

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO E ENGENHARIA AGRÍCOLA

ALINE LIMA GOMES

ATRIBUTOS DO SOLO SOB MANEJOS AGRÍCOLAS CAMPONESES

PONTA GROSSA
2021

ALINE LIMA GOMES

ATRIBUTOS DO SOLO SOB MANEJOS AGRÍCOLAS CAMPONESES

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Agronomia; Curso de Mestrado da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Linha de pesquisa: Uso e manejo do solo.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto

**PONTA GROSSA
2021**

G633 Gomes, Aline Lima
Atributos do solo sob manejos agrícolas camponeses / Aline Lima Gomes.
Ponta Grossa, 2021.
65 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Ciência do Solo e Recursos Ambientais), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto.

1. Agricultura camponesa. 2. Manejo do solo. 3. Qualidade do solo. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Neto, Pedro Henrique Weirich. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciência do Solo e Recursos Ambientais. III.T.

CDD: 631



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: “**ATRIBUTOS DO SOLO SOB MANEJOS AGRÍCOLAS CAMPONESES**”.

Nome: **Aline Lima Gomes**

Orientador: **Dr. Pedro Henrique Weirich Neto**

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto

Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes

Prof. Dr. André Carlos Auler

Ponta Grossa - PR, 22 de outubro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE CARLOS AULER, Usuário Externo**, em 22/10/2021, às 14:32, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Henrique Weirich Neto, Chefe do Departamento de Ciências do Solo e Engenharia Agrícola**, em 22/10/2021, às 15:11, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Jaime Alberti Gomes, Professor(a)**, em 23/10/2021, às 12:02, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0726673** e o código CRC **6CAFEEFE**.

A minha família,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo privilégio da vida e por ter me dado força e sabedoria em todos os momentos até aqui. À minha mãe Silvana Ribas de Lima pelo apoio e amor incondicional, ao meu irmão Lucas Ribas Gomes pela inspiração, amor e escuta. Às minhas tias Sirlene Ribas de Lima e Sandra Ribas de Lima que sempre foram exemplo de mulheres fortes. Ao meu companheiro Matheus Morioka Siqueira pelo apoio e escuta. Vocês enriquecem e tornam a minha vida mais feliz.

Ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto pela paciência, inspiração e direcionamentos que me fizeram compreender muito melhor o mundo da ciência e da pesquisa e enxergar esse mundo como um laboratório.

Ao agricultor Jesiel Santos da Silva que cedeu o seu espaço para que esse trabalho fosse possível. Obrigada pela troca de experiências e pelas conversas, nosso contato foi muito importante.

Ao Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes pelo apoio, contribuições ao longo do trabalho e pelas conversas. À Prof^a. Dra. NátaIi Maidl de Souza pela ajuda estatística, auxílio na compreensão dela e pelas conversas e tricotes. Ao Prof. Dr. Carlos Hugo Rocha pelas contribuições, ajuda e apoio. Ao Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa pelas dúvidas tiradas e pelo apoio. À Prof^a. Dra. Carolina Galvão por ceder espaço no laboratório e tirar as dúvidas sobre microbiologia. Ao Prof. Dr. Eduardo Caires por disponibilizar o laboratório. À Prof^a. Dra. Neyde Giarola pelo apoio nas análises laboratoriais e na análise dos dados de solo. Ao Prof. Dr. Eduardo Agnellos pelas explicações e paciência nas análises de laboratório.

Às minha queridas amigas Ana Kelly Julião e Sâmara Ester Saraiva pelas risadas, novas palavras no vocabulário, cuscuz e todo acolhimento que foi tão especial pra mim. À Eng. Agrôn^a. Aghata Cristie Rewa Charnobay pelo apoio desde o TCC até o mestrado, pela inspiração intelectual e de vida em que você me mostrou ser possível alçar voos cada vez maiores, pela amizade e pela paciência.

Ao Eng. Agrôn^o. Heverton Melo pela ajuda nas análises e pelas boas risadas. Ao Eng. Agrôn^o. Vanderson Duarte e a graduanda Giovanna Alves pela ajuda no laboratório, na análise de dados e pelas conversas. Às minhas amigas da pós-graduação Regiane Kazmierczak e Ariane Lentice de Paula pelas contribuições científicas, conversas animadas e por todo apoio nas análises e elaboração desse trabalho.

À bióloga Daiane Hyeda pela ajuda e a troca de conhecimento microbiológicos. Ao Prof. André Luiz de Francisco, à Eng. Agrôn^a Josiane B. dos Santos por ceder o laboratório do IDR-IAPAR e pelo apoio durante as análises.

Ao Prof. Dr. André Carlos Auler pelo apoio desde a graduação, pela amizade e ótimas contribuições científicas. À minha querida amiga Eng. Agrôn^a. Elida Marina Nogueira pela força e apoio incondicionais desde a quinta série.

Aos companheiros do Laboratório de mecanização agrícola (Lama) Gestora e Empreendedora Wania Kauana Bernardi, Eng Agrôn^o Guilherme Mazer e Waldir Zarrochinski Junior, Geógrafo Átila Santana, Eng Agrôn^a Janaína da Silva e Lícia Fontenelle Rios, ao graduando Alex Silva Santos, muito obrigada pela ajuda e pelo convívio.

Aos graduandos Gabriel Dias Martins e Lana Barboza pela ajuda nas coletas de campo, pelas conversas descontraídas e por todo apoio nas análises e demais afazeres da pesquisa. Às técnicas de laboratório Jaqueline Aparecida Gonçalves e Mariane Gioppo Ferreira pelo auxílio nas análises.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e à Capes por terem proporcionado as condições materiais para que esse trabalho pudesse ser realizado.

“É preciso coragem para ser imperfeito. Aceitar e abraçar as nossas fraquezas e amá-las. E deixar de lado a imagem da pessoa que devia ser, para aceitar a pessoa que realmente sou” (Brené Brown)

RESUMO

GOMES, A. L. **Atributos do solo sob manejos agrícolas camponeses**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-PR, 2021.

O solo é componente da biosfera com efeitos locais, regionais e global, exercendo funções essenciais à vida. A degradação de solo, representa ameaça aos sistemas de produção de alimentos e coloca em pauta a importância dos sistemas agrícolas. Sendo assim, agroecossistemas alternativos, principalmente no âmbito da agricultura camponesa, devem ser discutidos. O sistema agroflorestal, por exemplo, pode contribuir para a melhoria da saúde do solo e dos serviços ecossistêmicos possibilitando agricultura mais sustentável. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo em manejos agrícolas, tendo a agricultura camponesa como base. O estudo foi realizado no pré-assentamento Emiliano Zapata, município de Ponta Grossa – PR. O clima da região é classificado com Cfb e o solo como Latossolo Vermelho-Amarelo. Foram escolhidas três áreas da propriedade com a mesma classe textural do solo e caracterizadas por tipos de manejo: agrofloresta (AF), horta (H) e lavoura (L). Foram coletadas amostras na camada 0-10 cm para os atributos químicos de pH, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, carbono orgânico e alumínio, biológicos carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente microbiano e quociente metabólico e estruturais diâmetro médio ponderado (DMP), macroagregados de diferentes classes de tamanho e microagregados. E na camada 0-10 e 10-20 cm foram mensuradas a condutividade hidráulica saturada (Ksat) densidade, porosidade total, e distribuição de macro, micro e bioporos. O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) também foi realizado. Para as variáveis físicas, com exceção do DRES e do DMP, químicas, com exceção do $H^+ + Al^{3+}$, soma de bases e V% e biológicas, com exceção do qCO₂ e qMIC, do solo fez-se análise multivariada de componentes principais (ACP). O método de análise de componentes principais indicou que existem três grupos com variabilidades diferentes que coincidem com os manejos AF, H e L. A AF apresentou os maiores teores de C orgânico, CTC a pH 7, soma de bases e V%. A melhor qualidade visual da estrutura do solo foi observada para a agrofloresta, bem como o maior DMP e o maior percentual de macroagregados grandes, os quais foram menores para a lavoura e horta. A Ksat foi maior para AF em relação a L. Os atributos microbiológicos indicaram, maior BMS-C e qMIC e menor RBS e qCO₂ para L, AF e H não diferiram para RBS e AF apresentou os menores valores de BMS-C e qMIC. A AF apresentou melhores atributos físicos e químicos enquanto L apresentou melhores atributos biológicos.

Palavras chave: agricultura camponesa; manejo do solo; qualidade do solo; desenvolvimento sustentável

ABSTRACT

GOMES, A. L. **Atributos do solo sob manejos agrícolas camponeses**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-PR, 2021.

Soil is a component of the biosphere with local, regional and global effects, exercising functions essential to life. Soil degradation represents a threat to food production systems and puts into question the importance of agricultural systems. Therefore, alternative agroecosystems, especially in the context of peasant agriculture, must be discussed. The agroforestry system, for example, can contribute to the improvement of soil health and ecosystem services, enabling more sustainable agriculture. The objective of this work was to evaluate the quality of the soil in agricultural managements, with peasant agriculture as the basis. The study was conducted in the Emiliano Zapata pre-settlement, municipality of Ponta Grossa - PR. The climate of the region is classified as Cfb and the soil as Red-Yellow Latosol. Three areas of the property with the same soil textural class were chosen and characterized by types of management: agroforestry (AF), vegetable garden (H) and crop (L). Samples were collected in the 0-10 cm layer for the chemical attributes of pH, potential acidity ($H^+ + Al^{3+}$) and calcium, magnesium, potassium, phosphorus, organic carbon and aluminum contents, biological microbial biomass carbon, soil basal respiration, microbial quotient and metabolic quotient and structural weighted mean diameter (WAD), macroaggregates of different size classes and microaggregates. In the 0-10 and 10-20 cm layers saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) density, total porosity, and distribution of macro, micro, and biopores were measured. The Rapid Soil Structure Diagnosis (SSSD) was also performed. For the physical variables, with the exception of ESRD and DMP, chemical variables, with the exception of $H^+ + Al^{3+}$, base sum and V%, and biological variables, with the exception of qCO_2 and $qMIC$, we performed multivariate principal component analysis (PCA). The principal components analysis method indicated that there are three groups with different variability that coincide with the AF, H and L management. AF presented the highest organic C, CTC at pH 7, base sum and V%. The best visual quality of soil structure was observed for agroforestry, as well as the highest DMP and the highest percentage of large macroaggregates, which were lower for tillage and vegetable garden. The K_{sat} was higher for AF in relation to L. The microbiological attributes indicated, higher BMS-C and $qMIC$ and lower RBS and qCO_2 for L, AF and H did not differ for RBS and AF presented the lowest values of BMS-C and $qMIC$. AF showed better physical and chemical attributes while L showed better biological attributes.

Keywords: peasant; soil management; soil quality; sustainable development

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Áreas e manejos (a) agrofloresta, (b) cobertura do solo na agrofloresta, (c) horta, (d) cobertura do solo na horta, (e) e (f) lavoura com metade da área com milho e metade com feijão. Ponta Grossa – PR, 2021	28
Figura 2: Perfis do solo das áreas de agrofloresta (a), horta (b) e lavoura (c). Ponta Grossa – PR, 2021.....	38
Figura 3: Perfil de elevação das áreas tratamento amostradas. Ponta Grossa – PR, 2021	39
Figura 4: Valor relativo (base massa) de macroagregados grandes (Magg grandes: 4–8 mm), médios (Magg médios: 2–4 mm) e pequenos (Magg pequenos: 0,25–2 mm) e microagregados (0,053–0,25 mm), obtidos por tamisamento úmido, da camada 0-10 cm. Médias seguidas de mesma letra minúscula dentro de uma mesma classe de agregados não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Ponta Grossa – PR, 2021	46
Figura 5: Blocos de solo extraídos e manuseados para o diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). Ponta Grossa – PR, 2021.....	48
Figura 6: Diagrama de ordenação resultante da aplicação análise de componentes principais aos dados de 18 variáveis físicas, químicas e biológicas nos manejos agrofloresta (AF), horta (H) e lavoura (L). Ponta Grossa – PR, 2021	54
Figura 7: Diagrama da contribuição percentual das variáveis físicas, químicas e biológicas resultante da aplicação da análise de componentes principais no estudo multivariado dos manejos agrofloresta (AF), horta (H) e lavoura (L). Ponta Grossa – PR, 2021.....	54
Figura 8: Diagrama de ordenação resultante da aplicação análise de componentes principais aos dados de 18 variáveis físicas, químicas e biológicas nos manejos agrofloresta (AF), horta (H) e lavoura (L). Ponta Grossa – PR, 2021...	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Teores de areia, argila e silte na camada de 0-0,10, dos pontos amostrais escolhidos, nas áreas de agrofloresta, horta e lavoura. Ponta Grossa – PR, 2021.....	30
Tabela 2:	Teor de areia, argila e silte e profundidade dos horizontes A, AB e B tratamentos Agrofloresta (AF), Horta (H) e Lavoura (L). Ponta Grossa 2021.....	35
Tabela 3:	Análise descritiva dos atributos químicos dos horizontes A, AB e B nas áreas de agrofloresta (AF), horta (H) e lavoura (L). Ponta Grossa – PR, 2021.....	36
Tabela 4:	Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para a análise dos atributos químicos nos manejos. Ponta Grossa – PR, 2021.....	38
Tabela 5:	Análise descritiva dos atributos químicos dos tratamentos Agrofloresta (AF), Horta (H) e Lavoura (L) na camada 0-10 cm. Ponta Grossa – PR, 2021.....	39
Tabela 6:	Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para a análise dos atributos físicos nos manejos nas camadas 0-10 e 10-20 cm. Ponta Grossa – PR, 2021.....	42
Tabela 7:	Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para a análise dos atributos de agregação nos manejos na camada 0-10 cm. Ponta Grossa – PR, 2021.....	43
Tabela 8:	Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para a análise dos atributos de agregação nos manejos na camada 0-10 cm. Ponta Grossa – PR, 2021.....	45
Tabela 9:	Análise descritiva para os atributos estruturais de agregação do solo para os manejos na profundidade de 0-10 cm. Ponta Grossa –PR, 2021.....	46
Tabela 10:	Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) nos manejos. Ponta Grossa – PR, 2021.....	47
Tabela 11:	Análise descritiva do Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) conforme DRES para os tratamentos. Ponta Grossa – PR, 2021.....	48
Tabela 12:	Análise descritiva dos atributos biológicos do solo para os manejos na profundidade de 0-10 cm. Ponta Grossa – PR, 2021.....	49
Tabela 13:	Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para a análise dos atributos biológicos nos manejos na camada 0-10 cm. Ponta Grossa – PR, 2021.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	AGRICULTURA CAMPONESA E CONSERVAÇÃO DO SOLO.....	14
3.2	MANEJO AGROECOLÓGICO.....	15
3.3	QUALIDADE DO SOLO.....	17
3.4	INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.....	18
3.4.1	Indicadores físicos.....	18
3.4.2	Indicadores químicos.....	20
3.4.3	Indicadores biológicos.....	21
3.5	EFEITOS DO MANEJO SOBRE OS ATRIBUTOS DO SOLO.....	22
3.6	ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS.....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1	CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA.....	25
4.2	TRATAMENTOS.....	25
4.3	ESCOLHA DOS PONTOS AMOSTRAIS.....	29
4.4	AMOSTRAGENS DE SOLO.....	30
4.5	MÉTODOS E AVALIAÇÕES.....	31
4.5.1	Análise granulométrica.....	31
4.5.2	Agregação e estabilidade de agregados.....	31
4.5.3	Atributos físicos e condutividade hidráulica saturada do solo.....	32
4.5.4	Atributos químicos do solo.....	33
4.5.5	Atributos biológicos do solo.....	33
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1	CLASSE TEXTURAL E PERFIL DO SOLO.....	34
5.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS.....	37
5.3	ATRIBUTOS FÍSICOS E ESTRUTURAIS.....	41
5.4	DIAGNÓSTICO RÁPIDO DA ESTRUTURA DO SOLO (DRES).....	47
5.5	ATRIBUTOS BIOLÓGICOS.....	49
5.6	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	52
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
7	CONCLUSÕES.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

O solo é um componente da biosfera terrestre com efeitos locais, regionais e global que tem influência não somente no sistema agrícola configurando a base da produção agrícola, mas também exerce funções ecossistêmicas essenciais que sustentam a vida na Terra (DORAN; PARKIN, 1994). Os serviços ecossistêmicos que o solo desempenha incluem: suporte a infraestruturas e biodiversidade, regulação de ciclos biogeoquímicos, armazenamento de informações de interesse científico, cultural e artístico, bem como fornecimento de matérias primas, biomassa e recursos genéticos (MEA, 2005).

A degradação global de terras agricultáveis representa ameaça ao sistema global de produção de alimentos e coloca em pauta a importância da gestão adequada dos sistemas agrícolas (PRĀVĀLIE et al., 2021). Os sistemas integrados de produção que promovam serviços sociais, econômicos e ambientais e se adequam ao contexto da agricultura camponesa, que conceitualmente são aqueles que possuem menor quantidade de terra e de recursos econômicos, seriam alternativas ao modelo convencional (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012).

Os agroecossistemas camponeses têm papel fundamental na manutenção da qualidade do solo uma vez que tendem a conservar biodiversidade preservando recursos da paisagem, do solo e a água (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012). O sistema agroflorestal, por exemplo, contribui para a melhoria da saúde do solo e dos serviços ecossistêmicos, possibilitando agricultura e sistemas alimentares mais sustentáveis (MUCHANE et al., 2020).

Dentro desse contexto, surge espaço para a mensuração e avaliação da qualidade do solo através de indicadores sensíveis, capazes de monitorar os efeitos do manejo sobre o solo, e desta forma selecionar práticas que favoreçam sua qualidade. Os indicadores podem ser medidos de forma quantitativa ou qualitativa e são relacionados aos atributos físicos, químicos e biológicos selecionados de acordo com as funções de interesse do solo (KARLEN et al., 1997).

Diante do exposto, objetiva-se avaliar a qualidade do solo em manejos agrícolas tendo a agricultura camponesa como base.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade do solo sob manejo de agrofloresta, lavoura e horta em agroecossistemas camponeses por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mensurar indicadores físicos de condutividade hidráulica saturada, densidade, macro, micro e bioporosidade, granulometria, agregação e qualidade visual do solo sob manejo de agrofloresta, lavoura e horta em agroecossistemas camponeses.
- Mensurar indicadores químicos de pH, soma de bases, acidez trocável, capacidade de troca de cátions, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e carbono orgânico total sob manejo de agrofloresta, lavoura e horta em agroecossistemas camponeses.
- Mensurar indicadores biológicos de biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico e quociente microbiano sob manejo de agrofloresta, lavoura e horta em agroecossistemas camponeses.
- Comparar os sistemas de manejo de agrofloresta, lavoura e horta com base no dimensionamento dos atributos físicos, químicos e biológicos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AGRICULTURA CAMPONESA

A conservação do solo resulta da aplicação de técnicas de prevenção e controle da erosão, da perda de nutrientes e da perda capacidade produtiva, objetivando rendimento maior e constante, sem que haja degradação de suas propriedades físicas, químicas ou biológicas (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2016). Adotando sistemas agroecológicos, os quais preconizam a conservação dos recursos naturais, na qual a conservação do solo é componente fundamental, a agricultura camponesa, sendo esta tradicional ou dos assentamentos da reforma agrária, pode contribuir na construção de uma agricultura alternativa e sustentável (FRADE; SAUER, 2017).

Desde o início do século XX, todos os governos do chamado “primeiro mundo” adotaram políticas agrícolas e fundiárias que favoreceram a afirmação da agricultura camponesa, o que não ocorreu no Brasil. A agricultura patronal, baseada em latifúndios, favorece a concentração de renda e a exclusão social, enquanto a agricultura camponesa apresenta caráter essencialmente distributivo sendo mais vantajosa em termos socioculturais (VEIGA, 1996).

No Brasil, a agricultura camponesa é denominada como agricultura familiar, sendo definida pelo Decreto nº. 3.991, de 30/10/2001 do Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA (BRASIL, 2001), onde são considerados Agricultores Familiares os: a) proprietários, assentados, posseiros, arrendatários, parceiros ou meeiros que utilizem mão-de-obra familiar e tenham até 2 empregados permanentes; b) não detenham, a qualquer título, áreas superiores a 4 módulos fiscais, quantificados na legislação em vigor; c) tenham renda bruta familiar anual com no mínimo 80% dela proveniente da atividade agropecuária e não-agropecuária exercida no estabelecimento e d) residam na propriedade ou em local próximo.

Nesse contexto, a gestão da propriedade é compartilhada pela família e a atividade produtiva agropecuária é a principal fonte geradora de renda. A organização familiar na produção agropecuária apresenta como vantagem a ênfase na diversificação e na maleabilidade de seu processo decisório, caracterizando maior versatilidade e sustentabilidade por apresentar maior estabilidade, resiliência e equidade. A grande biodiversidade das pequenas propriedades é caracterizada por vários tipos de organismos que promovem funções ecológicas benéficas, como insetos predadores naturais, polinizadores, fixadores de nitrogênio, bactérias decompositoras, entre outros (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012).

Como política pública, apenas na década de 90 instituiu-se o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf). Este tem como objetivo incluir e atender crédito para apoio às atividades sócio-produtivas nesse setor. Por se tratar de política pública específica para agricultura familiar, é considerado marco de atuação do Estado (GAZOLLA; SCHNEIDER, 2013).

Em relação aos incentivos institucionais pode-se citar também a Lei nº 11.947/2009 (BRASIL, 2009) que tornou obrigatório o investimento de no mínimo 30% dos repasses do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) na aquisição de produtos da agricultura familiar pelo Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Este tem como objetivo promover a alimentação mais natural e menos processada, portanto mais saudável, bem como viabilizar mercados para esses produtores, promovendo desenvolvimento rural (MACHADO; SILVA, 2004). É prevista na referida política pública, bonificação de 30% para produtos certificados como orgânicos.

Segundo o Censo Agropecuário de 2017, a agricultura familiar é a principal fonte de ocupação da força de trabalho no meio rural, responsável por 67% de todo o pessoal ocupado em agropecuária no Brasil. Esta corresponde a 23% da área de todos os estabelecimentos agropecuários do país, totalizando 80,9 milhões de hectares. O Paraná tem 24% de sua área ocupada por esse tipo de agricultura (IBGE, 2017).

3.2 MANEJO AGROECOLÓGICO

A agroecologia se desenvolve enquanto ciência, movimento social e tecnologias produtivas e tem sido incorporada pelo Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST) desde os anos 2000. No Brasil o modelo de produção agroecológico nos assentamentos e acampamentos de reforma agrária é adotado como prática alternativa ao modelo de produção com base na Revolução Verde.

O sistema agroecológico preconiza produção autônoma, sem a utilização de moléculas químico-sintéticas e sementes transgênicas, bem como a preservação da biodiversidade e dos recursos naturais com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável (FRADE; SAUER, 2017). Nesse contexto, pode-se dizer que a agricultura agroecológica engloba o manejo conservacionista do solo e suas práticas.

O manejo agroecológico compreende técnicas como a diversificação de espécies cultivadas como cereais, leguminosas e forrageiras, com o intuito de conceber um sistema com fertilidade do solo própria e protegido contra danos de pragas (ABROL, 2014; FRANCIS;

WEZEL, 2015; JACKSON, 1980). Em uma comunidade rural, localizada na Amazônia, cuja principal fonte de renda provém da agricultura, observou-se que as principais práticas agroecológicas utilizadas foram consórcio de culturas, sucessão de culturas, utilização de cobertura morta sobre solo, adubação orgânica, controle alternativo de pragas, pousio, entre outras (VALENTE; OLIVEIRA; VIEIRA, 2017).

A abordagem agroecológica incluiu a plena participação dos agricultores e o resgate de conhecimentos tradicionais com o intuito de adaptar técnicas agrícolas adequadas. Este tipo de procedimento implicará em mudanças institucionais e de política, resultando na conservação da agrobiodiversidade e proporcionando segurança alimentar. Nesse contexto, as principais práticas agroecológicas são diversidade de culturas, adubação orgânica e sistemas agroflorestais (BEZNER KERR et al., 2021; ALTIERI, 2002).

Os sistemas agroflorestais conduzidos segundo os princípios agroecológicos podem potencializar a regeneração natural de áreas degradadas. Concluiu-se que o solo da área em recuperação com sistema agroflorestal apresentou maior dinâmica do carbono orgânico e maior disponibilidade de nutrientes em relação ao solo sob pastagem e ao de área degradada (FÁVERO; LOVO; MENDONÇA, 2008).

A agricultura agroecológica, com sua diversidade de práticas, é viável. Proporcionando melhores retornos econômicos que a agricultura convencional, bem como fornecendo mais empregos apoiando as economias regionais, além de utilizar menos combustível fóssil (VAN DER PLOEG et al., 2019). Em outro estudo, no cerrado piauiense, em área de horticultura, observou-se a adoção de técnicas agroecológicas, melhorou estrutura, retenção de água e o teor de matéria orgânica no solo (COSTA et al., 2015).

Como exemplo do potencial do manejo agroecológico pode-se citar as comunidades camponesas do Assentamento do Contestado e do Acampamento José Lutzenberger, localizados na Lapa e em Antonina, respectivamente, no estado do Paraná, as quais adotam práticas agroecológicas de produção, organização, educação e preservação ambiental (FERNANDES; FACCO, 2015). No bioma caatinga, a aplicação do manejo agroecológico em unidades de produção familiar contribuiu positivamente para a capacidade produtiva do solo, uso de insumos, qualidade do produto e diminuição da emissão de poluentes na atmosfera (BARRETO et al., 2010).

3.3 QUALIDADE DO SOLO

Tendo em vista o papel fundamental que o solo desempenha, a conseqüente qualidade do solo se coloca como pauta. De forma geral, a qualidade do solo ou saúde do solo é definida como a capacidade contínua do solo de funcionar como um ecossistema vivo que sustenta plantas, animais e humanos (USDA, 2021).

O solo tem usos diversos na ocupação do espaço, servindo de fundação para infraestruturas com elevada importância social (CHAVES et al., 2012). Na agricultura, pode ser submetido a diferentes tipos de manejo, bem como destaca-se por sua função ambiental, uma vez que constitui a base de funcionamento dos ecossistemas, possibilitando assim a vida na Terra (VEZZANI, 2015).

Os serviços ecossistêmicos que o solo desempenha incluem: suporte (a infraestruturas e a biodiversidade), regulação (ciclos biogeoquímicos), culturais (carrega informações de interesse científico, cultural e artístico) e provisão (fornecimento de matérias primas, biomassa e recursos genéticos) (MEA, 2005).

Os sistemas agrícolas fornecem e consomem serviços ecossistêmicos como de abastecimento, reguladores, provisão e suporte. Sendo assim, a gestão das práticas agrícolas é fundamental para aumentar os benefícios e mitigar os desserviços ecossistêmicos (POWER, 2010).

Embora seja difícil mensurar a qualidade do solo de forma integral, sua avaliação por meio de mecanismos que integram as funções vitais, possibilita visão mais integrada dos ecossistemas (ARAÚJO et al., 2012). Esta pode ser estimada a partir de indicadores, os quais podem ser selecionados de acordo com as funções de interesse do solo e relacionados às suas propriedades possibilitando acompanhar as mudanças dentro do ecossistema (KARLEN et al., 1997).

A avaliação da qualidade do solo é útil para analisar os impactos na qualidade ambiental e a conservação da biodiversidade, quando ecossistemas naturais são convertidos à produção. Sendo assim os indicadores devem permitir o controle, fiscalização e monitoramento de áreas “agrícolas” (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007).

Os indicadores podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos (SNAKIN et al., 1996). Ao mensurar a qualidade do solo por meio de indicadores sensíveis às práticas de manejo, é possível dimensionar os efeitos do manejo sobre o solo e selecionar práticas que favoreçam sua qualidade.

Como as propriedades do solo são influenciadas por inúmeros fatores; tais como como material de origem, posição na paisagem e clima, é impossível obter valores universais e consensuais para mensurar e dimensionar sua qualidade (BÜNEMANN et al., 2018). Com base em valores de referência dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo encontrados na literatura pode-se estabelecer faixas de valores adequados para cada indicador de qualidade podendo assim interpretar se cada atributo do solo avaliado se aproxima do valor desejável (CHAER, 2001).

Comumente os atributos do solo são mensurados por meio dos métodos laboratoriais, o que gera custos e leva tempo para o processamento das amostras. Como alternativa é possível fazer a rápida avaliação da qualidade do solo de forma barata e eficiente, uma vez que podem apresentar correlação significativa com os métodos tradicionalmente usados na ciência do solo (AMADO et al., 2007).

A avaliação visual do solo (AVS) se baseia em atributos morfológicos que podem ser visivelmente distinguidos, como exemplo dela pode-se citar o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) que leva em consideração o tamanho de agregados, presença de raízes, porosidade, grumosidade entre outras características que representem feições de conservação ou degradação do solo. Esta possibilita de forma barata, confiável e rápida a obtenção de informações importantes para o planejamento agrícola e seu direcionamento para práticas de manejo sustentáveis (RALISCH et al., 2017).

Avaliando o desempenho da AVS, em Latossolo Vermelho distroférico típico, em comparação aos métodos de laboratório, conclui-se que houve correspondência. Sendo assim demonstrou-se a possibilidade da AVS em dimensionar qualidade do solo (NIERO et al., 2010). Além de indicadores técnicos e científicos, as ferramentas de avaliação visual da qualidade do solo são mais acessíveis ao agricultor, facilitando a transmissão do conhecimento entre as partes interessadas (LUJÁN SOTO; PADILLA; VENDE, 2020).

3.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

3.4.1 Indicadores físicos

A dinâmica da água no solo, os fatores de manejo como a resistência a tração, a compactação e a dosagem de nutrientes, corretivos e herbicidas e os fatores químicos como a capacidade de troca de cátions, bem como a dinâmica da comunidade microbiana são influenciados pela textura do solo (CENTENO et al., 2017; XIA; RUFTY; SHI, 2020). A

textura é uma característica inerente do solo e pode levar muito tempo para sofrer modificações (KLEIN, 2012), portanto pode ser considerada uma variável controle que pauta a tomada de decisão na escolha das áreas a serem avaliadas.

A estrutura do solo conceituada como o arranjo espacial entre sólidos e vazios é influenciada pela textura do solo e tem influência na regulação, retenção e infiltração de água, trocas gasosas, matéria orgânica e dinâmica de nutrientes, penetração de raízes e suscetibilidade a erosão. Como indicador da estrutura do solo, relacionado a suas funções, pode-se citar a porosidade, macroporosidade, distância e conectividade dos poros (RABOT et al., 2018).

Avaliando a estrutura do solo em sistemas agroflorestais na região Oeste do Paraná, utilizou-se o DRES, para identificar e demonstrar relações entre o desenvolvimento da estrutura do solo e o tempo de implantação dos sistemas agroecológicos (RIBEIRO; PADOVAN; FEIDEN, 2019). O DRES também foi aplicado para a avaliação de agregados após preparo mecânico e cultivo de forrageiras, o que gerou subsídios para a proposição de alterações no manejo (SORIANI et al., 2018).

O manejo agrícola pode afetar a agregação do solo, em Latossolos subtropicais, comparando preparo convencional com o PD. Costa et al. (2004) observaram incremento de $0,15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de carbono orgânico total (COT) no PD, na camada 0-20 cm, o que foi positivamente relacionado com a estabilidade de agregados. A rotação de culturas, por meio do crescimento de raízes e hifas de fungos no solo, também influencia a formação de macro agregados ($>250 \mu\text{m}$) (TISDALL; OADES, 1982).

Wendlin et al. (2005) observaram efeito positivo do PD sobre o diâmetro médio ponderado (DMP), em relação ao preparo convencional, o qual apresentou os menores índices de agregação, destaca-se também a contribuição positiva do uso de gramínea perene sobre a estabilidade de agregados em água. O cultivo agroecológico de cebola o uso de plantas de cobertura em PD, aumentou os teores de COT e DMP, já o sistema convencional teve os menores DMP de 3,425, 3,573, e 3,401 mm nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm respectivamente (LOSS et al., 2015).

O sistema de manejo tende a interferir nas propriedades físicas do solo na camada superficial até 10 cm, comparando o PD com a manejo convencional foi possível identificar diferenças significativas nos atributos do solo nessa camada (SOKOLOWSKI et al., 2020). Os atributos físicos mais utilizados pelos pesquisadores para avaliar a qualidade do solo são: armazenamento de água, densidade e textura (BÜNEMANN et al., 2018).

Outro indicador muito utilizado é a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), onde o método de carga constante em laboratório é um dos mais adequados para mensuração

(MARQUES et al., 2008). Os mesmos autores relatam correlação direta da condutividade hidráulica com densidade e porosidade.

A Kfs de solo sob PD e de mata nativa, foi de 15 e 11 vezes maior, respectivamente, em comparação ao preparo convencional do solo, bem como observou-se maior estabilidade de agregados no PD adotado por mais tempo (ASSIS; LANÇAS, 2005). O revolvimento do solo por meio da escarificação pode aumentar a Kfs significativamente, porém tem seu efeito reduzido com o tempo (TAVARES-FILHO et al., 2006).

3.4.2 Indicadores químicos

Os manejos conservacionistas, baseados na adição de matéria orgânica, tendem a melhorar as propriedades biológicas, químicas e físicas do solo. O húmus, por apresentar propriedades coloidais, ligada com a capacidade de troca de cátions, tem papel fundamental na dinâmica dos nutrientes do solo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, onde as argilas têm baixa atividade ou pouca carga (CENTENO et al., 2017).

A soma de bases apresenta grande amplitude de variação sobre a fertilidade do solo e tem forte relação com o manejo, pois este promove extração desigual das bases do perfil do solo. Esta é resultado das características das culturas, de perdas ou de complexação, o que não ocorre com o teor de P, o qual apresenta pouca relação com os diferentes manejos do solo. A distribuição do carbono orgânico, pH, fósforo, alumínio trocável e saturação por alumínio têm influência direta dos tipos de manejo adotados (SANTANA et al., 2019).

A adubação com composto orgânico, amplamente utilizada na agricultura orgânica, pode resultar em aumento do teor de P e K no solo (MOHAMED et al., 2021). Os esterco de galinha e bovino apresentam altas concentrações totais de N, N-amônio, N-nitrato, P, S, K, Ca, Zn, Cu e B, no entanto demandam maiores cuidados para estabelecer a quantidade a ser utilizada na adubação das culturas (HIGASHIKAWA; SILVA; BETTIOL, 2010). Esses autores relatam que os compostos químicos presentes devem ser avaliados quase que individualmente.

Avaliando pH, P disponível, COT, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , CTC, SB, percentagem de saturação por bases (V%), percentagem de Na^+ e estoque de C em áreas com culturas de ciclo curto, com fruticultura, com pastagem, áreas descartadas e com vegetação nativa, constatou-se que em relação a vegetação nativa as áreas manejadas apresentaram maiores valores de pH, Ca e Mg trocáveis, SB, V % e P disponível, destacando o efeito do manejo do solo sobre a qualidade química (CORRÊA et al., 2009).

Os atributos químicos mais utilizados como indicadores de qualidade do solo são: COT, P e K disponíveis, N total, condutividade elétrica, CTC e N mineral (BÜNEMANN et al., 2018).

O Manual de Adubação e Calagem para o estado do Paraná apresenta os níveis agrícolas críticos destes indicadores (SBCS – NEPAR, 2017).

3.4.3 Indicadores biológicos

A microflora do solo compreende fungos, bactérias e algas. A microfauna tem como principais representantes os protozoários e nematoides. Os fungos se destacam pela capacidade de degradação de compostos e pela associação com as micorrizas que auxiliam na absorção de nutrientes (VAN RAIJ, 2011).

Os microrganismos do solo atuam na decomposição da matéria orgânica, produção de húmus, ciclagem de nutrientes, na agregação do solo e no controle biológico desempenhando papel fundamental na regulação de pestes e vetores transmissores de doenças (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006a; VEZZANI, 2015).

A biomassa microbiana do solo (BMS) pertence ao componente lábil da matéria orgânica do solo e inclui bactérias, fungos, actinobactérias, algas e microfauna, os quais atuam diretamente na ciclagem de nutrientes como agente de transformação da matéria orgânica (ANDERSON; DOMSCH, 2010; BALOTA et al., 1998). Esta é constituída por organismos vivos com volume menor que $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$, e é expressa em μg de carbono por grama de solo seco, o qual estima a massa microbiana viva total e pode ser mensurada com base na concentração de carbono (ANDERSON; DOMSCH, 2010).

A atividade biológica pode ser definida como toda reação bioquímica catalisada pelos organismos do solo, como por exemplo o efeito da excreção de polissacarídeos na agregação do solo. A respiração basal do solo (RBS) pode ser utilizada como parâmetro para quantificar a atividade microbiana, a qual representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo que através de suas funções metabólicas produzem CO_2 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006b).

A relação entre as medidas da biomassa microbiana e respiração do solo correspondem ao quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), o qual estima a eficiência do uso de substrato pelos microrganismos do solo por meio da produção de CO_2 por unidade de biomassa. A razão entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo ($C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$), chamada de quociente microbiano ($q\text{MIC}$) é outro indicador da atividade microbiana dos solos (ANDERSON, 2003).

Em termos ecológicos quando a biomassa microbiana do solo atinge a maturidade, o qCO_2 é baixo refletindo em um alto $qMIC$ devido ao aumento da BMS-C. Já em solos com pH ácido há um aumento do qCO_2 e diminuição do $qMIC$ (ANDERSON; DOMSCH, 1993, 2010). Estas medidas podem ser utilizadas como indicadores de estabilidade, auxiliando no rápido reconhecimento de mudanças no ambiente ocasionadas pelo manejo do solo (ANDERSON, 2003).

Indicadores baseados em microrganismos são fundamentais, pois o funcionamento do solo e sua fertilidade são governados em grande parte pela atividade de decomposição da microflora (ANDERSON, 2003). A respiração basal do solo, a biomassa microbiana e a densidade de minhocas são consideradas indicadores biológicos de qualidade do solo (BÜNEMANN et al., 2018).

3.5 EFEITOS DO MANEJO SOBRE OS ATRIBUTOS DO SOLO

A degradação global de terras cultiváveis através da aridez, erosão, declínio da vegetação, salinização e diminuição do carbono orgânico do solo representa ameaça à produção de alimentos. O Brasil é apontado entre os países mais suscetíveis a degradação de terras agricultáveis (PRÄVÄLIE et al., 2021).

A intensificação da agricultura motivada pelo crescimento populacional ocasionou aumento no consumo de água, energia e de moléculas químicas contribuindo para a degradação do solo em escala global (FOLEY, 2005). O intenso revolvimento do solo interfere principalmente sobre sua estrutura diminuindo a estabilidade de agregados, a retenção de água e o estoque de carbono (CRITTENDEN et al., 2015; TUZZIN DE MORAES et al., 2016).

No contexto da agricultura camponesa a agricultura de conservação se refere a um conjunto de práticas agrícolas que incluem revolvimento mínimo do solo, cobertura permanente, com resíduos vegetais ou culturas de cobertura, e diversificação do sistema de cultivo (FAO, 2021).

Em comparação com as práticas convencionais, a agricultura de conservação aumenta o teor de matéria orgânica na camada superior condicionando outras propriedades e processos do solo que resultam em redução da erosão e escoamento e melhoria na retenção e armazenamento de água favorecendo a produção em períodos de seca (PALM et al., 2014; CENTENO et al., 2017).

Práticas de conservação do solo como a utilização de culturas de cobertura tem efeito em suas propriedades como no conteúdo de água no solo, atividade microbiana, sequestro de

carbono, lixiviação de nitrato, dinâmica da água, temperatura e conseqüentemente na saúde do solo. A manutenção de cobertura reduz impacto da gota da chuva e da evaporação de água da superfície, conservando água no solo e maior disponibilidade para as plantas (SHARMA et al., 2018).

Avaliando a qualidade do solo (QS) em duas áreas experimentais de sistema PD e convencional com diferentes sistemas de cultura, preparo do solo e adubação mais uma área com solo descoberto e outra de campo natural através da dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana demonstrou-se que a QS foi alterada pelos sistemas de manejo em ambas as áreas experimentais (CONCEIÇÃO et al., 2005).

A aplicação de adubo orgânico, muito utilizada na produção de hortaliças no sistema orgânico, pode influenciar os atributos do solo. Mensurando o COT, macroporosidade, condutividade hidráulica saturada, diâmetro e estabilidade de agregados, densidade e resistência do solo a penetração constatou-se que tipos de cama de frango resultaram em degradação ou conservação dos atributos do solo em relação à vegetação nativa (VALADÃO et al., 2011).

Em diferentes sistemas de cultivo de hortaliças observou-se que o PD, apresentou redução de 90% na taxa de perda de água e apresentou 11 vezes menos perda de solo em relação ao preparo convencional. Entretanto houve diminuição de P e K nos sistemas conservacionistas (SOUZA; MADEIRA; FIGUEIREDO, 2014). Quanto a biomassa e a atividade microbiana, em solo sob aplicação de seis fontes de adubos orgânicos obteve-se os maiores valores para o esterco de aves e bovino (MÜLLER et al., 2014).

Os sistemas agroflorestais (SAF) em comparação ao cultivo de monoculturas podem reduzir a erosão do solo, aumentar o armazenamento de N, carbono orgânico, pH e a disponibilidade de N e P inorgânicos para as culturas (MUCHANE et al., 2020). A utilização de árvores, como componente do manejo, tem potencial para aumentar a biodiversidade de plantas e organismos e melhorar os serviços ecossistêmicos fornecidos pelo solo (BARRIOS et al., 2018).

Comparando agroecossistemas de SAF, cacauzeiro sob manejo agroecológico, pastagem e floresta nativa, demonstrou-se a influência destes sobre os atributos físicos e estoques de carbono no solo, onde a menor correspondência do SAF em relação a floresta nativa pode estar relacionada ao arranjo das espécies utilizadas (MASCARENHAS et al., 2017).

3.6 ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS

O dimensionamento de indicadores de qualidade do solo alguns físicos, alguns químicos e outros biológicos, levam a análises mais complexas, tanto qualitativamente quanto quantitativamente. Nesse contexto, cientistas do solo utilizam técnicas de análise multivariada para estabelecer relações entre os tratamentos e os atributos avaliados. Através da análise conjunta dos atributos físicos, químicos e biológicos, pode-se separar áreas, identificar indicadores, avaliar efeitos além de diferenciar manejos e uso do solo (FRANCHINI et al., 2007; SILVA et al., 2014).

Com vistas a tomada de decisão neste tipo de estudo, a análise multivariada, disponibiliza conjunto de métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas variáveis (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA, 2015; JAMES; MCCULLOCH, 1990). Diante disso, a análise de componentes principais (ACP) é uma das técnicas estatísticas mais utilizadas. Os componentes principais são resultado da transformação de um conjunto original de variáveis num conjunto menor de variáveis que contém a maior parte da informação do conjunto original (JOHNSON; WICHERN, 1984).

A ACP é amplamente utilizada para analisar variáveis do solo. No bioma Cerrado, estudando atributos físicos, químicos e mineralógicos, observou-se correlação positiva entre a retenção de água e os teores de argila e carbono orgânico nos horizontes superficiais. Com o auxílio da ACP foi possível compreender as diferenças e similaridades dos ambientes pedológicos separados no campo (GOMES et al., 2004).

Utilizando ACP para realizar a redução na dimensionalidade de variáveis de atributos químicos e físicos do solo para a compreensão da variabilidade espacial e temporal da produtividade de grãos, agrupou-se tais atributos em fatores, sendo que somente duas variáveis conseguiram explicar 91% da variabilidade (SANTI et al., 2012). Com uso de técnicas multivariadas, em estudo temporal (1993-2003) e espacial, conseguiu-se classificar municípios do Amapá quanto a fertilidade do solo (MELÉM JUNIOR et al., 2008).

O uso de técnicas estatísticas multivariadas pode facilitar a avaliação do comportamento dos atributos do solo, uma vez que em comparação com a análise univariada, permite obter maior número de interpretações (CRUZ; REGAZZI, 2001). A tomada de decisão baseada nas informações obtidas sobre o efeito do manejo nos atributos do solo possibilita o estabelecimento de práticas adequadas de manejo do solo (FREITAS et al., 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA

A área de estudo está localizada no pré-assentamento Emiliano Zapata, distrito de Itaiacoca, município de Ponta Grossa – PR, (25° 8'7.02"S e 50° 2'33.96"O e altitude de 900 m). O Clima é Cfb de acordo com a classificação de Koppen, apresentando precipitação média anual entre 1400-1600 mm e temperatura média anual entre 17,1 e 19 °C (NITSCHKE, 2021). Nessa região predominam Latossolos e Cambissolos (EMBRAPA, 2006).

O município de Ponta Grossa, inserido no segundo planalto paranaense, possui geologia caracterizada pelo Grupo Itararé, Formações Furnas e Ponta Grossa. A Formação Furnas pode ser descrita como sucessão monótona de arenitos quartizosos, enquanto a Formação Ponta Grossa é constituída por folhelhos e siltitos, as quais podem dar origem a diferentes classes de solo de acordo com o relevo e o clima da região (GUIMARÃES et al., 2014).

Com base em fotografias aéreas e imagens de satélites, pertencentes ao acervo do Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama/UEPG), pode-se verificar que a área onde hoje está localizado o pré-assentamento foi utilizada como pastagem nativa até final da década de 1980, quando cerca de 90% da área era caracterizada como campo nativo. Na década de 90 passou a ser utilizada como lavoura (soja/milho), e os campos nativos foram reduzidos para cerca de 15%. A partir de 2002 se tornou acampamento de reforma agrária, dividida em lotes, distribuídos entre as famílias acampadas, os quais adotaram sistemas de produção com base na realidade da agricultura camponesa brasileira. Atualmente a área ainda é manejada de forma diversificada com áreas de horticultura convencional e orgânica, agroflorestas, produção de grãos, pastagens, entre outras.

4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O caso descrito, de pré-assentamento, denota parcela da agricultura brasileira, que por sistemas produtivos e comerciais não adaptados, possui problemas sérios para manutenção da terra. Sendo assim, para viabilização da agricultura camponesa, sistemas produtivos devem ser alternativos aos propagados pela Revolução Verde (ROCHA e WEIRICH NETO, 2016).

Como citado anteriormente, os SAF tendem a contemplar os novos conceitos de desenvolvimento rural sustentável, preconizam conservação de água e solo, diminuição do uso de moléculas sintéticas, entre outros. Com vistas a melhorar entendimento desse tipo de manejo,

procurou-se dimensionar qualidade de solo em comparação a outros sistemas de manejo mais tradicionais.

Os manejos estudados foram denominados como lavoura (L), agrofloresta (AF) e horta (H) (Figura 1). Os referidos encontravam-se em mesma propriedade e os pontos amostrais foram escolhidos com base na textura do solo.

Figura 1: Áreas e manejos (a) agrofloresta, (b) cobertura do solo na agrofloresta, (c) horta, (d) cobertura do solo na horta, (e) e (f) lavoura com metade da área com milho e metade com feijão. Ponta Grossa – PR, 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Foram escolhidos, em cada manejo, oito pontos amostrais (repetições) para as variáveis químicas e para densidade, bioporosidade, porosidade total, macro e microporosidade e condutividade hidráulica saturada, e devido a variabilidade maior, doze pontos amostrais (repetições) para a agregação e para análise biológica. Para a realização do diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) foram escolhidos cinco pontos distribuídos aleatoriamente em cada área de manejo.

O sistema agroflorestal (AF) foi implantado em novembro de 2017 e vem sendo conduzido desde então com diversas espécies arbóreas (Quadro 1). Não foi realizada adubação. Na implantação do sistema e aplicou-se 5 Mg ha⁻¹ de calcário, nesse momento utilizou-se a enxada rotativa, após não houve mais revolvimento do solo.

Quadro 1: Espécies arbóreas que compõe a linha florestal da agrofloresta. Ponta Grossa – PR, 2021

Nome comum	Nome científico	Objetivo
Eucalipto	<i>Eucaliptus sp.</i>	Matéria orgânica e madeira
Banana	<i>Musa sp.</i>	Matéria orgânica e frutas
Amora	<i>Morus sp.</i>	Matéria orgânica e frutas
Neem	<i>Azadirachta indica</i>	Matéria orgânica
Abacate	<i>Persea sp.</i>	Matéria orgânica e frutas
Ameixa	<i>Prunus sp.</i>	Matéria orgânica e frutas
Goiaba	<i>Psidium sp.</i>	Matéria orgânica e frutas
Limão	<i>Citrus sp.</i>	Matéria orgânica e frutas
Araucária	<i>Araucaria angustifolia</i>	Matéria orgânica
Santa Bárbara	<i>Melia azedarach L.</i>	Matéria orgânica e madeira
Uva Japão	<i>Hovenia sp.</i>	Matéria orgânica

*matéria orgânica – massa vegetal oriunda de podas, utilizada nas coberturas dos canteiros com incorporação biológica natural. Fonte: A autora

Nas entrelinhas do componente florestal, distância de 6,5 m, orientadas no sentido Leste-Oeste, são cultivadas hortaliças em canteiros. A cobertura dos canteiros é feita a cada três meses, aproximadamente, e provém da vegetação espontânea principalmente braquiária (*Brachiaria sp.*) e da poda das árvores. No momento das amostragens observou-se camada de aproximadamente 7 cm de cobertura vegetal sobre o solo (Figura 1).

A horta (H) foi implantada em 2018. Neste momento, não foi realizado correção de fertilidade e nem de acidez. Os canteiros foram formados utilizando-se enxada rotativa e posteriormente foram mantidos sem revolvimento. O solo é mantido coberto, pela deposição de

vegetação espontânea cortada, principalmente braquiária (*Brachiaria sp.*), disponível na propriedade (Figura 1).

A lavoura (L) é conduzida desde 2017 somente para safras de verão, após a colheita a área permanece em pousio por aproximadamente 7 meses, período em que a vegetação espontânea se desenvolve livremente. No primeiro ano de semeadura fez-se a adubação em área total com cama de aviário na dose de aproximadamente 5 Mg ha⁻¹, a qual não foi incorporada. No segundo ano de semeadura, distribui-se em área total e incorporou-se, com a passagem de grade, 2,5 Mg ha⁻¹ de calcário. Nessa área, cultiva-se milho e feijão, com sementes salvas de safras anteriores, semeadas manualmente por meio de semeadora do tipo matraca (Figura 1).

O controle das plantas espontâneas na lavoura é realizado por meio de cultivador com tração animal e capina manual. A adubação, na safra 2020/2021, foi realizada com 100 kg ha⁻¹ de fertilizante orgânico no momento da semeadura. Este é disponível comercialmente com o nome de Adubos Ouro[®], sendo basicamente cama de aviário, compostada, peneirada e peletizada a 65°C.

Na horta e na agrofloresta é realizada a semeadura e transplântio manual de várias espécies de hortaliças, de verão e inverno, tais como: alface, abobrinha, beterraba, brócolis, couve-flor, repolho, entre outras. Nestes sistemas a adubação é feita com composto orgânico toda vez que nova hortaliças são implantadas. Para culturas transplantadas em berços utiliza-se aproximadamente 0,8 kg em cada berço e para as culturas semeadas, 2,4 kg m⁻² de composto orgânico espalhados na superfície. Os canteiros têm largura, de aproximadamente 1 m, na agrofloresta tem 50 m de extensão e na horta 52 m.

Em todas as áreas as culturas são manejadas de acordo com os preceitos legais para certificação de produtos orgânicos, sem o uso de moléculas sintéticas do tipo fertilizantes altamente solúveis e agrotóxicos.

4.3 ESCOLHA DOS PONTOS AMOSTRAIS

A textura é uma característica inerente do solo e representa razoavelmente a sua origem. Esta influencia o comportamento do solo uma vez que tem relação com: dinâmica da água, com fatores de manejo como a resistência a tração, compactação, dosagem de nutrientes, corretivos e herbicidas e com fatores químicos, como a capacidade de troca de cátions (CENTENO et al., 2017; KLEIN, 2012). Sendo assim, realizou-se dimensionamento espacial da textura visando determinação dos pontos amostrais. Deste modo, espera-se que a variação estrutural, química e biológica seria proporcionada pelo manejo do solo.

Com o intuito de escolha dos pontos amostrais fez-se análise de textura por meio de amostras com trado calador (quatro repetições), na profundidade de 0-10 cm (Tabela 1). A amostragem seguiu o gradiente topográfico e foi georreferenciada.

Tabela 1: Teores de areia, argila e silte na camada de 0-0,10, dos pontos amostrais escolhidos, nas áreas de agrofloresta, horta e lavoura. Ponta Grossa – PR, 2021

Tratamento	Repetição	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)
Agrofloresta	1	639,6	108,0	252,3
	2	618,2	104,1	277,8
	3	599,9	121,2	278,8
	4	606,1	140,1	253,8
Média		615,9	118,3	265,7
Horta	1	649,9	98,2	251,9
	2	616,2	105,5	278,3
	3	632,5	114,6	252,9
	4	622,3	125,1	252,6
Média		630,2	110,8	258,9
Lavoura	1	618,3	104,6	277,1
	2	627,6	95,1	277,3
	3	637,9	83,9	278,1
	4	644,3	75,4	280,2
Média		632,0	89,7	278,2

Fonte: A autora

4.4 AMOSTRAGENS DE SOLO

As coletas foram realizadas em oito/doze pontos distribuídos de forma aleatória em cada manejo, próximo aos pontos amostrados de textura (Tabela 1). A maioria das variáveis foram dimensionadas na profundidade de 0-10 cm. Esta é a camada do solo, inicialmente, mais afetada pelo tipo de manejo. Nesta há ação direta do uso de implementos agrícolas e pressões físicas exercidas sobre o solo, influência do acúmulo de resíduos orgânicos depositados, portanto apresenta maior variabilidade e consequentes alterações dos atributos de qualidade do solo (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007; KONDO; DIAS JUNIOR, 1999).

Para a avaliação da condutividade hidráulica saturada em laboratório, em oito pontos amostrais foram coletados anéis volumétricos, aproximadamente 0,04-0,05 × 0,05 m – diâmetro e altura, com trado de Uhland nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

Como relatado, não se aplicou a aleatorização, porém todos os cuidados foram tomados para bloquear o maior número de variáveis de controle. O sugerido, possui objetivo similar aos

de um experimento, segue princípios de controle local e de replicação, e é chamado de quase-experimento (SHADISH et. al. 2001).

As amostras da lavoura foram coletadas durante o ciclo do milho, na agrofloresta e na lavoura coletou-se durante o cultivos de hortaliças de forma diversificada.

4.5 MÉTODOS E AVALIAÇÕES

4.5.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica do solo foi obtida pelo método do densímetro. Para tanto foram coletadas amostras deformadas com quatro repetições na profundidade de 0-10 cm. As amostras inicialmente foram passadas em peneira de 2 mm e secas em estufa a 40 °C por 24 h para posterior análise (EMBRAPA, 2011). As amostras foram submetidas a dispersão química com hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio e dispersão mecânica lenta por 16 horas e 120 oscilações por minuto, segundo metodologia adaptada do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

4.5.2 Agregação e estabilidade de agregados

Os monólitos (0,15 × 0,10 × 0,05 m – largura, comprimento e espessura) foram coletados com o auxílio de espátula de corte foram manualmente desagregados ainda úmidos seguindo as linhas de fraqueza do solo e passados em peneira de 8 mm de abertura de malha. As classes de agregados foram separadas por meio de tamisamento úmido de acordo com o método de Yoder (1936) com as adaptações propostas por Castro Filho et al. (1998). Para a avaliação da estabilidade de agregados via úmida cada amostra foi separada em 4 subamostras de 100 g.

O conjunto de peneiras de utilizado foi de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50, 0,25 e 0,053 mm de diâmetro com três jogos de peneiras onde as amostras foram analisadas em triplicata. O tamisador foi acionado por 15 min, a 25 oscilações por minuto com uma altura de 5 cm.

As porções de solo retidas em cada peneira foram transferidas para copos plásticos previamente pesados e identificados e submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60° C. A partir dos valores da massa seca de cada classe de agregados e conhecendo os teores de umidade das amostras de solo submetidas ao tamisamento foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP, mm) (Equação 1):

$$DMP = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot x_i) \quad (1)$$

Em que: w_i = massa de cada classe em gramas e x_i = diâmetro médio das classes expressa em mm.

Os agregados foram separados por classes de diâmetro médio em macroagregados grandes (4-8 mm), macroagregados médios (2-4 mm), macroagregados pequenos (0,25-2 mm) e microagregados (0,053-0,25 mm) (TISDALL E OADES, 1982).

4.5.3 Atributos físicos estruturais e condutividade hidráulica saturada do solo

Os anéis volumétricos (0,04-0,05 × 0,05 m – diâmetro e altura) foram coletados nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, com o auxílio de amostrador de Uhland. As determinações da densidade e microporosidade do solo ocorreram pelo método da mesa de tensão. A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico. A porosidade total foi obtida por meio da relação existente entre a densidade do solo e a densidade de partículas, a macroporosidade pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 2011).

A condutividade hidráulica saturada do solo (K_{sat}) foi determinada em laboratório, pelo método de carga constante (EMBRAPA, 2011). Tendo em vista que o método de laboratório não apresenta diferença significativa com o método de campo (TREVISAN et al., 2009). Esse método foi realizado utilizando o solo em anéis volumétricos, os quais foram previamente saturados por 48 horas e sobre eles foi aplicada uma coluna de água constante de 7,6 cm por meio de um frasco de Mariotte (Figura 2). A K_{sat} foi calculada de acordo com Embrapa, 2011 (Equação 2):

$$K_{sat} = Q \times L / A \times H \times t \quad (2)$$

Em que: K_{sat} = condutividade hidráulica, cm h^{-1} ; Q = volume percolado, mL; L = altura do bloco de solo, cm; H = altura da amostra de solo e da coluna, cm; A = área do cilindro, cm^2 e t = tempo, h.

A avaliação visual da qualidade do solo foi feita pelo método do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) de acordo com Ralisch et al., 2017. A amostragem foi realizada com o solo friável com teor de água adequado. Foram avaliadas 5 amostras em cada área de manejo,

às quais foram atribuídas notas com base em feições de degradação ou de conservação física e biológica dos agregados, sendo 1 a pior e 6 a melhor qualidade estrutural do solo. Atribuiu-se notas para cada camada da amostra e posteriormente calculou-se a média ponderada da amostra.

4.5.4 Atributos químicos do solo

Para a avaliação dos indicadores químicos de qualidade do solo foram coletadas amostras deformadas nas profundidades 0-10 cm. Estas amostras foram analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual de Ponta Grossa onde foram determinados: pH, soma de bases, acidez trocável, capacidade de troca de cátions, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e carbono orgânico total.

Os teores de COT foram determinados pelo método do colorímetro após extração com dicromato de sódio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,667 \text{ mol L}^{-1}$) adicionado em ácido sulfúrico (5 mol L^{-1}) e quantificado por espectrometria de absorção molecular. O pH foi mensurado em solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) em solução tampão SMP, ambos por potenciometria. Os teores de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) foram extraídos com solução KCl 1 mol L^{-1} sendo o Al quantificado por titulometria com solução de hidróxido de sódio (NaOH) $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ e o Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica. O fósforo (P) disponível e o potássio (K^+) trocável foram mensurados por extração com solução de Mehlich 1 e quantificação realizada por espectrofotometria de emissão em chama para K^+ e espectrometria de absorção molecular para P (PAVAN et al., 1992).

A soma de bases (SB) foi calculada a partir da soma das concentrações dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . A capacidade de troca de cátions (CTC a pH 7) do solo foi obtida pela soma dos cátions trocáveis do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ e Al^{3+}). A saturação por bases (V%) foi estimada pela divisão da SB pela CTC a pH 7. A saturação por Al^{3+} (m%) foi calculada pela divisão da concentração de Al^{3+} pela CTC Efetiva ($\text{SB} + \text{Al}^{3+}$) (EMBRAPA, 2011).

4.5.5 Atributos biológicos

As amostras coletadas foram imediatamente acondicionadas em caixas térmicas e transportadas para o laboratório. As amostras foram preparadas para as análises passando por peneira de 2 mm para remover raízes e resíduos de plantas.

O carbono da biomassa microbiana (BMS-C) foi determinado pelo método de fumigação-extração, onde a fumigação foi realizada com clorofórmio sem etanol durante 24

horas em dessecador automático, no escuro, utilizando-se 10 g de solo. Posteriormente, a extração foi realizada com K_2SO_4 . O BMS-C foi obtido através da diferença da quantidade de carbono extraído da amostra fumigada e da amostra não fumigada (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987).

Para determinação da respiração basal do solo (RBS) utilizou-se 50 g de solo incubadas a temperatura de 26°C. O CO_2 liberado foi capturado por 20 ml de solução de NaOH 0,5 M. Após 7 dias de incubação, o NaOH 0,5 M foi quantificado por titulação com solução de HCl 0,5 mol L^{-1} , sendo adicionado imediatamente antes 1 ml de $BaCl_2$ 1M, para impedir que o Na_2CO_3 formado através do processo de respiração seja desdobrado em NaOH + CO_2 . Foram acrescentadas três gotas de indicador ácido/base fenolftaleína 1%, para a realização da titulação (JENKINSON; POWLSON, 1976).

O quociente metabólico (qCO_2) foi determinado pela relação entre RBS e o BMS-C. O quociente microbiano ($qMIC$) foi determinado pela relação entre o BMS-C e carbono orgânico total do solo (ANDERSON, 2003). O carbono orgânico total na camada 0-10 cm foi determinado pelo método do colorímetro após extração com dicromato de sódio ($Na_2Cr_2O_7$ 0,667 mol L^{-1}) adicionado em ácido sulfúrico (5 mol L^{-1}) e quantificado por espectrometria de absorção molecular.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

De posse dos valores das variáveis mensuradas, estes foram submetidas a estudos preliminares quanto a homogeneidade e normalidade, após às análises de variância e teste de médias de t-Student. Para as variáveis físicas, químicas e biológicas do solo fez-se análise de componentes principais (ACP) após a padronização dos dados. As análises foram realizadas com auxílio do software R, versão 4.1.1 (R CORE TEAM, 2013) e os contrastes ortogonais por meio do software Sisvar, versão 5.8 (Build 92) (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CLASSE TEXTURAL E PERFIL DO SOLO

Os valores de estatística descritiva para os atributos químicos dos horizontes A, AB e B de acordo com o sistema de manejo do solo são apresentados na Tabela 3.

A granulometria dos perfis do solo para o horizonte A, AB e B para cada tratamento são apresentados na Tabela 2. Constatou-se semelhanças no perfil do solo nas diferentes áreas quanto a coloração e profundidade do horizonte A.

Tabela 2: Teor de areia, argila e silte e profundidade dos horizontes A, AB e B para os tratamentos Agrofloresta (AF), Horta (H) e Lavoura (L). Ponta Grossa – PR, 2021

Tratamento	Profundidade (m)	Horizonte	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Classe textural
AF	0-0,24	A	623,6	72,4	303,9	Franco-argilo-arenoso
	0,24-0,38	AB	586,6	84,3	329,0	Franco-argilo-arenoso
	0,51-1+	B	533,2	62,1	404,7	Argilo-arenoso
H	0-0,35	A	646,8	74,6	278,6	Franco-argilo-arenoso
	0,35-0,45	AB	601,4	73,5	325,1	Franco-argilo-arenoso
	0,57-1,05+	B	549,1	99,8	351,0	Argilo-arenoso
L	0-0,26	A	597,2	127,7	275,0	Franco-argilo-arenoso
	0,26-0,39	AB	571,2	116,2	312,5	Franco-argilo-arenoso
	0,49-1+	B	499,2	175,7	325,0	Franco-argilo-arenoso

Legenda: AF: agrofloresta; H: horta; L: lavoura. Fonte: A autora.

Com base nas análises de granulometria (Tabela 2) e químicas (Tabela 3), os perfis de solo analisados têm horizonte B latossólico. Este se enquadra em parâmetros como: pouco contraste de cor entre os horizontes de transição e maior contraste em relação ao horizonte A (Figura 2), têm espessura maior que 50 cm, textura franco-argilo-arenosa, relação silte/argila inferior a 0,7 e CTC menor que 17 cmol_c kg⁻¹ de argila, horizonte próprio da classe dos Latossolos (SiBCS, 2018; KER, 1997; MACHADO SÁ, 2014).

Além do relatado, apresenta textura média, sendo assim o mesmo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo. Este tipo de solo é considerado o de maior potencial agrícola na Região dos Campos Gerais do Paraná.

Tabela 3: Análise descritiva dos atributos químicos dos horizontes A, AB e B nas áreas de agrofloresta (AF), horta (H) e lavoura (L). Ponta Grossa – PR, 2021

Tratamento	Horizonte	Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	P (mg dm^{-3})	C (g kg^{-1})	pH	H+Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	CTC pH 7 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	SB ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	V%	m%
AF	A	0	5,39	2,02	0,40	32,92	20	6,09	2,36	10,17	7,81	76,79	0
	AB	0,36	1,71	1,48	0,27	6,69	10	5,18	4,61	8,07	3,46	42,87	9,42
	B	0,56	0,60	0,98	0,05	1,22	8	4,65	5,15	6,78	1,63	24,04	25,57
H	A	0	4,46	1,99	0,44	67,93	17	5,62	3,30	10,19	6,89	67,62	0
	AB	0,03	2,15	2	0,1	6,04	11	5,39	4,12	8,37	4,25	50,78	0,70
	B	0,35	1,13	1,65	0,1	1,71	6	4,88	4,44	7,32	2,88	39,34	10,84
L	A	0	3,49	6,31	0,1	8,14	15	6,18	3,42	13,32	9,90	74,32	0
	AB	0,42	1,36	3,64	0,05	2,79	9	4,82	5,55	10,60	5,05	47,64	7,68
	B	0,68	0,68	3,82	0,03	2,47	7	4,58	5,35	9,88	4,53	45,85	13,05

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta, L: lavoura

Al: alumínio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Ca: cálcio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Mg: magnésio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), K: potássio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), P: fósforo (mg dm^{-3}), C: carbono orgânico total (g kg^{-1}), H+Al: acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), CTC a pH 7 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), SB: soma de bases ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), V%: saturação por bases (%), m%: saturação por alumínio (%)

Figura 2: Perfis do solo das áreas de agrofloresta (a), horta (b) e lavoura (c). Ponta Grossa -PR, 2021



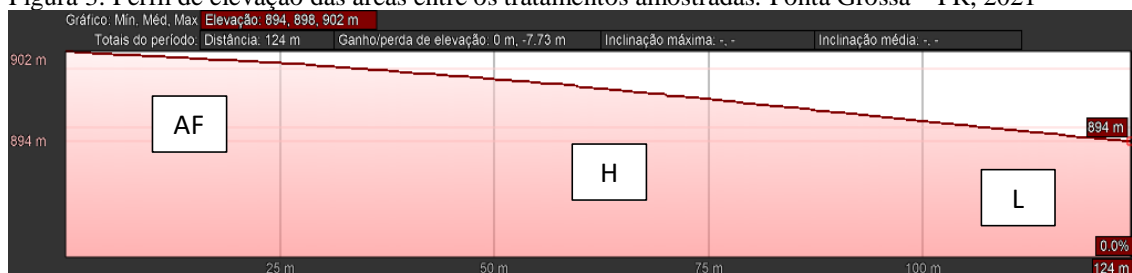
Fonte: A autora

Quanto aos atributos químicos para os horizontes A, AB e B, conforme tratamentos, observa-se valores maiores de de P e K no horizonte A dos tratamentos agrofloresta e horta em comparação a lavoura (Tabela 3). Estes podem ser atribuídos a utilização de composto orgânico na adubação das hortaliças (MOHAMED et al., 2021) e provável início de reciclagem pelo componente florestal na agrofloresta.

Os pontos amostrados possuem gradiente topográfico de 6,45% ao longo das áreas (Figura 3). Sendo a agrofloresta o ponto mais alto com gradiente topográfico de 4,7% em relação a horta e de 1,75% da horta para a lavoura. A pequena variação do teor de areia entre

as áreas amostradas se relaciona com o baixo gradiente do terreno (DOS SANTOS; SALCEDO; CANDEIAS, 2002).

Figura 3: Perfil de elevação das áreas entre os tratamentos amostradas. Ponta Grossa – PR, 2021



Legenda: AF: Agrofloresta, H: horta e L: lavoura

5.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS

A análise de variância e teste de t demonstraram que houve algum tipo de efeito significativo ($p < 0,05$) do manejo do solo em todos os atributos químicos avaliados, exceto para Mg^{2+} . Os contrastes ortogonais entre os tratamentos são demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para a análise dos atributos químicos (0-10 cm) conforme manejos. Ponta Grossa – PR – 2021

Contrastes	Ca ($cmol_c$ dm^{-3})	Mg ($cmol_c$ dm^{-3})	K ($cmol_c$ dm^{-3})	P (mg dm^{-3})	C (g kg^{-1})	pH	H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	CTC pH 7 ($cmol_c$ dm^{-3})	SB ($cmol_c$ dm^{-3})	V%
L x H	0,132	0,666	0,006	<0,001	0,020	<0,001	0,002	0,194	0,041	0,005
H x AF	<0,001	0,208	0,288	0,971	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
L x AF	<0,001	0,097	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta, L: lavoura

Para saturação por bases (V%), soma de bases (SB), acidez potencial (H+Al), pH e carbono orgânico total (C) houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre todos os manejos. A agrofloresta diferiu da lavoura e da horta para cálcio (Ca) e CTC a pH 7, diferiu apenas da lavoura e foi igual a horta para potássio (K) e fósforo (P). A lavoura e a horta não diferiram quanto aos teores de Ca e CTC a pH 7 e diferiram para os teores de K e P (Tabela 4).

Os valores de estatística descritiva para os atributos químicos, na profundidade de 0-10 cm, de acordo com o sistema de manejo do solo são apresentados na Tabela 5. Os valores de referência utilizados foram extraídos do Manual de Adubação e Calagem para o estado do Paraná (SBCS – NEPAR, 2017).

Tabela 5: Análise descritiva dos atributos químicos, profundidade de 0-10 cm, dos tratamentos Agrofloresta (AF), Horta (H) e Lavoura (L). Ponta Grossa -PR, 2021

	Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	P (mg dm^{-3})	C (g kg^{-1})	pH	H+Al ³⁺ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	CTC pH 7 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	SB ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	V%	m%	Ca/Mg	
AF	Média	0	7,82	3,02	0,41	91,43	24,13	7,24	1,69	12,93	11,24	86,79	0	2,59
	Mediana	0	7,60	2,84	0,40	88,65	23,00	7,26	1,66	13,18	11,52	87,24	0	2,68
	Máximo	0	10,22	4,95	0,61	136,22	28,00	7,38	2,03	14,93	13,24	88,71	0	2,06
	Mínimo	0	5,13	1,58	0,26	16,70	22,00	7,01	1,51	11,02	8,99	81,58	0	3,25
	CV%	0	22,73	37,61	35,43	40,40	10,26	1,54	9,32	9,25	11,36	2,64	0	18,30
	Muito baixo	<0,3	<0,5	<0,2	<0,15	<8,0	-	<4,0	-	<5	-	<20	<5	-
	Baixo	0,3-0,7	0,5-1,0	0,2-0,4	0,15-0,30	8-20	-	4,0-4,4	-	5-7	-	21-35	5-10	-
	Médio	0,8-1,5	1,1-2,0	0,5-1,0	0,31-0,45	21-50	-	4,5-4,9	-	8-14	-	36-50	11-20	-
	Alto	1,6-2,5	2,1-6,0	1,1-2,0	0,46-1,20	51-100	-	5,0-5,5	-	15-24	-	51-70	21-50	-
	Muito alto	>2,5	>6,0	>2,0	>1,20	>100	-	>5,5	-	>24	-	>70	>50	-
Condição a evitar	-	-	-	-	>300	-	>6,0	-	-	-	>90	-	-	
H	Média	0	4,95	2,53	0,33	90,71	18,88	6,58	2,50	10,31	7,81	75,10	0	1,95
	Mediana	0	5,42	2,49	0,38	105,81	18,00	6,76	2,36	10,50	8,29	78,01	0	2,18
	Máximo	0	5,97	3,11	0,53	151,42	22,00	6,87	3,83	11,73	9,46	82,22	0	1,92
	Mínimo	0	2,82	1,94	0,04	2,49	17,00	6,00	1,96	8,65	4,82	55,72	0	1,45
	CV%	0	22,45	15,79	58,26	64,69	11,83	4,87	23,49	10,41	19,94	11,49	0	16,19
	Muito baixo	<0,3	<0,5	<0,2	<0,15	<8	-	<4,0	-	<5	-	<20	<5	-
	Baixo	0,3-0,7	0,5-1,0	0,2-0,4	0,15-0,30	8-20	-	4,0-4,4	-	5-7	-	21-35	5-10	-
	Médio	0,8-1,5	1,1-2,0	0,5-1,0	0,31-0,45	21-50	-	4,5-4,9	-	8-14	-	36-50	11-20	-
	Alto	1,6-2,5	2,1-6,0	1,1-2,0	0,46-1,20	51-100	-	5,0-5,5	-	15-24	-	51-70	21-50	-
	Muito alto	>2,5	>6,0	>2,0	>1,20	>100	-	>5,5	-	>24	-	>70	>50	-

Continua

Condição a evitar	-	-	-	-	>300	-	>6,0	-	-	-	>90	-	-
Média	0	3,98	2,37	0,12	2,00	16,25	5,91	3,15	9,62	6,47	67,15	0	1,68
Mediana	0	3,89	2,38	0,12	1,80	15,50	5,90	3,24	9,45	6,31	66,96	0	1,64
L Máximo	0	4,63	3,29	0,16	3,42	21,00	6,26	3,55	11,27	7,97	72,66	0	1,41
Mínimo	0	3,48	1,82	0,08	1,52	13,00	5,36	2,54	8,76	5,46	62,33	0	1,91
CV%	0	11,72	19,57	22,23	30,91	14,98	4,74	10,02	8,27	11,53	5,18	0	12,47
Muito baixo	<0,3	<0,5	<0,2	<0,06	<4	-	<4,0	-	<5	-	<20	<5	-
Baixo	0,3-0,7	0,5-1,0	0,2-0,4	0,06-0,12	4-8	-	4,0-4,4	-	5-7	-	21-35	5-10	-
Médio	0,8-1,5	1,1-2,0	0,5-1,0	0,13-0,21	9-12	-	4,5-4,9	-	8-14	-	36-50	11-20	-
Alto	1,6-2,5	2,1-6,0	1,1-2,0	0,22-0,45	13-18	-	5,0-5,5	-	15-24	-	51-70	21-50	-
Muito alto	>2,5	>6,0	>2,0	>0,45	>18	-	>5,5	-	>24	-	>70	>50	-
Condição a evitar	-	-	-	-	>90	-	>6,0	-	-	-	>90	-	-

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta, L: lavoura

Al: alumínio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Ca: cálcio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Mg: magnésio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), K: potássio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), P: fósforo (mg dm^{-3}), C: carbono orgânico total (g kg^{-1}), H+Al: acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), CTC a pH 7 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), SB: soma de bases ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), V%: saturação por bases (%), m%: saturação por alumínio (%), Ca/Mg: relação cálcio/magnésio. Muito baixo, Baixo, Médio, Alto, Muito alto e Condição a evitar: valores de referência extraídos do Manual de Adubação e Calagem para o estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017)

A saturação por bases (V%) da horta está dentro da faixa ideal (71-80) para o cultivo de hortaliças, porém o pH está acima do recomendado (5,6-6,0), o que também ocorreu para o pH e o V% da AF. Para a lavoura o V% está dentro da faixa ideal (51-70) para o cultivo de feijão e milho e o pH está acima do recomendado (5,0-5,5). A saturação por bases (V%) apresentou diferença significativa entre os tratamentos, tendo a agrofloresta maior média seguido da horta e por último a lavoura.

Para todos os manejos o pH (em CaCl₂) é considerado muito alto, sendo na agrofloresta e na horta condição de pH a se evitar (>6,0) e todos os tratamentos diferiram entre si com média maior para a agrofloresta (AF>H>L) (Tabela 4).

Os teores de alumínio (Al³⁺) e saturação por alumínio (m%) foram considerados baixos para todos os manejos. O teor de cálcio (Ca²⁺) foi diferente para agrofloresta em relação a horta e lavoura, com média de 7,82 cmol_c dm³, sendo horta e lavoura similares com média de 4,95 e 3,98 cmol_c dm³ respectivamente, sendo considerado muito alto (>6,0 cmol_c dm³) para a agrofloresta e alto (2,1-6,0 cmol_c dm³) para a horta e a lavoura (Tabela 5). Para magnésio (Mg²⁺) os teores são considerados muito altos (>2,0 cmol_c dm³) para todos os tratamentos e podem ser considerados similares entre eles.

Para todos os manejos a CTC a pH 7 é considerada média (8-14 cmol_c dm³), tendo a agrofloresta (12,93 cmol_c dm³) a maior média e sendo diferente da horta e da lavoura que foram considerados similares (Tabela 4).

Os teores de carbono orgânico (C) foram diferentes entre todos os tratamentos, todos os manejos estão com as médias de C orgânico acima do nível crítico de 1,5 a 2% na rizosfera (LAL, 2016). O maior teor de C orgânico na agrofloresta (24,13 g kg⁻¹) (Tabela 5) corrobora com trabalho que avaliou três tipos de sistemas agroflorestais, cultivo de erva-mate, frutíferas e agrícola (BARBOSA et al., 2016).

Em estudo comparando sistema agroflorestal com cacau e a Mata Atlântica, relatou-se maiores teores de pH, Ca e Mg para a agrofloresta e valores iguais para CTC e P (BARRETO et al., 2006).

Para o manejo agroflorestal, onde também se cultiva olerícolas, o teor de potássio (K⁺) é considerado médio ficando entre 0,31-0,45 cmol_c dm³, já no manejo da horta é baixo (0,15-0,30 cmol_c dm³) e na lavoura é baixo (0,06-0,12 cmol_c dm³). A agrofloresta e a horta são similares e tem médias superiores a lavoura.

Na agrofloresta e na horta os teores de fósforo (P) são considerados altos (51-100 mg dm⁻³) e em L, muito baixo (<4 mg dm⁻³), agrofloresta e horta são similares entre si e diferentes da lavoura (Tabela 4).

Para a variável acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), os tratamentos foram diferentes entre si, sendo a agrofloresta com menor média seguido da horta e da lavoura. A soma de bases (SB) diferiu para a agrofloresta com média de 11,24 $cmol_c dm^3$ e foi diferente entre a horta e a lavoura com médias de 7,81 $cmol_c dm^3$ e 6,47 $cmol_c dm^3$, respectivamente (Tabela 4). Como os teores de Al foram iguais a zero para todos os tratamentos, a CTC efetiva é igual a SB e segue a mesma tendência de diferenciação entre os tratamentos.

O maior teor de C e CTC efetiva, pelo aumento do teor de matéria orgânica no solo nesse manejo (AF), eram esperados (MASCARENHAS et al., 2017).

Na maioria dos atributos químicos o manejo agroflorestal apresentou os maiores e/ou melhores teores, demonstrando sua eficiência em conservar/construir a fertilidade química do solo. As práticas de conservação do solo como o não revolvimento do solo e o acúmulo de palhada na superfície preconizadas pelo sistema agroflorestal promovem a melhoria ou manutenção dos atributos físicos, químicos e biológicos contribuindo com a qualidade do solo (LOSS et al., 2009).

Os coeficientes de variação (CV%) dos atributos químicos foram considerados muitos altos ($CV > 30\%$) para P e Mg na agrofloresta e na horta, para as demais variáveis os CV% ficaram entre baixos ($CV < 10\%$) e altos (CV entre 20 e 30%) (Tabela 5) (PIMENTEL GOMES, 1985).

Os altos valores de CV eram esperados para agrofloresta e horta devido ao não revolvimento do solo característico desses manejos. Este eram esperados, pois os manejos tem menor interferência antrópica, o que tende a homogeneizar atributos químicos e físicos do solo.

5.3 ATRIBUTOS FÍSICOS

Os valores de estatística descritiva para os atributos físicos do solo são apresentados nas Tabelas 6 de acordo com o manejo do solo adotado. Estes foram dimensionados na profundidade 0-10 e 10-20 cm.

Os contrastes ortogonais por meio da análise de variância e posterior teste t, indicaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos apenas para condutividade hidráulica saturada (Ksat) e bioporos (BP), na camada 0-10 cm. Para macroporosidade e Ksat não houve diferenças entre os tratamentos na camada de 10 a 20 cm (Tabela 7).

Tabela 6: Análise descritiva dos atributos físicos do solo para os manejos nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Ponta Grossa – PR, 2021

		DS (g cm ³)	PT (%)	BP (%)	MA (%)	MI (%)	Ksat (mm dia ⁻¹)
(0-10 cm)							
AF	Média	0,98	55,36	4,77	15,63	34,24	84,34
	Mediana	0,99	54,40	4,53	16,07	33,96	77,80
	Máximo	1,05	65,07	5,78	17,40	39,14	134,79
	Mínimo	0,88	50,25	4,37	13,46	31,51	45,30
	CV (%)	6,47	7,75	10,50	10,99	7,42	34,86
H	Média	1,02	57,17	5,24	23,24	31,71	67,32
	Mediana	1,06	56,52	5,31	23,23	31,52	48,66
	Máximo	1,11	64,15	5,52	28,11	36,03	127,57
	Mínimo	0,80	50,87	4,59	17,89	28,90	21,16
	CV (%)	11,17	8,43	6,17	16,52	6,93	71,46
L	Média	0,99	55,41	5,07	19,27	32,59	38,82
	Mediana	0,97	56,06	5,08	18,58	31,72	30,30
	Máximo	1,13	57,92	5,52	21,92	39,91	125,93
	Mínimo	0,93	51,65	4,61	16,54	29,04	12,94
	CV (%)	6,71	4,20	6,59	9,87	11,17	93,10
(10-20 cm)							
AF	Média	1,16	40,94	4,74	17,15	43,58	46,66
	Mediana	1,15	43,64	4,36	17,27	43,70	43,16
	Máximo	1,32	55,51	6,88	20,24	55,31	81,66
	Mínimo	1,05	26,15	3,16	14,28	31,60	20,99
	CV (%)	7,88	26,75	29,41	12,65	26,44	40,07
H	Média	1,04	61,94	6,45	14,86	41,22	31,53
	Mediana	1,10	57,34	6,02	15,45	38,77	26,18
	Máximo	1,13	82,16	8,76	17,72	57,56	58,91
	Mínimo	0,73	53,59	4,98	11,71	32,26	18,73
	CV (%)	13,51	18,90	23,58	17,53	23,41	48,92
L	Média	1,18	57,21	5,47	13,72	36,34	40,69
	Mediana	1,17	57,39	5,59	14,24	35,30	28,20
	Máximo	1,23	63,33	6,06	15,84	45,25	82,32
	Mínimo	1,13	50,15	4,74	11,57	31,17	7,67
	CV (%)	3,51	8,27	8,54	13,89	14,34	73,49

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta, L: lavoura. DS: densidade do solo (g cm³), PT: porosidade total (%), BP: bioporos (%), MA: macroporos (%), MI: microporos (%), Ksat: condutividade hidráulica saturada (mm dia⁻¹)

Para Ksat, a agrofloresta foi superior a lavoura e não diferiu da horta, bem como não houve diferenças entre lavoura e horta. Para BP constatou-se diferenças somente entre horta e agrofloresta. As demais variáveis densidade, porosidade total, macro e microporos não apresentaram diferenças entre os tratamentos para a camada superficial (Tabela 7).

Na camada 10-20 cm a densidade do solo (DS) diferiu entre a horta e os demais manejos e foi considerada igual entre agrofloresta e lavoura. Também foram constatadas diferenças entre a horta e a agrofloresta para porosidade total, bioporos e microporosidade, para estas mesmas variáveis a lavoura não diferiu dos demais manejos (Tabelas 7).

A porosidade total e bioporosidade foram maiores para a horta em relação a agrofloresta, para macro e microporosidade a horta apresentou menores médias que a agrofloresta e maiores que na lavoura na camada 10-20 cm (Tabelas 6).

Tabela 7: Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para a análise dos atributos físicos nos manejos nas camadas 0-10 e 10-20 cm. Ponta Grossa – PR, 2021

Contrastes	DS (g cm ⁻³)	PT (%)	BP (%)	MA (%)	MI (%)	Ksat (mm dia ⁻¹)
	(0-10 cm)					
L x H	0,954	0,383	0,423	0,312	0,558	0,127
H x AF	0,589	0,372	0,029	0,121	0,087	0,268
L x AF	0,628	0,983	0,141	0,568	0,245	0,012
(10-20 cm)						
L x H	0,011	0,149	0,227	0,956	0,215	0,419
H x AF	0,036	0,021	0,036	0,506	0,033	0,187
L x AF	0,588	0,328	0,326	0,540	0,319	0,596

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta e L: lavoura; DS: densidade do solo; PT: porosidade total; BP: bioporos; MA: macroporos; MI: microporos; Ksat: condutividade hidráulica saturada

Constatou-se maior média de Ksat na agrofloresta na camada superficial (0-10 cm) (Tabela 6). Já houve relato, da variável Ksat indicar diferenças significativas entre sistemas agroflorestais na camada 0-10 cm e não quantificar diferenças para a camada 10-20 cm (AREVALO-HERNANDES et al., 2016). Estes autores relatam ainda que os sistemas agroflorestais obtiveram Ksat superior em relação ao sistema de pastagem.

Os maiores valores de Ksat para a agrofloresta podem estar relacionados ao efeito do carbono orgânico sobre a agregação e estabilidade de agregados do solo (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998). Na lavoura os menores valores de Ksat em relação a AF podem estar relacionados com o revolvimento do solo e a estrutura resultante desta prática, o que tende a interferir na dinâmica da água no solo (GENNARO et al., 2015).

A menor Ksat na lavoura pode estar relacionada com a agregação do solo, uma vez que não houve diferenças significativas entre os atributos físicos porosidade total, macro, micro e

bioporos entre a lavoura e os demais tratamentos, os quais estão relacionados com a dinâmica da água no solo (Tabela 7).

Comparando sistemas convencional e PD, observou-se menor DMP e Ksat para o sistema convencional, este pode ser devido a menor complexidade e conectividade dos poros (GENNARO et al., 2015).

A maior densidade na camada 10-20 cm na lavoura, pode estar relacionada com o uso de implementos agrícolas. Já foi demonstrado aumento da densidade do solo em profundidade em todos os manejos que utilizaram métodos de preparo do solo, como escarificação, semeadura direta com escarificação a cada dois anos, escarificação com escarificador munido de rolo destorroador e escarificação seguida de gradagem (MAZURANA et al., 2011).

Todos os manejos apresentaram valores médios de bioporos (BP), maiores que 3%, considerado como médio para solos com uso agrícola (REINERT et al., 2008). Quanto a macroporosidade (MA), todos os manejos e profundidades os valores médios estão acima do valor crítico de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (XU; NIEBER; GUPTA, 1992).

Os valores de densidade para todos os manejos estão abaixo de $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$, considerado limitante para o crescimento de plantas em solo com textura franco-argilo-arenosa (USDA, 1999).

Em trabalho com o objetivo de avaliar o efeito de sistemas de uso e manejo do solo em Latossolo Vermelho distrófico, atributos físicos como densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e resistência a penetração foram os que menos contribuíram para a distinção entre os manejos (CARNEIRO et al., 2009).

Os valores de estatística descritiva para os atributos estruturais de agregação e estabilidade de agregados do solo são apresentados nas Tabelas 9 de acordo com o manejo do solo adotado. Estes foram dimensionados na profundidade 0-10 cm.

A análise de variância demonstrou efeito altamente significativo ($p < 0,001$) do manejo sobre os atributos diâmetro médio ponderado (DMP), macroagregados grandes (Magg_gd), macroagregados médios (Magg_med), macroagregados pequenos (Magg_pq) e microagregados (Microagg).

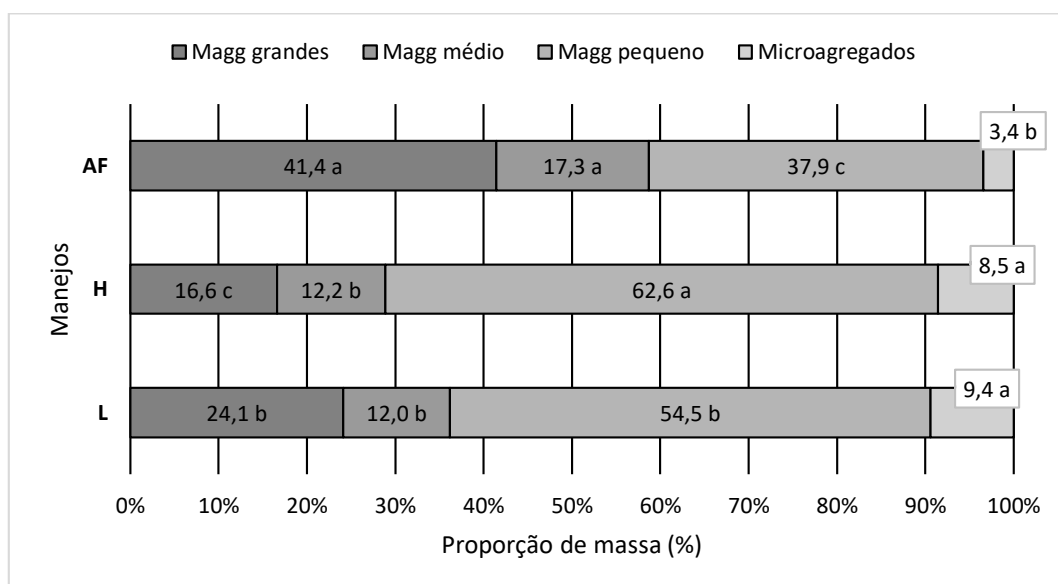
Os macroagregados grandes diferiram estatisticamente, entre todos os tratamentos com maior média para a agrofloresta, seguido da horta e da lavoura. Os manejos horta e lavoura não diferiram entre si para macroagregados médios e microagregados, sendo a agrofloresta estatisticamente superior aos demais manejos para macroagregados médios e inferior para microagregados. Para macroagregados pequenos a horta apresentou a maior média seguido da lavoura e da agrofloresta (Tabela 8 e Figura 4).

Tabela 8: Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para a análise dos atributos de agregação nos manejos na camada 0-10 cm. Ponta Grossa – PR, 2021

Contrastes	DMP (mm)	Magg_gd (%)	Magg_med (%)	Magg_pq (%)	Microagg (%)
L x H	0,001	0,003	0,782	<0,001	0,383
H x AF	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
L x AF	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta e L: lavoura

Figura 4: Valor relativo (base massa) de macroagregados grandes (Magg grandes: 4–8 mm), médios (Magg médios: 2–4 mm) e pequenos (Magg pequenos: 0,25–2 mm) e microagregados (0,053–0,25 mm), obtidos por tamisamento úmido, da camada 0-10 cm. Médias seguidas de mesma letra minúscula dentro de uma mesma classe de agregados não diferem entre si pelo teste de t ($p < 0,05$). Ponta Grossa – PR, 2021



Fonte: A autora

O tratamento agrofloresta foi estatisticamente superior aos demais tratamentos para o DMP com média de 2,53 mm. Este corrobora com trabalho que indica DMP de 2,66 mm para sistema agroflorestral, o qual foi superior ao determinado para o sistema convencional (CARVALHO, GOEDERT; ARMANDO, 2004). Consequentemente, a quantidade de Magg grande e Magg médio foram superiores na agrofloresta e teve a menor média para Magg pequeno e Microagregados. Estes resultados podem ser reflexo do maior conteúdo de C orgânico total ($24,13 \text{ g kg}^{-1}$) encontrado nesse manejo.

A matéria orgânica tende a formar agregados grandes pela junção dos agregados de classes menores (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998). A maior atuação do sistema radicular das plantas resultante da diversidade de espécies favorece a formação e estabilização de agregados do solo e também explica os maiores valores de DMP encontrados para a agrofloresta (BRANDÃO; SILVA, 2012) e podem, também, serem visualizadas na análise do DRES (Figura 5).

Tabela 9: Análise descritiva para os atributos estruturais de agregação do solo para os manejos na profundidade de 0-10 cm. Ponta Grossa -PR, 2021

	DMP (mm)	Magg grande (%)	Magg médio (%)	Magg pequeno (%)	Microagregados (%)	
AF	Média	2,53	41,45	17,28	37,86	3,41
	Mediana	2,50	40,54	16,93	38,22	2,97
	Máximo	3,07	60,18	21,72	47,27	7,63
	Mínimo	2,01	29,60	12,35	26,22	1,25
	CV%	11,65	20,77	18,56	15,41	49,65
H	Média	1,37	16,60	12,25	62,62	8,54
	Mediana	1,38	16,43	12,00	61,99	8,10
	Máximo	1,70	23,45	14,40	67,39	14,75
	Mínimo	1,11	10,89	10,14	56,61	5,55
	CV%	16,62	29,95	9,74	5,37	28,40
L	Média	1,71	24,13	12,04	54,45	9,39
	Mediana	1,71	24,27	12,00	54,27	8,88
	Máximo	1,84	26,92	13,83	60,06	14,50
	Mínimo	1,46	19,08	11,19	49,53	8,07
	CV%	6,20	8,83	6,61	4,95	18,12

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta, L: lavoura

DMP: diâmetro médio ponderado (mm), Magg grande: Macroagregado grande (%), Magg médio: Macroagregado médio (%), Magg pequeno: Macroagregado pequeno (%), Microagregados (%)

Para macroagregados pequenos, a horta teve maior média seguido da lavoura, quanto aos Microagregados, lavoura e horta não diferiram entre si (Tabela 8). Os teores de C orgânico total foram estatisticamente iguais para horta e lavoura, o que pode justificar semelhança entre os tratamentos na dinâmica desses agregados (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998).

O maior DMP encontrado para a lavoura em relação a horta, pode ser explicado pela atividade das raízes das plantas espontâneas durante o pousio. Esta estimula o desenvolvimento da comunidade microbiana do solo e tem influência sobre a agregação e estabilidade dos agregados, resultando em maior percentual de Magg grande (Figura 4).

Avaliando a dinâmica da agregação do solo sob o uso de plantas de cobertura, observou-se que o sistema radicular, a cobertura do solo, a disponibilidade de matéria orgânica e a conservação da água no solo são favoráveis à ação de microrganismos, proporcionando a formação e conservação dos agregados do solo (CAMPOS et al., 1999).

Para Magg médio a horta foi similar a lavoura e apresentou as menores médias para Magg grande (Tabelas 8 e 9). Este pode ser explicado pela menor densidade de raízes nesse manejo, pois mesmo com o manejo de hortaliças semelhante a agrofloresta (Figura 1) a falta do componente arbóreo pode resultar em menor efeito sobre a agregação do solo, bem como os

menores teores de carbono orgânico encontrados nesse manejo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

5.4.1 DIAGNÓSTICO RÁPIDO DA ESTRUTURA DO SOLO (DRES)

A análise de variância indicou que houve efeito altamente significativo ($p < 0,001$) do manejo do solo sobre a qualidade estrutural avaliada através do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) (Tabela 10).

Tabela 10: Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) nos manejos. Ponta Grossa – PR, 2021

Contrastes	AF	H	L
AF	-	<0,001	<0,001
H	-	-	0,160

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta e L: lavoura

Na agrofloresta, observou-se grande quantidade de raízes o que torna difícil o manuseio do solo. Esta forma camada superficial coesa de solo e raiz, em todo o comprimento do bloco há raízes se desenvolvendo sem impedimentos. Na horta a primeira camada contém solo pulverizado e sem a formação de agregados em contraste com a segunda camada, com agregados muitos grandes e concisos, apesar disso há o desenvolvimento de raízes em ambas camadas. Tanto em AF quanto em H encontrou-se palha e serrapilheira na camada superficial (Figura 5).

Para o tratamento lavoura, não houve presença de palha sobre a superfície e a quantidade de raízes nas camadas é reduzida, o solo da primeira camada é pulverizado e com agregados muito pequenos. Na segunda camada observou-se agregados maiores que 7 cm, sem grumosidade e porosidade, indicando compactação (Figura 5). Notou-se uma grande quantidade de formigas, em superfície, nessa área.

Figura 5: Blocos de solo extraídos e manuseados para o diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). Ponta Grossa – PR, 2021



(a)



(b)



(c)

Legenda: (a) agrofloresta, (b) horta e (c) lavoura

A classificação da qualidade estrutural dos tratamentos de acordo com o escore global de cada área, pode ser considerada interessante para a agrofloresta e ruim para a horta e a lavoura (Tabela 11).

Tabela 11: Análise descritiva do Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) conforme DRES para os manejos. Ponta Grossa - PR, 2021

	AF	H	L
Média	4,61	2,82	2,24
Mediana	4,64	2,56	2,32
Máximo	5,20	3,56	3,36
Mínimo	3,88	2,28	1,32
CV (%)	11,21	18,32	34,05

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta e L: lavoura

A classificação da qualidade estrutural do solo gerou diferentes recomendações, para a horta e a lavoura é preciso reavaliar o sistema de rotação e consorciação. Estes deveriam priorizar o uso de culturas com maior capacidade de aporte de fitomassa aérea e raízes. Mesmo com menor utilização de práticas motomecanizadas, em relação ao manejo convencional brasileiro, esta pode ainda ser racionalizada (por exemplo, evitar uso de grade aradora/niveladora).

O Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) médio de 4,96, encontrado por Ribeiro, Padovan e Feiden (2019) classificado como “boa” para agrofloresta com 2 anos, e corrobora com o IQES médio (4,61) obtido para a agrofloresta, neste estudo. O IQES do manejo agroflorestal foi significativamente superior aos demais, sendo que horta e lavoura não diferiram entre si (Tabela 10).

Em outro extremo avaliando manejo de lavoura convencional com sucessão trigo/soja Santos et. al. (2020) o classificaram como “ruim” (IQES=2,2) corroborando com a classificação obtida para a lavoura. O IQES de 1,88 encontrado por Soriani et. al. (2018) em manejo com preparo do solo com subsolagem também corroborou com os dados encontrados para a lavoura (Tabela 11).

5.5 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS

A Tabela 12 apresenta os valores de estatística descritiva para os atributos biológicos de acordo com o sistema de manejo do solo na profundidade de 0-10 cm. A análise de variância demonstrou efeito altamente significativo ($p < 0,001$) do manejo sobre os atributos biológicos do solo (Tabela 13).

A BMS-C foi diferente entre todos os tratamentos com as maiores médias na lavoura (911,6 mg C microbiano kg^{-1} de solo) seguido da horta e da agrofloresta (Tabelas 12 e 13). Em estudos de biomassa microbiana em vegetação nativa no Cerrado, já foi relatado correlação negativa do pH com a biomassa microbiana (PEREZ, RAMOS; MCMANUS, 2004).

No presente estudo o pH, apresentou correlação negativa, $r = -0,815$, com a BMS-C. Quanto maior o pH menores serão os valores de BMS-C, refletindo em maiores médias para lavoura (pH=5,9), seguido da horta (pH=6,6) e da agrofloresta (pH=7,2) (Tabela 5).

Tabela 12: Análise descritiva dos atributos biológicos do solo para os manejos na profundidade de 0-10 cm. Ponta Grossa – PR, 2021

		BMS-C (mg C microbiano kg ⁻¹ de solo)	RBS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ de solo h ⁻¹)	qCO ₂ (mgC-CO ₂ g ⁻¹ BMS-C h ⁻¹)	qMIC (%)
AF	Média	202,8	6,0	0,037	0,8
	Mediana	183,1	6,0	0,034	0,8
	Máximo	406,9	6,7	0,066	1,7
	Mínimo	112,5	5,3	0,016	0,5
	CV%	42,1	5,6	40,84	42,1
H	Média	540,7	6,1	0,012	2,9
	Mediana	591,1	6,0	0,011	3,1
	Máximo	647,8	7,3	0,023	3,4
	Mínimo	319,5	5,2	0,009	1,7
	CV%	20,4	10,0	32,8	20,4
L	Média	911,6	5,0	0,006	5,6
	Mediana	868,7	5,0	0,006	5,3
	Máximo	1162,5	5,4	0,007	7,2
	Mínimo	753,1	4,7	0,004	4,6
	CV%	14,1	3,6	15,7	14,1

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta, L: lavoura. BMS-C: carbono da biomassa microbiana (mg C microbiano kg⁻¹ de solo); RBS: Respiração basal do solo (mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo h⁻¹); C: Carbono orgânico (g dm⁻³), qMIC: quociente microbiano (%); qCO₂: quociente metabólico (mgC-CO₂ g⁻¹ BMS-C h⁻¹)

Os contrastes ortogonais indicam que a biomassa microbiana (BMS-C), o quociente metabólico (qCO₂) e o quociente microbiano (qMIC) diferiram entre todos os tratamentos. A respiração basal do solo (RBS) foi igual para horta e agrofloresta e diferiu entre lavoura e os demais tratamentos (Tabela 13).

Tabela 13: Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para a análise dos atributos biológicos nos manejos na camada 0-10 cm. Ponta Grossa – PR, 2021

Contrastes	BMS-C (mg C microbiano kg ⁻¹ de solo)	RBS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ de solo h ⁻¹)	qCO ₂ (mgC-CO ₂ g ⁻¹ BMS-C h ⁻¹)	qMIC (%)
L x H	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
H x AF	<0,001	0,486	<0,001	<0,001
L x AF	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Legenda: AF: agrofloresta, H: horta e L: lavoura

O sistema radicular das plantas, por meio da exudação, tende a aumentar a concentração de carbono orgânico facilmente assimilável, promovendo uma maior concentração de biomassa microbiana no solo rizosférico (NAUTIYAL, 1999). Desta forma, pode-se explicar os menores valores de BMS-C na agrofloresta, pois mesmo com a maior deposição de substratos orgânicos favorecida pela cobertura do solo e a poda das árvores, o ambiente rizosférico das hortaliças

cultivadas nas entrelinhas não foi eficiente em incorporar o carbono disponível à biomassa microbiana do solo resultando em maiores valores de respiração basal (RBS) tanto pra agrofloresta como para a horta (SAKAMOTO; OBA, 1994). Nesse sentido, o sistema radicular do milho e do feijão, juntamente com o das plantas espontâneas durante o período de pousio, podem ter contribuído mais para o aumento de BMS-C na lavoura com menores valores de RBS.

A horta apresentou valores intermediários para BMS-C, q_{MIC} e q_{CO_2} (Tabela 12), o que pode se justificar considerando que, por ter sido instalado depois, este manejo ainda não está consolidado, estando em processo de transformação. Este tipo de resultado corrobora com os iniciais de comparações entre sistema convencional e PD, onde, ao longo de inúmeros trabalhos, conclui-se que existe período de alguns anos para consolidação da diferença entre os sistemas (GENNARO et al., 2015)

O manejo de lavoura teve a menor média de RBS, diferindo dos demais tratamentos, resultando em um q_{CO_2} menor, o que demonstra maturidade da comunidade microbiana do solo refletindo em um alto q_{MIC} (ANDERSON; DOMSCH, 2010). Os maiores valores de BMS-C e q_{MIC} podem estar relacionados ao período de pousio. Neste caso, o livre desenvolvimento de plantas espontâneas pode proporcionar ambiente favorável para o desenvolvimento da comunidade biológica, uma vez que o sistema radicular das plantas espontâneas faz associação com fungos micorrízicos arbusculares (ESPINDOLA et al., 1998) (Tabela 13).

O manejo da horta teve q_{MIC} maior que o agroflorestal e menor que o de lavoura, o que pode ser justificado como reflexo do menor teor de BMS-C na agrofloresta e maior na horta (Tabela 12). Destaca-se que as características do solo ocasionadas pelo manejo podem selecionar grupos diferentes de microrganismos adaptados às condições do solo, nesse contexto, maior diversidade de microrganismos decompositores pode aumentar a eficiência no uso do substrato e refletir em maior q_{MIC} (INSAM, 1990; PEREZ; RAMOS; MCMANUS, 2004).

Os maiores valores de RBS foram encontrados na horta e na agrofloresta, os quais não diferiram entre si, o que pode estar relacionado com o uso contínuo de adubo orgânico no cultivo de hortaliças, pois este pode influenciar a estrutura e eficiência da biomassa microbiana na mineralização do C. Na comparação de diferentes fontes de adubo orgânico, há relato que o solo com adição de cama de aviário teve maior emissão de CO_2 em relação ao solo com adição de esterco bovino e com a mistura dos dois adubos (SILVA et al., 2010).

Trabalhos descrevem correlação positiva entre RBS e C orgânico, que seria a relação entre matéria orgânica e atividade de microrganismos (CUNHA et al. (2011). No presente

estudo a correlação foi $r=0,56$. Este tipo de correlação pode contribuir também na maior mineralização do C orgânico (correlação positiva entre RBS e mineralização) (AULER et al., 2019). No entanto, é importante ressaltar que a maior RBS pode ser interpretada tanto como um ecossistema mais produtivo ou com maior distúrbio (ISLAM; WEIL, 2000).

A maior emissão de CO_2 por unidade de biomassa microbiana foi observada na agrofloresta que diferiu dos demais tratamentos com a maior média de $q\text{CO}_2$, seguido da horta, reflexo da RBS observada para esses tratamentos (Tabelas 12 e 13). Há relatos de que a maior adição de massa seca ao solo pode aumentar o quociente metabólico (OCIO; BROOKES, 1990).

As diferenças entre os manejos em relação aos indicadores biológicos, demonstram que os sistemas de manejo influenciam a atividade dos microrganismos do solo. Em trabalho avaliando BMS-C, RBS e $q\text{CO}_2$ em sistemas; integração lavoura-pecuária (ILP), lavoura de milho/soja, pastagens, vegetação nativa e vegetação nativa em recuperação foi observado, maior BMS-C em ILP e pecuária, sem diferenças significativas para RBS entre os manejos e menor $q\text{CO}_2$ conforme tempo de adoção dos sistemas (ALVES et. al, 2011).

Mesmo com as diferenças de $q\text{CO}_2$ entre os tratamentos os valores encontrados estão abaixo de $2,0 \text{ mgC-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS-C h}^{-1}$, valor considerado crítico para solos com pH neutro (ANDERSON, 2003). De maneira geral, o sistema de produção orgânica tem potencial para aumentar a biomassa microbiana do solo em comparação com os sistemas convencionais, sem preocupação de matéria orgânica (SCHMIDT et al., 2013).

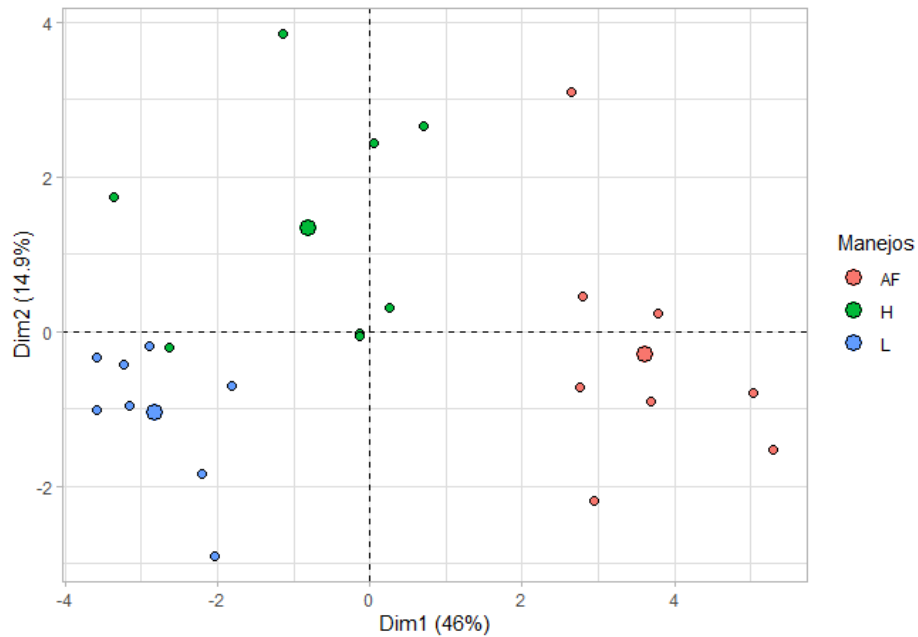
5.6 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Como pré-requisito para análise multivariada, realizou-se análise de correlação entre todas as variáveis, dessa forma quando as variáveis apresentaram $r>0,65$ entre si, excluiu-se uma das variáveis com alta correlação na análise de componentes principais.

Sendo assim para as variáveis físicas com exceção do DRES e da DMP, químicas com exceção do H+Al, SB e V% e biológicas com exceção do $q\text{CO}_2$ e $q\text{MIC}$ do solo, fez-se análise multivariada de componentes principais (ACP).

A análise indicou três grupos com variabilidades diferentes que coincidem com os manejos agrofloresta, horta e lavoura (Figura 6). Os dois primeiros fatores principais agregaram 60,9% da variância original contida no conjunto de dados na camada 0-10 cm (fator 1 = 46,0 % e fator 2 = 14,9%).

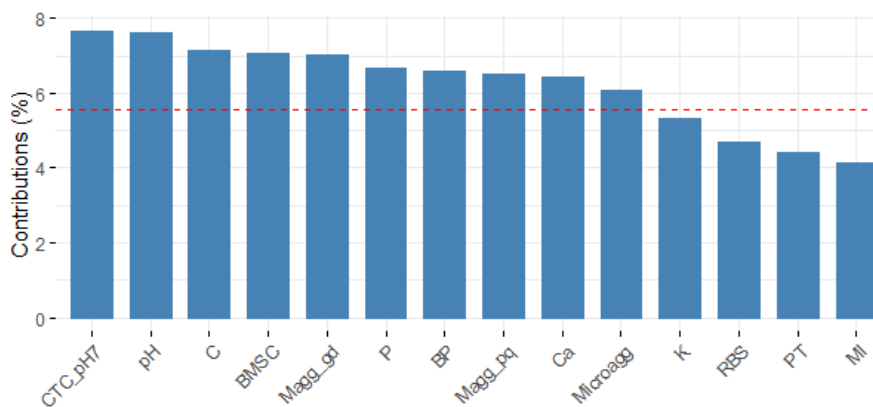
Figura 6: Diagrama de ordenação resultante da aplicação análise de componentes principais aos dados de 18 variáveis físicas, químicas e biológicas nos manejos agrofloresta (AF), horta (H) e lavoura (L). Ponta Grossa – PR, 2021



Legenda: AF: Agrofloresta, H: Horta e L: Lavoura na camada 0-10 cm

Os atributos químicos CTCpH₇, C e pH juntamente com BMSC foram as variáveis que mais caracterizaram os efeitos dos manejos do solo (Figura 7).

Figura 7: Diagrama da contribuição percentual das variáveis físicas, químicas e biológicas resultante da aplicação da análise de componentes principais no estudo multivariado dos manejos agrofloresta (AF), horta (H) e lavoura (L). Ponta Grossa – PR, 2021

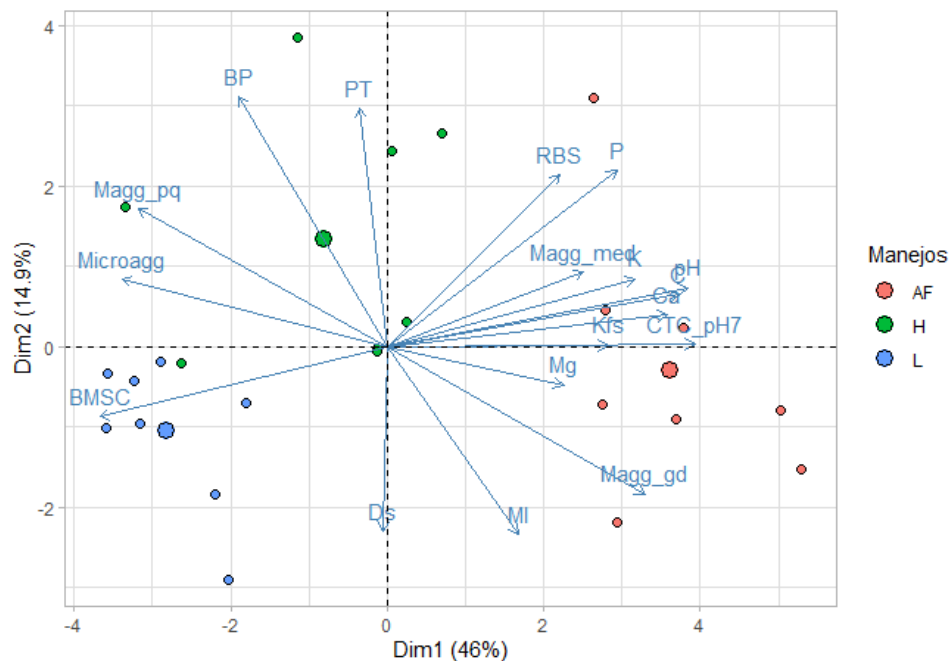


Legenda: CTC a pH 7 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), BMSC: carbono da biomassa microbiana ($\text{mg C microbiano kg}^{-1}$ de solo), Ca: cálcio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), C: carbono orgânico total (g kg^{-1}), Magg_gd: macroagregados grandes (%), BP: bioporos (%), Magg_pq: macroagregados pequenos (%), P: fósforo ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), Microagg: microagregados (%), K: potássio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), PT: porosidade total (%), RBS: Respiração basal do solo ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de solo h^{-1}), MI: microporos (%)

Para o fator 1, o qual explica a grande parte da variabilidade dos dados, as variáveis com maior contribuição foram BMSC, Microagg e Magg_pq, localizados do lado esquerdo do gráfico e as variáveis CTCpH_7, pH e C, do lado direito (Figura 8). Para o fator 2, as variáveis P, PT e BP localizadas na parte superior da figura e as variáveis Ds, MI e Magg_gd na parte inferior tiveram a maior contribuição (Figura 8).

Na Figura 8 pode-se observar que a “nuvem” de variáveis (scores) que representam a agrofloresta (AF) está distribuída no quadrante relacionado aos atributos pH, C, CTCpH_7 e Ca. A nuvem de pontos que representa a lavoura (L) está distribuída no quadrante relacionado com os atributos BMSC, Microagg e Magg_pq e a nuvem de pontos que representa a horta (H) seria relacionada com BP, PT e DS.

Figura 8: Diagrama de ordenação resultante da aplicação análise de componentes principais aos dados de 18 variáveis físicas, químicas e biológicas nos manejos agrofloresta (AF), horta (H) e lavoura (L). Ponta Grossa – PR, 2021



Legenda: AF: Agrofloresta, H: Horta e L: Lavoura na camada 0-10 cm

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os manejos do solo apresentaram a mesma classe textural o que permite inferir que as diferenças encontradas nos atributos químicos, físicos e biológicos mensurados se devem ao efeito do manejo sobre o solo.

Por meio da análise multivariada verifica-se que os manejos do solo ocasionaram diferenças e similaridades refletidas pelos atributos do solo. A ACP se mostrou uma ferramenta eficiente para avaliar de forma integrada a qualidade do solo por meio dos atributos físicos, químicos e biológicos.

Os atributos microbiológicos demonstraram que a lavoura é o ambiente que apresentou microbiota mais eficiente em utilizar o carbono do solo.

Durante a elaboração do presente trabalho foi possível perceber o desenvolvimento de estratégias e práticas de acordo com as condições materiais do agricultor acarretando em dificuldades de padronização do manejo. Nesse contexto, a análise visual da qualidade do solo se apresenta como prática didática e oferece autonomia ao agricultor. Esta resumiu os resultados encontrados e pode ser utilizada para a tomada de decisão.

A segurança alimentar está apoiada no desenvolvimento da agricultura camponesa, portanto é de suma importância desenvolver conhecimento e ferramentas de avaliação da qualidade do solo com foco na extensão rural.

7 CONCLUSÕES

O manejo agroflorestal possibilitou melhor condutividade hidráulica na camada superficial que o manejo de lavoura. Todos os manejos apresentaram os atributos físicos dentro dos parâmetros desejáveis.

A melhor qualidade visual da estrutura do solo foi observada para a agrofloresta, bem como os melhores valores dos atributos estruturais.

Os atributos químicos demonstraram que a agrofloresta e a horta tiveram maior fertilidade do solo em comparação ao manejo da lavoura.

A lavoura apresentou maior qualidade biológica, seguido da horta e da agrofloresta.

REFERÊNCIAS

- ABROL, D.P. **Integrated pest management: current concepts and ecological perspective**. San Diego, CA. Academic Press, 2014.
- ALTIERI, M. A.; FUNES-MONZOTE, F. R.; PETERSEN, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 1–13, 2012.
- ALTIERI, M.A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 91, n. 2, p. 1-24, 2002.
- ALVES, T. DOS S. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341–347, 2011.
- AMADO, T. J. C. et al. Qualidade do solo avaliada pelo “Soil Quality Kit Test” em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 109–121, 2007.
- ANDERSON, T.-H. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 98, n. 1–3, p. 285–293, set. 2003.
- ANDERSON, T-H.; DOMSCH, K.H. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2039–2043, 2010.
- ANDERSON, T-H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as ph, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ARAÚJO, E. A. DE et al. Qualidade do solo : conceitos, indicadores e avaliação Resumen Aspectos conceituais de qualidade do solo. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 5, n. 1, p. 187–196, 2012.
- 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. 31, n. 5, p. 1099–1108, 2007.
- AREVALO-HERNANDEZ, C.O et al. Aspectos físicos da qualidade do solo sob sistemas agroflorestais e pastagem no sul da Bahia. **Agrotrópica**, v. 28, n.1, p. 55-64, 2016.
- ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 515-522, 2005.
- AULER, A. C. et al. CO₂ emissions and soil carbon mineralisation under different systems. **Revista Agro@Mambiente On-line**, v. 13, p. 211, 2019.
- BALOTA, et. Al. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 641–649, 1998.
- BARBOSA, J.S. dos et al. Eletroquímica e carbono orgânico de um Cambissolo húmico no planalto catarinense sob sistema agroflorestal. **Revista Scientia Agraria**, v. 17, n. 2, p. 49-56, 2014.
- BARRETO, A.C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema

agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 415-425, out/dez. 2006.

BARRETO, H. et al. Impactos ambientais do manejo agroecológico da caatinga no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 10, p. 1073-1081, 2010.

BARRIOS, E. et al. Contribution of trees to the conservation of biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v. 14, n. 1, p. 1–16, jan. 2018.

BEZNER KERR et al. Can agroecology improve food security and nutrition? A review. **Global Food Security**, v. 29, p. 1-12, 2021.

BRANDÃO, E. D.; SILVA, I. F. da. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1193–1199, 2012.

BRASIL. Decreto nº 3.991, de 30 de outubro de 2001. Dispõe sobre o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - PRONAF, e dá outras providências. Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA, **Diário Oficial da União**. Brasília, 30 out. 2001.

BRASIL. Lei nº 11.947, de 16 de junho de 2009. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar e do Programa Dinheiro Direto na Escola aos alunos da educação básica; altera as Leis nºs 10.880, de 9 de junho de 2004, 11.273, de 6 de fevereiro de 2006, 11.507, de 20 de julho de 2007; revoga dispositivos da Medida Provisória nº 2.178-36, de 24 de agosto de 2001, e a Lei nº 8.913, de 12 de julho de 1994; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 17 jun. 2009

BÜNEMANN, E. K. et al. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, n. 1, p. 105–125, 2018.

CAMPOS, B. C. et al. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 383–391, 1999.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147–157, 2009.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1153–1155, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527–538, 1998.

CENTENO, L. N. et al. Textura do solo: Conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31, 2017.

CHAER, G. M., M.S. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2001. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Orientador: Marcos Rogério Tótola. Conselheiros: Arnaldo Chaer Borges e Maria Catarina Megumi Kasuya.

CHAVES, A. A. A. et al. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos.

Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 42, n. 4, p. 446–454, 2012.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 777–788, 2005.

CORRÊA, et al. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 305-314, 2009.

COSTA, F. et al. Aumento de matéria orgânica num Latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 587–589, 2004.

COSTA, T. et al. Manejo agroecológico do solo em áreas sob o cultivo de hortícolas no Município de Corrente, Piauí. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 2, n. 2, p. 167-174, 2015.

CRITTENDEN, S. J. et al. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. **Soil and Tillage Research**, v. 154, n. 1, p. 136–144, 2015.

CRUZ, C.; REGAZZI, A. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, UF. 480 p. 2001.

CUNHA, E. DE Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 603–611, 2011.

DE FREITAS, L. et al. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Ciências Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 224-233, 2014.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and Assessing Soil Quality. In: **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. p. 1–21, 1994.

DOS SANTOS, A.C.; SALCEDO, I.H.; CANDEIAS, A.L.B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 54, p. 86-94, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. (MI-513). Infoteca-e: Repositório de Informação Tecnológica da Embrapa, 2006. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/339505>>. Acesso em: 13 out 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2a ed. rev ed. Rio de Janeiro, RJ: 2011.

ESPINDOLA, J. A. A. et al. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 339–347, 1998.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Conservation Agriculture Principles**. Disponível em: <<http://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/principles-of-ca/en/>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

FÁVERO, C.; LOVO, I.C.; MENDONÇA, E. DE S. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no vale do rio doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 861-

868, 2008.

FERNANDES, G.M.; FACCO, V.A.B. Agroecologia e MST no Leste Paranaense: As Experiências do Assentamento Contestado (Lapa/PR) e do Acampamento José Lutzenberger (Antonina/PR). **PEGADA - A Revista da Geografia do Trabalho**, v. 15, p. 89-101, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, dez. 2011.

FOLEY, J. A. Global Consequences of Land Use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570–574, 22 jul. 2005.

FRADE, F.; SAUER, S. O MST e a experiência de agroecologia em assentamentos de reforma agrária. **Revista Latinoamericana de Estudios Rurales**, v. 2, n. 3, p. 64–95, 2017.

FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 18–29, 2007.

FRANCIS, A. C.; WEZEL, A. Agroecology and Agricultural Change. **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition**, v. 1, n. 1, p. 484–487, 2015.

GAZOLLA, M.; SCHNEIDER, S. Qual “fortalecimento” da agricultura familiar? Uma análise do pronaf crédito de custeio e investimento no rio grande do sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 1, p. 45–68, 2013.

GENNARO, L. A. DE et al. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 608–614, 2015.

GOMES, J.B.V. et al. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 137-153, 2004.

GUIMARÃES, G. B. et al. Geologia dos Campos Gerais. In: **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1a edição ed. Ponta Grossa - Paraná: Editora UEPG, 233 p. 2014.

HIGASHIKAWA, F.S.; SILVA, C.A.; BETTIOL, W. Chemical and physical properties of organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1743-1752, 2010.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V.L.M.; OLIVEIRA, G.J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico , aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 1, n. 5, p. 83-90, 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. Agricultura familiar. Resultados definitivos. Brasil, grandes regiões e unidades de federação. **Ministério do Desenvolvimento Agrário. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão**, p. 267, 2017.

INSAM, H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 4, p. 525–532, 1990.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, n. 1, p. 9–16, 2000.

JACKSON, W. **New Roots for Agriculture**. Berkeley, CA. North Point, 1980.

- JAMES, F.C.; MCCULLOCH, C.E. Multivariate Analysis in ecology and systematics: Panacea or Pandora's box? **Annual Review of Ecology And Systematics**, v. 21, n. 1, p. 129-166, 1990.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209–213, jan. 1976.
- JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. Applied Multivariate Statistical Analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 79, n. 385, p. 231, 1984.
- KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4–10, jan. 1997.
- KER, J. C. Latossolos Do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17–40, 1997.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**. 2a Edição ed. Passo Fundo - RS - Brasil: UPF Editora, 2012.
- KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 211–218, 1999.
- LAL, R. Soil health and carbon management. *Food And Energy Security*, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 212-222, nov. 2016.
- LOSS, A. et al. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. *Ciência Rural*, v. 39, n.1, p. 1067-1072, 2009.
- LOSS, A. et al. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1212–1224, 2015.
- LUJÁN SOTO, R.; CUÉLLAR PADILLA, M.; DE VENETE, J. Participatory selection of soil quality indicators for monitoring the impacts of regenerative agriculture on ecosystem services. **Ecosystem Services**, v. 45, n. September 2019, p. 101-157, 2020.
- MACHADO SÁ, M. F. Os solos dos Campos Gerais. In: **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1a edição ed. Ponta Grossa - Paraná: Editora UEPG, 233 p. 2014.
- MACHADO, M. D.; SILVA, A. L. DA. Distribuição de produtos provenientes da agricultura familiar: um estudo exploratório da produção de hortaliças. **Organizações Rurais e Agroindustriais/Rural and Agro-Industrial Organizations**, v. 06, n. 1, p. 67–80, 2004.
- MARQUES, J.D. de O. et al. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 38, n.2, p. 193-206, 2008.
- MASCARENHAS, A. R. P. et al. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 19–27, 2017.
- MAZURANA, M. et al. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 1197-1206, 2011.
- MELÉM JÚNIOR, N.J. et al. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 3, p. 499-506, 2008.

- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT/MEA. **Ecosystems and human well-being**, n. Generic Synthesis. Washington: Island Press, 765 p. 2005.
- MODESTO JÚNIOR, M.; ALVES, R. **Cultura da mandioca. Aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria**. Brasília, DF. Embrapa, 2016.
- MOHAMED, Y. et al. Improving growth, productivity, and chemical composition of *Trachyspermum ammi* L. by using organic and chemical fertilization in the presence of boron. **Industrial Crops and Products**, v. 169, n. 1, p. 1-10, 2021.
- MOREIRA, F. M. DE S.; SIQUEIRA, J. O. Metabolismo e processos microbianos. In: **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2a edição ed. Lavras: Editora UFLA, 2006b. p. 729.
- MOREIRA, F. M. DE S.; SIQUEIRA, J. O. Os organismos do solo. In: **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2a edição ed. Lavras: Editora UFLA, 2006a. p. 729.
- MUCHANE, M. N. et al. Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 295, n. March, p. 106-109, 2020.
- MÜLLER, D. H. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob aplicação de resíduos orgânicos. **Revista Internacional de Ciências**, v. 4, n. 2, p. 71–82, 2014.
- NAUTIYAL, C. S. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. **FEMS Microbiology Letters**, v. 170, n. 1, p. 265–270, 1999.
- 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.
- NITSCHKE P. R. et al. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Disponível em: <<http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>>. Acesso em: 8 jan. 2021.
- OCIO, J. A.; BROOKES, P. C. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soil following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 5, p. 685–694, 1990.
- PALM, C. et al. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 187, n. 1, p. 87–105, 2014.
- PAVAN, M. A. et al. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Circular Técnica 76. Londrina: IAPAR, 1992. 39 p.
- PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 567–573, 2004.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.
- POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2959–2971, 2010.
- PRĂVĂLIE, R. et al. Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. **Environmental Research**, v. 194, n. January, 2021.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2013.

RABOT, E. et al. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, n. June 2017, p. 122–137, 2018.

RALISCH, R. et al. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo-DRES**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Soja - Documento 309 - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 1805–1816, 2008.

RIBEIRO, A.K.; PADOVAN, M.P.; FEIDEN, A. Avaliação da estrutura de solos sob sistemas agroflorestais biodiversos na região oeste do Paraná. **Revista GeoPantanal**, v. 26, n. 1, p. 49-65. 2019.

ROCHA, C. H.; WEIRICH NETO, P. H. MAZER, G. P.; EURICH, J. Agricultura familiar: base para o desenvolvimento sustentável. In: ROCHA, C. H.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, N. M. (Org.). **Sustentabilidade: a transformação vem da agricultura familiar**. 1ed. Ponta Grossa: Estúdio Texto, 2016, v. 1, p. 27-38.

SAKAMOTO, K.; OBA, Y. Effect of fungal to bacterial biomass ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**, v. 17, n. 1, p. 39–44, 1994.

SANTANA, W. D. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de agropecuária familiar no Tocantins. **Científica**, v. 47, n. 3, p. 344, 2019.

SANTI, A.L. et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 1345-1357, 2012.

SANTOS, E.L. dos et al. Mapeamento do manejo do solo e da água em uma propriedade na Região Oeste do Paraná. **Revista Cultivando o Saber**, v.13, n.1, p. 30-44, 2020.

SCHMIDT, R. O. et al. Biomassa e atividade microbiana do solo em sistemas de produção olerícola orgânica e convencional. **Ciência Rural**, v. 43, n. 2, p. 270–276, fev. 2013.

SHADISH, W. R.; COOK, T. D.; CAMPBELL, D. T. **Experimental and quasiexperimental designs for generalized causal inference**. 2a ed., Houghton Mifflin, Boston, 2001.

SHARMA, P. et al. The Role of Cover Crops towards Sustainable Soil Health and Agriculture—A Review Paper. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 9, p. 1935–1951, 2018.

SiBCS - **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, A. F. DA et al. Análise multivariada na diferenciação entre manejos do solo cultivado com café. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 1, p. 57–63, 2014.

SILVA, W. M. DA et al. Emissão de CO₂ e potencial de conservação de C em solo submetido à aplicação de diferentes adubos orgânicos. **Revista Agrarian**, v. 3, n. 7, p. 34–43, 2010.

SNAKIN, V. V. et al. The system of assessment of soil degradation. **Soil Technology**, v. 8, n. 4, p. 331–343, mar. 1996.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO/SBCS. Núcleo Estadual Paraná (Curitiba)/ SBCS - NEPAR. **Manual de adubação e calagem: para o estado do Paraná**. Curitiba, 2017. 482 p.

SOKOLOWSKI, A. C. et al. Tillage and no-tillage effects on physical and chemical properties of an Argiaquoll soil under long-term crop rotation in Buenos Aires, Argentina. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 8, n. 2, p. 185–194, 2020.

SORIANI, R. et al. Avaliação dos agregados de um Latossolo Vermelho em sistema plantio direto após preparos mecânicos de subsolagem e gradagem. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 34, n.1, p. 103-116, 2018.

SOUZA, R. F. DE; MADEIRA, N. R.; FIGUEIREDO, C. C. DE. Perdas de solo, água e nutrientes em área cultivada com hortaliças sob sistema de plantio direto. **Revista Científic@**, v. 9, n. 1, p. 63–66, 2014.

TAVARES-FILHO, J. et al. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 36, n.3, p. 996-999, 2006.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141–163, jun. 1982.

TREVISAN, R. et al. Condutividade hidráulica do solo saturado na zona vadosa in situ e em laboratório. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, v. 14, n. 1, p. 413-422, 2009.

TUZZIN DE MORAES, M. et al. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 155, n. 1, p. 351–362, 2016.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, United States Department of Agriculture. **Natural Resources Conservation Service Soils**. Disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Soil quality test kit guide**. Washington: USDA-ARS-Soil Quality Institute, 1999. 82 p.

VALADÃO, F. C. DE A. et al. Variação dos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 2073–2082, 2011.

VALENTE, A.; OLIVEIRA, E.; VIEIRA, T. Práticas agroecológicas em sistemas de uso da terra em uma comunidade rural na Amazônia Oriental, Brasil. **Revista Espacios**, v. 38, n. 22, p. 10-18, 2017.

VAN DER PLOEG, J.D. et al. The economic potential of agroecology: Empirical evidence from Europe. **Journal of Rural Studies**, v. 71, n. 1, p. 46-61, 2019.

VAN RAIJ, B. Organismos. In: **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute/IPNI - Brasil, 2011. p. 420.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703–707, jan. 1987.

VEIGA, J. E. DA. Cadernos de ciência & tecnologia. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 383–404, 1996.

VEZZANI, F. M. Revista Brasileira de Geografia Física Solos e os serviços ecossistêmicos Soils and the Ecosystem Services. **Revista Brasileira de Geografia Física V. número especial IV SMUD**, v. 8, n. 1, p. 673–684, 2015.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 743–755, 2009.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487–494, 2005.

XIA, Q.; RUFTY, T.; SHI, W. Soil microbial diversity and composition: Links to soil texture and associated properties. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 149, n. February, p. 107-113, 2020.

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction Effect on the Gas Diffusion Coefficient in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 1, p. 1743–1750, 1992.

YODER, R. E. A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses 1. **Agronomy Journal**, v. 28, n. 5, p. 337–351, maio 1936.