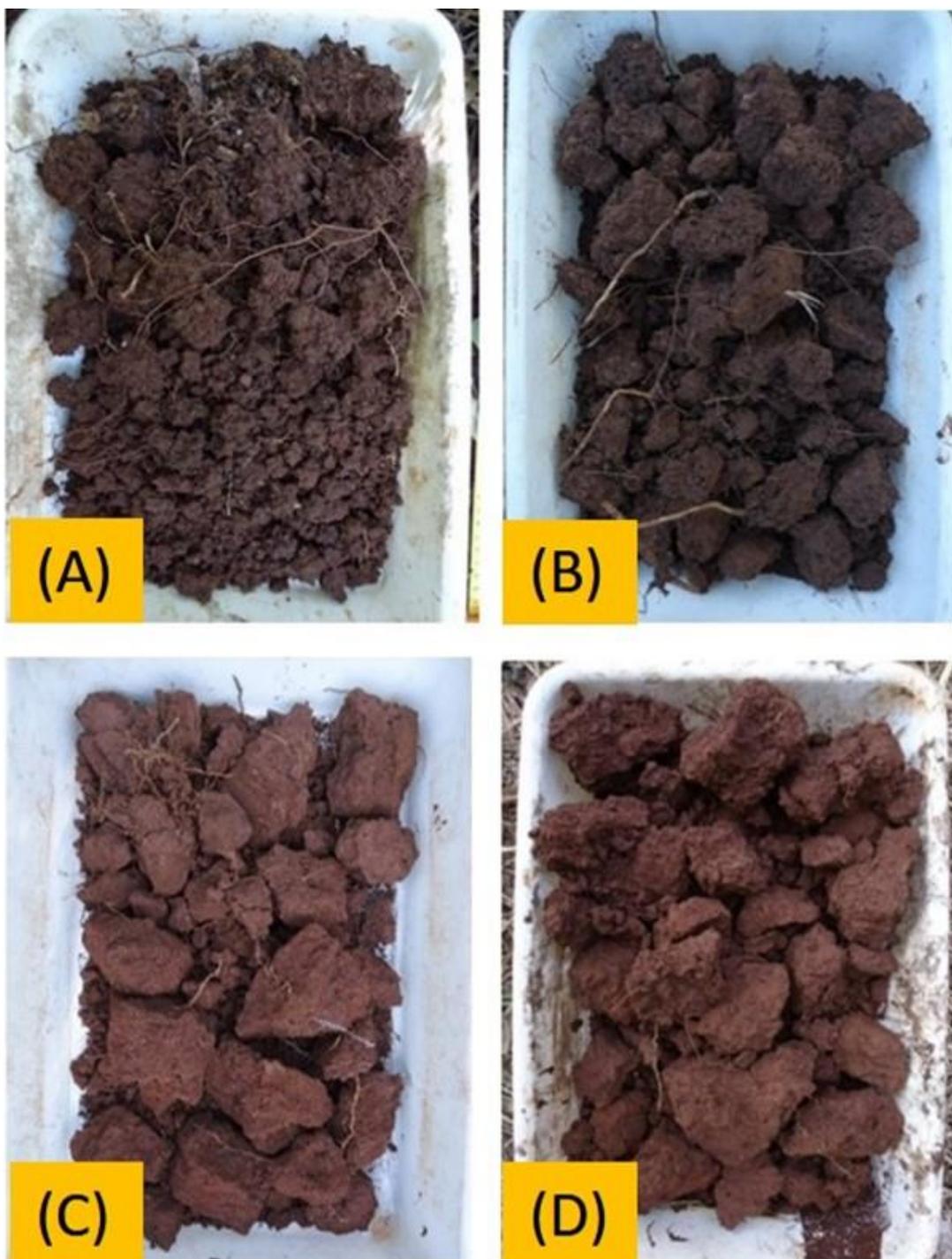
Os demais tratamentos em Latossolo Vermelho, CAN e POM receberam Qe 4, onde a maioria dos agregados é maior que 10 cm, são sub-angulares e não porosos, possuem poucos macroporos e fissuras, as raízes estão agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados (Figura 11 C e D).

Em relação às áreas de Gleissolo, na APP, as amostras coletadas apresentaram Qe 2, conforme a carta de avaliação visual do método, que está relacionada a presença de agregados que quebram facilmente na mão, mistura de agregados porosos entre 2 mm - 5 cm, poucos agregados com diâmetro maior que 3 cm, ficando a maioria entre 1-2 cm e menor quantidade de raízes (Figura 12 A). A pastagem foi classificada como Qe 4 (Figura 12 B).

A proposta metodológica demandou habilidade para manipular e reconhecer aspectos da estrutura do solo. O aspecto mais importante foi o modo de individualizar as unidades estruturais, respeitando as linhas de definição dos agregados, sem promover deformação ou formação de novos agregados. Essas particularidades indicaram que o observador necessita de conhecimento prévio sobre a morfologia da estrutura do solo maior que o indicado na metodologia

corroborando com o observado por Giarola (2009).

Figura 11. Blocos de solo desestruturados de acordo com o método VESS de Ball e Guimarães em Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C) cana-de-açúcar (CAN); D) pomar (POM).



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 12. Blocos de solo desestruturados de acordo com o método VESS de Ball e Guimarães em Gleissolo: A) área de proteção permanente (APP); B) pastagem (PAS).

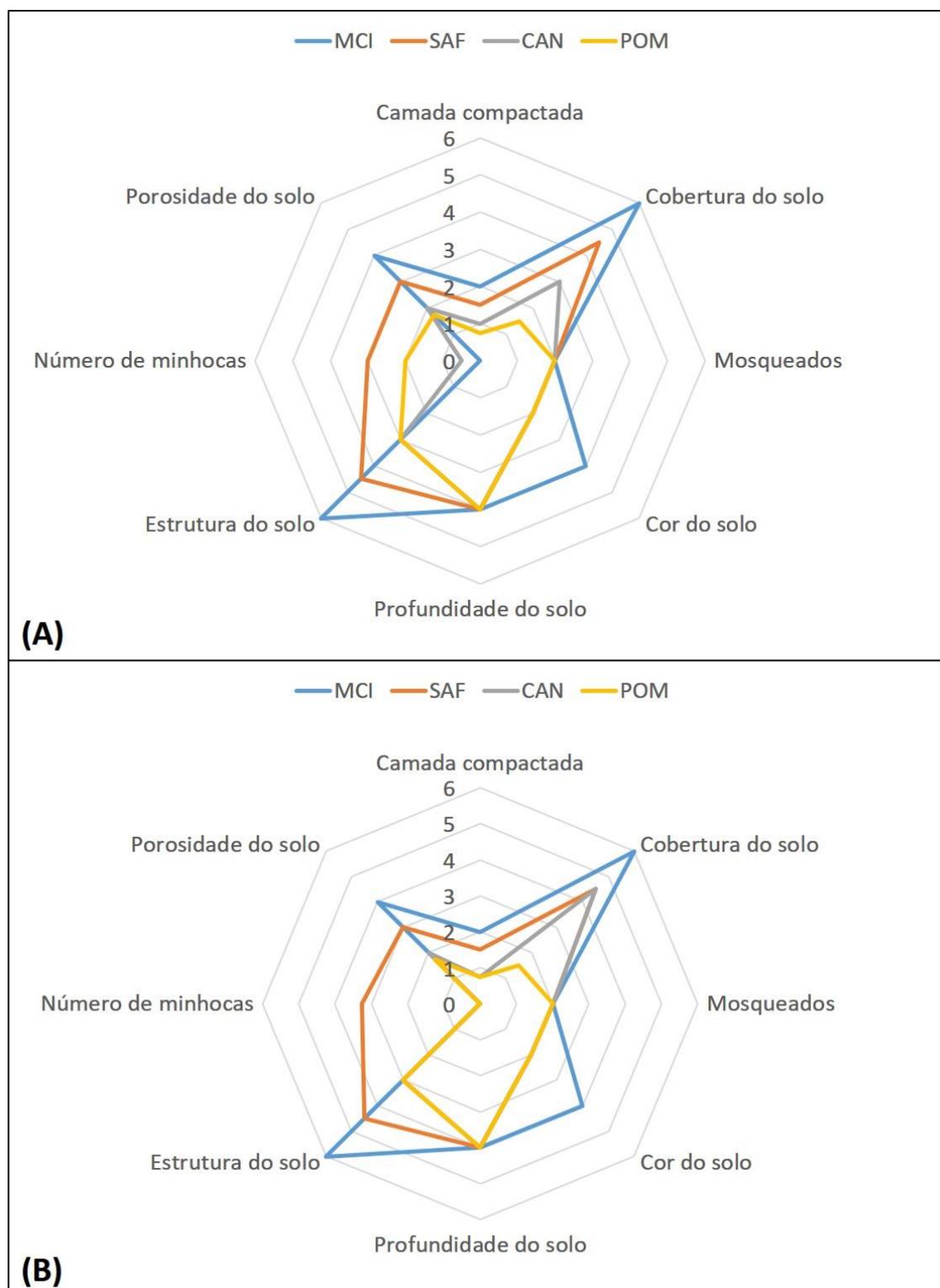


Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

2.3.3. Resultados obtidos pelo método VSA adaptado por Niero et al. (2010)

A metodologia proposta por Niero et al. (2010) permitiu a adoção de valores intermediários (0, 0,5, 1, 1,5 e 2), aumentando as possibilidades de distinguir as diferentes áreas amostradas. O método proposto por Niero et al. (2010) apresenta uma categoria de qualidade do solo a mais em relação ao método de Shepherd (2008), classificando o solo como muito bom, bom, moderado e ruim, que permite uma melhor distinção das áreas (Apêndice 8B). Porém, não apresentou grandes diferenças em relação à classificação pelo método de Shepherd et al. (2008), já que é uma adaptação deste. O tratamento MCI, usado como referência, também apresentou os maiores índices, recebendo muitas vezes a nota máxima (Figura 13). No trabalho de Niero et al. (2010), as áreas em sistema de plantio direto e maior diversidade vegetal também apresentaram os maiores índices. A inclusão do indicador camada compactada na metodologia proposta por Niero et al. (2010) permitiu identificar áreas com graves problemas de compactação, como em CAN e em POM (Figura 13).

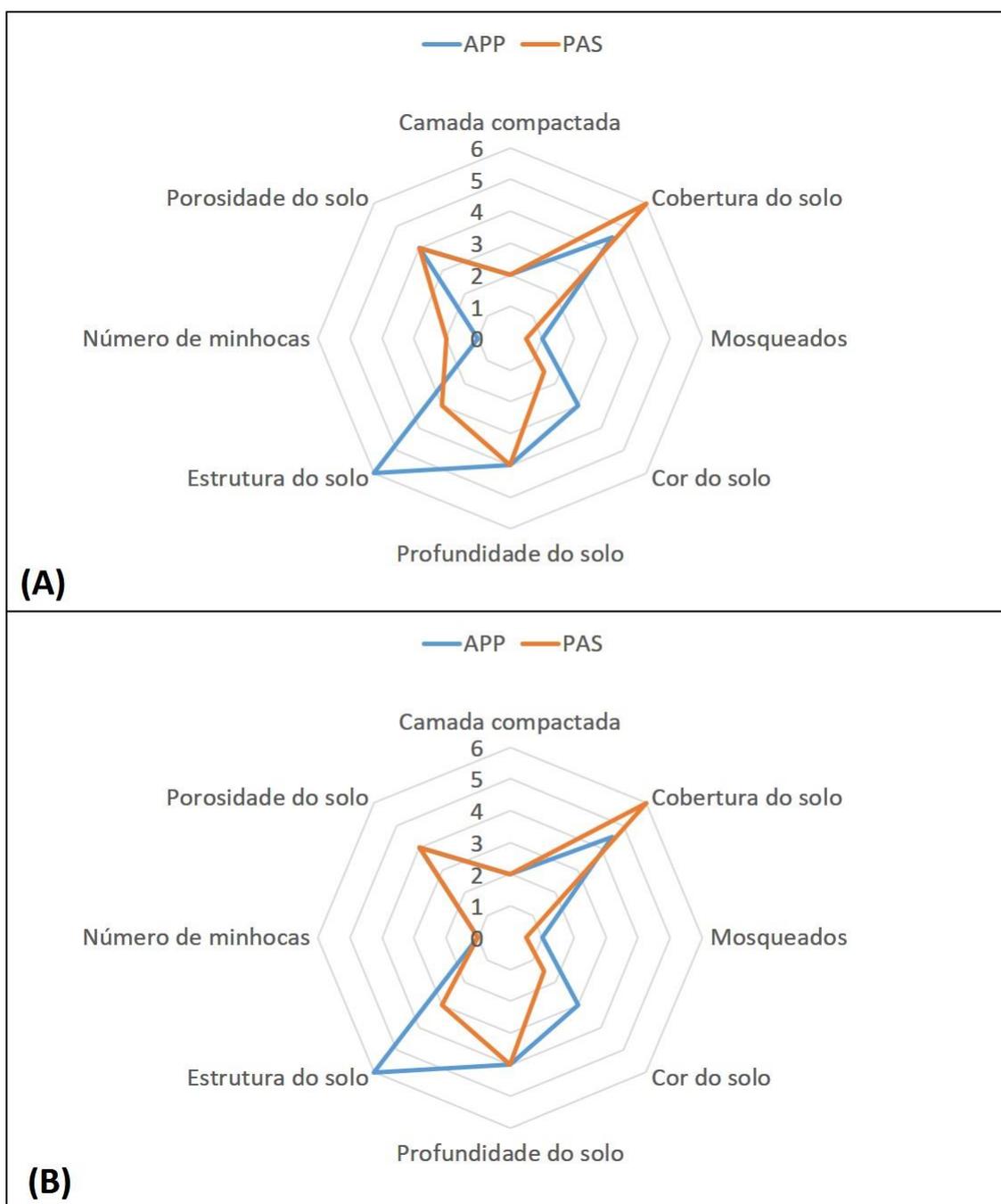
Figura 13. Pontuações visuais obtidas pelo método VSA modificado por Niero et al. (2010) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN) e pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Os altos valores obtidos pela APP podem ser atribuídos à presença de espécies arbóreas presentes, que contribuem para a melhoria dos indicadores avaliados (Figura 14).

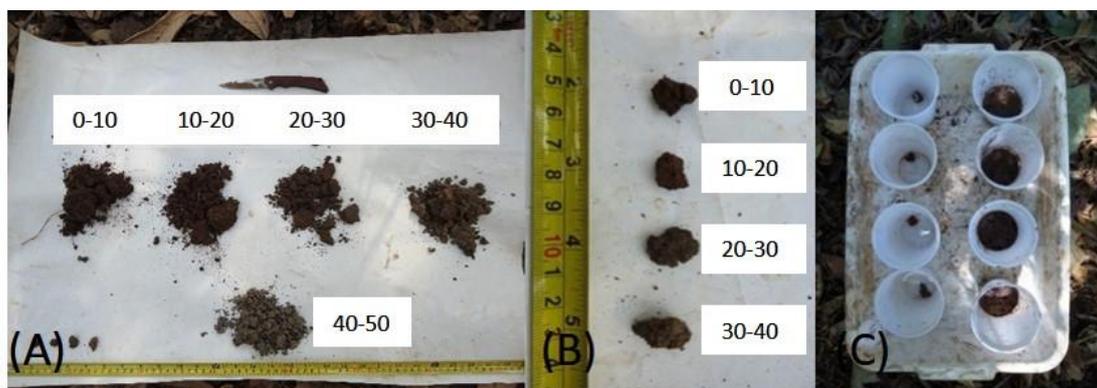
Figura 14. Pontuações visuais obtidas pelo método VSA modificado por Niero et al. (2010) em Gleissolo: área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



2.3.4. Resultados obtidos pelo Método Estrutural Modificado por Marques (2014)

Na metodologia modificada por Marques (2014), são incluídos indicadores como o formato e a porosidade de agregados de 1 cm² (Figura 15B), presentes na metodologia de Ball e Guimarães (2011), também indicadores como a efervescência em água oxigenada e a estabilidade dos agregados em água (Figura 15C). O indicador cor apresentou diferenças entre os tratamentos e foi avaliado comparando-se as camadas de até 40 cm de profundidade com a cor do solo após 40 cm de profundidade (Figura 15A).

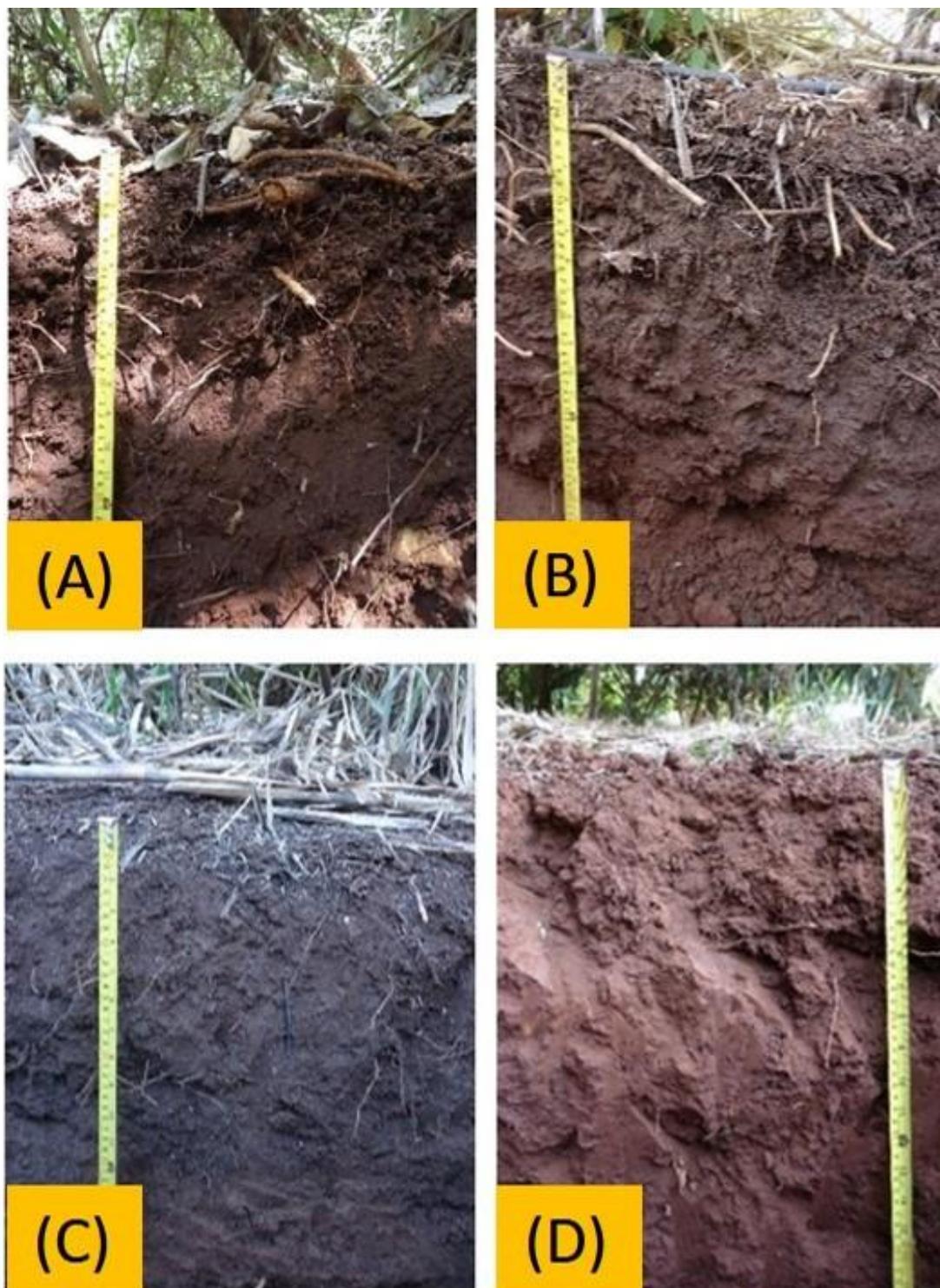
Figura 15. Indicadores de profundidade utilizados na metodologia de Marques (2014): A) Avaliação da cor e estrutura do solo; B) Avaliação dos agregados de 1cm³; C) Avaliação da estabilidade dos agregados em água e teste de efervescência com água oxigenada.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

A distribuição do sistema radicular foi mais evidente na profundidade de 0-20 cm (Figuras 16 e 17). Para o indicador matéria orgânica foi possível observar maior variação entre os tratamentos, e entre diferentes profundidades para o mesmo tratamento. Pois, como era esperado, quanto mais profunda a amostra, pior a qualidade para este indicador (Apêndice 9). A fragmentação de agregados em água e o formato do agregado de 1cm³ apresentaram diferenças nas amostragens, recebendo melhores pontuações nos tratamentos MCI e SAF em Latossolo Vermelho (Figura 20) e APP em Gleissolo (Figura 21).

Figura 16. Trincheiras abertas (0-40cm) para as avaliações de profundidade de acordo com o método modificado por Marques (2014) em Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C) cana-de-açúcar (CAN) e D) pomar (POM).



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 17. Trincheiras abertas (0-40cm) para as avaliações de profundidade de acordo com o método modificado por Marques (2014) em Gleissolo: A) área de proteção permanente (APP); B) pastagem (PAS).

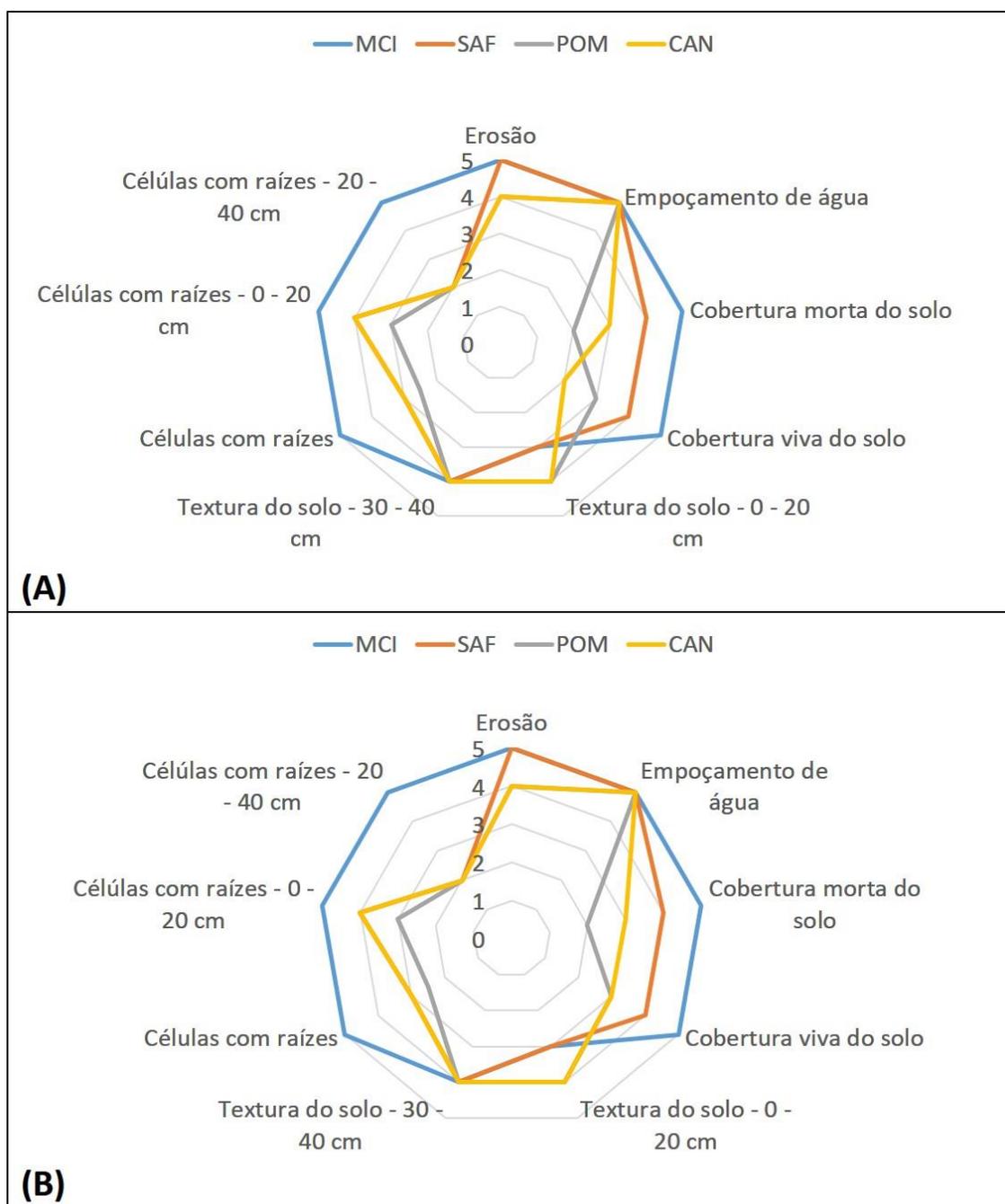


Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Salton et al. (2008) ao estudarem a estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários concluíram que a estabilidade dos macroagregados possui estreita relação com o teor de carbono orgânico no solo.

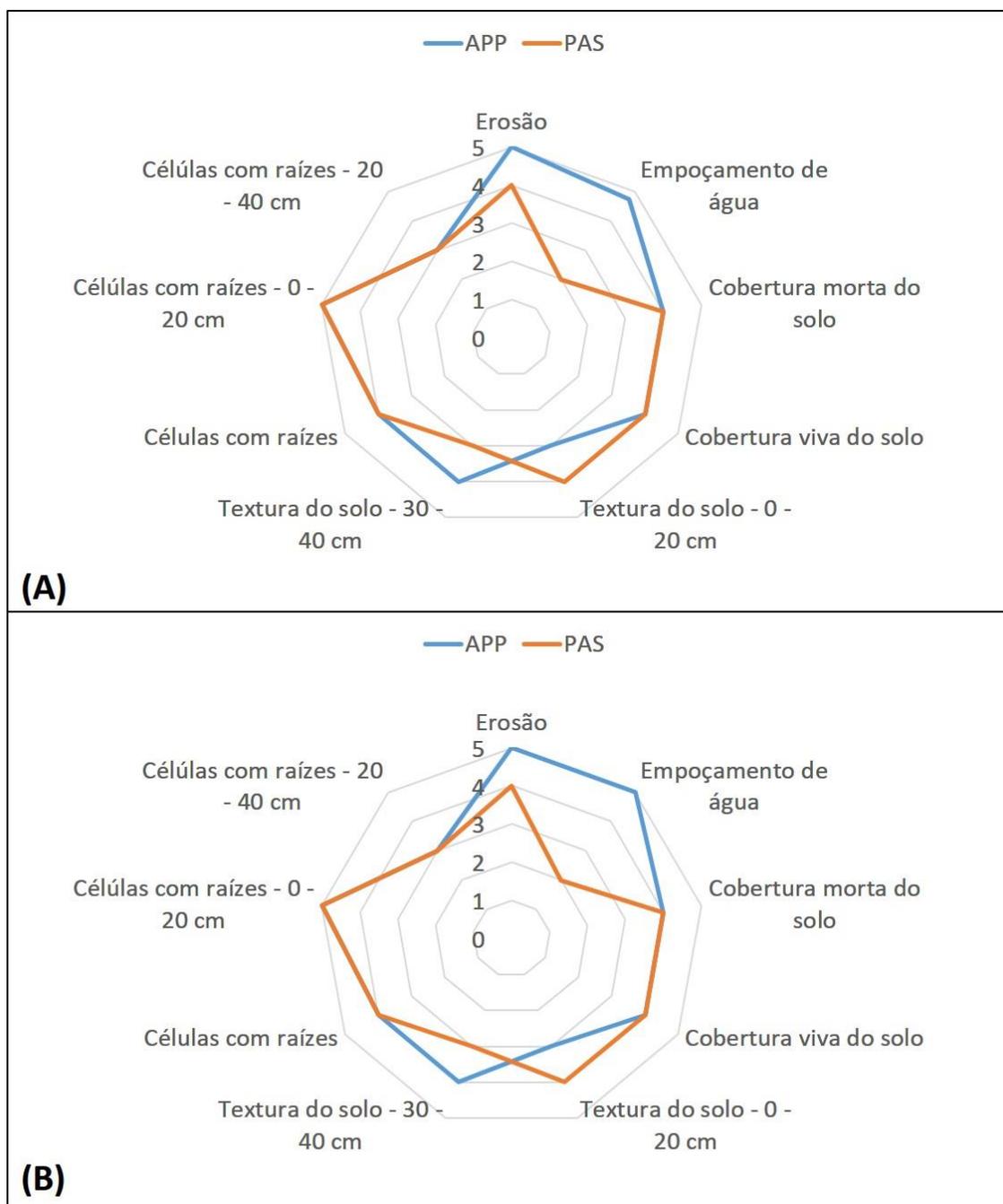
A avaliação de efervescência do solo em água oxigenada apresentou pontuação baixa para todos os tratamentos. Neste caso é necessário avaliar se não há necessidade de rever a referência descritiva deste, ou se realmente todos os tratamentos possuíam condição ruim ou muito ruim. No entanto, foi possível observar diferenças significativas entre os tratamentos e para estes em profundidade. Os melhores resultados foram obtidos para os tratamentos MCI em Latossolo Vermelho e APP em Gleissolo.

Figura 18. Pontuações visuais obtidas pelo método de Marques (2014) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN) e pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



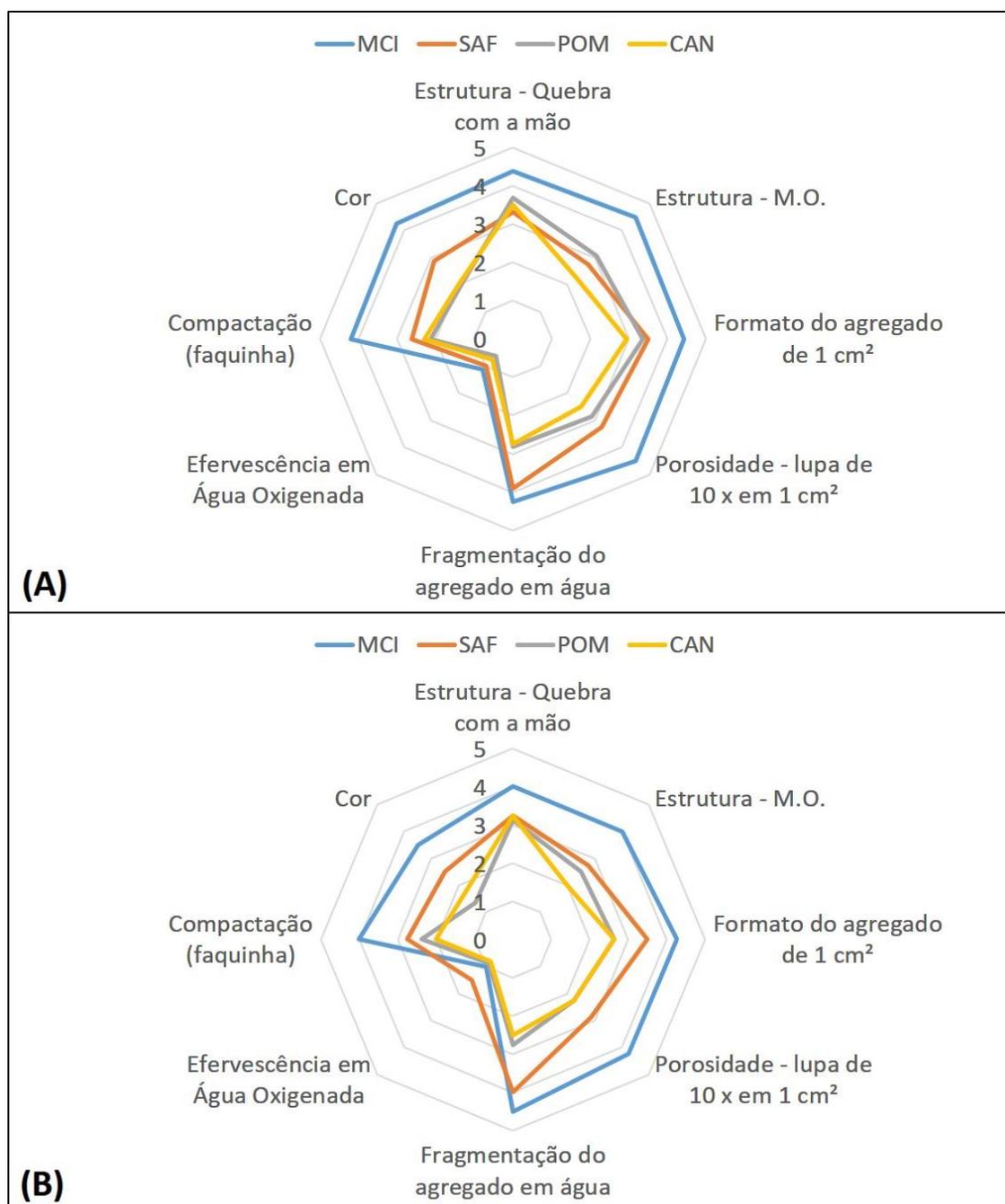
Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 19 Pontuações visuais obtidas pelo método de Marques (2014) em Gleissolo: área de proteção permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



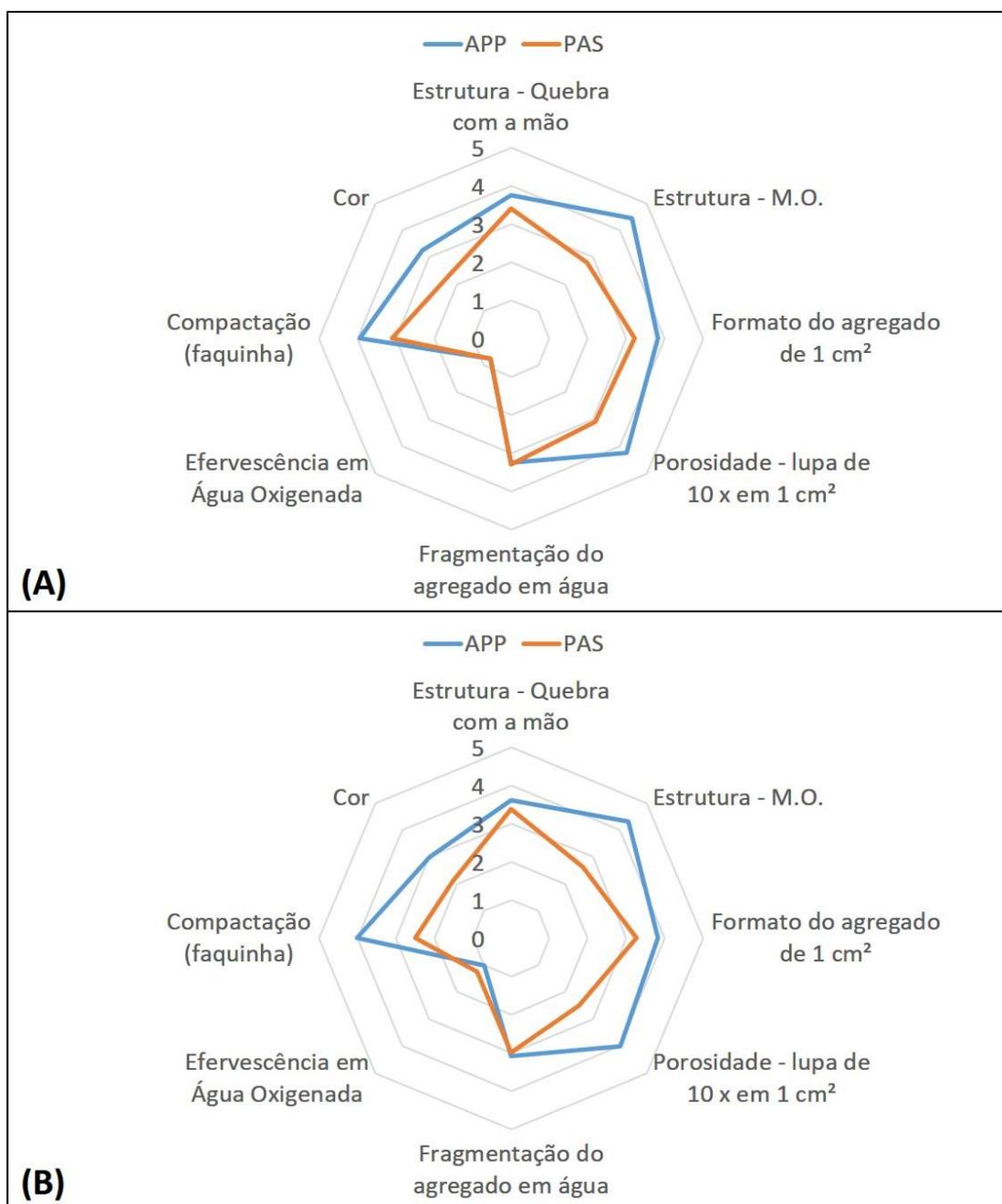
Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 20. Pontuações visuais de profundidade obtidas pelo MEM de Marques (2014) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN) e pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 21. Pontuações visuais de profundidade obtidas pelo MEM de Marques (2014) em Gleissolo: área de proteção permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

2.3.5. Resultados obtidos pelo Método Agroecológico de Altieri e Nicholls (2002)

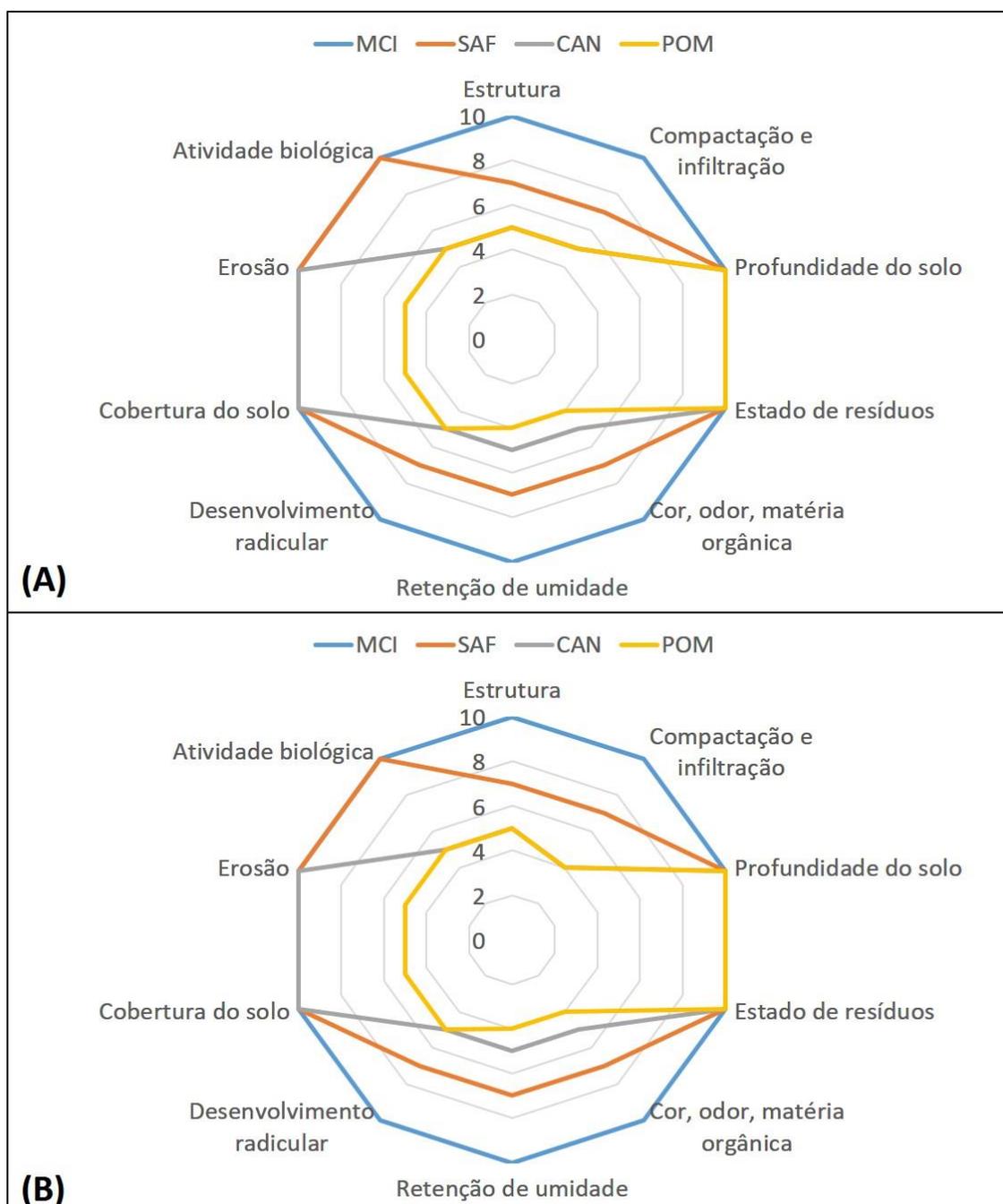
Os indicadores profundidade do solo e estado de resíduos não se diferenciaram nas áreas amostradas. Todos os solos analisados foram considerados profundos, do mesmo modo que no método Niero et al. (2010).

Os indicadores visuais estrutura, compactação, cor, matéria orgânica, umidade, desenvolvimento radicular e atividade biológica destacaram-se nos tratamentos MCI e SAF em Latossolo Vermelho e APP em Gleissolo, áreas com maior diversidade de espécies arbóreas. A cor mais escura do solo nestes tratamentos pode estar relacionada com o maior teor de matéria orgânica decorrente da menor intensidade de mobilização no solo destas áreas (ARAÚJO et al., 2007). Como os atributos avaliados se inter-relacionam, pode-se inferir que a boa cobertura dos solos nos tratamentos MCI e SAF em Latossolo Vermelho e APP em Gleissolo proporciona maior retenção de umidade, que aliada à menor intensidade de mobilização com máquinas pesadas, contribui para maior atividade da macrofauna edáfica. Esta por sua vez, gera canais no solo, melhorando a estrutura e aumentando a porosidade, o que facilita o desenvolvimento radicular (SILVA, 2006).

A metodologia permitiu avaliar a qualidade do solo de forma comparativa ou relativa, seja comparando a evolução de um mesmo sistema através do tempo, ou comparando dois ou mais agroecossistemas com diferentes manejos ou estados de transição (ALTIERI; NICHOLLS, 2002). A comparação de vários agroecossistemas permite que os agricultores identifiquem os sistemas mais saudáveis.

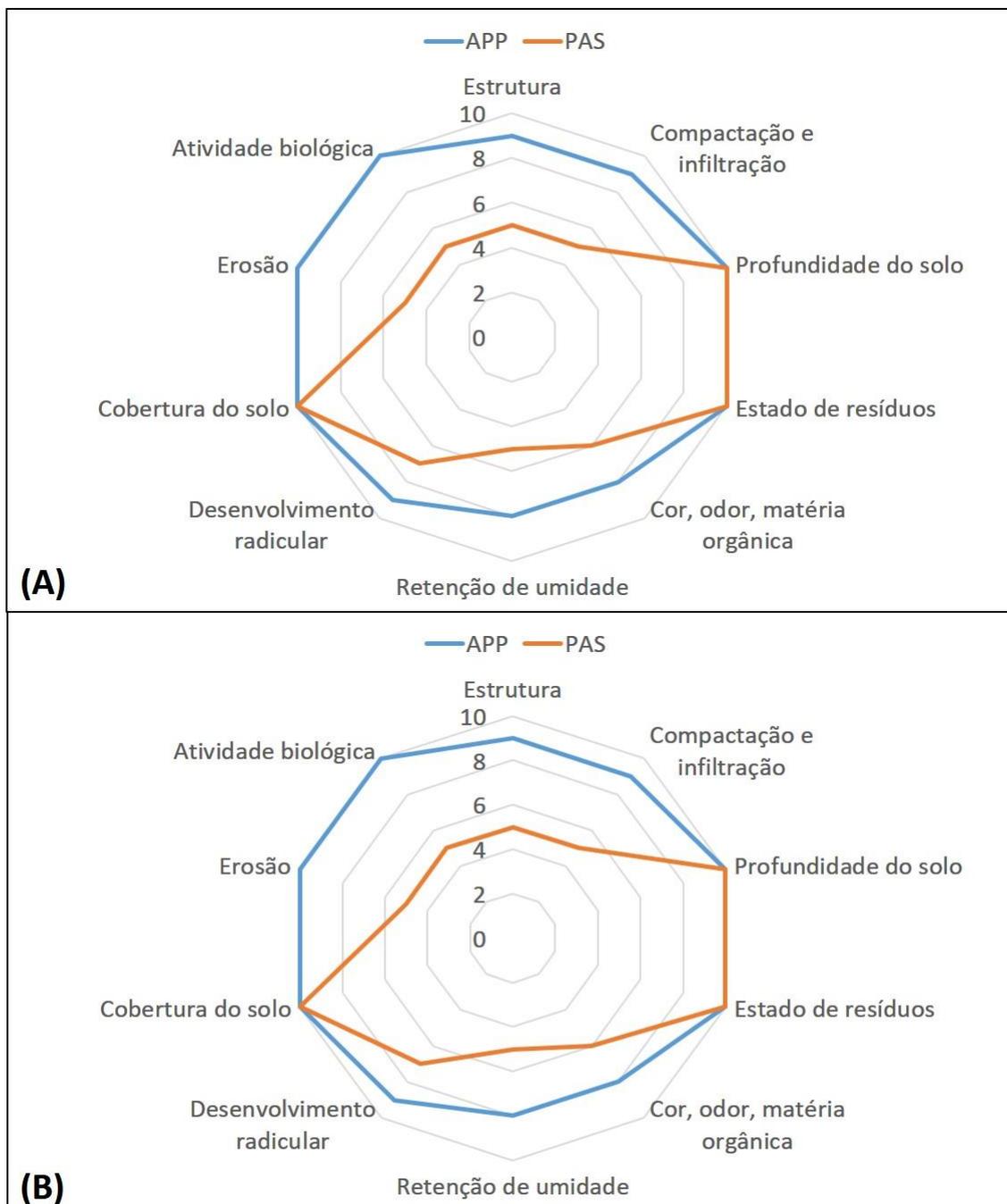
Sobre a compactação, os tratamentos MCI em Latossolo Vermelho e APP em Gleissolo apresentaram as maiores pontuações visuais, devido principalmente à ausência de mobilização com máquinas agrícolas e à presença das árvores a mais tempo no sistema. Os tratamentos CAN e POM em Latossolo Vermelho e PAS em Gleissolo apresentaram uma camada compactada moderadamente desenvolvida. No PAS e CAN, o trânsito de máquinas pesadas pode ter causado a compactação.

Figura 22. Resultados obtidos com o método agroecológico de Altieri e Nicholls (2002) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI); sistema agroflorestal (SAF); cana-de-açúcar (CAN); pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 23. Resultados obtidos com o método agroecológico de Altieri e Nicholls (2002) em Gleissolo: área de proteção permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

2.3.6. Resultados obtidos pelo Método Integrativo para Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS) de Casalinho et al. (2007)

Destacou-se neste método o indicador aparência das plantas, presente também na metodologia de Altieri e Nicholls (2002) e as plantas indicadoras. Em relação à aparência das plantas, os tratamentos MCI e SAF em Latossolo e APP em Gleissolo receberam melhores pontuações. Sobre as plantas indicadoras (Figura 26), apenas MCI recebeu as maiores pontuações. Nas demais áreas foram encontradas plantas que indicam compactação e excesso de acidez no solo (Figura 24 A).

Figura 24. Plantas indicadoras. A) Grama-seda (*Cynodon dactylon*) indicando solo compactado. B) Caruru (*Amaranthus viridis*) indicando solo com boa fertilidade.

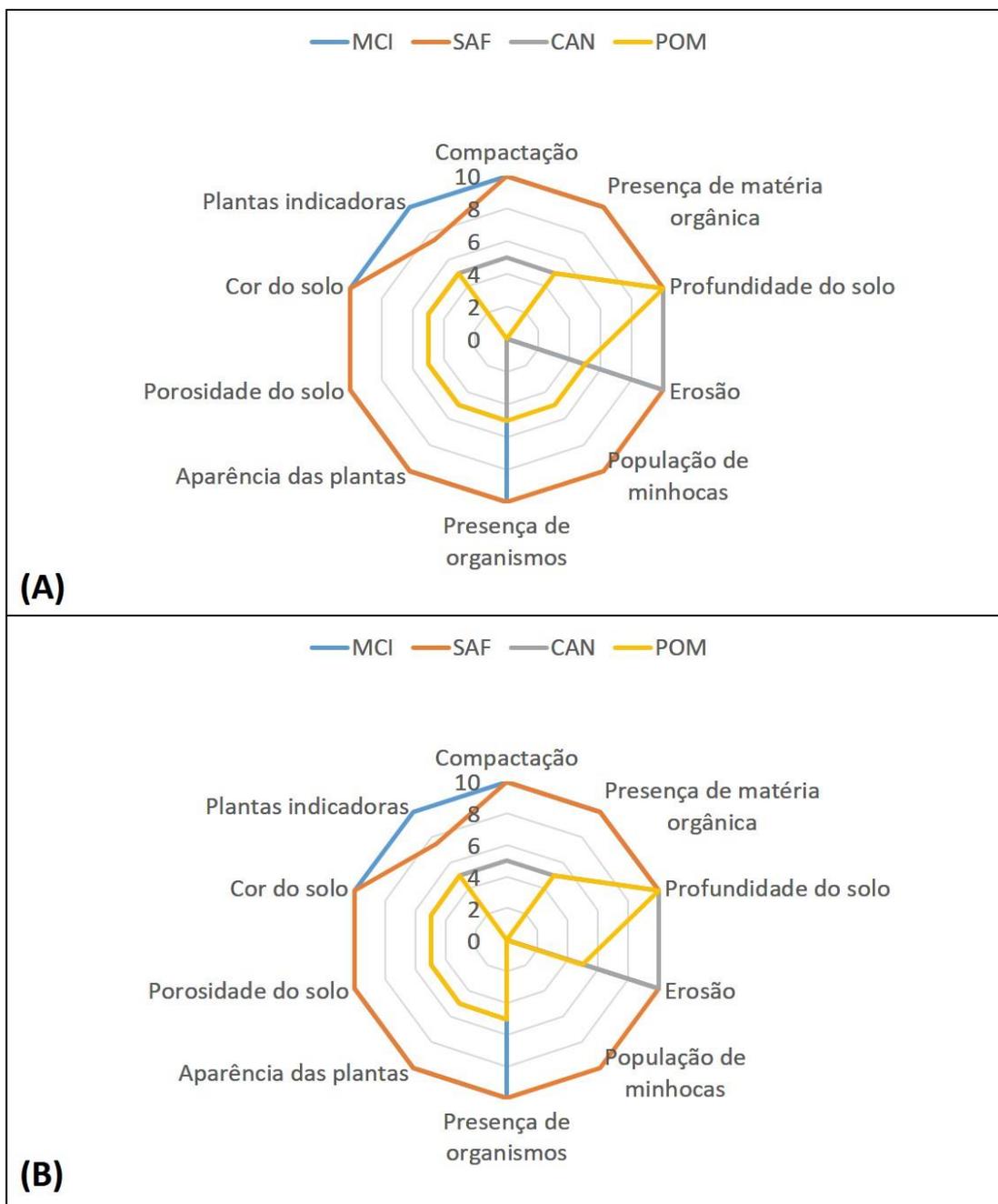


Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Os indicadores utilizados no método integrativo de Casalinho et al. (2007) se assemelham muito aos indicadores utilizados por Altieri e Nicholls (2002). Assim, os resultados em relação aos indicadores compactação, matéria orgânica, profundidade do solo, erosão, presença de organismos, porosidade e cor do solo (Figuras 25 e 26) foram praticamente idênticos aos resultados obtidos pela metodologia de Altieri e Nicholls (2002).

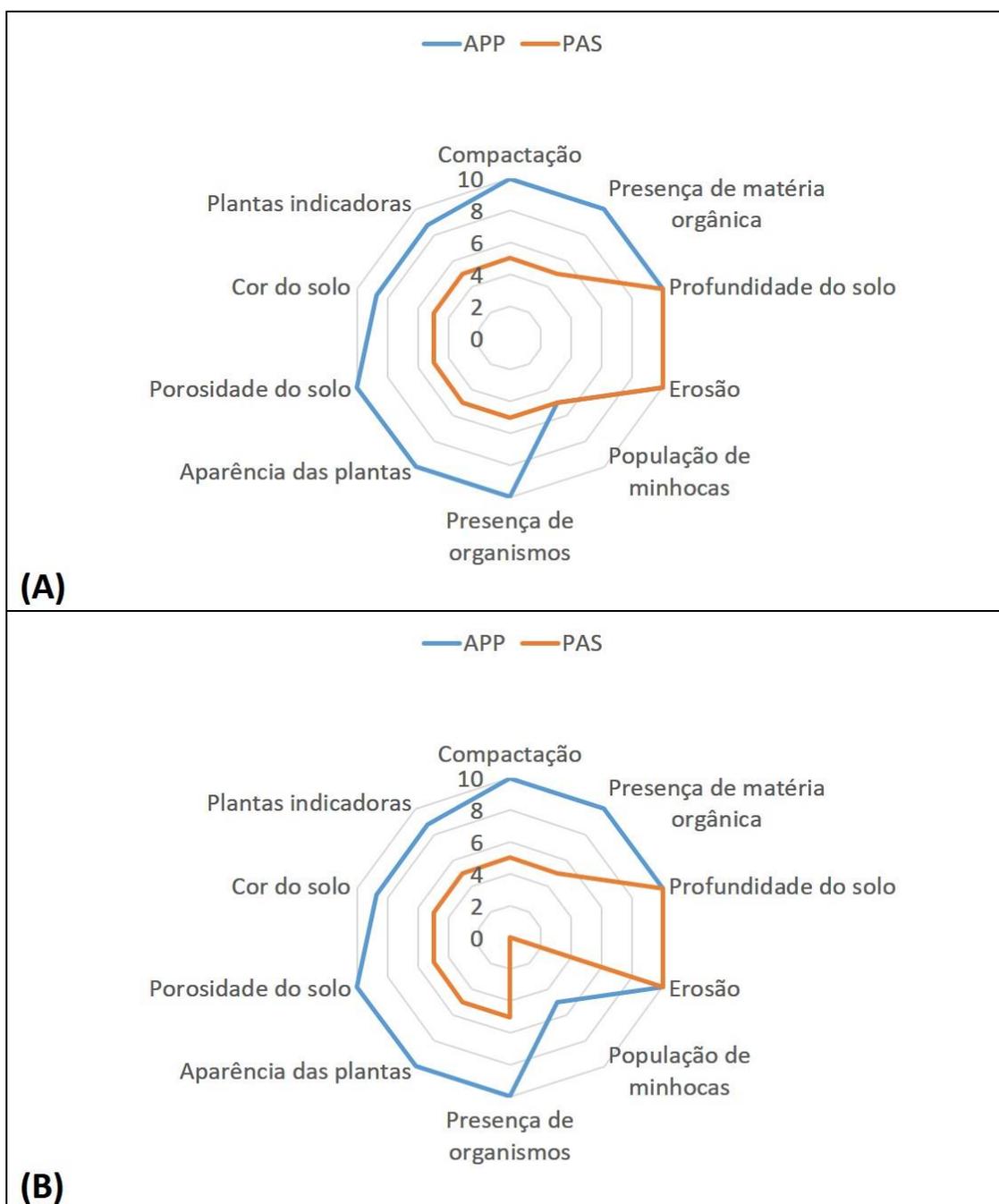
O indicador população de minhocas é semelhante à metodologia de Shepherd et al. (2008), com a diferença de que os canais e dejetos orgânicos na superfície também são avaliados. Neste método destacou-se o SAF com os maiores índices de AVS (Apêndice 11), principalmente pelo indicador número de minhocas, que foi superior ao encontrado nas outras áreas.

Figura 25. Resultados obtidos pelo Método Integrativo para Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS) de Casalinho et al. (2007) em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI); sistema agroflorestal (SAF); cana-de-açúcar (CAN); pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 26. Resultados obtidos pelo Método Integrativo para Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS) de Casalinho et al. (2007) em Gleissolo: área de proteção permanente (APP) e pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

2.3.7. Resultados obtidos pelo método Avaliação Visual da Saúde do Solo (AVSS), desenvolvido na atual pesquisa

O método desenvolvido no atual estudo buscou agrupar indicadores agroecológicos e bioindicadores relacionados à atividade da macrofauna edáfica aos indicadores visuais de qualidade do solo amplamente utilizados (Figuras 27, 28, 29 e 30). Por ser uma metodologia que pretendeu dar maior destaque à biologia do solo, foi denominado de Avaliação Visual da Saúde do Solo (AVSS), considerando que um solo saudável mantém a vida em abundância e equilíbrio. Nesta metodologia, foram adotados os mesmos valores dos índices de avaliação visual utilizados no trabalho de Niero et al. (2010) (Figura 31C).

O método proposto neste trabalho, com a inclusão de indicadores referentes à macrofauna edáfica e às estruturas biogênicas permitiu a diferenciação das áreas em quatro categorias: muito bom, bom, moderado e ruim (Figura 31B).

Baseando-se na metodologia de Altieri e Nicholls (2002), foi incluído o indicador diversidade vegetal, que permitiu melhor diferenciação das áreas em estudo, com destaque para a MCI e o SAF em Latossolo e a APP em Gleissolo. A estrutura química do solo também é construída pela matéria vegetal e sua diversidade. Além disso, a diversidade de plantas estimula diferentes espécies da biota do solo, favorecendo as interações e o estímulo entre os componentes do sistema solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Outro indicador incluído na metodologia AVSS proposta foi a macrofauna edáfica baseando-se na metodologia de Moncayo (2011). Notou-se que as áreas com maior diversidade vegetal foram também as que apresentaram os maiores índices de macrofauna edáfica.

Figura 27. Indicadores de descrição do solo utilizados no método AVSS.

DESCRIÇÃO DO SOLO					
N	Indicadores	Pobre (0)	Moderada (1)	Boa (2)	Peso
1	Estrutura	Solo dominado por torrões grossos, firmes e com poucos agregados finos	Solo com proporções significativas de blocos grosseiros e agregados finos	Solo com boa distribuição dos agregados mais finos e poucos torrões	1
2	Porosidade	Solo sem macroporos aparentes, com visível compactação, superfície lisa, podendo ter ângulos acentuados	Solo com macroporos em quantidade pouco significativa, entre e dentro dos agregados, e pequena compactação	Solo com muitos macroporos entre e dentro dos agregados, associados a uma boa estrutura do solo	1
3	Cor	A cor do solo é significativamente mais clara em comparação com a testemunha	A cor do solo é mais clara em relação à testemunha, porém, não tão acentuada	Solo escuro, sem diferença significativa para a testemunha	1
4	Matéria orgânica	Solo com cores claras, sem resíduos orgânicos; ausência minhocas e com dificuldade para trabalhar.	Camada arável mais escurecida; poucos resíduos orgânicos e poucas minhocas.	Solo escuro; resíduos orgânicos abundantes; muitas minhocas; fofo e fácil trabalhar.	1

Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 28. Indicadores de descrição do solo utilizados no método AVSS

DESCRIÇÃO DO SOLO					
N	Indicadores	Pobre (0)	Moderada (1)	Boa (2)	Peso
5	Empoçamento	Empoçamento d'água significativo durante mais de 5 dias após chuva pesada em solo que já estava em ou perto da saturação	Empoçamento d'água significativo ocorre durante 2-4 dias após chuva pesada em solo que já estava em ou perto da saturação	Nenhuma evidência de empoçamento d'água 1 dia após chuva pesada em solo que já estava em ou perto da saturação	1
6	Erosão	Erosão do solo severa, com presença significativa de sulcos de erosão e sistema radicular superficial exposto	Erosão do solo moderada e sistema radicular superficial ocasionalmente exposto	Pouca ou nenhuma evidência de erosão do solo e sistema radicular completamente coberto	1
7	Cobertura	Solo sem cobertura viva ou morta	Menos de 50% do solo com cobertura viva ou morta	Mais de 50% do solo com cobertura viva ou morta	1
8	Compactação	Perfil mostrando severa compactação	Perfil com camada compactada moderadamente desenvolvida	Perfil friável, com manifestação de porosidade por toda a sua extensão	1

Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 29. Indicadores de descrição da vegetação utilizados no método AVSS.

DESCRIÇÃO DA VEGETAÇÃO					
N	Indicadores	Pobre (0)	Moderada (1)	Boa (2)	Peso
9	Diversidade vegetal	Monocultivo	Variedade intermediária de espécies	Grande diversidade de espécies vegetais	1
10	Plantas indicadoras	Presença de guanxuma, grama seda (solo compactado) Carrapicho (solo pobre) e tiririca (solos ácidos)	Presença de picão-preto, picão-branco (solos de média fertilidade)	Presença de beldroega (solo bem estruturado), serralha e carurú (solos com boa fertilidade)	1
11	Sistema radicular	Solo com quantidade significativa de raízes por todo o perfil	Solo com quantidade pouco significativa de raízes no perfil	Solo com ausência de raízes no perfil	1

Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 30. Indicadores de descrição da macrofauna edáfica utilizados no método AVSS.

DESCRIÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA					
N	Indicadores	Pobre (0)	Moderada (1)	Boa (2)	Peso
12	Macrofauna	Um ou dois grupos de fauna edáfica por bloco de solo	De três a cinco grupos de fauna edáfica por bloco de solo	Acima de cinco grupos de fauna edáfica por bloco de solo	2
13	Bioestruturas	Ausência de bioestruturas (ninhas, galerias, câmaras e cropólitos)	Presença de duas bioestruturas (ninhas, galerias, câmaras e cropólitos) por bloco de solo	Presença de quatro bioestruturas (ninhas, galerias, câmaras e cropólitos) por bloco de solo	2
14	Minhocas	Para menos do que quatro minhocas por bloco de solo	Para um número entre oito e quatro minhocas por bloco de solo	Para um número superior a oito minhocas por bloco de solo	2

Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 31. A) Pontuações visuais obtidas pelo método AVSS; B) Índices de AVS; C) Classificação do solo.

Indicadores visuais	Latossolo Vermelho								Gleissolo			
	MCI		SAF		CAN		POM		APP		PAS	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Macrofauna	3	2	4	4	2	2	2	2	3	2	2	2
Bioestruturas	4	4	4	4	2	2	1	1	3	3	2	2
Minhocas	0	0	3	3	0,5	0	2	0	2	2	2	1
Diversidade Vegetal	2	2	1,5	1,5	0	0	0,5	0,5	1,5	1,5	0	0
Plantas indicadoras	2	2	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0	0
Matéria Orgânica	2	2	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1	1
Sistema Radicular	2	2	1,5	1,5	1	1	1	1	2	2	1,5	1,5
Empoçamento de água	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
Erosão do solo	2	2	2	2	1,5	2	1	1	2	2	1,5	2
Estrutura do solo	2	2	1,5	1,5	1	1	1	1	2	2	1	1
Porosidade do solo	2	2	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5	2	2	1,5	1,5
Compactação	2	2	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5	2	2	2	1
Cobertura do solo	2	2	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5	2	2	2	2
Cor do solo	2	2	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1	1
Índice de AVS	29	28	27	27	15,5	15,5	14,5	12,5	27,5	26,5	18,5	17

(A)

Área	IAVS		Qualidade do solo	
	Chuvosa	Seca		
Latossolo Vermelho	MCI	29	28	Muito Bom
	SAF	23	23	Bom
	CAN	15,5	16,5	Moderado
	POM	14,5	14	Ruim
Gleissolo	APP	25,5	24,5	Muito Bom
	PAS	18	16,5	Moderado

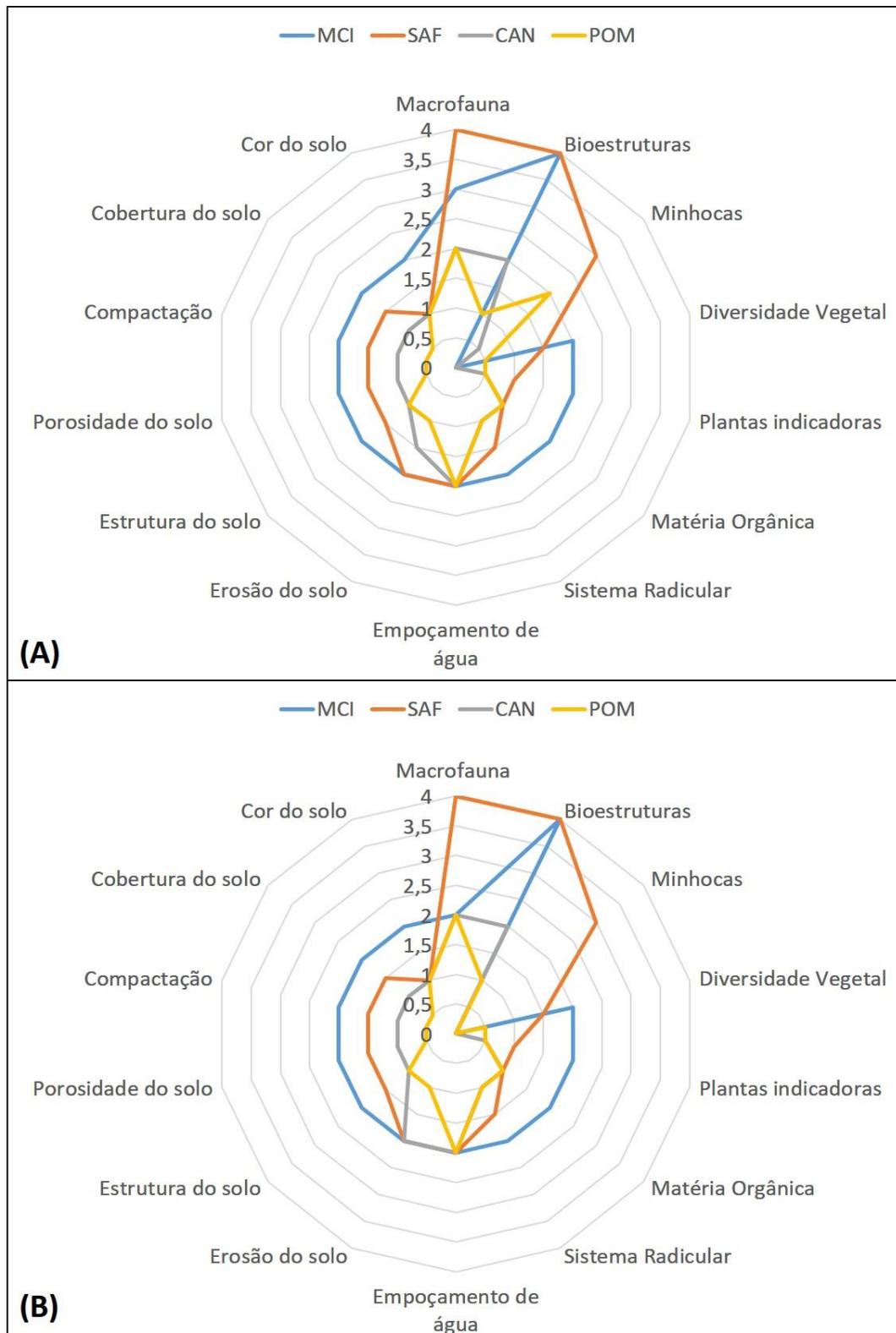
(B)

Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016)

Pontuação Visual	0 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2
Qualidade do solo	Índice de AVS
Muito bom	> 25
Bom	20 - 25
Moderado	15 - 20
Ruim	< 15

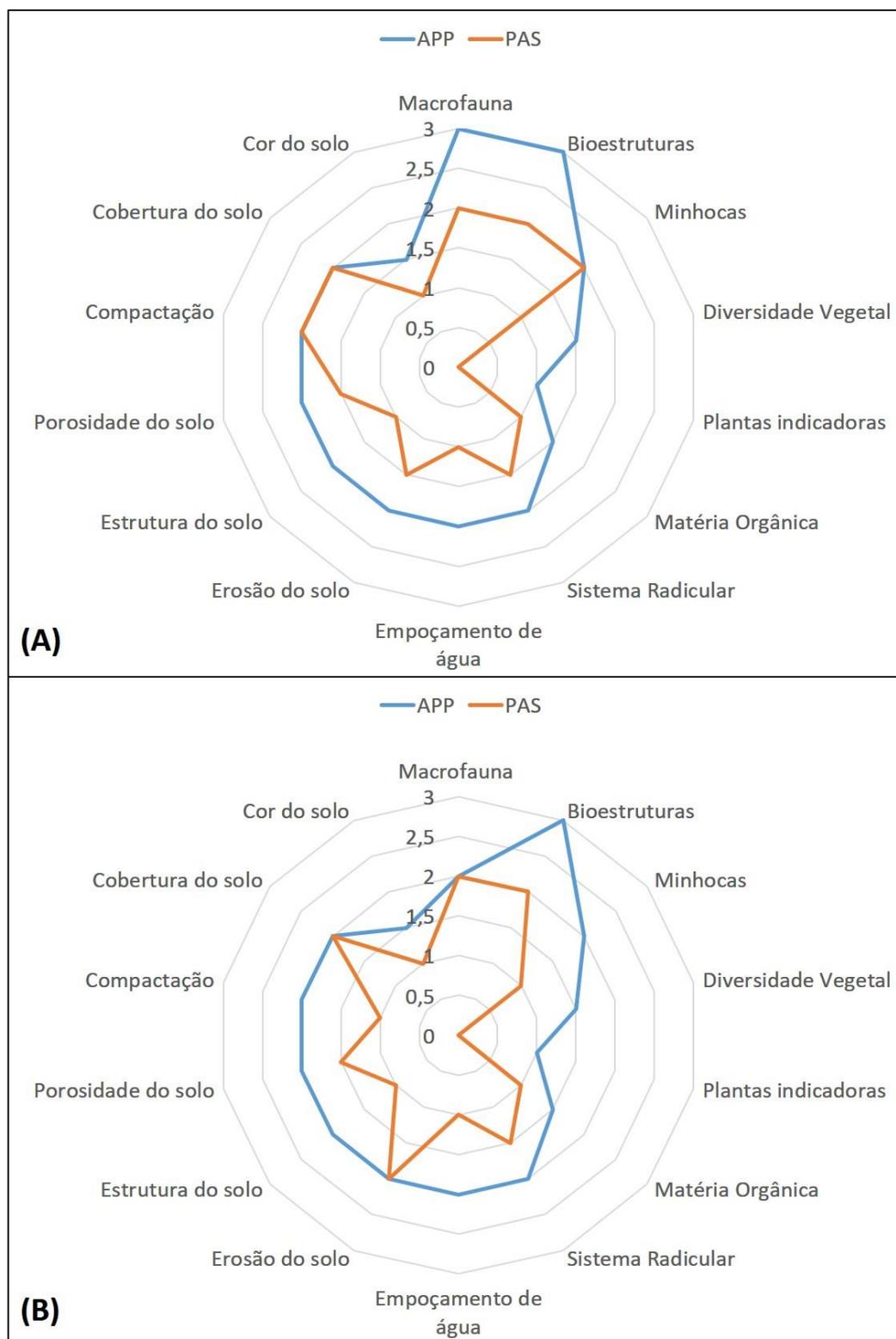
(C)

Figura 32. Pontuações visuais obtidas pelo método AVSS em Latossolo Vermelho: mata ciliar (MCI); sistema agroflorestal (SAF); cana-de-açúcar (CAN); pomar (POM). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 33. Pontuações visuais obtidas pelo método AVSS em Gleissolo: área de preservação permanente (APP); pastagem (PAS). A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

De acordo com Vezzani e Mielniczuk (2009), o número e a frequência dos tipos de interações bióticas dependem da riqueza das espécies de plantas e de seus modelos de distribuição, o que explica a correlação existente.

O SAF destacou-se, com os maiores índices de macrofauna edáfica, muito provavelmente devido à presença de irrigação, grande diversidade de cultivos, elevada entrada de insumos orgânicos como esterco, composto, bokashi e biofertilizante, além da constante cobertura do solo com restos vegetais e madeira através do manejo intensivo no sistema.

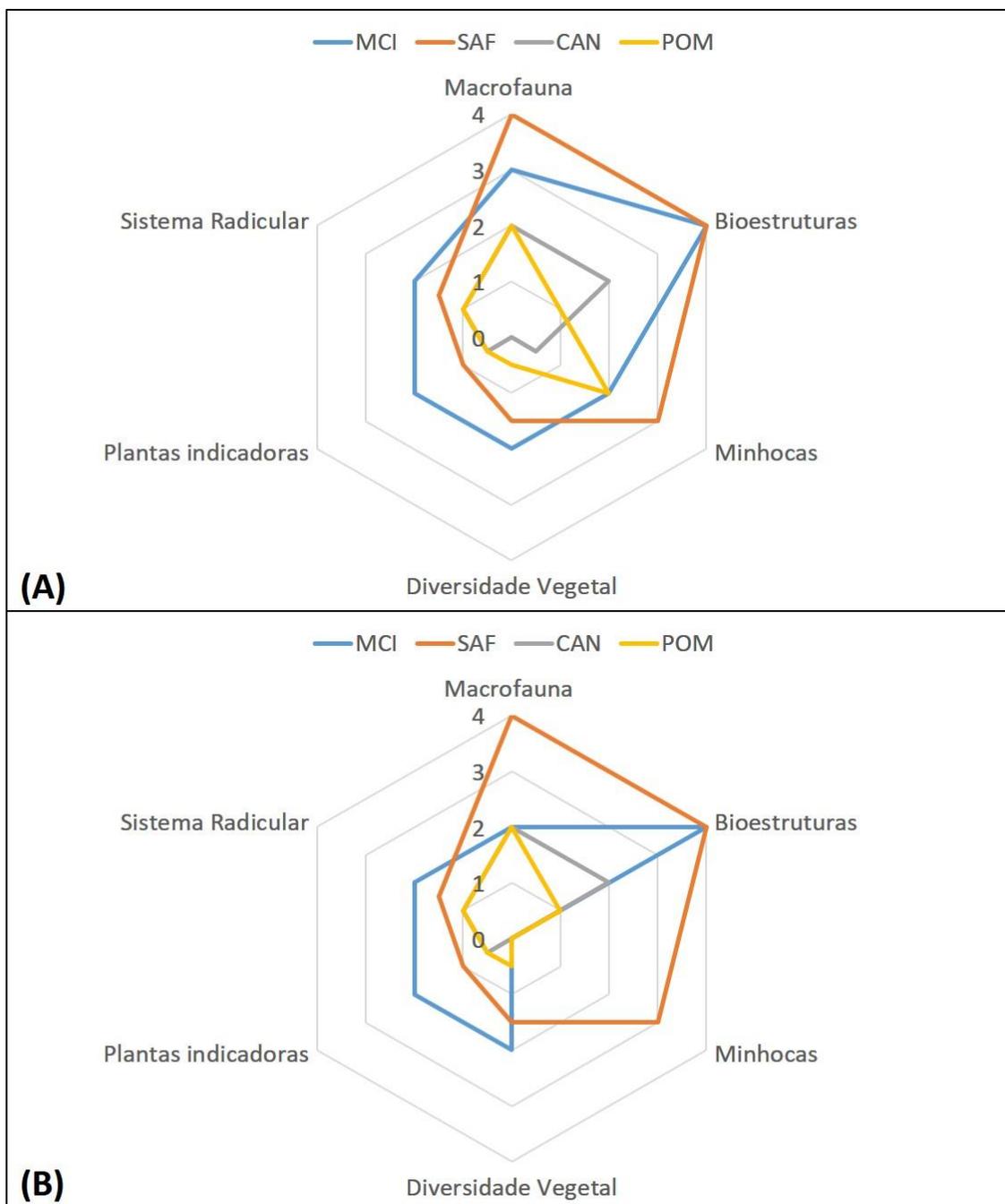
De modo geral, os índices de macrofauna edáfica foram maiores durante o período chuvoso. A única exceção foi a área de cana-de-açúcar, com maior diversidade de macrofauna durante a estação seca. Isto pode ter ocorrido provavelmente pela maior disponibilidade de cobertura vegetal na cana durante a estação seca, o que proporcionou melhores condições para a macrofauna edáfica (Figura 18).

Baseando-se nos trabalhos de Topolians et al. (2000), Munkholm et al. (2000), McGarry (2005) e Piron et al. (2012) foi incluído também um indicador relacionado à presença de bioestruturas ou estruturas biogênicas. Este indicador também permitiu diferenciar as áreas de estudo e recebeu os maiores índices nas áreas com maior diversidade vegetal (Figura 19 B). É um importante bioindicador para a avaliação da saúde do solo, pois muitas vezes não são encontrados os organismos da macrofauna edáfica nas amostragens, mas as bioestruturas permanecem no solo por longos períodos (Figura 20).

As plantas espontâneas são importantes indicadoras de qualidade do solo (ALTIERI, 2012). A partir do método realizado por Casalinho et al. (2007) foi incluído na atual pesquisa o indicador plantas indicadoras que também contribuiu na diferenciação das áreas (Figura 19 C).

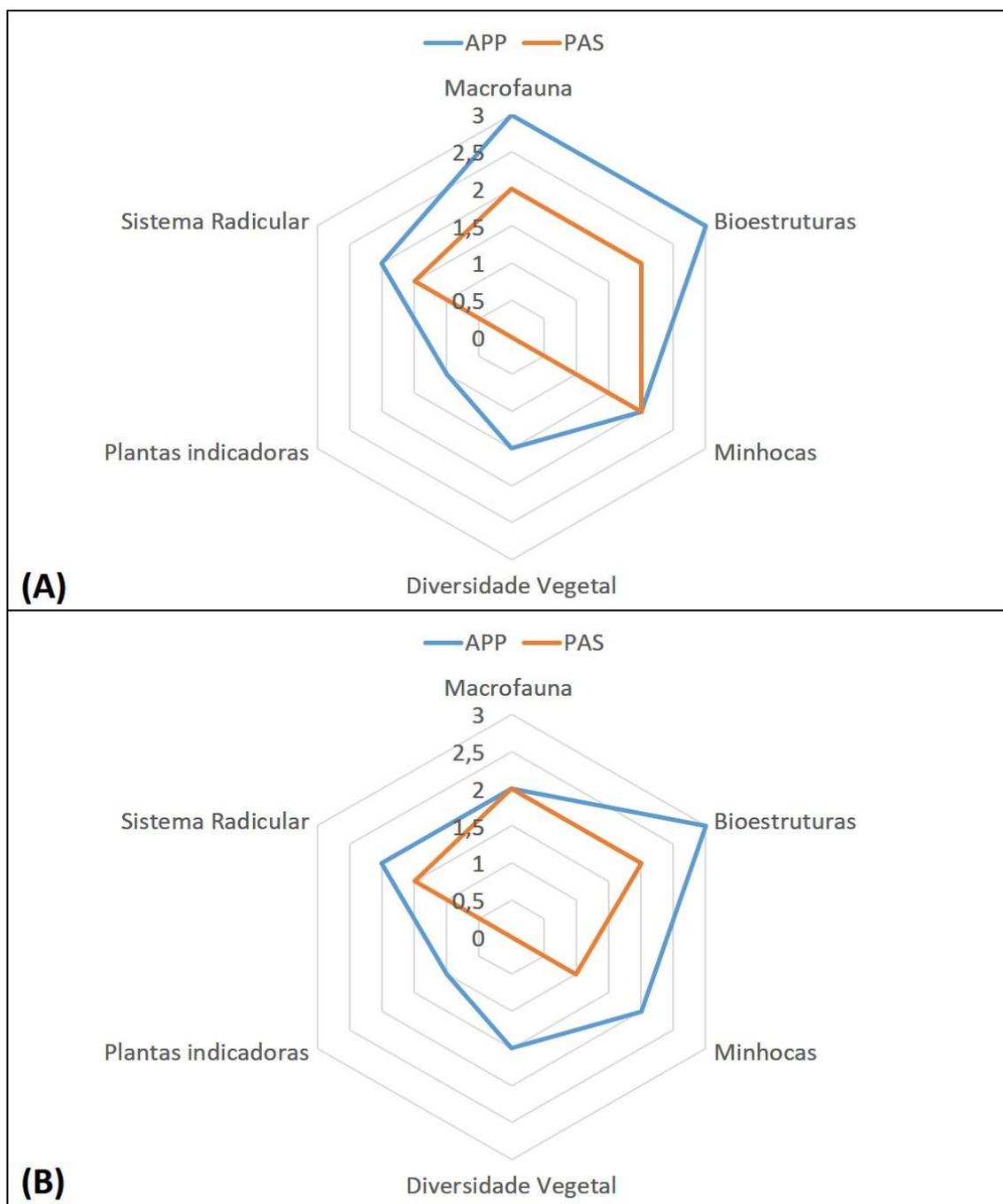
A observação do sistema radicular foi utilizada desde o surgimento do método de avaliação visual de Peerlkamp (1959), como visto no capítulo anterior. O método do quadro telado, adaptado a partir das metodologias de Silva et al. (2000) e Marques (2014), também permitiu uma boa distinção visual dos diferentes sistemas de manejo estudados (Figura 21).

Figura 34. Indicadores biológicos utilizados no método AVSS em Latossolo Vermelho: macrofauna edáfica; bioestruturas; plantas indicadoras; minhocas; diversidade vegetal; sistema radicular. A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



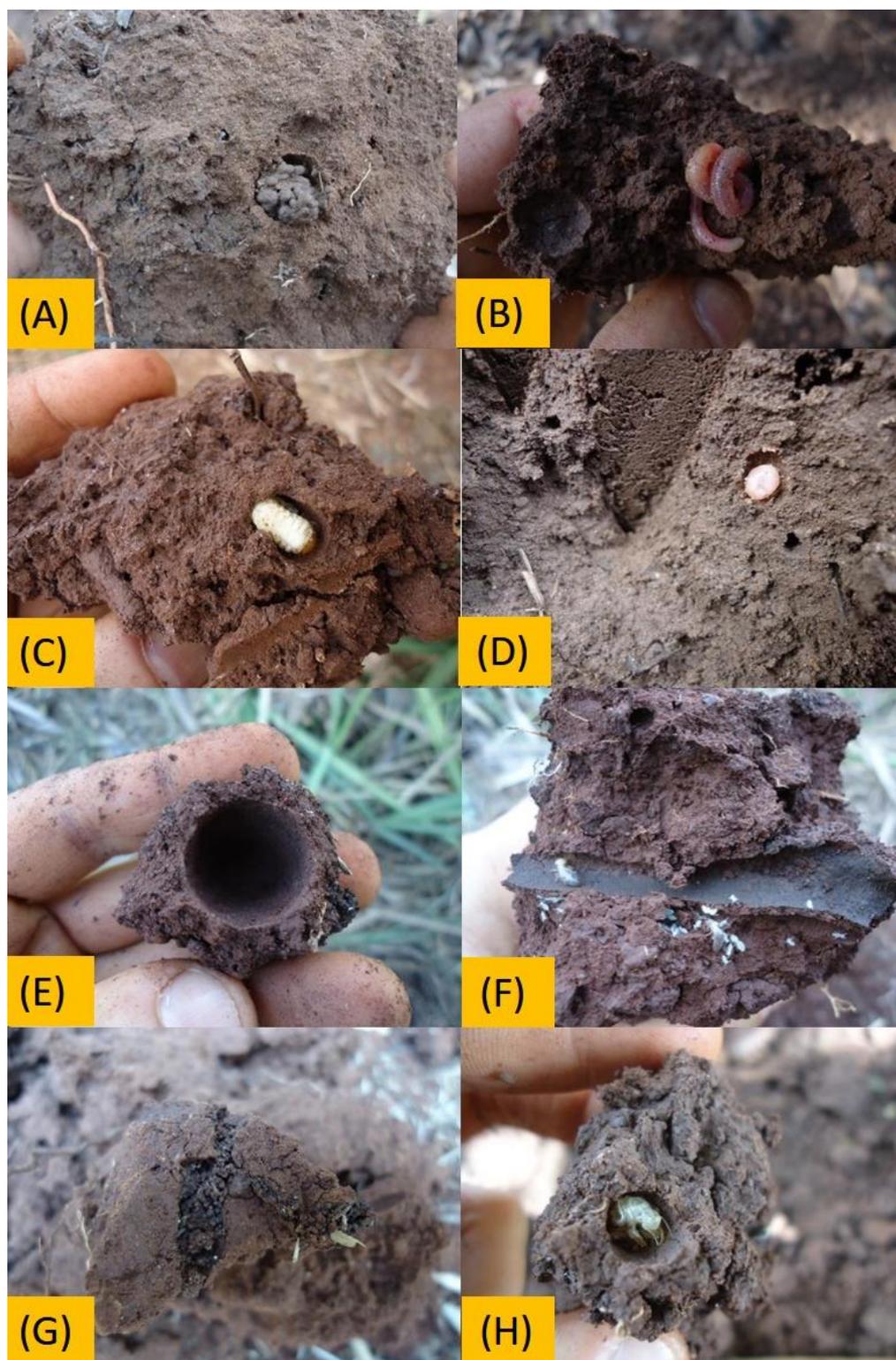
Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 35. Indicadores biológicos utilizados no método AVSS em Gleissolo: macrofauna edáfica; bioestruturas; plantas indicadoras; minhocas; diversidade vegetal; sistema radicular. A) Estação chuvosa; B) Estação seca.



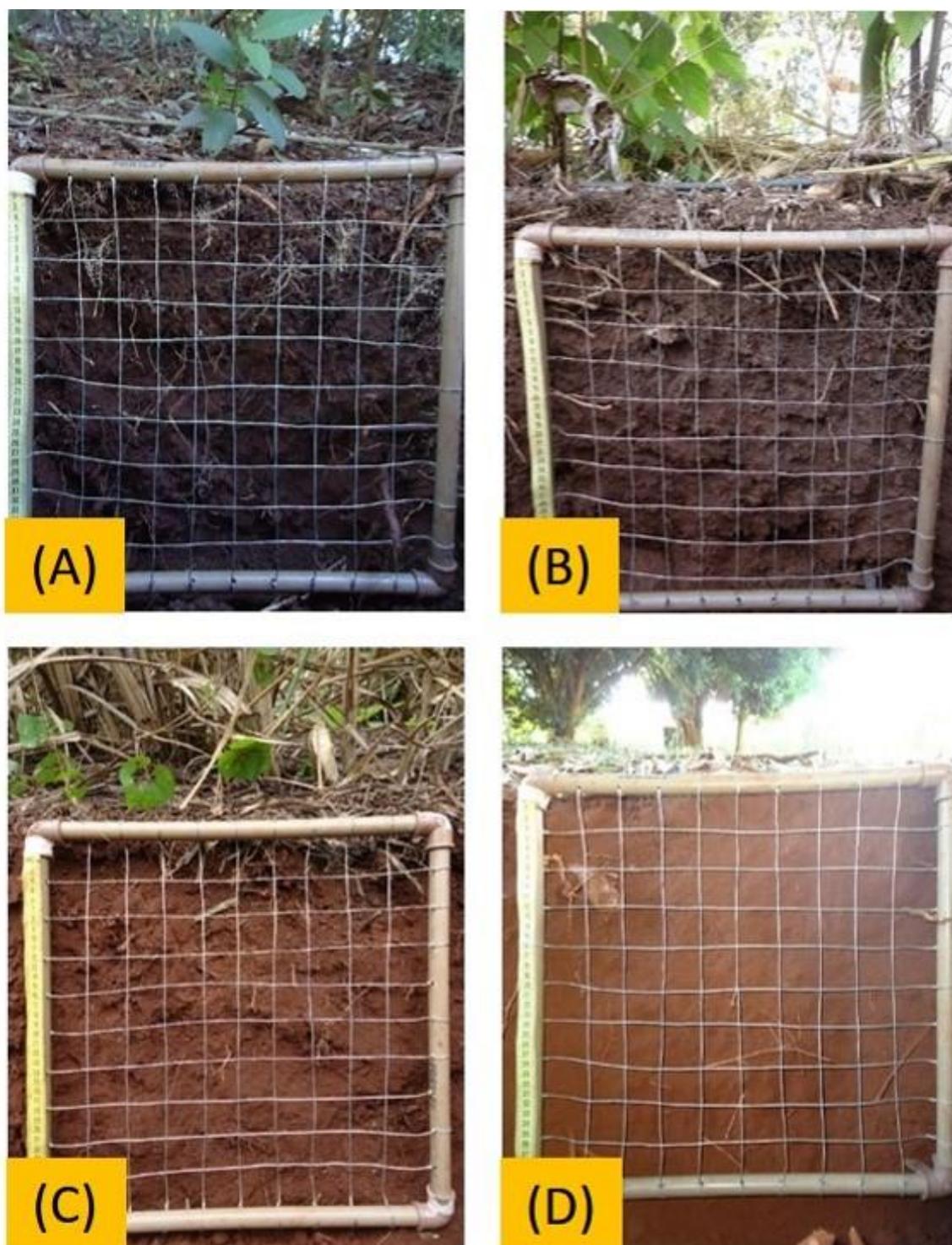
Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 36. Bioestruturas e organismos edáficos: A) Coprólito em cavidade; B) Minhoca em cavidade; C) Larva de coleóptera em cavidade; D) Ovo de oligoqueta; E) Cavidade de Orthoptera; F) Canais de térmitas; G) Galeria preenchida com coprólitos; H) Homoptera em cavidade.



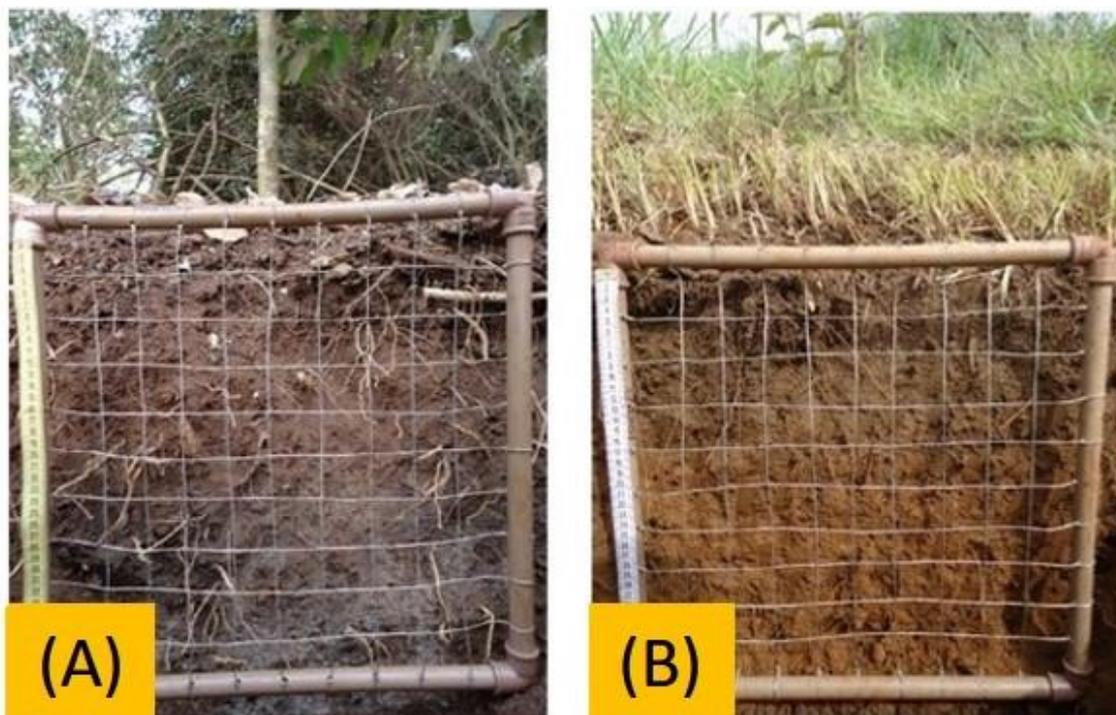
Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 37. O método do quadro telado (40 x 40 cm), aplicado nas áreas de Latossolo Vermelho: A) mata ciliar (MCI); B) sistema agroflorestal (SAF); C) cana-de-açúcar (CAN); D) pomar (POM).



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 38. O método do quadro telado (40 x 40 cm), aplicado nas áreas de Gleissolo: A) área de preservação (APP); B) pastagem (PAS).



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

2.3.8. Comparação entre as metodologias

A maior parte dos métodos possibilitou a avaliação da qualidade do solo de forma fácil, rápida e sem custos, nos diferentes ambientes estudados. O método VESS foi o único onde houveram grandes dificuldades na avaliação. Além disso, apresentaram variações nas amostragens realizadas durante as estações seca e úmida, sendo que na estação chuvosa os índices de qualidade visual do solo foram maiores.

É importante a verificação da saúde do solo nas estações seca e úmida, para que todos os atributos possam ser avaliados de forma mais precisa. Principalmente os indicadores empocamento de água, erosão do solo e número de minhocas, que sofrem alterações com as chuvas.

Os indicadores cor e estrutura estiveram presentes em todos os métodos aplicados. Na metodologia de Altieri e Nicholls (2002), juntamente com a cor, também foi analisado o cheiro do solo. O tratamento usado como referência, a mata ciliar, obteve em todas as análises os valores máximos para cor do solo. O

mesmo foi relatado por Niero et al. (2010). De todas as avaliações de estrutura do solo, a metodologia de Shepherd et al. (2008) se mostrou mais eficaz e didática, com um procedimento de amostragem bem organizado. A utilização da queda do bloco de solo já foi testada por Guimarães (2011), por exemplo, para diminuir a influência do pesquisador no método VESS.

O desenvolvimento radicular, presente nos métodos de Altieri e Nicholls (2002), Shepherd et al. (2008) e Marques (2014), se mostrou um bom indicador, permitindo uma boa diferenciação das áreas. A metodologia de Marques (2014) permitiu um aprimoramento na avaliação, separando as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, com a utilização do quadro telado.

A porosidade do solo, presente nos métodos de Casalinho et al. (2007), Niero et al. (2010), Shepherd et al. (2008) e Marques (2014), também apresentou grandes diferenças nos tratamentos, com destaque para os tratamentos MCI e APP. Isto muito provavelmente devido à presença de grande diversidade vegetal. Os baixos valores encontrados em CAN e POM podem ser explicados pelo aumento da compactação nestas áreas provocado pelo tráfego de máquinas agrícolas na superfície, no caso da CAN, e à falta de cobertura no solo em POM. Estas áreas também receberam as menores notas em relação à compactação nos métodos de Altieri e Nichols (2002), Niero et al. (2010) e Marques (2014), com destaque para Marques (2014) que avalia as camadas de solo no perfil.

Os tratamentos MCI em Latossolo Vermelho e APP e PAS em Gleissolo destacaram-se em relação à cobertura do solo, pois apresentaram o solo coberto o ano todo, recebendo as maiores notas nos métodos de Altieri e Nichols (2002), Shepherd et al. (2008), Niero et al. (2010) e Marques (2014). O tratamento CAN recebeu notas menores durante a estação chuvosa, devido à colheita da cana e maior exposição do solo. O método de Marques (2014) destacou-se por avaliar a cobertura viva e a cobertura morta.

No SAF destacou-se o indicador número de minhocas, presente nos métodos de Casalinho et al. (2007), Shepherd et al. (2008) e Niero et al. (2010), que refletiu em um elevado valor para porosidade visual, decorrente da presença de orifícios e galerias originadas pela atividade das minhocas. A qualidade e quantidade de matéria orgânica produzida e depositada dentro do solo e na sua

superfície, e o tipo e combinação de plantas usadas ou presentes no ecossistema, são importantes determinantes das populações e diversidade de minhocas em um determinado local. Ecossistemas com proteção da superfície do solo e maior aporte de recursos orgânicos tendem a ter maiores populações de minhocas. A presença de árvores e de gramíneas também é importante, pois altera o microclima local e as propriedades do solo e, portanto, suas condições como hábitat para as minhocas (BROWN; DOMÍNGUEZ, 2010).

A profundidade do solo, presente nos métodos de Altieri e Nicholls (2002), Casalinho et al. (2007) e Niero et al. (2010), não diferenciou os ambientes avaliados, por se tratar de áreas com solos profundos.

Em relação ao indicador número de minhocas, a mata ciliar apresentou baixos índices, já que foram encontradas poucas minhocas nesta área. Isto não era o esperado, já que a área possui grande quantidade de matéria orgânica e espécies arbóreas. Porém, a área avaliada encontra-se ao lado de uma extensa área de produção convencional de cana-de-açúcar. Segundo alguns estudos, o uso de agrotóxicos pode provocar a redução na população destes animais no solo (ANDRÉA, 2016).

Comparando-se a área de SAF com a área de cana-de-açúcar, observou-se a melhora promovida na saúde do solo depois da mudança para o manejo agroflorestal. Por outro lado, no pomar da propriedade, a ausência de cobertura no solo dificulta o estabelecimento de organismos no solo, e afetou os demais atributos de forma negativa.

2.3.9. Índices de avaliação visual do solo (IAVS)

Na maior parte dos métodos utilizados, o solo dos tratamentos MCI e APP foram classificados como de qualidade muito boa, o SAF como bom e os tratamentos PAS, CAN e POM classificados como moderados.

Os altos valores para os tratamentos MCI e APP podem ser explicados pela presença das espécies arbóreas nestas áreas há mais tempo que as demais áreas, como o SAF por exemplo.

A adoção de quatro categorias de qualidade do solo permitiu melhor diferenciação das áreas em relação à metodologia de Shepherd et al. (2008). O

método adaptado por Niero et al. (2010) distinguiu as áreas estudadas em três categorias: muito bom, bom e moderado.

Na metodologia de Niero et al. (2010), a área de pastagem recebeu a melhor classificação em relação à metodologia de Shepherd et al. (2008), sendo classificada como um solo de boa qualidade. Isto se deve às diferenças nos indicadores utilizados e também no peso de cada indicador. A falta dos indicadores empocamento de água e erosão, presente no método VSA, contribuiu para a melhora no índice da pastagem, já que a área recebeu pontuações baixas nestes atributos.

2.4. CONCLUSÕES

1 – A maioria dos métodos possibilitaram a avaliação da saúde do solo de forma fácil, rápida e sem custos, nos diferentes ambientes estudados.

2 – Os tratamentos mata ciliar (MCI), área de proteção ambiental (APP) e sistema agroflorestal (SAF), que possuíam maiores diversidades vegetais e espécies arbóreas, apresentaram os maiores índices de avaliação visual do solo;

3 - O método Avaliação Visual da Saúde do Solo Tropical (AVSS) desenvolvido neste trabalho mostrou-se extremamente útil, facilmente replicável e de elevada sensibilidade na avaliação da qualidade do solo nos diferentes sistemas de manejo analisados na propriedade.

4 - A inclusão dos atributos referentes ao biofuncionamento do solo tornou o método AVSS mais completo para a avaliação dos efeitos da macrofauna invertebrada na saúde do solo, pois as bioestruturas não sofrem influência da estação climática.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉA, M. M. Uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 26, n. 2, 2016.

ALTIERI, M.; NICHOLLS, C. I. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**. n. 64, p.17-24. 2002.

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA, 2012.

AQUINO, A. M. Fauna do solo e sua inserção na regulação funcional do agroecossistema. 2006.

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

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. **In: Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 119-170. 2011.

BOTTINELLI, N. et al. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists?. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 118-124. 2015.

BROWN, G.; DOMÍNGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas. 3º encontro latino americano de ecologia e taxonomia de oligoquetas (Elaetao 3). **Acta Zoológica Mexicana**, v. 2, p. 1-18. 2010.

CABRERA, G. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. **Pastos y Forrajes**, v. 35, n. 4, p. 346-363. 2012.

CASALINHO, H. D. **Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas**. 2003. 192f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

CASALINHO, H. D. et al. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista brasileira de agrociência**, v. 13, n. 2, p. 195-203. 2007.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied soil ecology**, v. 15, n. 1, p. 3-11. 2000.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 88, n. 2, p. 119-127. 2002.

GIAROLA, N. F. B. et al. Método de avaliação visual da qualidade da estrutura aplicado a Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2531-2534. 2009.

GIAROLA, N. F. B. et al. On the visual evaluation of soil structure: the Brazilian experience in Oxisols under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 60-64. 2013. doi:10.1016/j.still.2012.03.004

GUEVARA, S. L. et al. Quantidade de palha na superfície, controle da erosão e qualidade do solo em sistema de semeadura direta em Campinas, SP.

GUIMARÃES, R. M. L. **Indicadores quantitativos e semi-quantitativos da qualidade física do solo**. 2011. 94f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 3, p. 395-403. 2011. doi: 10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x

LAIRD, D. A.; CHANG, C. Long-term impacts of residue harvesting on soil quality. **Soil & Tillage Research**, n. 134, p. 33-40. 2013.

LOPES ASSAD, M. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 361-443.

MARQUES, E. A. **Uso e adaptação de métodos de avaliação da qualidade do solo no campo como ferramenta de extensão rural**. 2014. 74f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2014.

MCGARRY, D. **A methodology of a Visual Soil-Field Assessment**

Tool. Natural Resources Sciences, Queensland Government, Australia, 2005. 50 p.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, v. 1, p. 1-8. 1999.

MONCAYO, F. H. O.; ACUÑA, I. T.; GÓMEZ, J. M. Evaluación de la calidad del suelo por medio de indicadores locales en sistemas con predominio de café y ganadería en zonas de ladera en Colombia. In: VILLANUEVA, C.; SEPÚLVEDA, L. C. J. (eds.) **Manejo agroecológico como ruta para lograr la sostenibilidad de fincas con café y ganadería,** CATIE. p. 71-93. 2011.

MUNKHOLM, L. J. et al. **The spade analysis-a modification of the qualitative spade diagnosis for scientific use.** n. 28. 2000.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa,** v. 34, n. 4, p. 1271-1282. 2010. doi: 10.1590/S0100-06832010000400025

NEWELL-PRICE, J. P. et al. Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England and Wales. **Soil & Tillage Research,** n. 127, p. 65-173. 2013.

PEERLKAMP, P. K. A visual method of soil structure evaluation. **Meded. vd Landbouwhogeschool en Opzoekingstations van de Staat te Gent,** v. 24, n. 24, p. 216-221. 1959.

PIRON, D. et al. Morphological description of soil structure patterns produced by earthworm bioturbation at the profile scale. **European Journal of Soil Biology,** v. 50, p. 83-90. 2012. doi:10.1016/j.ejsobi.2011.12.006

RIGHI, G. **Minhocas de Mato Grosso e de Rondônia.** Brasília, DF: CNPq, 1990.

SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista brasileira de Ciência do Solo. Campinas.** v. 32, n. 1, p. 11-21, jan./fev. 2008.

SHEPHERD, T. G. Visual soil assessment. Field guide for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country. **Horizons Regional Council**. 84p. 2001.

SHEPHERD, T. G. et al. **Visual Soil Assessment–Field guide for annual crops**. FAO. 2008. 504 p.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 191-199. 2000.

SILVA, R. F. et al. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 4, p. 697-704. 2006.

SILVA, R. F. et al. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1277-1283. 2012.

SOUZA, K. R. et al. Proposta da Metodologia RAQS para avaliação visual da qualidade do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 1815-1824. 2016.

TOPOLIANTZ, S.; PONGE, J.; VIAUX, P. Earthworm and enchytraeid activity under different arable farming systems, as exemplified by biogenic structures. **Plant and Soil**, v. 225, n. 1, p. 39-51. 2000.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**. Viçosa. v. 33, n. 4, p. 743-755, jul./ago. 2009.

CAPÍTULO 3 - MACROFAUNA INVERTEBRADA E A SAÚDE DO SOLO

RESUMO

Considerando que um solo saudável é um solo vivo, a inclusão da macrofauna edáfica nos métodos de avaliação visual se torna essencial, principalmente nos países tropicais, onde a atividade biológica é intensa. Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito de diferentes usos do solo sobre a densidade e a diversidade da macrofauna invertebrada, e a relação desta com os atributos visuais do solo. Foram realizadas duas coletas da macrofauna invertebrada do solo, uma entre março e abril de 2016 e outra entre agosto e setembro de 2016. As amostragens foram realizadas utilizando a adaptação do método recomendado pelo Programa *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF), aproveitando-se trincheiras abertas (40x40x40cm) para as análises visuais do solo. A abundância e riqueza de espécies dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica variou com a época de coleta, e foram favorecidas na época chuvosa. Os usos do solo afetaram a estrutura dos grupos taxonômicos dominantes da macrofauna edáfica. Nos sistemas agroflorestais foram encontrados a maior abundância e riqueza de espécies da macrofauna invertebrada do solo. A fauna edáfica pode ser utilizada como bioindicadora da saúde do solo, uma vez que alguns indivíduos se mostram sensíveis ao uso e manejo do mesmo.

Palavras-chave: bioindicadores, usos do solo, diversidade.

INVERTEBRATE MACROFAUNA AND SOIL HEALTH

SUMMARY

Considering that healthy soil is a living soil, the inclusion of edaphic macrofauna in visual assessment methods becomes essential, especially in tropical countries where the biological activity is intense. The objective of this work was to evaluate the effect of different soil uses on the density and diversity of the invertebrate macrofauna, and its relation with the visual attributes of the soil. Two collections of the invertebrate macrofauna of the soil were carried out, one between March and April of 2016 and another between August and September of 2016. The samplings were carried out using the adaptation of the method recommended by Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), taking advantage of open trenches (40x40x40cm) for visual analysis of the soil. The abundance and species richness of the taxonomic groups of the edaphic macrofauna varied with the collection season, and were favored in the rainy season. Soil uses affected the structure of the dominant taxonomic groups of edaphic macrofauna. In agroforestry systems, the greatest abundance and species richness of the invertebrate macrofauna of the soil were found. Soil fauna can be used as a bioindicator of soil health, since some individuals are sensitive to its use and management.

Key words: bioindicators, land uses, diversity.

3.1. INTRODUÇÃO

Nos países tropicais, as propriedades do solo estão fundamentalmente ligadas à sua atividade biológica, que define, dentro de certos limites, suas características físicas e químicas do solo (KHATOUNIAN, 2001). Considerando que um solo saudável é um solo vivo, a inclusão da macrofauna edáfica nos métodos de avaliação visual se torna essencial, principalmente nos países tropicais, onde a atividade da fauna do solo é mais intensa. Além do trabalho que estes animais realizam no solo, como são visíveis a olho nu, são mais fáceis de serem identificados pelos agricultores (ROUSSEAU et al., 2013).

Entre os organismos que constituem a fauna do solo, a macrofauna edáfica de invertebrados compreende os organismos com mais de 10 mm de comprimento ou com mais de 2 mm de diâmetro corporal, como minhocas, formigas, cupins, coleópteros em estado larval e adulto, miriápodes, tatuzinhos e aracnídeos (WOLTERS, 2000; LAVELLE, SPAIN, 2001). A macrofauna invertebrada do solo desempenha um papel chave no funcionamento do

ecossistema, pois ocupa diversos níveis tróficos dentro da cadeia alimentar do solo e afeta a produção primária de maneira direta e indireta (SILVA, 2006).

Por meio de suas ações mecânicas no solo, a macrofauna contribui na formação de agregados estáveis, que protegem parte da matéria orgânica de uma mineralização rápida e constituem, também, uma reserva de nutrientes potencialmente disponível para as plantas (LAVELLE, SPAIN, 2001; DECAENS et al., 2003).

Muitos organismos da macrofauna edáfica são importantes na transformação das propriedades do solo, entre eles: as minhocas, as térmitas e as formigas, que atuam como engenheiros do ecossistema na formação de poros, infiltração da água, humificação e mineralização da matéria orgânica. Outra parte dos macroinvertebrados intervém na trituração dos restos vegetais, como os coleópteros, diplopodas e isopodas, e alguns funcionam como pedradores de animais da macro e da mesofauna edáfica, como as aranhas e quilopodas (CABRERA et al., 2012).

Os engenheiros do ecossistema influenciam a estrutura do solo através da incorporação de resíduos de matéria orgânica nos agregados ou no revestimento de suas galerias. Os insetos sociais, principalmente as formigas e cupins que criam estruturas de ninho no solo, influenciam a dinâmica da estrutura do solo e conseqüentemente a regulação das funções ecológicas e dos serviços ecossistêmicos (BOTTINELLI et al., 2015).

De acordo com pesquisas recentes, as minhocas se comunicam e tomam algumas decisões relacionadas à locomoção coletiva (ZIRBES, et al. 2010, 2012). A descoberta indica que as minhocas são seres sociáveis, assim como as formigas e cupins.

A macrofauna edáfica, em sua movimentação ao longo do volume do solo, constrói poros de diferentes formas, desde cavidades e pequenos túneis, feitos por térmitas e formigas, até galerias praticamente verticais, construídas por anelídeos que contribuem para a formação da macroporosidade do solo (LOPES ASSAD, 1997).

Vários trabalhos apontam que o tipo de manejo do solo acarreta inúmeras modificações na estrutura da comunidade de macroinvertebrados, em diferentes

graus de intensidade em virtude de mudanças de habitat, fornecimento de alimento e criação de microclimas (DECAENS et al., 2003; MERLIM et al., 2005). Essas modificações geralmente ocorrem na diversidade e densidade populacionais, características que têm sido utilizadas como potencial bioindicador da qualidade do solo (COLEMAN, HENDRIX, 2000; LAVELLE, SPAIN, 2001; SILVA, 2006).

As técnicas agrícolas convencionais, como as extensas monoculturas, não possuem a capacidade de fornecer a mesma amplitude de recursos e condições ambientais presentes nas florestas naturais, e como ocasionam uma simplificação do habitat solo, provocam como consequência a simplificação das comunidades do solo (VITAL, 2007; SILVA, 2009). A utilização de fungicidas, fertilizantes minerais e herbicidas também alteram as comunidades de organismos da macrofauna (AQUINO et al., 2008). Por outro lado, adubos verdes podem aumentar a diversidade de invertebrados da macrofauna, como observaram Brito et al. (2016) em estudos de cultivo de mandioca consorciada com adubos verdes.

O preparo do solo também afeta estes organismos, sendo a minhocas mais sensíveis ao revolvimento da camada superficial (BROWN; DOMÍNGUEZ, 2010). O plantio direto na palha proporciona maior abundância e riqueza de espécies que o preparo convencional, e minimiza o impacto de sistemas agrícolas sobre a biodiversidade da macrofauna edáfica (SANTOS et al., 2016). Além disso, a compactação e a ausência da cobertura do solo influenciam a atividade e a disponibilidade de alimentos para a fauna edáfica (BARETTA et al., 2003; ALVES et al., 2006).

Pesquisas realizadas sobre as minhocas concluem que a combinação de plantas presentes no ecossistema e a quantidade de matéria orgânica depositada no solo influenciam diretamente as populações de minhocas em um determinado local (LAVELLE et al., 2001). Técnicas como o plantio direto, as coberturas verdes perenes como as pastagens e os plantios de árvores aumentam as populações de minhocas (BARROS et al., 2003; DECAËNS et al., 2004). Porém, sabe-se pouco sobre o efeito dos sistemas mais integrados e menos intensivos de manejo no solo, como a produção orgânica e os sistemas

agrofloretais sobre as populações de minhocas nativas latino-americanas (BROWN; DOMÍNGUEZ, 2010).

A estrutura da vegetação, a quantidade de serapilheira e a pressão de pastoreio são importantes para a determinação das abundância e diversidade de aracnídeos (DENNIS et al., 2001). Este grupo diversificado de animais predadores vive, preferencialmente, na serapilheira, mas pode ocupar espaços no solo, utilizando muitos invertebrados do solo como presas, exercendo assim um importante efeito na regulação da fauna edáfica (CATANOZI, 2010). Por isso, algumas famílias de aranhas têm sido relatadas em diversos estudos como indicadores de qualidade do solo (BARETTA et al., 2007).

Os diplópodes são os maiores consumidores de fragmentos orgânicos em florestas temperadas e tropicais, onde se alimentam predominantemente de material vegetal morto (UHLIG, 2005). Esses animais movimentam nutrientes presos na serapilheira e enriquecem o solo com N, C, Ca, Mg, P e K. Esse enriquecimento é produto de uma alta capacidade de ingestão em conjunto com elevada atividade microbiana nas fezes dos diplópodes (CORREIA; AQUINO, 2005).

Os quilópodes também podem ser empregados como bioindicadores da qualidade do solo. Vivem em habitats escuros e úmidos, abrigados no meio de folhas e galerias no solo, e são predadores de outros organismos (CIPOLA; ZEQUI, 2010).

O grupo Formicidae exerce papel importante na estrutura do solo, pela construção de formigueiros, galerias subterrâneas e pelo transporte de matéria orgânica da superfície para camadas mais profundas no solo, influenciando o ciclo de nutrientes disponíveis às plantas e aos microrganismos do solo (FOLGARAIT, 1998). O hábito de construção de galerias tem grande influência na capacidade de armazenamento e distribuição da água no solo. Por outro lado, o grupo caracteriza-se por ser o principal predador dos microartrópodes no solo, podendo atuar na regulação de populações e no controle biológico (FLOREN et al., 2002; VASCONCELOS, 2008). Na pirâmide de fluxo de energia, as formigas possuem uma importante atuação, pois agem na ciclagem de nutrientes, no controle da população de outros invertebrados, por estarem entre as maiores

predadoras de outros insetos, além de atuarem como dispersoras de sementes (SILVA, 2006). Avaliando a comunidade de formigas em sistemas envolvendo a rotação entre lavoura e pecuária, sob plantio direto e comparando com outros sistemas de manejo e com sistemas naturais no Mato Grosso do Sul, Crepaldi et al. (2014) apontam que morfoespécies de *Strumigenys* sp. e *Hypoponera* sp. podem ser bioindicadores de qualidade do solo foram encontradas apenas nos manejos de integração lavoura-pecuária e sistema plantio direto.

A riqueza de espécies de formigas está correlacionada positivamente com a complexidade da estrutura do ambiente. A maior riqueza de formigas pode ser encontrada em ambientes onde a complexidade da serapilheira também é maior, principalmente quando predominam árvores nativas (PEREIRA et al., 2007). As saúvas, por exemplo, preferem solo com acidez, pois essa condição favorece o desenvolvimento de fungos simbiotes.

Sobre as térmitas, uma de suas peculiaridades é digerir celulose e lignina, devido aos simbiotes presentes em seu aparelho digestivo, tendo assim um importante papel nos processos de ciclagem da matéria orgânica, dos nutrientes e na estruturação do solo (OLIVEIRA, 2010). Podemos considerar que as térmitas, juntamente com as minhocas e as formigas, promovem a homogeneização vertical do perfil do solo, resultando numa menor diferenciação mineralógica e morfológica do solo da profundidade para a superfície (REATTO et al., 2008).

O solo caracteriza-se como um local com enorme diversidade de organismos que garantem o seu biofuncionamento e sustentação. Estudos demonstram que a biota do solo é muito sensível às modificações da cobertura e da estrutura do solo. Daí a necessidade de se aprimorar as formas de manejo deste solo, que visem à maximização de sua matéria orgânica, priorizando a manutenção de sua fauna e flora, assim como a conservação das características físicas e químicas do solo (MANHAES; FRANCELINO, 2013).

Diversos estudos têm demonstrado que a biodiversidade e a atividade biológica estão diretamente relacionadas às funções e características essenciais para a manutenção da capacidade produtiva dos solos, por isso, Lavelle et al. (1997) consideram que a fauna edáfica é um “recurso” a ser manejado. Para isso

é necessário conhecer a comunidade de invertebrados do solo, avaliar suas funções e finalmente identificar as opções de manejo que possam otimizar suas atividades. Considerando a fauna do solo e o seu papel no funcionamento do mesmo, estima-se que a diversidade funcional seja mais importante que a diversidade taxonômica (OLIVEIRA, 2010).

Este trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes usos do solo sobre a diversidade e densidade da macrofauna invertebrada, buscando também relacioná-las com os atributos visuais da saúde do solo.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram feitas avaliações no período chuvoso, de 05 de março de 2016 a 03 de abril de 2016, e no período seco, de 15 de agosto de 2016 a 8 de outubro de 2016. As coletas foram realizadas nos campos: mata ciliar (MCI), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar orgânica (CAN), e pomar (POM).

As amostragens foram realizadas utilizando-se uma adaptação do método recomendado pelo Programa *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF), descrito por Anderson & Ingram (1993). A adaptação constituiu no aproveitamento das trincheiras abertas (40x40x40cm) para as análises visuais do solo. Em cada área, foram realizadas quatro coletas de macrofauna do solo por estação.

A triagem das amostras foi realizada manualmente, com a coleta de todos os indivíduos com mais de 10 mm de comprimento ou com diâmetro corporal superior a 2 mm, que foram armazenados em solução de álcool a 70% (Figura 1). A identificação e a contagem foram efetuadas com auxílio de lupa. Os indivíduos foram classificados, conforme a classe e ordem, e separados de acordo com o estágio de desenvolvimento em adultos ou imaturos (larvas). A densidade da macrofauna edáfica foi obtida a partir da transformação do número de indivíduos, encontrados em cada amostra, em número de indivíduos por metro quadrado (indivíduos/m²). A riqueza (nº de grupos) também foi avaliada.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados um total de 10 grupos da macrofauna edáfica, além de ovos e estágios larvais, incluindo animais que executam diversas funções

Figura 1. Macrofauna edáfica preservada em álcool 70%.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

ecológicas no solo (Figura 2).

A riqueza de grupos foi maior no SAF, com nove grupos no total. Nos tratamentos MCI, APP, CAN e POM foram encontrados um total de sete grupos e na pastagem, foram encontrados um total de quatro grupos (Figura 5). Na mata ciliar (MCI) predominaram os grupos Formicidae, Isoptera e Diplopoda. Também foi a área onde ocorreu a maior densidade de aranhas, comparada com as demais áreas (Figura 3A).

De acordo com Baretta et al. (2007), as áreas com menor ação antrópica, como as vegetações nativas, favorecem o aparecimento de aranhas, pois, nestes locais, existem maior disponibilidade de alimento. Rousseau et al. (2013), utilizando um método de integração de indicadores visuais e diversidade de macrofauna edáfica, com o auxílio dos agricultores locais, identificaram uma espécie de aranha que indica solos com boa fertilidade química.

Figura 2. Funções ecológicas dos grupos de invertebrados edáficos encontrados nas áreas mata ciliar (MAT), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN), e pomar (POM) em Latossolo Vermelho, e área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS) em Gleissolo.

Grupo	Função ecológica	Tratamentos	
		Latossolo Vermelho	Gleissolo
Araneae	predador	MCI, SAF, CAN	APP
Blattodea	onívoro, detritívoro	SAF, POM	APP, PAS
Chilopoda	predador	MCI, SAF, CAN, POM	APP, PAS
Coleoptera	predador, detritívoro, onívoro, fitófago, rizófago	MCI, SAF, CAN, POM	APP
Diplopoda	detritívoro, fitófago	MCI, SAF	
Formicidae	predador, detritívoro, onívoro, fitófago, fungívoro	MCI, SAF, CAN, POM	APP
Isoptera	detritívoro, fungívoro, fitófago, rizófago, humívoro, xilófago	MCI, SAF, CAN, POM	APP
Isopoda	detritívoro	SAF	
Oligochaeta	detritívoro, geófago	MCI, SAF, CAN, POM	APP, PAS
Orthoptera	fitófago, predador	CAN, POM	

Fonte: Adaptado de Melo et al. (2009).

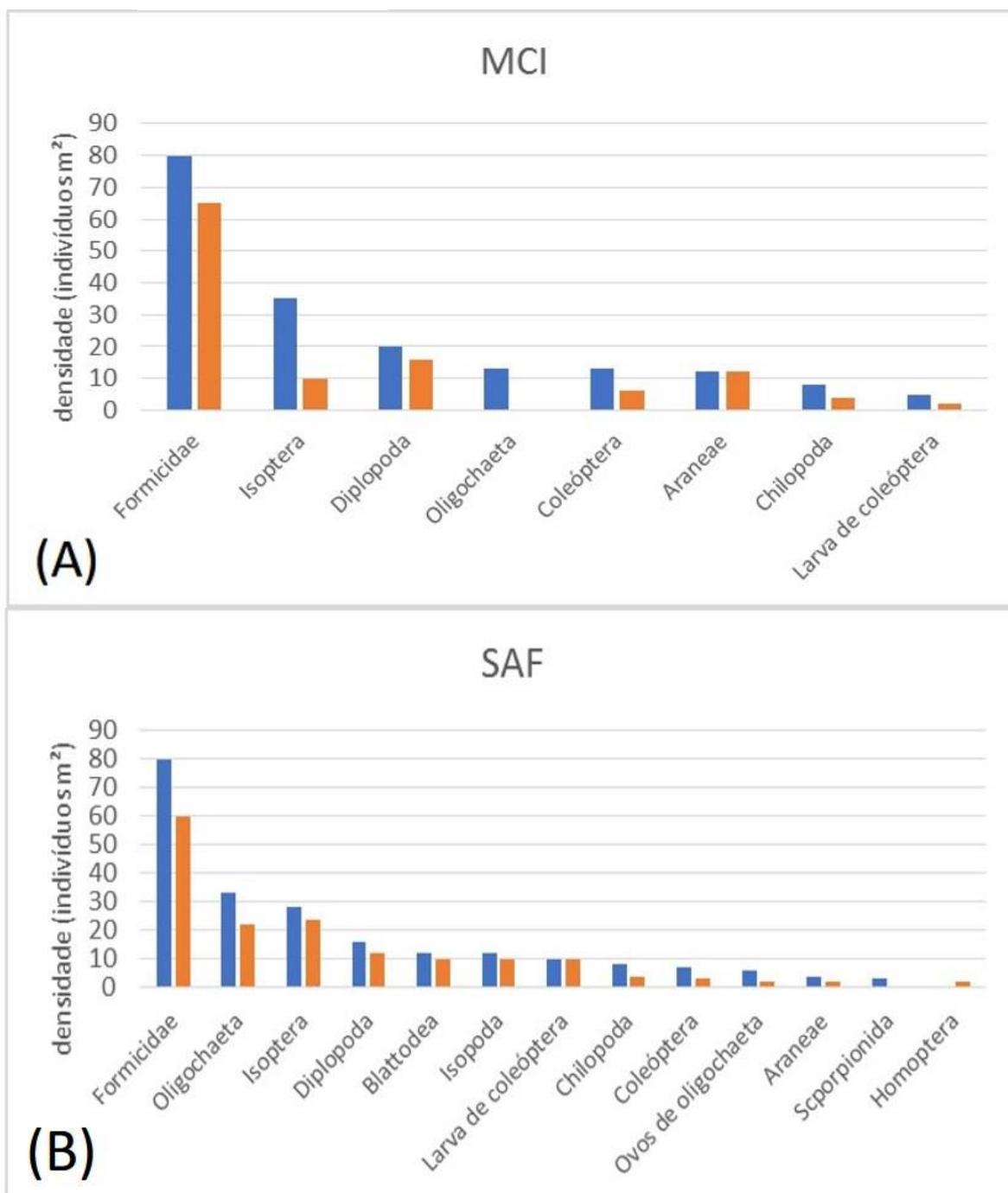
No presente trabalho, as únicas áreas onde não foram encontradas aranhas foram PAS (Figura 4B) e POM (Figura 3D). A área de pastagem (PAS) alaga durante o verão e o pomar, por sua vez, possui pouca camada de serapilheira, como visto nas análises visuais.

Os diplópodes (Figura 6C) foram encontrados somente em MCI e SAF, áreas que possuem grandes quantidades de madeira e matéria orgânica vegetal no solo. Estes animais são fungívoros e detritívoros, alimentando-se de vegetação e madeira em decomposição, desempenhando assim uma importante função na decomposição da matéria orgânica e na formação do solo (COSTA NETO, 2007).

As áreas MCI, e SAF (Figuras 3A e 3B) em Latossolo Vermelho e APP (Figura 4 A) em Gleissolo apresentaram as maiores densidades de grupos de quilópodes. De acordo com Barreta (2007), a maior abundância e diversidade deste grupo normalmente ocorre em áreas menos impactadas (Figura 6D).

Os isópodes, encontrados somente no SAF, atuam no processo de decomposição de matéria orgânica. Segundo Catonazi (2010), eles facilitam a ciclagem de nutrientes realizada por fungos e bactérias reduzindo o tamanho das

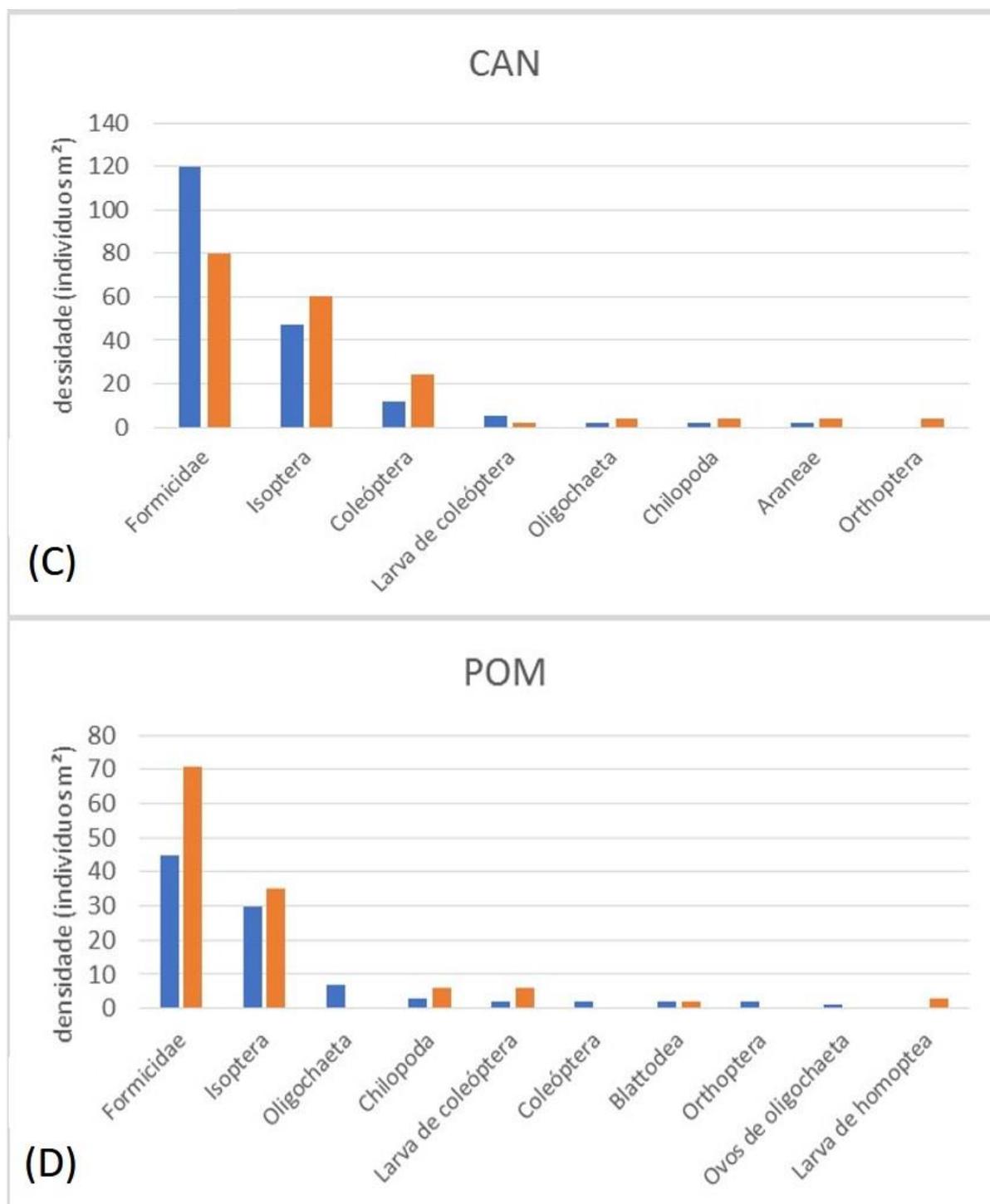
Figura 3. Densidades da macrofauna invertebrada encontradas em: A) Mata ciliar; B) Sistema Agroflorestral. chuvosa — seca



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

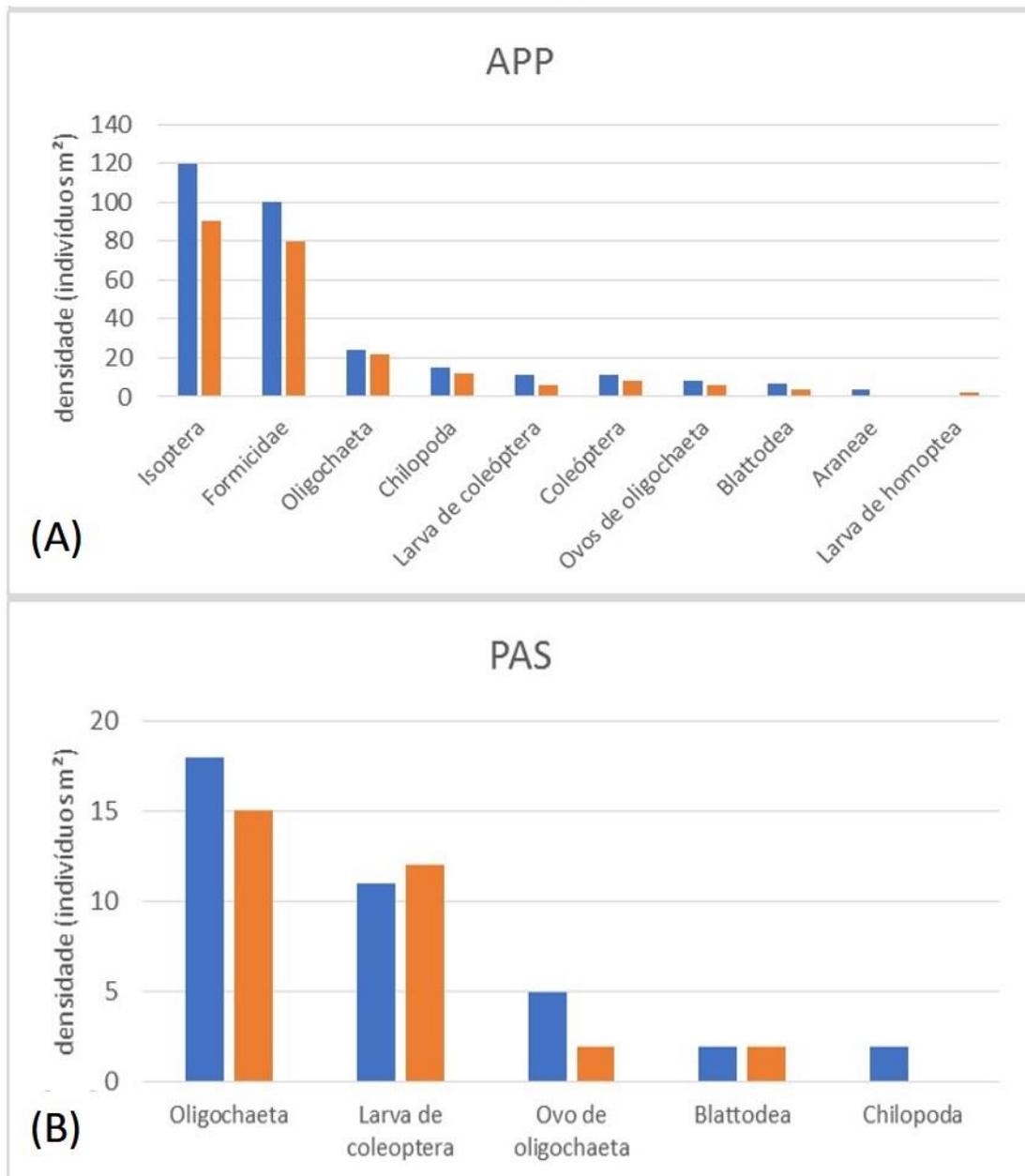
Figura 3. Densidades da macrofauna invertebrada encontradas em: C) Cana-de-açúcar; D) Pomar.

chuvosa ■ seca ■



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 4. Densidades da macrofauna invertebrada encontradas nas áreas de Gleissolo: A) área de preservação (APP); B) Pastage chuvosa — seca



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Figura 5. Diversidade de grupos encontrados nas áreas mata ciliar (MAT), sistema agroflorestal (SAF), cana-de-açúcar (CAN), e pomar (POM) em Latossolo Vermelho, e área de preservação permanente (APP) e pastagem (PAS) em Gleissolo durante as estações chuvosa e seca.

Grupo	Latossolo Vermelho								Gleissolo			
	MCI		SAF		CAN		POM		APP		PAS	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Araneae	15	12	4	2	2	4	0	0	4	0	0	0
Blattodea	0	0	12	10	0	0	0	2	7	4	2	2
Chilopoda	8	4	8	4	2	4	3	6	15	12	2	1
Coleoptera	13	6	7	3	14	24	2	0	11	8	0	0
Diplopoda	20	16	16	12	0	0	0	0	0	0	0	0
Formicidae	85	65	85	60	115	80	55	71	100	80	0	0
Isoptera	35	10	28	24	47	60	30	35	125	90	0	0
Isopoda	0	0	12	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta	4	0	33	22	2	4	7	0	24	22	18	15
Orthoptera	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0
Larvas de coleoptera	5	2	10	10	5	2	2	6	11	6	11	12
Larvas de homoptea	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0
Ovos de oligochaeta	0	0	6	2	0	0	1	0	8	6	5	2
Total (indivíduos/m²)	185	115	221	159	187	182	102	123	305	230	38	32
Riqueza (n °de grupos)	7	6	9	9	6	7	6	4	7	6	4	4

Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

folhas secas, antecipando a disponibilidade de nutrientes no solo para uso pelas plantas.

No sistema agroflorestal, o grupo dos oligoquetas (Figura 6G) destacou-se como uma das maiores densidades de macrofauna encontradas (Figura 3B). Presentes em diversos ambientes, principalmente naqueles com elevada umidade, esses organismos são sensíveis a ambientes secos, por terem elevada perda de água; porém são capazes de adaptar-se em ambientes não propícios, passando a ter hábitos noturnos e diminuindo a taxa de respiração basal. Seu corpo permite que fiquem em formato de bola para reduzir o efeito das elevadas temperaturas (RIGHI, 1990). Ecossistemas com proteção da superfície do solo e maior aporte de recursos orgânicos tendem a ter maiores populações de minhocas (LAVELLE et al., 2001). Ovos de minhocas foram encontrados em maior número na estação chuvosa, o que indica que estes animais estavam encontrando recursos para reproduzir neste período do ano.

A ordem Oligochaeta (Figura 6G) está relacionada com a agregação do solo e a decomposição da matéria orgânica e, para sobreviverem, necessitam de muita umidade (BROWN; DOMÍNGUEZ, 2010). Isto pode explicar a dominância do grupo na área da pastagem, sujeita a inundações frequentes. A presença de árvores e de gramíneas altera o microclima local e as propriedades do solo e, portanto, suas condições como habitat para as minhocas (DECAËNS et al., 2004).

A ocorrência de formigas, térmitas e minhocas foi elevada nos tratamentos MCI, e SAF (Figuras 3A e 3B) em Latossolo Vermelho e APP (Figura 4A) em Gleissolo, provavelmente em virtude do ambiente coberto e do manejo com a poda e roçada que promovem melhores condições climáticas e de disponibilidade de alimentos. Como foi abordado no capítulo 2, estas áreas também são as que possuem os melhores índices de AVS em relação à cobertura, porosidade e estrutura do solo.

Formigas e às térmitas não foram encontrados apenas em PAS (Figura 4B), devido possivelmente ao excesso de umidade do Gleissolo. De acordo com Lavelle e Spain (2001), a temperatura é o principal fator que ativa a regulação metabólica nos indivíduos da fauna do solo e, juntamente com a umidade,

determina a distribuição espacial destes e os períodos de maior atividade.

Em CAN, os coleópteros (Figura 6H) foram um dos principais grupos encontrados e são importantes executores de serviços ambientais nos ecossistemas, como escavação e posterior acúmulo de matéria orgânica, que pode ser incorporada no solo em diferentes profundidades (LOUZADA, 2008). Petroni (2008) menciona que alguns coleópteros são extremamente especializados no nicho ecológico em que se encontram, possuindo características almejavéis como bioindicadores e que alguns besouros do solo são importantes para o procedimento de ciclagem de nutrientes processando a matéria orgânica em putrefação, além de responderem de maneira negativa, à fragmentação e isolamento das florestas tropicais. Damasceno (2005) verificou em áreas de reflorestamento que houve maior frequência desse grupo no solo, em três áreas de estudo, no período de inverno; entretanto, nenhuma justificativa foi encontrada para explicar essa maior ocorrência.

Os cupins (Figura 6B) foram encontrados em todos os tratamentos, exceto na pastagem. Destacou-se a APP, onde foi o grupo encontrado em maior densidade. Melo et al. (2009) cita que os cupins se nutrem da celulose contida na matéria vegetal morta, fazendo com que acelere a decomposição e reciclagem dos nutrientes minerais no solo. Além disso, também formam agregados aumentando a porosidade, aeração, infiltração e drenagem do solo.

As áreas melhores avaliadas durante as avaliações visuais do solo foram também aquelas que apresentaram as maiores abundâncias e riquezas de macrofauna. O mesmo foi constatado por Franco et al. (2016), ao correlacionar avaliações visuais com a presença de macroinvertebrados, demonstrando que a deterioração da estrutura do solo correlaciona-se com o decréscimo nas populações destes organismos.

O SAF apresentou a maior abundância e riqueza da comunidade da macrofauna invertebrada do solo. No SAF e em PAS verificou-se a dominância de oligoquetas entre os principais grupos, enquanto que os demais sistemas apresentaram uma maior expressão dos grupos de formigas e cupins.

Figura 6. Macrofauna invertebrada: A) larva de homóptera; B) ninho de térmitas; C) diplópode; D) quilópode; E) ortóptera; F) ninho de formigas; G) oligoqueta; H) larva de coleóptera.



Fonte: Lucas José Bevilaqua (2016).

Em POM foram encontradas as menores quantidades de riqueza e abundância da macrofauna invertebrada. Como foi abordado no capítulo 2, esta área possui baixos indicadores em relação à cobertura e compactação do solo. De acordo com Moço et al. (2005), a compactação altera diretamente indivíduos que habitam os poros do solo, reduzindo-lhes a capacidade de criar suas galerias.

A densidade e riqueza de grupos da comunidade invertebrada do solo mostraram-se como parâmetros sensíveis ao impacto de diferentes tipos de sistemas de produção, possibilitando a sua indicação como ferramenta importante para aplicar-se como bioindicadores da qualidade do solo.

3.4. CONCLUSÕES

1. A abundância e riqueza de espécies dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica varia com a época de coleta e são favorecidas na estação chuvosa.
2. A riqueza e abundância da macrofauna foram maiores nas áreas que receberam os maiores índices nas avaliações visuais do solo.
3. O sistema agroflorestal apresentou a maior abundância e riqueza de espécies da macrofauna invertebrada do solo.
4. Os usos do solo afetam a estrutura dos grupos taxonômicos dominantes da macrofauna edáfica.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.V.; BARETTA, D.; CARDOSO, E.J.B.N. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no estado de São Paulo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p.33-43. 2006.

AQUINO, A.M. - Fauna do Solo e sua Inserção na Regulação Funcional do Agroecossistema. 2006.

AQUINO, A. M. et al. Populações de minhocas em sistemas agroflorestais com café convencional e orgânico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1184-1188. 2008.

CORREIA; M. E. F.; AQUINO, A. M. Os **Diplópodes e suas Associações com Microrganismos na Ciclagem de Nutrientes**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, Documentos, 2005. 24p.

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

BARETTA, D. et al. Trap and soil monolith sampled edaphic spiders (Arachnida: Araneae) in Araucaria angustifolia forest. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 375-383. 2007.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: **Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 119-170. 2011.

BARROS, E. et al. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, v. 47, n. 3, p. 273-280. 2003.

BOTTINELLI, N. et al. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists?. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 118-124. 2015.

BRITO, M. F. et al. Diversidade da fauna edáfica e epigeica de invertebrados em consórcio de mandioca com adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 253-260. 2016. DOI: 10.1590/S0100-04X2016000300007.

BROWN, G. G.; DOMÍNGUEZ, J. Uso de las lombrices de tierra como bioindicadoras ambientales: principios y prácticas. 3° Encuentro Latino Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetos (ELAETAO3). **Acta zoológica mexicana**, v. 26, n. 2, p. 1-18. 2010.

CABRERA, G. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. **Pastos y Forrajes**, v. 35, n. 4, p. 346-363. 2012.

CATANOZI, G. **Análise espacial da macrofauna edáfica sob diferentes condições ambientais dos trópicos úmidos**. 2010. 141 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

CIPOLA, N. G, ZEQUI, J. A. C. Composição e diversidade edáfica de Chilopoda (Arthropoda: Myriapoda) do Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil. Anais. XVIII Simpósio de Iniciação Científica – UniFil, 2010.

COLEMAN, D. C.; HENDRIX, P.F. Invertebrates as webmasters in ecosystems. London: CABI. 336p. 2000.

COSTA NETO, E. M. The perception of diplopoda (*Arthropoda, Myriapoda*) by the inhabitants of the county of Pedra Branca, Santa Teresinha, Bahia, Brazil. *Acta Biológica Colombiana*, 12:123-134. 2007.

CREPALDI, R. A. et al. Formigas como bioindicadores da qualidade do solo em sistema integrado lavoura pecuária. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 781-787. 2014.
DENNIS, P.; YOUNG, M. R.; BENTLEY, C. The effects of varied grazing management on epigeal spiders, harvestmen and pseudoscorpions of *Nardus stricta* grassland in upland Scotland. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 86, n. 1, p. 39-57. 2001.

DECAËNS, T. et al. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de los Llanos Orientales de Colombia. **El arado natural: las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las savanas neotropicales de Colombia. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical**, p. 21-45. 2003.

FRANCO, A. L. C. et al. Relating the visual soil structure status and the abundance of soil engineering invertebrates across land use change. **Soil and Tillage Research**, 2016.

FLOREN, A.; BIUN, A.; LINSÉNMAIR, E. K. Arboreal ants as key predators in tropical lowland rainforest trees. **Oecologia**, v. 131, n. 1, p. 137-144. 2002.

FOLGARAIT, P. J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. **Biodiversity & Conservation**, v. 7, n. 9, p. 1221-1244. 1998.

KHATOUIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Agroecológica. 2001. 345p.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in ecological research**, v. 27, p. 93-132. 1997.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic, 654p. 2001.

LOUZADA, J.N.C. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) detritivos em ecossistemas tropicais: diversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.299-322.

LOPES ASSAD, M. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Biologia dos solos dos Cerrados. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 361-443.

MANHAES, C. M. C.; FRANCELENO, F. M. A. Biota do solo e suas relações com o sistema radicular. **Nucleus**, v. 10, n. 2. 2013.

MELO, F.V. et al. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.39-43. 2009.

MERLIM, A.O. et al. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, v.62, p.57-61. 2005.

MOÇO, M. K. et al. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2005.

REATTO, A. et al. Development and origin of the microgranular structure in latosols of the Brazilian Central Plateau: Significance of texture, mineralogy, and biological activity. **Catena**, v. 76, p. 122-134. 2009.

RIGHI, G. **Minhocas de Mato Grosso e de Rondônia**. Brasília, DF: CNPq, 1990.

PEREIRA, M. P. et al. Fauna de formigas como ferramenta para monitoramento de área de mineração reabilitada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 197-204. 2007.

PETRONI, D. M. **Diversidade de famílias de Coleóptera em diferentes fragmentos florestais no Município de Londrina, PR – Brasil**. 2008. 62 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Londrina, Londrina, 2008.

ROUSSEAU, L. et al. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, v. 27, p. 71-82. 2013.

SANTOS, D. P. et al. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1466-1475. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900045

SILVA, R. F. et al. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 4, p. 697-704. 2006.

SILVA, D. M. M. H. **Macrofauna Edáfica, Biomassa Microbiana e Qualidade do Solo em Área Cultivada do Cerrado Amapaense com e sem Uso do Fogo e Adubação Alternativa**. 2009. 55 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2009.

UHLIG, V. M. **Caracterização da mesofauna edáfica em áreas de regeneração natural da floresta ombrófila densa submontanha, no município de Antonina, Paraná**. 2005. 97 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

VASCONCELOS, H.L. Formigas do solo nas florestas da amazônia de diversidade e respostas aos distúrbios naturais e antrópicos. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.323-343.

VITAL, M. H. F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, dez. 2007.

WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils*, v.31, p.1-19. 2000.

ZIRBES, L. et al. A new case of consensual decision: collective movement in earthworms. **Ethology**, v. 116, n. 6, p. 546-553. 2010.

ZIRBES, L. et al. Self-assemblage and quorum in the earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaete, Lumbricidae). **PloS one**, v. 7, n. 3, p. e32564. 2012.

CONCLUSÕES GERAIS

A utilização dos métodos de análise visual, integrados com os bioindicadores da fauna edáfica de invertebrados e com o conhecimento dos agricultores familiares torna-se um caminho promissor na avaliação da saúde dos solos.

O indicador relacionado à presença de bioestruturas ou estruturas biogênicas permitiu diferenciar as áreas de estudo e recebeu os maiores índices nas áreas com maior diversidade vegetal. É um importante bioindicador para a avaliação da saúde do solo, pois muitas vezes não são encontrados os organismos da macrofauna edáfica nas amostragens, mas as bioestruturas permanecem no solo por longos períodos.

A diversidade de grupos da comunidade invertebrada do solo mostrou-se como parâmetros sensíveis ao impacto de diferentes tipos de sistemas de produção, possibilitando a sua indicação como ferramenta importante para aplicar-se como bioindicadores da qualidade do solo.

APÊNDICES

Apêndice 1. Cartão de campo utilizado na metodologia VSA de Shepherd et al. (2008).

Método VSA - SHEPHERD et al. (2008)						
Área						
Ponto de avaliação		1	2	3	4	
Data						
Indicadores Visuais	Peso	Pontuação Visual				Média
Empoçamento de água	x2					
Cobertura da superfície	x2					
Mosqueados	x2					
Textura do solo	x3					
Cor do solo	x1					
Erosão do solo	x2					
Profundidade radicular	x3					
Estrutura do solo	x2					
Número de minhocas	x3					
Porosidade do solo	x3					
Índice de AVS						

Apêndice 2. Cartão de campo utilizado na metodologia VESS de Ball e Guimarães (2011).

Qualidade estrutural	Tamanho e aparência dos agregados	Porosidade visível e raízes	Característica distintiva	Descrição de agregados naturais ou fragmento reduzido de ~ 1,5 cm de diâmetro
<p>Qe1 Friável Agregados quebram facilmente com os dedos</p>	<p>Maioria < 6 mm após a quebra</p>	<p>Alta porosidade Raízes por todo solo</p>	<p>Agregados pequenos</p>	<p>A ação de quebrar o bloco é suficiente para revelá-los. Agregados grandes são compostos por agregados menores, presos pelas raízes.</p>
<p>Qe2 Intacto Agregados quebram facilmente com uma mão</p>	<p>Uma mistura de agregados porosos e redondos entre 2 mm – 7 cm Sem presença de torrões</p>	<p>Maioria dos agregados são porosos Raízes por todo solo</p>	<p>Agregados altamente porosos</p>	<p>Agregados quando obtidos são redondos, muito frágeis, despedaçam muito facilmente e são altamente porosos.</p>
<p>Qe3 Firme Maioria dos agregados quebram com uma mão</p>	<p>Mistura de agregados porosos entre 2mm -10 cm; menos de 30% são <1 cm. Alguns torrões angulares não porosos podem estar presentes</p>	<p>Macroporos e fissuras presentes Porosidade e raízes: ambas dentro dos agregados</p>	<p>Agregados com baixa porosidade</p>	<p>Fragmentos de agregados são razoavelmente fáceis de serem obtidos. Apresentam poucos poros e são arredondados. Raízes geralmente crescem através dos agregados.</p>

Apêndice 2. continuação

Qualidade estrutural	Tamanho e aparência dos agregados	Porosidade visível e raízes	Característica distintiva	Descrição de agregados naturais ou fragmento reduzido de ~ 1,5 cm de diâmetro
<p>Qe4 Compacto Quebrar agregados com uma mão requer esforço considerável</p>	<p>Maioria > 10 cm e são sub-angulares não porosos; possibilidade de horizontalização; menos que 30% são <7 cm</p>	<p>Poucos macroporos e fissuras Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados</p>	<p>Macroporos bem distintos</p>	<p>Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, em forma de cubo muito angulosos e pontudos e apresentam fissuras internamente.</p>
<p>Qs5 Muito compacto Difícil quebra</p>	<p>Maioria são maiores que > 10 cm, muito poucos < 7 cm, angular e não poroso</p>	<p>Porosidade muito baixa. Macroporos podem estar presentes. Pode conter zonas anaeróbicas Poucas raízes e restritas a fissuras</p>	<p>Cor azul-acizentada</p>	<p>Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, no entanto, considerável força é necessária. Geralmente não apresentam poros ou fissuras.</p>

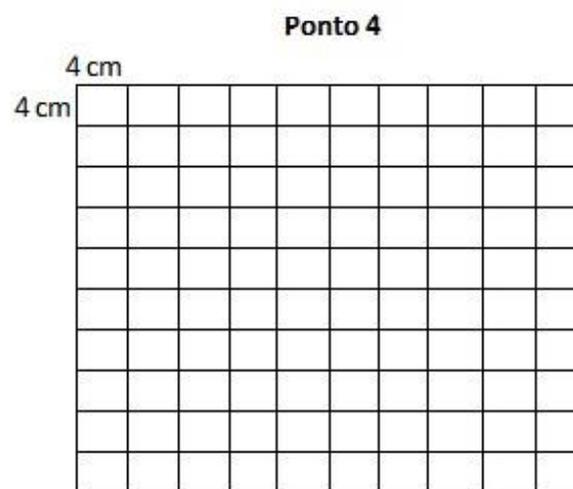
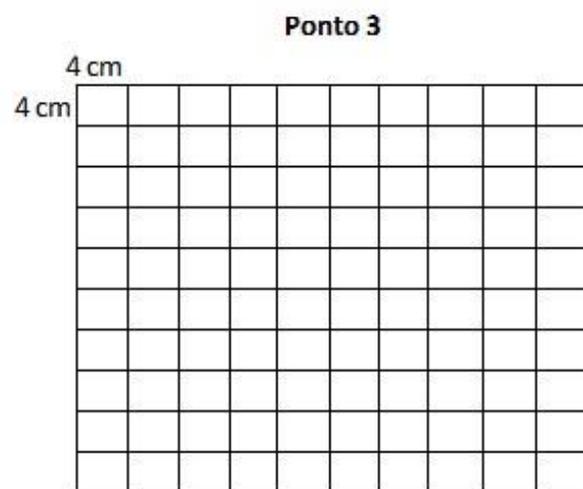
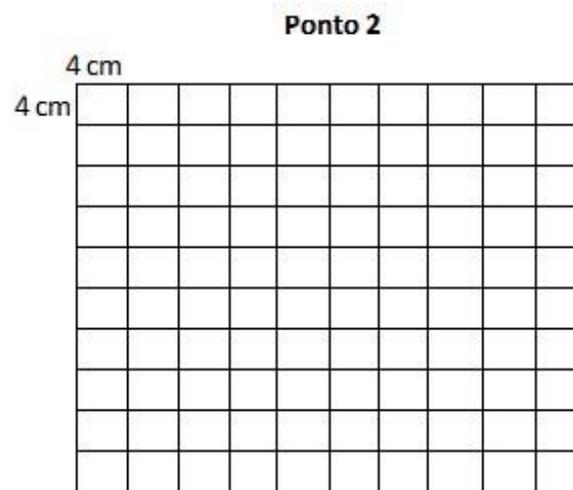
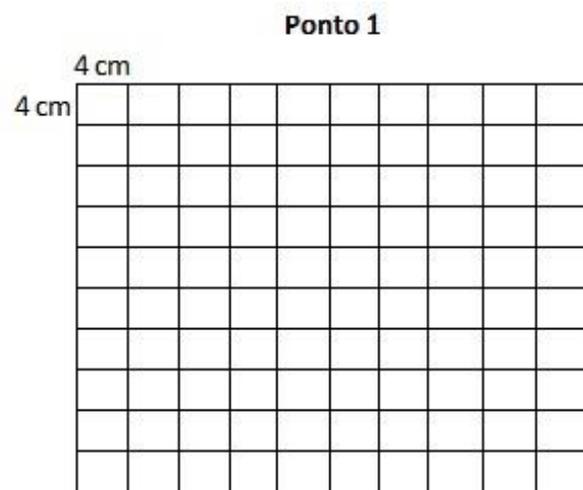
Apêndice 3. Cartão de campo utilizado na metodologia VSA modificada por Niero et al. (2010).

Área						
Ponto de avaliação						
Data		1	2	3	4	
Indicadores Visuais	Peso					
		Pontuação Visual				Média
Camada compactada	x1					
Cobertura do solo	x3					
Mosqueados	x1					
Cor do solo	x2					
Profundidade do solo	x2					
Estrutura do solo	x3					
Número de minhocas	x2					
Porosidade do solo	x2					
Índice de AVS						

Apêndice 4. Cartão de campo utilizado na metodologia MEM de Marques (2014).

Área																	
																	Média
Ponto de avaliação	1				2				3				4				
Data																	
Erosão																	
Empoçamento de água																	
Cobertura morta do solo																	
Cobertura viva do solo																	
Espessura do horizonte escurecido																	
Textura do solo - 0 - 10 cm																	
Textura do solo - 30 - 40 cm																	
Profundidade de avaliação	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	
Estrutura - Quebra com a mão																	
Estrutura - M.O.																	
Formato do agregado de 1 cm ²																	
Porosidade - lupa de 10 x em 1 cm ²																	
Fragmentação do agregado em água																	
Efervescência em Água Oxigenada																	
Compactação (faquinha)																	
Cor																	
Índice de AVS																	

Apêndice 4. Cartão de campo utilizado para avaliação do sistema radicular na metodologia MEM de Marques (2014).



Apêndice 5. Cartão de campo utilizado no método agroecológico de Altieri e Nicholls (2002).

Valor	Características	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
1. Estrutura					
1	Solto, "empoeirado", sem visíveis agragados				
5	Poucos agregados que quebram com pouca pressão				
10	Agregados bem formados e difíceis de serem quebrados				
2. Compactação					
1	Solo compactado. Ao tentar penetrar um arame, este encurva-se facilmente				
5	Fina camada compactada, com alguma restrição à penetração do arame				
10	Sem compactação, com facilidade de penetração do arame				
3. Profundidade do solo					
1	Subsolo exposto				
5	Fina superfície de solo				
10	Solo superficial > 10 cm				
4. Estado dos resíduos orgânicos na superfície					
1	Resíduos orgânicos com lenta decomposição				
5	Presença de resíduos em decomposição de pelo menos um ano				
10	Resíduos em vários estágios de decomposição, muitos resíduos bem				
5. Cor, odor e matéria orgânica					
1	Pálido, odor químico e ausência de húmus				
5	Marrom claro, sem odor, alguma presença de húmus				
10	Marrom escuro, odor de matéria fresca e abundante presença de húmus				

Apêndice 5. Continuação.

Valor	Características	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
6. Retenção de umidade					
1	Solo seca rápido				
5	Solo permanece seco durante a seca				
10	solo mantem a umidade durante a época seca				
7. Desenvolvimento radicular					
1	Raízes pouco desenvolvidas				
5	Raízes com crescimento limitado, com algumas raízes finas				
10	Raízes com bom crescimento, saudáveis, profundas, e com muitas raízes finas				
8. Erosão					
1	Erosão severa, com grande perda de solo				
5	Erosão evidente, com pouca perda de solo				
10	Sem sinais de erosão				
9. Cobertura do solo					
1	Solo descoberto				
5	Menos de 50% do solo é coberto por resíduos				
10	Mais de 50% do solo com cobertura viva ou morta				
10. Atividade biológica					
1	Sem sinais de atividade biológica				
5	Se observam algumas mihocas e artrópodes				
10	Muita atividade biológica, minhocas e artrópodes abundantes				

Apêndice 6. Cartão de campo utilizado no MIAQS de Casalinho et al. (2007).

Níveis de limitação dos indicadores				Avaliação			
Indicadores	Alto (A)	Médio (M)	Baixo (B)	1	2	3	4
Compactação	Solo endurecido, pobre em matéria orgânica, raízes deformadas, água não infiltra, implementos não penetram o solo	Solo com alguma dificuldade para manejar, alguma resistência para penetração de implementos, água infiltra lentamente	Solo "fofo", solto, fácil de trabalhar, água infiltra de forma adequada, rico em minhocas, outros organismos e matéria orgânica				
Matéria orgânica	Solo com cores claras, sem resíduos orgânicos, ausência de minhocas e com dificuldade para trabalhar	Camada arável mais escurecida, poucos resíduos orgânicos e poucas minhocas	Solo escuro, resíduos orgânicos abundantes, muitas minhocas, "fofo" e fácil trabalhar				
Profundidade do solo	Solos rasos, com menos de 20 cm de espessura na camada arável, compactação forte, raízes muito próximas da superfície	Camada arável com profundidade entre 20 e 40 cm, pouca compactação, sem ser "muito prejudicial" às raízes	Solos com camada arável maior que 40 cm, raízes desenvolvidas e profundas, ausência de compactação				
Erosão	Muitos sulcos ou valetas que não podem ser desmanchadas, ausência de vegetação/resíduos, cor da água escorrida é igual a cor do solo, áreas muito inclinadas	Sulcos ou valetas que podem ser desfeitos com preparo do solo, cor da água "escorrida" pouco parecida com a do solo, alguma vegetação e resíduos na superfície	Inexistência de sulcos ou valetas, água "escorrida" é limpa, boa presença de vegetação e resíduos na superfície do solo, solo bem estruturado, áreas levemente inclinadas				

Apêndice 6. Continuação

Níveis de limitação dos indicadores				Avaliação			
Indicadores	Alto (A)	Médio (M)	Baixo (B)	1	2	3	4
População minhocas	Até 2 minhocas por amostra retirada com pá de corte, ausência de canais, dejetos/resíduos orgânicos na superfície	Presença de duas a quatro minhocas por amostra, poucos canais, dejetos e resíduos orgânicos na superfície	Mais de cinco minhocas por amostra, grande quantidade de canais, dejetos e resíduos orgânicos no solo				
Presença de organismos	Não há vida no solo, ausência de resíduos orgânicos, insetos e/ou pequenas aranhas, ao se colocar água oxigenada numa amostra de solo úmido não há formação de efervescência ou bolhas	Já é possível observar vida no solo, presença razoável de material orgânico na superfície e misturado ao solo, já há formação de bolhas ou efervescência quando se coloca água oxigenada numa amostra de solo	Há muita vida no solo, pequenos insetos e aranhas, grande quantidade de resíduos orgânicos e palha misturada ao solo, muita efervescência ou formação de bolhas ao se colocar a água oxigenada numa amostra de solo				
Plantas indicadoras	Presença de guanxuma, maria mole e grama seda, sugerindo solo compactado, carrapicho rasteiro, barba de bode, sugerindo se tratar de solos pobres, papuã, sugerindo solos com crosta superficial, erva lanceta, azedinha, samambaia e tiririca, sugerindo solos ácidos, que precisam de calcário	Presença de picão preto, picão branco, nabisco ou nabo selvagem em razoável quantidade, sugerindo solos de média fertilidade	Terras com ocorrência de boa quantidade de beldroega, indicando um solo bem estruturado, boa umidade e com bom teor de matéria orgânica, ocorrência de serralha, caruru e língua de vaca, sugerindo solos de boa fertilidade e com bons teores de matéria orgânica				

Apêndice 6. Continuação

Indicadores	Níveis de limitação dos indicadores			Avaliação			
	Alto (A)	Médio (M)	Baixo (B)	1	2	3	4
Aparência da planta	Pequena população de plantas, lavoura com falhas, plantas com pequeno desenvolvimento, com coloração amarelada ou esbranquiçada, doentes ou muito atacadas por insetos	População de plantas ainda abaixo do normal, com crescimento ainda lento, cores mais naturais, com pouco viço, algumas doentes ou atacadas por insetos	População de plantas adequada, plantas saudias, desenvolvimento normal, vigorosas, com muito viço, resistentes ao ataque de doenças e insetos				
Cor do solo	Cor do solo da camada arável parecida com a cor do saibro, amarelo ou acinzentado, sem material	Cor do solo da camada arável já é mais escura que a cor do saibro, pela presença de material orgânico	Cor do solo da camada arável bem diferente e escurecida pela forte presença de material orgânico decomposto				
Porosidade	Pouca matéria orgânica, infiltração muito lenta da água, secamento rápido, solo pesado ou arenoso	Presença razoável de matéria orgânica, pouca retenção de água ou com infiltração ainda lenta	Bom teor de matéria orgânica e resíduos, boa retenção ou infiltração de água, solo estruturado				

Apêndice 7. Pontuações visuais obtidas pelo método VSA de Shepherd et al. (2008).

Indicadores visuais	Latossolo Vermelho								Gleissolo				
	MCI		SAF		CAN		POM		APP		PAS		
	chuvosa	seca	chuvosa	seca	chuvosa	seca	chuvosa	seca	chuvosa	seca	chuvosa	seca	
Empoçamento de água	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	1,00	2,00
Cobertura da superfície	4,00	4,00	3,50	3,50	2,00	3,00	1,50	1,50	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mosqueados	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	2,50	2,00	1,00	1,00	1,00
Textura do solo	6,00	6,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Cor do solo	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erosão do solo	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	4,00	4,00	2,00	4,00	4,00
Profundidade radicular	6,00	6,00	3,75	3,75	3,00	3,00	3,00	3,00	6,00	6,00	3,00	3,00	3,00
Estrutura do solo	4,00	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	2,00	2,00	2,00
Número de minhocas	0,00	0,00	3,75	4,50	0,75	0,00	3,00	0,00	3,75	0,00	2,25	1,50	1,50
Porosidade do solo	6,00	6,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	6,00	6,00	3,00	3,00	3,00
Índice de AVS	40,00	40,00	32,00	32,75	26,75	27,00	26,50	23,50	38,25	34,00	22,25	24,50	24,50

(A)

	Área	IAVS		Qualidade do solo
		Chuvosa	Seca	
Latossolo Vermelho	MCI	40	40	Bom
	SAF	32	32,75	Bom
	CAN	26,75	27	Moderado
	POM	26,5	23,5	Moderado
Gleissolo	APP	38,25	34	Bom
	PAS	22,25	24,5	Moderado

(B)

Pontuação Visual	0 - 1 - 2
Qualidade do solo	Índice de AVS
Bom	> 30
Moderado	15 - 30
Ruim	< 15

(C)

Apêndice 8. Pontuações visuais obtidas pelo método VSA modificado por Niero et al. (2010).

Indicadores Visuais	Latossolo Vermelho								Gleissolo			
	MCI		SAF		CAN		POM		APP		PAS	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Camada compactada	2,00	2,00	1,50	1,50	1,00	0,75	0,75	0,75	2,00	2,00	2,00	2,00
Cobertura do solo	6,00	6,00	4,50	4,50	3,00	4,50	1,50	1,50	4,50	4,50	6,00	6,00
Mosqueados	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50
Cor do solo	4,00	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	1,50	1,50
Profundidade do solo	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Estrutura do solo	6,00	6,00	4,50	4,50	3,00	3,00	3,00	3,00	6,00	6,00	3,00	3,00
Número de minhocas	0,00	0,00	3,00	3,25	0,50	0,00	2,00	0,00	1,00	1,00	2,00	1,00
Porosidade do solo	4,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,75	1,75	4,00	4,00	4,00	4,00
Índice de AVS	28,00	28,00	24,50	24,75	17,50	18,25	17,00	15,00	25,50	25,50	23,00	22,00

(A)

	Área	IAVS		Qualidade do solo
		Chuvosa	Seca	
Latossolo Vermelho	MCI	28,00	28,00	Muito Bom
	SAF	24,50	24,75	Bom
	CAN	17,50	18,25	Moderado
	POM	17,00	15,00	Moderado
Gleissolo	APP	25,50	25,50	Muito Bom
	PAS	23,00	22,00	Bom

(B)

Pontuação Visual	0 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2
Qualidade do solo	Índice de AVS
Muito bom	> 25
Bom	20 - 25
Moderado	15 - 20
Ruim	< 15

(C)

Apêndice 9. Pontuações visuais obtidas pelo método Estrutural modificado por Marques (2014).

Indicadores visuais	Latossolo Vermelho								Gleissolo			
	MCI		SAF		POM		CAN		APP		PAS	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Erosão	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	4	4
Empoçamento de água	5	5	5	5	5	5	5	5	4,75	5	2	2
Cobertura morta do solo	5	5	4	4	2	2	3	3	4	4	4	4
Cobertura viva do solo	5	5	4	4	3	3	2	3	4	4	4	4
Textura do solo - 0 - 20 cm	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	4	4
Textura do solo - 30 - 40 cm	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
Células com raízes	5	5	3	3	2,5	2,5	3	3	4	4	4	4
Células com raízes - 0 - 20 cm	5	5	4	4	3	3	4	4	5	5	5	5
Células com raízes - 20 - 40 cm	5	5	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
Índice de AVS	42	42	34	34	29,5	29,5	31	32	36,75	37	33	33

(A)

	Área	IAVS		Qualidade do solo
		Chuvosa	Seca	
Latossolo Vermelho	MCI	168,5	159,5	Muito Bom
	SAF	126	125,5	Bom
	POM	112,5	102	Moderado
	CAN	112,25	101,75	Moderado
Gleissolo	APP	141,75	145,5	Bom
	PAS	121	115,5	Moderado

(B)

Pontuação Visual	1 - 2 - 3 - 4 - 5
Qualidade do solo	Índice de AVS
Muito bom	> 150
Bom	125 - 150
Moderado	100 - 125
Ruim	< 100

(C)

Apêndice 9. Continuação

Indicadores de profundidade	Latossolo Vermelho								Gleissolo			
	MCI		SAF		POM		CAN		APP		PAS	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Estrutura - Quebra com a mão												
0 - 10 cm	5,00	5,00	4,00	4,00	3,50	2,50	4,00	3,00	4,75	4,75	4,00	4,50
10 - 20 cm	4,75	4,00	3,75	3,50	3,75	3,00	4,00	3,00	4,25	4,25	4,00	4,00
20 - 30 cm	4,00	4,00	3,00	3,00	3,75	3,50	3,00	3,50	3,25	3,25	3,50	3,00
30 - 40 cm	3,75	3,00	3,00	3,00	3,75	3,50	3,00	3,50	2,75	2,75	2,50	2,00
Estrutura - M.O.												
0 - 10 cm	5,00	5,00	4,00	4,00	3,25	3,00	4,00	3,00	5,00	5,00	4,00	4,00
10 - 20 cm	5,00	4,50	3,00	3,00	3,50	3,00	3,00	2,50	5,00	5,00	4,00	3,00
20 - 30 cm	4,00	3,50	2,25	2,00	2,75	2,00	2,00	1,50	4,50	4,25	3,00	2,00
30 - 40 cm	4,00	2,50	2,25	2,00	2,75	2,00	2,00	1,00	3,25	3,00	2,00	1,50
Formato do agregado de 1 cm²												
0 - 10 cm	5,00	5,00	5,00	5,00	3,75	3,50	3,50	4,00	4,50	4,75	4,00	4,50
10 - 20 cm	4,75	5,00	4,00	4,00	3,75	3,00	3,25	3,00	4,25	4,25	4,00	4,00
20 - 30 cm	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,50	2,00	3,50	3,25	3,00	2,50
30 - 40 cm	4,00	3,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,50	1,50	3,00	3,00	2,00	2,00
Porosidade - lupa de 10 x em 1 cm²												
0 - 10 cm	5,00	5,00	4,00	4,00	3,25	3,00	3,50	3,00	5,00	5,00	4,00	4,00
10 - 20 cm	5,00	5,00	3,75	3,50	3,25	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00	3,00	3,00
20 - 30 cm	4,00	4,00	2,75	2,50	2,50	2,00	1,75	2,00	4,00	4,00	2,00	2,00
30 - 40 cm	4,00	3,00	2,50	2,00	2,50	1,00	1,75	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00

(D)

Apêndice 9. Continuação

Indicadores de profundidade	Latossolo Vermelho								Gleissolo			
	MCI		SAF		POM		CAN		APP		PAS	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Fragmentação do agregado em água												
0 - 10 cm	5,00	5,00	5,00	5,00	3,50	3,00	3,25	3,50	4,25	4,25	4,00	3,50
10 - 20 cm	4,75	5,00	4,50	4,50	3,00	3,00	3,25	3,00	3,75	3,75	3,50	3,00
20 - 30 cm	4,00	4,50	3,00	3,50	2,75	2,50	2,25	2,00	2,75	2,75	3,00	3,00
30 - 40 cm	3,25	3,50	2,50	3,00	2,00	2,50	2,25	1,50	2,25	2,25	2,25	2,50
Efervescência em Água Oxigenada												
0 - 10 cm	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
10 - 20 cm	1,00	1,00	2,00	2,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50
20 - 30 cm	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,75	0,50	0,50	0,50	1,00
30 - 40 cm	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Compactação (faquinha)												
0 - 10 cm	5,00	5,00	4,00	4,00	2,50	3,00	3,00	2,00	5,00	5,00	4,75	4,00
10 - 20 cm	4,50	4,00	3,00	3,00	2,75	2,50	3,00	2,00	4,50	4,50	3,75	3,00
20 - 30 cm	4,00	4,00	2,25	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,75	3,75	3,00	2,00
30 - 40 cm	3,25	3,00	2,00	2,00	1,25	2,00	2,00	2,00	2,50	2,75	2,25	1,00
Cor												
0 - 10 cm	5,00	5,00	3,00	3,50	3,00	2,00	3,00	2,50	4,75	4,50	3,50	3,50
10 - 20 cm	4,50	4,00	3,00	3,00	2,50	1,50	2,50	2,00	3,75	3,50	2,50	2,50
20 - 30 cm	4,00	3,00	2,00	2,00	1,50	1,00	2,00	1,50	2,75	2,50	1,50	1,50
30 - 40 cm	3,50	2,00	1,50	1,50	0,75	1,00	2,00	1,00	1,75	1,50	1,00	1,00
Índice de AVS	126,50	117,5	94,00	93,50	82,00	71,50	80,25	68,75	105,00	108,50	88,00	82,50

(D)

Apêndice 10. Pontuações visuais obtidas pelo método agroecológico de Altieri e Nicholls (2002).

Indicadores Visuais	Latossolo Vermelho								Gleissolo			
	MCI		SAF		CAN		POM		APP		PAS	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Estrutura	10	10	7	7	5	5	5	5	9	9	5	5
Compactação e infiltração	10	10	7	7	5	4	5	4	9	9	5	5
Profundidade do solo	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Estado de resíduos	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cor, odor, matéria orgânica	10	10	7	7	5	5	4	4	8	8	6	6
Retenção de umidade	10	10	7	7	5	5	4	4	8	8	5	5
Desenvolvimento radicular	10	10	7	7	5	5	5	5	9	9	7	7
Cobertura do solo	10	10	10	10	10	10	5	5	10	10	10	10
Erosão	10	10	10	10	10	10	5	5	10	10	5	5
Atividade biológica	10	10	10	10	5	5	5	5	10	10	5	5
Média	10	10	8,5	8,5	7	6,9	5,8	5,7	9,3	9,3	6,8	6,8

(A)

	Área	IAVS		Qualidade do solo
		Chuvosa	Seca	
Latossolo Vermelho	MCI	10	10	Bom
	SAF	8,5	8,5	Bom
	CAN	7	6,9	Moderado
	POM	5,8	5,7	Moderado
Gleissolo	APP	9,3	9,3	Bom
	PAS	6,8	6,8	Moderado

(B)

Pontuação Visual	0 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2
Qualidade do solo	Índice de AVS
Bom	8 a 10
Moderado	4 a 7
Ruim	0 a 3

(C)

Apêndice 11. Pontuações visuais obtidas pelo MIAQS de Casalinho et al. (2007).

Indicadores visuais	Latosolo Vermelho								Gleissolo			
	MCI		SAF		CAN		POM		APP		PAS	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Compactação	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	0,0	0,0	10,0	10,0	5,0	5,0
Presença de matéria orgânica	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	5,0	5,0
Profundidade do solo	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Erosão	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	10,0
População de minhocas	0,0	0,0	10,0	10,0	0,0	0,0	5,0	0,0	5,0	5,0	5,0	0,0
Presença de organismos	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	5,0	5,0
Aparência das plantas	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	5,0	5,0
Porosidade do solo	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	5,0	5,0
Cor do solo	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0	8,8	8,8	5,0	5,0
Plantas indicadoras	10,0	10,0	7,5	7,5	5,0	5,0	5,0	5,0	8,8	8,8	5,0	5,0
Média	9,0	9,0	9,8	9,8	5,5	5,5	5,0	4,5	9,3	9,3	6,0	5,5

(A)

	Área	IAVS		Limitação do solo
		Chuvosa	Seca	
Latosolo Vermelho	SAF	9,8	9,8	Baixa
	MCI	9	9	Baixa
	CAN	5,5	5,5	Média
	POM	5	4,5	Média
Gleissolo	APP	9,3	9,3	Baixa
	PAS	6	5,5	Média

(B)

Pontuação Visual	0 - 5 - 10
Limitação do solo	Índice de AVS
Baixa	8 a 10
Média	4 a 7
Alta	0 a 3

(C)