

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

AGHATA CRISTIE REWA CHARNOBAY

ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL

PONTA GROSSA - PR

2019

AGHATA CRISTIE REWA CHARNOBAY

ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Área de concentração: Uso e manejo do solo.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto

PONTA GROSSA - PR

2019

C483 Charnobay, Aghata Cristie Rewa
Atributos do solo em sistema agroflorestal / Aghata Cristie Rewa Charnobay.
Ponta Grossa, 2019.
80 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto.

1. Agricultura familiar. 2. Manejo do solo. 3. Qualidade do solo. 4.
Desenvolvimento sustentável. I. Weirich Neto, Pedro Henrique. II. Universidade
Estadual de Ponta Grossa. Agricultura. III.T.

CDD: 630.68



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: “**Atributos do solo em sistema agroflorestal**”.

Nome: Aghata Cristie Rewa Charnobay

Orientador: Pedro Henrique Weirich Neto

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto

Dr. Afonso Pêche Filho

Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes

Data da Realização: 28 de fevereiro de 2019.

A minha família,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus e ao Universo por me proporcionarem todas as coisas em minha vida. Gratidão pelas boas energias que me envolvem e por colocar pessoas maravilhosas em meu caminho. Por me ajudar a desenvolver minhas habilidades, me motivar a ser eu mesma e me impulsionar a fazer a diferença nesse mundo.

A minha família, em especial a minha mãe Lourdes Rewa e meu pai Darcio Eugênio Charnobay, meus exemplos de vida, por sempre apoiarem minhas escolhas e me receber em casa com tanto amor e comida boa. Aos meus irmãos André e Yuri Charnobay e meus avós por todo suporte. Aos meus tios Marcos Charnobay e Raquel Hadlich e meu primo Lorenzo Charnobay por me acolherem em seu lar e cuidarem tão bem de mim.

Ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto por ter me acolhido às pressas para o TCC na graduação, pois assim pude conhecer o Lama e me tornar parte dele. Obrigada pelas horas de conversa, não só na temática do meu trabalho, mas em todas as outras “viajadas” que demos em muitos assuntos. Agradeço a paciência, a amizade e todos os ensinamentos.

Aos agricultores Luis Clovis Shons e Eliane Aparecida Veiga Shons por nos permitirem realizar o estudo dentro de sua propriedade, nos acolherem durante todos os dias de coleta e compartilharem conhecimentos e informações essenciais à realização deste trabalho. Ao seu filho mais novo, Juliano Shons, menino muito curioso e inteligente, pela companhia animada e conversas durante as coletas de solo e os almoços improvisados.

Ao Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes pela amizade, pelos mates e por todo auxílio durante o planejamento, coleta e discussão dos dados. Ao Prof. PhD. Carlos Hugo Rocha pelas doses de otimismo, bom humor e troca de conhecimento. A Eng. Agrôn^a Dra. Natali Maidl de Souza pela amizade, conversas e positividade nos momentos mais difíceis e também pelo auxílio na dissertação até o fim!!

Aos meus maravilhosos amigos do Lama: Mestres e Eng. Agrôn. Eduardo Miranda, Guilherme Mazer e Maghnon Melo; Eng. Agrôn. Anderson Farias e Raphael Ribeiro; Gestora e Empreendedora Kauana Bernardi; Mestre e Gestora Ambiental Natali Calderari; Eng. de Alimentos Lorena Ramos; Geógrafo Átila Santana; aos graduandos em agronomia Marlon Silva, Janaína da Silva, Isabela Bussi, Rafael Grochoski e Rúbia Ciompella, por toda a ajuda desde as coletas de solo até as análises em laboratório. Obrigada pela parceria e momentos de distração. Cada um contribuiu de um jeitinho para meu crescimento profissional e pessoal e vou levar vocês no coração para sempre.

A amiga Eng. Agrôn^a e mestranda Brenda Graczyki, pela amizade desde os primeiros anos de graduação, pelas alegrias e angústias compartilhadas no período de mestrado, bem como pelos momentos fora do ambiente de estudo como as conversas de corredor, os mates no fim do dia, as idas aos pontos turísticos mais lindos de Ponta Grossa e tantos outros acontecimentos pelos quais passamos juntas. Obrigada por me ouvir e também por acreditar que tudo seria possível (coração amarelo!).

A amiga Eng. Agrôn^a Paula Blum pela amizade compartilhada desde a graduação, por todas aventuras vividas em sua companhia, pelas tentativas de me transmitir calma mesmo que a distância e principalmente por todas as conversas sobre assuntos capa da “Super Interessante”, que nos fizeram crescer como pessoas e profissionais e repensar vários aspectos da vida.

Ao Eng. Agrôn. André Carlos Auler pela amizade desde a graduação, pela paciência e transferência de conhecimentos durante o mestrado, principalmente com a análise dos atributos físicos do solo. As Eng. Agrôn^a. Aline Lima e Carmen Lícia Rios Fontenele Lima, amigas e parceiras de trabalho, pelos momentos de aprendizado em conjunto. A amiga e graduanda em agronomia Bruna Schiebelbein por todo auxílio durante as análises laboratoriais e aprendizado conjunto.

Aos professores Dr. Fabrício Tondello Barbosa e Dra. Carolina Weigert Galvão pelas contribuições científicas durante a realização deste trabalho.

Ao Eng. Agrôn. e doutorando Angelo Bini e aos alunos de graduação Leonardo Barão, Bernardo Moers e Grazielle Schornobai pelos momentos de aprendizado no Laboratório de Fertilidade do Solo, pelas conversas animadas, tererês e lanches nos fins de tarde. Ao Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires por disponibilizar o laboratório para realização de análises.

A Bióloga e mestranda Daiane Hyeda pela parceria na reta final do trabalho quando eu já não achava possível realizar as análises microbiológicas. Formamos uma bela dupla de trabalho e aprendemos muito juntas!

A técnica do laboratório de Matéria Orgânica do Solo Jaqueline Aparecida Gonçalves pela disponibilidade e auxílio nas análises utilizadas neste trabalho.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) pelo ensino público de qualidade e capacitação. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual este trabalho certamente não seria possível.

Aos que aqui não foram citados, mas não menos importantes, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação profissional e pessoal, muito obrigada!

“O futuro do Brasil está ligado à sua terra. O manejo adequado de seus solos é a chave mágica para a prosperidade e bem-estar geral”
(Ana Primavesi)

CHARNOBAY, A. R. C. **Atributos do solo em sistema agroflorestal**. 2019. 80 pag. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-PR, 2019.

RESUMO

Com menor quantidade de terra e de recursos econômicos os agricultores de base familiar ficaram fora do modelo produtivo baseado nos princípios da revolução verde. Para este grupo, visando desenvolvimento rural sustentável, existe a necessidade de abordagens alternativas. Os sistemas agroflorestais reúnem serviços sociais, econômicos e ambientais e podem ser alternativas para o desenvolvimento e sustentabilidade no meio rural. O objetivo deste trabalho foi avaliar qualidade do solo em sistema agroflorestal familiar utilizando atributos físicos, químicos e biológicos. O estudo foi realizado em propriedade de agricultores familiares localizada no Assentamento Contestado, no município da Lapa – PR. O clima da região é classificado como Cfb e o solo como Cambissolo Háplico Tb Distrófico. Foram selecionadas quatro áreas na propriedade, caracterizadas por diferentes usos e manejo do solo: (a) linha de agrofloresta com tempo de adoção de 4 anos (AL); (b) entrelinha de agrofloresta com tempo de adoção de 4 anos (AE); (c) lavoura de milho com preparo convencional de solo (LA) e (d) área de mata nativa (MT). Foram realizadas amostragens nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm para os indicadores físicos densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e bioporosidade e os indicadores químicos pH, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, carbono e alumínio. Na camada 0-10 cm foram mensurados a condutividade hidráulica saturada do solo (Kfs) e os indicadores biológicos carbono da biomassa microbiana, respiração do solo, quociente microbiano e quociente metabólico. Foi realizada também a análise visual da estrutura do solo (AVES). Para as variáveis físicas (com exceção da AVES e da Kfs) e químicas do solo foram empregadas a análise de componentes principais (ACP) e análise hierárquica de agrupamentos (AHA). As demais variáveis foram submetidas às análises de variância e estatística de contrastes ortogonais. A área de mata nativa apresentou características pedogenéticas distintas. A ACP indicou, em todas as camadas, a existência de três grupos com variabilidades diferentes: 1) MT, 2) AL e AE e 3) LA. A AHA confirmou os resultados denotados na ACP. A textura do solo e os atributos químicos de AL e AE foram semelhantes a LA. AE e LA apresentaram valores limitantes de macroporosidade na camada 10-20 cm e 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. Nas camadas 0-5 e 5-10 cm, AL e AE apresentaram maior volume de bioporos em relação a LA. Para Kfs, AE foi o manejo que apresentou os menores valores de infiltração, não diferindo de LA. Os atributos microbiológicos não diferiram entre os manejos. A linha e a entrelinha da agrofloresta apresentaram melhor qualidade visual da estrutura do solo comparado à lavoura.

Palavras-chave: Agricultura familiar; manejo do solo; qualidade de solo; desenvolvimento sustentável

CHARNOBAY, A. R. C. **Soil attributes in an agroforestry system**. 2019. 80 pag. Dissertation (Master in Agronomy) – Ponta Grossa State University, Ponta Grossa - PR, 2019.

ABSTRACT

With less land area and economic resources, family-based farmers were left out of the productive model based on the green revolution principles. For this group there is a need for alternative approaches aiming at sustainable rural development. Agroforestry systems bring together social, economic and environmental services and can be alternatives for rural development and sustainability. The objective of this study was to evaluate soil quality in a family agroforestry system using physical, chemical and biological indicators. The study was carried out in family farm located in the Contestado Settlement, in Lapa - PR. The climate of the region is classified as Cfb and the soil as a Cambisol. Four areas of the farm were selected, characterized by different soil uses and management: (a) agroforestry row with adoption time of 4 years (AR); (b) agroforestry inter-row with adoption time of 4 years (AI); (c) maize crop with conventional tillage (CT) and (d) native forest (NF). Soil density, total porosity, macroporosity, microporosity and bioporosity, and the chemical indicators pH, potential acidity ($H^+ + Al^{3+}$), calcium, magnesium, potassium, phosphorus, carbon and aluminum contents were measured at the layers 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm. In the 0-10 cm layer, saturated soil hydraulic conductivity (Kfs) and the biological indicators microbial biomass carbon, soil respiration, microbial quotient and metabolic quotient were measured. The visual evaluation of soil structure (VESS) was also performed. For the physical variables (with the exception of VESS and Kfs) and chemical variables, the principal component analysis (PCA) and hierarchical group analysis (AHA) were used. The other variables were submitted to analysis of variance and statistics of orthogonal contrasts. The native forest presented distinct pedogenetic characteristics. PCA indicated, in all layers, the existence of three groups with different variability: 1) NT, 2) AR and AI and 3) LA. The AHA confirmed the results reported in the PCA. Soil texture and chemical attributes of AR and AI were similar to CT. AI and CT showed limiting values of macroporosity in the 10-20 cm and 5-10 and 10-20 cm layer, respectively. In the layers 0-5 and 5-10 cm, AR and AI presented higher volume of biopores compared to CT. For Kfs, AI was the management that presented the lowest infiltration values, not differing from CT. Microbiological attributes did not differ between soil managements. The agroforestry row and inter-row presented better visual evaluation of the soil structure compared to the maize crop area.

Keywords: Family farming; soil management; soil quality; sustainable development

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Representação esquemática de um sistema agroflorestal.....	29
Figura 2:	Média mensal de temperatura e precipitação pluviométrica acumulada mensal de março de 2018 a janeiro de 2019. Lapa-PR	36
Figura 3:	Imagens dos tratamentos amostrados para avaliação da qualidade de solo. Lapa - PR.....	37
Figura 4:	Perfil de elevação dos locais tratamentos amostrados para avaliação da qualidade de solo. Lapa –PR.....	45
Figura 5:	Representação gráfica da ACP dos manejos agrupados pelos fatores 1 e 2 em cada camada de solo.....	52
Figura 6:	Representação gráfica da ACP das variáveis físicas e químicas agrupadas pelos fatores 1 e 2 em cada camada de solo	53
Figura 7:	Representação gráfica da AHA das variáveis físicas e químicas agrupadas pelos fatores 1 e 2 em cada camada de solo.....	58
Figura 8:	Blocos de solo extraídos e manuseados para a avaliação visual da qualidade da estrutura do solo.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Principais espécies componentes das linhas do SAF.....	38
Tabela 2:	Contrastes ortogonais aplicados aos tratamentos para as variáveis estudadas. Lapa -PR.....	43
Tabela 3:	Granulometria e classe textural do solo em áreas de mata (MT), agrofloresta linha (AL), agrofloresta entrelinha (AE) e lavoura (LA). Lapa – PR.....	44
Tabela 4:	Análise descritiva dos atributos físicos e químicos para os manejos na profundidade de solo 0-5 cm. Lapa – PR.....	47
Tabela 5:	Análise descritiva dos atributos físicos e químicos para os manejos na camada de solo 5-10 cm. Lapa- PR.....	48
Tabela 6:	Análise descritiva dos atributos físicos e químicos para os manejos na camada de solo 10-20 cm. Lapa- PR.....	49
Tabela 7:	Análise descritiva dos atributos físicos e químicos para os manejos na camada de solo 20-40 cm. Lapa- PR.....	50
Tabela 8:	Porcentagem da variabilidade do conjunto de dados nos fatores 1 e 2 da análise de componentes principais.....	52
Tabela 9:	Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para análise visual da estrutura do solo (AVES) nos tratamentos estudados. Lapa – PR.....	59
Tabela 10:	Análise descritiva da variável AVES por tratamento (manejos). Lapa – PR.....	61
Tabela 11:	Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para condutividade hidráulica saturada (Kfs) nos tratamentos estudados. Lapa – PR.....	62
Tabela 12:	Análise descritiva da variável condutividade hidráulica saturada (Kfs) nos tratamentos estudados. Lapa – PR.....	62
Tabela 13:	Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para análise dos atributos biológicos nos tratamentos estudados. Lapa – PR.....	63
Tabela 14:	Análise descritiva das variáveis microbiológicas nos usos e manejos na profundidade de solo 0-10 cm. Lapa-PR.....	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 AGRICULTURA CONVENCIONAL E SEUS EFEITOS.....	15
3.2 A AGRICULTURA DE BASE FAMILIAR.....	17
3.3 QUALIDADE DE SOLO	19
3.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO	21
3.4.1 Indicadores físicos de qualidade do solo	23
3.4.2 Indicadores químicos de qualidade do solo	26
3.4.3 Indicadores biológicos de qualidade do solo	27
3.5 SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ALTERNATIVA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR E A CONSERVAÇÃO DO SOLO.....	29
3.6 ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS	33
4. MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 ÁREA EXPERIMENTAL.....	36
4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	36
4.3 AMOSTRAGEM DO SOLO.....	39
4.4 DETERMINAÇÕES DOS INDICADORES FÍSICOS	40
4.5 DETERMINAÇÕES DOS INDICADORES QUÍMICOS.....	42
4.6 DETERMINAÇÕES DOS INDICADORES BIOLÓGICOS	42
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1 GRANULOMETRIA E CLASSE TEXTURAL	44
5.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO.....	45
5.3 ANÁLISE DESCRITIVA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE QUALIDADE DO SOLO.....	46
5.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	51
5.5 ANÁLISE VISUAL DA ESTRUTURA DO SOLO (AVES).....	59
5.6 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA (KFS)	61
5.7 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS.....	63
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
7. CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

O modelo de produção agrícola atual, baseado nos princípios da Revolução Verde, é caracterizado pela demanda intensiva de recursos naturais, insumos de síntese química e seleção de plantas e animais com potencial de resposta a estes insumos. Inegavelmente estes sistemas produtivos aumentaram a produtividade de alimentos, combustíveis e fibras, contudo essas práticas agrícolas da agricultura moderna têm desencadeado processos de desequilíbrio e degradação ambiental (ROCHA et al, 2016).

Além disto, este modelo, que necessita de grande aporte de capital e de extensões de terra, tem causado problemas sociais. O referido modelo não é compatível com as condições dos agricultores de base familiar, que conceitualmente são aqueles que possuem menor quantidade de terra e de recursos econômicos. Este cenário tem levando os agricultores de base familiar a captação de recurso de forma desordenada e consequentes frustrações econômicas. O resultado, muitas vezes, é o abandono ou venda das terras. O êxodo rural tem aumentado e é grande problema social já que a agricultura de base familiar é a principal fonte de abastecimento de alimentos para mercado interno brasileiro (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/ IBGE, 2006). Além disso, os agroecossistemas familiares tendem a conservar biodiversidade e tradição, preservando recursos da paisagem, água e solo (ALTIERI, et al., 2012).

O solo é um recurso essencial para a sobrevivência por ser responsável por uma série de funções e serviços ecossistêmicos. Estima-se que 33% dos solos do mundo estejam degradados (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/ FAO, 2015) e em decorrência disto o termo qualidade de solo tem sido discutido. Uma das definições mais amplas da qualidade do solo se refere a esta como a capacidade de sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde dos seres vivos, tanto em ecossistemas naturais como em ecossistemas com ações antrópicas (DORAN; SARRANTONIO; LIEBIG, 1996).

O manejo e uso do solo influenciam grandemente nos seus atributos, sendo estes responsáveis pela estrutura, fertilidade e vida no solo, componentes essenciais para este desempenhar suas funções. Assim, é importante monitorar os efeitos das práticas de transformação realizadas. A avaliação da qualidade do solo é realizada através de indicadores, medidas quantitativas ou qualitativas selecionadas de acordo com as funções de interesse e relacionadas aos atributos físicos, químicos e biológicos que são importantes para mensurar a sustentabilidade de sistemas cultivados e naturais (KARLEN et al., 1997).

Considerando os limites da “modernização” para a pequena propriedade familiar e a importância desta para a produção de alimentos e conservação dos recursos naturais, devem ser criadas abordagens alternativas de desenvolvimento rural encorajando potenciais locais existentes (MEDINA et al., 2015). Uma das alternativas ao modelo convencional de produção agrícola, visando produzir, promover sustentabilidade e desenvolvimento no meio rural, é o apoio ao desenvolvimento e uso de sistemas integrados de produção que reúnam serviços sociais, econômicos e ambientais, como é a proposta, por exemplo, dos sistemas agroflorestais.

Os sistemas agroflorestais podem ser interessantes para a agricultura familiar pois prometem reunir vantagens econômicas e ambientais. A utilização de espécies florestais, anuais e de animais em uma mesma área, seguindo os princípios de sucessão natural, tem potencial para contribuir com diversos serviços ecossistêmicos.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar qualidade do solo em área manejada com sistema agroflorestal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar indicadores físicos de qualidade do solo em área com sistema agroflorestal;
- Avaliar indicadores químicos de qualidade do solo em área com sistema agroflorestal;
- Avaliar indicadores microbiológicos de qualidade do solo em área com sistema agroflorestal.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AGRICULTURA CONVENCIONAL E SEUS EFEITOS

A agricultura representa o maior ecossistema projetado da humanidade. Os ecossistemas agrícolas, além de ativamente manejados para produção de alimentos, fibras e combustíveis continuam a exercer funções ecológicas como, por exemplo, regulação do ciclo da água e dos nutrientes (ZHANG et al, 2007). Os serviços ecossistêmicos provenientes da agricultura dependem, por sua vez, de rede de serviços de apoio e regulação (água, estrutura e fertilidade do solo, insetos polinizadores e inimigos naturais de pragas e doenças) que suportam a produção agrícola (SANDHU; WRATTEN; CULLEN, 2010; PALM et al, 2014). Sendo assim, a agricultura é uma atividade, econômica, estreitamente relacionada com o meio ambiente, já que depende diretamente dos recursos naturais para sua ocorrência.

Por muitos séculos a produção agrícola ocorreu a partir da utilização de recursos locais (terra, água, resíduos orgânicos) e do conhecimento empírico dos agricultores sobre fisiologia das plantas e de variedades locais (ASSIS; ROMEIRO, 2002; ALTIERI, 2009). Ao longo do tempo, no entanto, com o aumento da produção, a geração de excedentes e o desenvolvimento de economias diversificadas, a agricultura passou cada vez mais a ser enquadrada como um setor econômico separado do meio ambiente, o que acarretou também na separação entre humanos e natureza (PRETTY; BHARUCHA, 2014).

Este processo de separação está intimamente ligado ao processo de modernização da agricultura ocorrido com o advento da Revolução Industrial, o crescimento e a transformação das sociedades humanas (RAMANKUTTY et al., 2018). Nos últimos 50 anos, por exemplo, com a chamada Revolução Verde, ocorreram alterações na dinâmica de funcionamento dos sistemas agrícolas (SIMINSKI; SANTOS; WENDT, 2016).

Revolução verde é o termo usado para denotar o conjunto de tecnologias empregadas para aumentar rapidamente os rendimentos por unidade de área (RAMANKUTTY et al., 2018). Este processo priorizou o aumento da produção agrícola a partir de um modelo tecnológico baseado no uso intensivo da mecanização, de adubos minerais de alta solubilidade, de variedades de plantas melhoradas geneticamente e manejadas em sistemas de monocultura e de agrotóxicos para controle de pragas, doenças e plantas daninhas (PRETTY; BHARUCHA, 2014).

A adoção do modelo de produção agrícola intensiva, hoje conhecido como agricultura convencional, inegavelmente aumentou a produção agrícola, mas o fez à custa da degradação do meio ambiente e dos recursos naturais (ALTIERI, 2009). As práticas agrícolas ocupam cerca

de 38% da superfície do planeta (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - STATISTICS ONLINE WEBSITE/ FAOSTAT, 2015) e são as principais responsáveis pelo desmatamento (GIBBS, 2010), degradação do solo (FAO, 2015) e por cerca de um quarto das emissões antropogênicas de gases do efeito estufa (SMITH, 2014).

A agricultura é ainda considerada importante causa subjacente e persistente de eutrofização (MOSS, 2008), formação de zonas de hipoxia (ALTIERI et al., 2017) e acidificação (WALLACE et al., 2017) em muitas bacias hidrográficas ao redor do mundo, utilizando na irrigação, 70% da água doce consumida no planeta (ROSEGRANT; RINGLER; ZHU, 2009).

Pesticidas são largamente utilizados para controle de pragas, doenças e plantas daninhas e em 2016 aproximadamente 4 milhões de toneladas de ingrediente ativo de pesticidas foram utilizadas no mundo (FAOSTAT, 2016). Este tem como consequência a contaminação das águas, ecossistemas e alimentos, declínio nas populações de abelhas (MOTTA; RAYMANN; MORAN, 2018) e de inimigos naturais das pragas agrícolas (PUECH et al., 2014), desenvolvimento de pragas e plantas daninhas resistentes à pesticidas (PARISI; TILLIE; RODRÍGUEZ-CEREZO, 2016) e problemas de saúde pública (DUTRA; FERREIRA, 2017; KIM; KABIR; JAHAN, 2017).

Os impactos da agricultura convencional também são sentidos no âmbito social. Para sucesso econômico do modelo intensivo de agricultura concebido pela Revolução Verde é necessário grande aporte de terra e capital, assim, o retorno econômico gerado privilegia poucos agricultores (ROCHA et al, 2016). Os privilegiados, neste caso, são agricultores do chamado setor do agronegócio, que tem acesso mais fácil a capital, infra-estrutura e informação (GRAEUB, et al., 2016). Nos países em desenvolvimento, no entanto, a maioria dos agricultores é de pequena escala e contam com poucos recursos, sendo assim o sistema convencional de agricultura não atende às necessidades básicas desses (JOUZI et al., 2017).

No Brasil, por exemplo, como consequência das políticas agrícolas adotadas no final do século passado, verificou-se a expansão da agricultura de grande escala e o aprofundamento de uma série de problemas vividos pelos agricultores familiares (DE PAULA; KAMIMURA; SILVA, 2014). O que observa-se é fraca governança fundiária, dificuldade de obter insumos e créditos, barreiras que restringem o acesso ao mercado, bem como políticas públicas pouco favoráveis (PINGALI, 2012).

3.2 A AGRICULTURA DE BASE FAMILIAR

A definição do termo “Agricultura Familiar” ou “Agricultura Camponesa” difere entre países, não sendo claramente acordada a nível global (GRAEUB et al., 2016). Algumas definições consideram o tamanho do estabelecimento agrícola, delimitando área de terra máxima, além da qual a propriedade não é mais considerada familiar. Outras definições podem exigir que a participação da renda familiar de atividades não-agrícolas não exceda determinado quantitativo (LOWDER; SKOET; RANEY, 2016). Apesar da ampla variação entre as definições de agricultura familiar existem algumas semelhanças, sendo os aspectos mais comuns encontrados: o uso do trabalho familiar e a administração da propriedade pela família (GARNER; de la O CAMPOS, 2014).

Como parte do plano para o Ano Internacional da Agricultura Familiar em 2014, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) definiu agricultura familiar como:

Um meio de organizar a produção agrícola, florestal, pesqueira, pastoral e aquicultura, que é administrada e operada por uma família e predominantemente dependente do trabalho familiar, incluindo mulheres e homens. A família e a fazenda estão ligadas, co-evoluem e combinam funções econômicas, ambientais, sociais e culturais. (FAO, 2014).

No Brasil, a Lei nº 11.326/2006 (BRASIL, 2006) define como agricultor familiar aquele que:

- 1) não detenha, a qualquer título, área maior do que quatro módulos fiscais, cuja área varia de acordo com o município e é definida pela Lei nº 6746/1979 (BRASIL, 1979);
- 2) utilize mão de obra predominantemente da família nas atividades econômicas de seu estabelecimento; 3) tenha percentual mínimo da renda familiar (80%) originada de atividades econômicas do seu estabelecimento; e 4) a propriedade seja dirigida pela família.

A maioria dos países tem população camponesa significativa inserida em diversos grupos étnicos, com histórias de prática de agricultura que remontam a passado distante (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012). Através da análise de censos agropecuários de 167 países, estimou-se a existência de cerca de 570 milhões de propriedades agrícolas no mundo, destas, cerca de 90% são familiares e ocupam 75% das terras agricultáveis (LOWDER; SKOET; RANEY, 2016).

No Brasil, de acordo com o Censo Agropecuário brasileiro de 2006, existem 4,3 milhões de estabelecimentos familiares, totalizando aproximadamente 85% dos estabelecimentos rurais do país (IBGE, 2006). Porém, dos 329,9 milhões de hectares ocupados

por estabelecimentos agrícolas no Brasil, apenas 80,2 milhões são ocupados por agricultores familiares (24,3% da área total), sendo então, aproximadamente, 75% das terras cultivadas pelo agronegócio (MEDINA et al., 2015).

A maioria das propriedades agrícolas familiares brasileiras enfrenta restrições estruturais tanto em termos de ativos limitados quanto de contexto institucional desfavorável, o que dificulta seu desenvolvimento através do caminho clássico de modernização (MEDINA, 2015). Este fato pode explicar o grande êxodo rural ocorrente no país nas últimas décadas, onde a população rural passou de 38 milhões de habitantes em 1960 para 29 milhões em 2010 (IBGE, 2011). De acordo com os dados preliminares do Censo Agropecuário de 2017, o número de pessoas ocupadas em atividades agropecuárias diminuiu 9,2% em relação ao último censo, em 2006, sendo agora de aproximadamente 15 milhões (IBGE, 2017).

Apesar dos desafios e do cenário atual, a agricultura familiar provavelmente é responsável pela maioria da produção agrícola e alimentar do mundo (LOWDER; SKOET; RANEY, 2016). No Brasil, a agricultura familiar é fundamental no setor alimentar, produzindo em 24,3% da área total de cultivo agrícola o equivalente a 70% dos alimentos que abastecem o mercado interno (IBGE, 2006). Em adição ao quantitativo, os agricultores familiares no Brasil são responsáveis por 70% da produção de alimentos orgânicos do país (BRASIL, 2018).

Além da importância do setor agrícola familiar no abastecimento alimentar, pesquisas nas últimas décadas indicam papel fundamental da agricultura familiar para a sustentabilidade ambiental e subsistência dos agricultores (OKUYAMA et al., 2012; CHAPPELL et al., 2013). Existem evidências de que a agricultura de base familiar pode ser mais produtiva do que os monocultivos quando considerada a produção total ao invés de uma única cultura, promove o aumento da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012). Além disto, devido à maior complexidade dos sistemas de produção empregados apresenta grande estabilidade e capacidade de se adaptar e resistir a mudanças no ambiente (ALTIERI et al., 2015).

Ao revisar e compilar resultados de 172 estudos, Mijatovic et al. (2013) mostraram que a resiliência dos sistemas cultivados por agricultores tradicionais é atingida através de uma série de estratégias frequentemente combinadas. Entre as técnicas utilizadas podem ser citadas a proteção e restauração dos ecossistemas, o cultivo em sistemas agroflorestais, a diversificação dos sistemas agrícolas, os ajustes realizados nas práticas de cultivo, o cultivo de sementes crioulas adaptadas aos locais e o uso sustentável dos recursos hídricos e do solo.

O solo é a base para a produção agrícola. O estado pedogenético do solo (características inerentes como textura, mineralogia e matéria orgânica) juntamente ao manejo

empregado determina a qualidade do solo e os agricultores, geralmente, estão familiarizados com este conceito, pois continuamente exploram maneiras de complementar estoques ou compensar a falta de capital natural do solo (PALM et al., 2007; DOMINATI, 2013).

Para os agricultores familiares, com poucos recursos financeiros, a terra é um dos maiores capitais e o cuidado com o solo por parte destes produtores busca otimizar processos naturais para produzir com mínima utilização de insumos externos, bem como reduzir impactos negativos do manejo. O manejo do solo deve ser realizado sustentavelmente e os agricultores de base familiar tem muitos exemplos de como produzir alimentos preservando este recurso natural. Apoiar os agricultores familiares é necessário para apoiar os solos (FAO, 2014).

3.3 QUALIDADE DE SOLO

O solo é um ambiente complexo e heterogêneo onde componentes sólidos, líquidos e gasosos interagem dentro de multiplicidade de processos físicos, químicos e biológicos (ZORZONA et al., 2015). Algumas das funções do solo são a produção de biomassa e matérias-primas para diversos fins, a filtração, armazenagem e regulação da água no ambiente e a degradação de compostos ambientalmente perigosos (BLUM, 2005). O solo também desempenha papel na moderação do clima, na reciclagem de matéria orgânica morta e em decomposição, no armazenamento de nutrientes vegetais e na regulação de diversos ciclos biogeoquímicos (LAL, 2016). Além disso, milhares de animais e microorganismos habitam o solo durante parte ou todo ciclo de vida (BROWN et al., 2015).

As funções do solo que beneficiam a humanidade são chamadas de serviços ecossistêmicos do solo (FAO, 2015). Os serviços ecossistêmicos (SEs) são definidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, sendo agrupados em serviços de suporte, serviços de provisão, serviços reguladores e serviços culturais (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT/ MEA, 2005). Estudando sobre SEs do solo, Jónsson e Davíðsdóttir (2016) contabilizaram 86 serviços ecossistêmicos prestados pelo solo, sendo 17 de suporte, 32 de provisão, 36 reguladores e um cultural.

À semelhança de outros habitats, o solo tem sofrido crescentes pressões devido as atividades antropocêntricas (JÓNSSON; DAVÍÐSDÓTTIR, 2016). Estima-se que 33% dos solos do mundo estejam degradados por processos tais como salinização, contaminação, compactação, acidificação e erosão (FAO, 2015). A degradação da superfície terrestre através de atividades humanas impacta negativamente o bem-estar de pelo menos 3,2 bilhões de pessoas e custa mais de 10% do produto bruto global anual em perda de biodiversidade e

serviços ecossistêmicos (INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES/ IPBES, 2018).

Dada a importância dos solos para a produção agrícola e pecuária, bem como para fornecer serviços ecossistêmicos mais amplos para a sociedade, tanto em escala local como global, a manutenção da qualidade do solo é de vital importância (BAI et al., 2018). No início dos anos 1990, conscientes do papel do solo para a qualidade ambiental, pesquisadores começaram a tratar nas publicações da preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e neste contexto, iniciou-se a discussão sobre o termo Qualidade do Solo (QS) (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Muitas das definições da QS abordam principalmente aspectos relacionados a produção agrícola, deixando de lado o componente ambiental. Alguns sugerem que a qualidade do solo está simplesmente relacionada com a quantidade de culturas produzidas (KARLEN et al., 1997). Os precursores a alertar sobre os impactos do manejo do solo na sustentabilidade da agricultura foram Lal e Pierce em 1991, participando do workshop Manejo do solo para sustentabilidade, em Alberta, Canadá (ZORZONA et al., 2015). A definição de QS mais integrativa, produção e ambiente, foi a estabelecida por Doran, Sarrantonio e Liebig (1996) conceituando-a como “A capacidade do solo de funcionar dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde dos seres vivos”.

A base para o desenvolvimento da sustentabilidade da produção agrícola é o solo (DORAN; ZEISS, 2000). Os serviços ecossistêmicos do solo dependem das propriedades do solo e de sua interação e são influenciados pelo uso e manejo do solo (ADHIKARI; HARTEMINK, 2016). Prever as relações entre as propriedades e os processos do solo é necessário para entender os sistemas naturais e também para manejar os sistemas cultivados a fim de favorecer, ao invés de degradar, os SE (PALM et al., 2007).

As práticas de manejo do solo na agricultura podem impactar negativamente ou positivamente a QS. O uso indiscriminado de práticas de preparo do solo com revolvimento, juntamente com a remoção excessiva de resíduos agrícolas e o uso desequilibrado de fertilizantes químicos, podem degradar a qualidade do solo, esgotar o conteúdo de carbono e agravar os riscos de erosão do solo (LAL, 2016). O revolvimento do solo, por exemplo, pode beneficiar as propriedades físico-hídricas a curto prazo, mas esses efeitos não persistem ao longo do tempo (HARUNA et al., 2018), principalmente em camadas mais profundas, podendo limitar o crescimento das culturas (MORAES et al., 2016). O preparo do solo aumenta a mineralização do carbono (C) orgânico do solo devido à ruptura dos agregados pela ação de

implementos e da chuva com consequente liberação de CO₂, o que diminui o conteúdo de C nas camadas superficiais (CHENU et al., 2018).

Por outro lado, sistemas de cultivo conservacionistas como o cultivo mínimo e o sistema de plantio direto, que priorizam mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e cobertura permanente do solo, visam aumentar a produtividade das culturas através da melhoria de vários serviços ecossistêmicos do solo (PALM et al., 2014), o que tende a refletir na melhoria da QS.

Sistemas agroecológicos de produção também têm demonstrado impactar positivamente a QS, principalmente em relação aos atributos biológicos. As práticas empregadas no manejo orgânico, principalmente a diversidade de culturas, aumentam a abundância e diversidade de microorganismos do solo (LORI et al., 2017). Em estudo de 100 anos de duração comparando adubação orgânica e convencional, Francioli et al. (2016) verificaram que a adubação orgânica aumentou o conteúdo de matéria orgânica, nutrientes e do carbono da biomassa microbiana em relação à adubação convencional, sendo que esta diminuiu a diversidade de microorganismos do solo.

Ao comparar sistemas de cultivo conservacionistas, orgânicos e convencionais durante 14 anos, Henneron et al. (2014) observaram que tanto sistemas conservacionistas quanto sistemas orgânicos aumentaram a biomassa e a abundância de macro, micro e nematofauna do solo.

É necessário buscar práticas racionais de uso do solo que permitam rendimentos economicamente e ambientalmente sustentáveis, que por sua vez, só são alcançados com a conservação ou recuperação da qualidade do solo (CARDOSO, 2013). A QS é mensurada através de indicadores que contribuem para entender o estado do solo e avaliar os efeitos negativos ou positivos de mudanças no seu uso e manejo (PULLEMAN et al., 2012).

3.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo não pode ser mensurada diretamente, pois esta é resultado de interações complexas entre os atributos do solo. Para tanto utilizam-se indicadores de qualidade, medidas quantitativas ou qualitativas selecionadas de acordo com as funções de interesse do solo e relacionadas aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo que são importantes para medir a sustentabilidade de sistemas cultivados e naturais (KARLEN et al., 1997) e gerar informações sobre a capacidade do solo de fornecer serviços ambientais essenciais (ZORZONA et al., 2015).

Conceitos relacionados à avaliação da qualidade do solo têm sido utilizados desde os primórdios da agricultura. Através da visão, tato, gosto e cheiro, romanos definiram diretrizes para avaliar a capacidade de uso do solo para culturas específicas. A cor do solo era usualmente relacionada com a produtividade agrícola, sendo solos mais escuros mais produtivos e adequados para a semeadura de milho. A acidez do solo era identificada por um simples teste de gosto, com solos ácidos avaliados através da reação facial do degustador (DORAN, SARRANTONIO; LIEBIG, 1996).

Ainda que mais baratos e rápidos, os métodos descritivos de avaliação da QS são altamente subjetivos e requerem certa experiência para mensuração. Ao longo dos anos, com o advento da ciência do solo e os avanços em métodos analíticos ocorreu a troca progressiva destes indicadores por indicadores analíticos para avaliação do solo, específicos e com maior acurácia. Apesar dos avanços, o estabelecimento de um conjunto de indicadores a serem usados para a avaliação da QS (qualitativa ou quantitativamente) ainda não é consenso entre pesquisadores e agricultores. O que é considerado boa qualidade do solo em determinado contexto agrícola pode não ser em outro e isso torna a avaliação da qualidade do solo mais complexa ainda (ADEYOLANU; OGUNKUNLE, 2016).

Os indicadores de qualidade de solo devem ser sensíveis às variações de manejo e clima, de fácil mensuração e acesso tanto para cientistas, como para agricultores, extensionistas e instituições e também, econômicos e úteis para explicar os processos do ecossistema (DORAN; ZEISS, 2000). Além disso, um indicador é útil somente quando seu valor pode ser corretamente interpretado e comparado com valores de referência (BUNNEMAN et al., 2018).

A utilização de um conjunto de indicadores, ao invés de um único atributo, é recomendada a fim de melhor compreender os efeitos do uso e manejo do solo, já que os atributos são interconectados e geram interferências mútuas, embora tenham diferentes níveis de resposta a mudanças (CARDOSO et al., 2013).

Avaliando os indicadores de QS propostos com maior frequência em 62 publicações, Bunemann et al. (2018) verificaram que a matéria orgânica/carbono orgânico total e o pH são os indicadores de qualidade do solo mais utilizados, seguidos pelo fósforo disponível, indicadores de armazenamento de água e densidade do solo. O número médio de indicadores propostos é 11 e na maioria das publicações, pelo menos um indicador físico, um químico e um biológico foi incluído, contudo indicadores biológicos do solo estavam ausentes em 40% dos conjuntos de dados mínimos revisados.

A seleção e utilização de indicadores de diferentes naturezas (física, química e biológica) é essencial para alcançar uma imagem holística da QS. Uma gama de atributos físicos, químicos e biológicos foram propostos e estão disponíveis para medir a qualidade do solo (ZORZONA et al., 2015).

3.4.1 Indicadores físicos de qualidade do solo

A qualidade física do solo se manifesta de diversas maneiras. Exemplos de boa qualidade física ocorrem através de adequadas taxas de infiltração de água, baixo escoamento superficial, alta aeração e facilidade de crescimento e desenvolvimento de raízes (DEXTER, 2004).

A estrutura do solo, definida como o arranjo espacial da parte sólida e dos poros do solo, é reconhecida por controlar muitos dos processos relacionados à qualidade física em solos (BRONICK; LAL, 2005). Indicadores para avaliação da estrutura do solo têm sido utilizados no laboratório e a campo para verificar os impactos do manejo do solo em sua qualidade física. Entre os indicadores mensurados em laboratório pode-se citar a densidade, a porosidade e o tamanho dos poros. À campo, métodos visuais de avaliação da qualidade do solo (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007) e métodos rápidos de avaliação da infiltração de água no solo têm sido propostos e utilizados (BAGARELLO; IOVINO; ELRICK, 2004).

A textura e a densidade de partículas são consideradas características inerentes ao solo e não são afetados a curto prazo com o uso e o manejo do solo (STEFANOSKI, 2013). Contudo, a mensuração destes indicadores é importante para caracterização do solo estudado e também pelo fato destes atributos, principalmente a textura, influenciarem a densidade do solo, a dinâmica de agregação e o tamanho dos poros afetando os demais indicadores (PALM et al., 2007; OLIVER et al, 2013).

A densidade do solo (DS), a porosidade total (PT) e o volume de macroporos (MA), bioporos (BP) e microporos (MI) do solo são importantes indicadores da QS física já que estes fornecem medidas do grau de compactação, do volume passível de ser ocupado por água e ar, da ação das raízes e fauna edáfica e da dinâmica de infiltração e armazenamento de água do solo (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000; ARAÚJO et al., 2012; CARDOSO et al., 2013).

Estudos tem encontrado valores críticos para estes indicadores, abaixo dos quais as funções do solo são comprometidas. Os valores de densidade dos solos agrícolas variam de 0,9 a 1,8 g cm⁻³, dependendo da textura e do teor de matéria orgânica do solo. A matéria orgânica apresenta densidade menor que 1 g cm⁻³, o que reduz a DS (KLEIN, 2008). Os valores de DS

são naturalmente maiores em solos arenosos e devido a isso Reichert; Reinert e Braida (2003) propuseram, ao invés de um valor de DS absoluto, valores críticos para avaliar o estado de compactação do solo. Estes consideram o teor de argila como referência, caracterizando como compactado o solo que apresente valores de DS acima de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com mais de 550 g kg^{-1} de argila; $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ para solos entre 200 e 550 g kg^{-1} de argila e $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com menos de 200 g kg^{-1} de argila.

A PT, de acordo com Kiehl (1979) deve assumir valores entre $0,35$ e $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para solos arenosos e entre $0,40$ e $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para solos argilosos. Em relação à macroporosidade Xu; Nieber e Gupta (1992), observaram que valor crítico que limita o metabolismo e o crescimento das raízes e diminui a permeabilidade do solo e a continuidade dos poros é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Os BP, de acordo com Reinert et al. (2008) normalmente, representam menos de 3 % (de $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) do volume do solo, sendo que sua formação reduz pouco a densidade do solo, mas possui efeito importante nos fluxos de ar e água no perfil, pois além de apresentarem tamanho considerável possuem elevada continuidade (KAUTZ, 2014).

O manejo do solo pode afetar a DS, a PT e a distribuição do tamanho de poros do solo, por isso é necessário o monitoramento destes atributos. Em trabalho comparando diferentes usos de terra em Latossolo, Bini et al. (2013) verificaram que solos com menor ação antropogênica, como florestas nativas, possuem menores valores de DS quando comparados a solos cultivados ($0,62 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,04 \text{ g cm}^{-3}$), atribuindo o resultado aos maiores teores de matéria orgânica e estabilidade de agregados da mata.

Ao estudar o efeito do preparo do solo (plantio direto de 24 anos – PD24 e preparo convencional de 24 anos – PC) em um Latossolo Vermelho Distroférrico, Moraes et al. (2016) observaram que o PC resultou em menor DS, maior MA e menor MI na camada 0-10 cm ($1,1 \text{ g cm}^{-3}$; $0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em relação ao PD 24 ($1,22 \text{ g cm}^{-3}$; $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Não foram encontradas diferenças significativas na camada 10-20 cm enquanto que na camada 20-30 cm os valores de DS foram maiores no CT ($1,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em relação ao NT24 ($1,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) com destaque para a MA que foi 50% maior para NT24 ($0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) do que para CT ($0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), demonstrando que em profundidade o preparo convencional pode diminuir a QS.

A qualidade da estrutura do solo também pode ser avaliada a partir de métodos visuais realizados diretamente no campo. Estas avaliações possuem as vantagens de serem rápidas, de baixo custo e possibilitarem a diagnose da qualidade estrutural do solo (EURICH et al., 2014). Entre os métodos mais eficientes para análise visual da qualidade do solo está a Avaliação Visual da Estrutura do Solo (AVES), proposto por Ball; Batey e Munkholm (2007) e que, com

base na análise dos agregados e da distribuição de raízes em um bloco de solo, avalia a estrutura pela atribuição de escores de qualidade (Qe) que variam de 1 a 5, sendo Qe = 1 considerado o escore de melhor qualidade estrutural e Qe = 5 o de pior qualidade estrutural. Valores de Qe entre 1 e 3 indicam boa qualidade estrutural do solo, já escores acima de 3 demonstram Qe ruim e geralmente são necessárias mudanças no manejo para melhorar a estrutura do solo.

Trabalhos utilizando tal método têm comprovado que este é eficiente para estudar a qualidade estrutural e diferenciar manejos. Avaliando a qualidade da estrutura do solo através do método AVES em 3 ambientes (mata, pastagem e lavoura), Eurich et al. (2014) verificaram que manejo de lavoura apresentou estruturação inferior à do ambiente de mata (Qe de 2,40 e 1,68 respectivamente) e a área de pastagem sem revolvimento, com Qe de 2,25 apresentou estruturação semelhante aos dois ambientes. Ao empregar o método visual para estudar a qualidade estrutural em área de integração lavoura pecuária (ILP) e sistema de plantio direto (PD), Giarola et al., (2009) verificaram que o sistema ILP apresentou Qe inferior ao PD e a mata (3,07; 2,2 e 1,7 respectivamente), necessitando assim de monitoramento e possíveis mudanças no manejo.

Indicadores de retenção, disponibilidade, drenagem e balanço de água/ar no solo são importantes para a descrição das funções do solo. A condutividade hidráulica saturada (Kfs) é um dos indicadores mais encontrados em estudos de qualidade física e um dos atributos mais importantes do solo pois controla a infiltração de água no solo, o escoamento superficial, a lixiviação de pesticidas e a contaminação do lençol freático (BAGARELLO; IOVINO; ELRICK, 2004). O método da carga decrescente, proposto pelos mesmos autores, possui vantagens em relação aos demais por apresentar baixo custo e poucos equipamentos, sendo de fácil transporte, facilitando a determinação da condutividade hidráulica saturada em campo.

Em trabalho estudando a influência da compactação do solo em características físico-hídricas, Millan et al. (2014) demonstraram que a Kfs decresceu acentuadamente com o aumento da compactação do solo, o que se deve principalmente à diminuição do número de MA do solo (resultando em aumento dos MI), já que o movimento de água em condições saturadas se dá por poros grandes. Moraes et al. (2016) verificaram que a Kfs na camada 0-10 cm dobrou em sistema de plantio direto (20 mm h^{-1}) comparado a preparo convencional (10 mm h^{-1}), atribuindo o resultado ao provável maior número de bioporos do plantio direto. Em estudo de 40 anos de duração comparando sistema de produção convencional, sistema convencional com diversificação de culturas, sistema orgânico com adubação verde e sistema orgânico com adubação com dejetos, Willians et al. (2017) encontraram valores de Kfs (0-10 cm) de $0,01 \text{ mm h}^{-1}$, $0,06 \text{ mm h}^{-1}$, $0,29 \text{ mm h}^{-1}$ e $0,37 \text{ mm h}^{-1}$ respectivamente, demonstrando

que os sistemas orgânicos contribuíram para aumento da infiltração de água no solo em relação aos demais tratamentos.

3.4.2 Indicadores químicos de qualidade do solo

Atributos químicos de qualidade do solo estão relacionados com a capacidade deste em fornecer nutrientes para as plantas e/ou reter elementos químicos ou compostos prejudiciais ao ambiente e ao crescimento das plantas (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000). Práticas de manejo como a calagem, a adubação e o incremento de matéria orgânica do solo podem melhorar os atributos químicos do solo, enquanto que a remoção da cobertura do solo, a erosão, a lixiviação de nutrientes, a eutrofização e a salinização do solo podem levar a degradação química do solo (PALM et al., 2007).

Em geral, os indicadores químicos de qualidade do solo são associados à acidez do solo, aos teores de matéria orgânica do solo, o conteúdo de nutrientes e de elementos fitotóxicos, como o alumínio (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000). Os níveis críticos destes indicadores para solos paranaenses podem ser encontrados no Manual de Adubação e Calagem para o estado do Paraná (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ/ SBCS – NEPAR, 2017).

O pH, medida da concentração de H^+ do solo, é um dos mais importantes determinantes da fertilidade do solo pois influencia na solubilidade de íons metálicos, como Al, Mn, Fe, Cu, Zn e Mo, na disponibilidade de nutrientes e na presença e atividade de microorganismos (OLIVER et al., 2013) e da macrofauna do solo (BROWN et al., 2015). Em sistemas de produção a manutenção do pH do solo entre 5,5 e 7,0 é preconizada, sendo solos ácidos associados à deficiência de nutrientes e a menores produtividades (PETTINGER, 1935). No entanto, sob vegetação nativa, especialmente nos trópicos, o pH do solo varia de ácido a muito ácido (até $< 3,5$) e a ciclagem de nutrientes é mantida através principalmente da serrapilheira (CHAER; TÓTOLA, 2007).

A quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo são fatores críticos para a QS. Alterações na vegetação original de um local ou uso inadequado do solo podem prejudicar o ciclo de C, diminuir o conteúdo de matéria orgânica no solo e aumentar as emissões de CO_2 (MURTY et al., 2002). Na rizosfera, o nível crítico de carbono orgânico (C) do solo é de 1,5 a 2,0 %. Manter os níveis de C acima desse limiar é essencial para a estrutura e agregação do solo, a retenção de água e de nutrientes e controlar as emissões gasosas que regulam a mudança climática (LAL, 2016).

O manejo sustentável dos solos envolve o manejo do C do solo e práticas conservacionistas de uso do solo como os sistemas de preparo mínimo, plantio direto, sistemas integrados, bem como uso de adubação orgânica e verde e aumento da diversidade de organismos edáficos podem melhorar o balanço e os estoques de C do solo (LAL, 2016; CHENU et al., 2018). Comparando diferentes manejos Bini et al. (2013) verificaram que solos em locais com componente florestal, seja nativo ou reflorestado, continham mais C total do que solos cultivados (mata nativa: 40,4 g kg⁻¹; floresta secundária: 40,8 g kg⁻¹; reflorestamento com *Araucaria*: 45,2 g kg⁻¹; reflorestamento com *Pinus*: 40,4 g kg⁻¹ e área agrícola: 30,1 g kg⁻¹). Em trabalho compilando valores de 402 estudos com diferentes sistemas de produção, Bai et al. (2018) verificaram que o cultivo orgânico e o plantio direto favorecem o acúmulo de C no solo em relação ao cultivo sem adição de material orgânico, monoculturas e preparo convencional do solo.

Os nutrientes disponíveis no solo são a fonte de crescimento e desenvolvimento das plantas. As alterações mais severas na disponibilidade dos nutrientes são causadas pela intensidade e tempo de cultivo, revolvimento do solo, fertilização e acidez do solo (McLAUHLAN, 2006). O esgotamento de nutrientes resulta em menor produtividade de culturas e biomassa em geral, o que leva a declínios da matéria orgânica do solo (PALM et al., 2007). Medidas que expressam a disponibilidade de cálcio e magnésio trocáveis, fósforo, potássio, assim como suas relações são importantes para avaliar qualidade de solo em diferentes sistemas de produção (ARAÚJO, et al., 2012).

Em solos ácidos, o alumínio (Al³⁺) é a principal limitação da produtividade das culturas em todo o mundo. A acidificação do solo (pH <5), agravada pelo cultivo intensivo, lixiviação de cátions, uso de fertilizantes e chuvas ácidas, traz a solubilização de formas tóxicas de Al³⁺ para a solução do solo. Pequenas concentrações de Al³⁺, a forma mais tóxica do elemento, já inibem o crescimento da maioria das raízes e causam comprometimento de várias outras funções fisiológicas e metabólicas das plantas, sendo importante a avaliação deste como indicador da QS (SINGH et al., 2017).

3.4.3 Indicadores biológicos de qualidade do solo

A biota do solo compreende os organismos que vivem todo ou parte de seu ciclo de vida abaixo do solo (PULLEMAN, 2012). A fauna edáfica é composta por milhares de espécies de organismos invertebrados que variam em tamanho, desde alguns micrômetros (microfauna) até metros de comprimento (macrofauna) (BROWN et al., 2015).

A microfauna do solo é representada por organismos menores que 100 micrômetros, sendo exemplos bactérias, fungos, protozoários e nematóides (WURST; DEYN; ORWIN, 2012). Os microorganismos representam a maior parte da comunidade do solo em termos de biomassa total e são os principais responsáveis pela decomposição de matéria orgânica, transformações de nutrientes e degradação de compostos tóxicos (PULLEMAN, 2012).

Os processos biológicos são essenciais para manter a capacidade do solo de reciclar carbono da atmosfera assegurando a continuidade da fotossíntese, concomitantemente com a mineralização de nutrientes para a nutrição de plantas e dos próprios microorganismos do solo. Solos saudáveis têm a capacidade de manter esses processos funcionando de forma sustentável indefinidamente (CARDOSO et al., 2013). Estudos tem verificado que práticas de manejo agrícola, tais como preparo intensivo do solo, fertilização repetida e intensiva, aplicação de pesticidas e baixa diversidade de plantas, mostraram ter efeitos adversos em fungos e bactérias. Isto resulta em redução da biomassa microbiana total do solo, selecionando muitas vezes organismos específicos e levando a cadeias tróficas mais simples no solo (BINI et al., 2013; FRANCIOLI et al., 2016; LIU et al., 2018).

Atributos microbiológicos para estimativas da qualidade do solo ainda têm sido pouco explorados quando comparados aos indicadores físicos e químicos, embora sejam mais sensíveis às mudanças do que os últimos a curto prazo (BASTIDA et al., 2008; BUNNEMAN et al., 2018). Entre os indicadores biológicos de qualidade do solo mais utilizados podem ser citados o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), a respiração basal do solo (RBS), o quociente microbiano (qMIC) e o quociente metabólico (qCO₂) (ARAÚJO et al., 2012).

A biomassa microbiana do solo (BMS) é considerada a fração viva da matéria orgânica do solo e representa de 1 a 5% do total de materiais orgânicos do solo. A BMS é o destino inicial dos nutrientes do solo e devido a sua rápida reciclagem pela morte dos microorganismos, é um importante reservatório lábil de nutrientes no solo, tornando-os disponíveis para as plantas. Além de fonte a BMS é também dreno de nutrientes sendo influenciada pela disponibilidade de C, N, P e S, teor de água do solo, aeração, pH e textura do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Indicador comumente utilizado para estimar a atividade biológica tanto a nível agrícola quanto ambiental é a respiração do solo (RBS). A RBS indica a capacidade oxidativa dos microorganismos do solo e, portanto, é influenciada tanto pelas fontes de energia que existem no solo quanto pelo número de microorganismos. O teor de água e a temperatura do solo, bem como as práticas de manejo, o conteúdo de matéria orgânica e contaminação do solo afetam a RBS (BASTIDA et al., 2008).

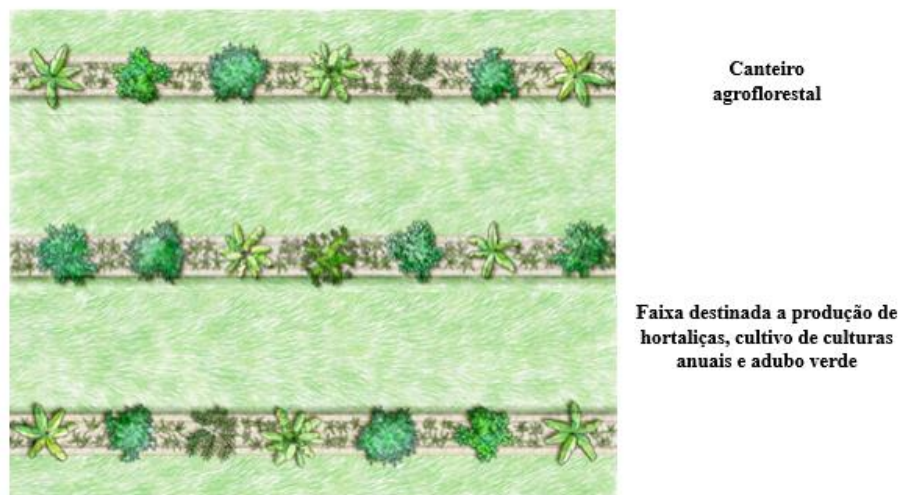
A relação entre as medidas da biomassa microbiana e respiração do solo correspondem ao quociente metabólico (qCO_2). Esta medida fornece a quantidade de CO_2 evoluída por unidade de biomassa, indicando a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese. Altos valores de qCO_2 , como ocorre em solos de baixo pH, podem indicar estresse da comunidade microbiana, já que para reparar danos devido a perturbações há desvio de energia do crescimento e produção para a manutenção (ODUM, 1985; ANDERSON; DOMSCH, 1993). Valores de qCO_2 acima de 2,0 para solos com pH neutro podem ser considerados críticos (ANDERSON, 2003).

A razão entre o CBM e o carbono orgânico total do solo (C), chamada de quociente microbiano ($qMIC$) é outro indicador da atividade microbiana dos solos e reflete processos importantes relacionados às adições e transformações da matéria orgânica, e eficiência de conversão de C desta em C microbiano. Tanto os solos de floresta quanto solos agrícolas possuem $qMIC$ em faixas semelhantes variando entre 2,0 e 4,4% em pH neutro, sendo valores abaixo de 2,0 considerados limitantes (ANDERSON, 2003).

3.5 SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ALTERNATIVA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR E A CONSERVAÇÃO DO SOLO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de cultivo intencional de árvores com culturas vegetais e/ou animais, em uma mesma área (Figura 1). Estes devem estar dispostos em combinações interativas para geração tanto de variedade de produtos ou mercadorias quanto para diversos serviços ambientais e ecológicos (NAIR; VISWANATH; LUBINA, 2016).

Figura 1: Representação esquemática de um sistema agroflorestal.



Fonte: Adaptado de CORRÊA NETO (2016)

O cultivo em sistemas agroflorestais é uma prática tão antiga quanto a própria agricultura, e tem prevalecido por muitos séculos em diferentes partes do mundo, especialmente sob condições agrícolas de subsistência (NAIR; GARRITY, 2012). A origem dos SAFs remonta há milhares de anos, quando a produção de alimentos pelo homem era baseada no corte e queima para abertura de clareiras em florestas, utilizando as árvores para restaurar a fertilidade do solo durante período de pousio, principalmente nas regiões tropicais (TORQUEBIAU, 2000).

Possivelmente, depois da agricultura de queima e corte, os quintais agroflorestais, muito cultivados atualmente, são a forma mais antiga de agricultura. Estes são reportados como um dos usos de terra mais antigos existentes no Sudeste Asiático (13000-9000 a.C.), sendo associados a comunidades de pescadores que viviam em florestas tropicais úmidas (KUMAR; NAIR, 2004).

Ao redor do mundo, são inúmeros os sistemas de cultivo agroflorestais. Cada SAF cultivado é bastante singular em sua estrutura e composição, sendo o modo pelo qual suas práticas de manejo foram desenvolvidas ocorrido em harmonia com as características ecológicas e socioculturais locais (NAIR; VISWANATH; LUBINA, 2016). Como exemplos pode-se citar os “parklands” na África (BAYALA et al., 2014), o sistema Taungya de cultivo de árvores e culturas anuais em encostas no sudeste asiático (NAIR, 1993), os cultivos sombreados de cacau e café em países tropicais (TSCHARNTKE et al., 2011), o sistema “Tomé-Açu”, desenvolvido por imigrantes japoneses na Amazônia (PIEKIELEK, 2010) e os SAFs multiestrata sucessionais (GOTSCH; PAZ, 1995).

Cerca de 1.023 milhões de hectares estavam sendo cultivados com sistemas agroflorestais em todo o mundo em 2009 (NAIR; KUMAR; NAIR, 2009). Em 2012, Nair (2012) verificou que quase um bilhão de hectares de paisagens agrícolas possuem mais de 10% de cobertura de árvores e um total estimado de 1,6 bilhão de hectares em todo o mundo tem o potencial de estar sob manejo agroflorestal em um futuro próximo. As práticas agroflorestais são usadas por 1,2 bilhão de pessoas, ao mesmo tempo em que são importantes para a subsistência de milhões de outras pessoas, exemplo seriam áreas urbanas de países em desenvolvimento (LEAKEY, 2012).

Devido à diversidade, complexidade e localização dos sistemas agroflorestais existentes, estes são agrupados e classificados em categorias, a fim de avaliá-los e desenvolver planos de ação para melhorias. Uma maneira simples e lógica de agrupamento é realizada com base nos componentes estruturais que formam os SAFs - árvores, culturas anuais e animais. Assim, existem três grandes grupos de sistemas agroflorestais: sistemas agrosilviculturais

(culturas anuais e árvores), sistemas silvipastoris (pastagem/animais e árvores) e sistemas agrossilvipastoris (culturas anuais, pastagens, animais e árvores) (NAIR, 1991).

Esta classificação, de acordo com Torquebiau (2000) torna-se muito vaga ou muito restrita dependendo da situação e o autor propõe seis categorias estruturais de SAFs: cultivo de culturas sob árvores (cultivo sombreado, parklands, culturas em pomares), agroflorestas (quintais agroflorestais, bosques cultivados, agroflorestas em zonas de amortecimento), SAFs lineares (quebra-ventos, plantio de árvores em bordaduras, cercas vivas, cultivo em aleias), SAFs com animais (pastejo em áreas com floresta, plantio de árvores na pastagem), SAFs sequenciais (agricultura de corte e queima e taungya) e técnicas agroflorestais menores (sericultura e apicultura em floresta).

Agrupamentos levando em conta as funções e interações ecológicas em SAFs também existem na literatura. Dois grandes grupos de SAFs podem ser distinguidos, conforme Dubois (2008): os SAFs estáticos e os sucessionais. Os SAFs estáticos são sistemas onde o número de espécies florestais é geralmente reduzido e a produtividade dos sistemas agrícolas é o principal objetivo. Neste SAF, o elemento florestal pode atuar de diversas maneiras, servindo como cerca viva, quebra-vento, sombra para animais ou para culturas potenciais como cacau, café e erva-mate.

Já os SAFs sucessionais são compostos por diversas espécies em multi-estratos e são geridos com base na sucessão ecológica. O objetivo destes sistemas é desenvolver cada espécie em seu contexto natural no agroecossistema para alcançar níveis altos de complexidade. Os quintais agroflorestais, os sistemas faxinalenses e a agricultura de corte e queima são exemplos de SAFs sucessionais (MAY, 2008).

Nos últimos 30 anos, as diversas formas tradicionais de SAFs foram trazidas para os cenários modernos e científicos de uso da terra, graças a vários esforços para aproveitar os atributos de sustentabilidade e os benefícios de produção de tais práticas (NAIR, 2014). Este resgate deve-se a fatores como os problemas ambientais causados pela agricultura convencional e a falha da Revolução Verde ao atingir o grupo de agricultores mais pobres (NAIR; VISWANATH; LUBINA, 2016).

Os SAFs são geralmente projetados para apoiar o sustento das pessoas (SIMINSKI; SANTOS; WENDT, 2016). Em uma mesma área, alto nível de diversidade biológica e paisagística é alcançado através da utilização de espécies frutíferas, madeireiras, graníferas, ornamentais, medicinais e forrageiras que, quando implantadas respeitando as características ecológicas adequadas ao seu desenvolvimento (ARMANDO, 2002), podem originar sistemas

mais produtivos e eficientes na utilização de recursos do que os sistemas convencionais (LEAKEY, 2014).

A poda da biomassa, principal ferramenta no manejo dos sistemas agroflorestais, é realizada sempre que exista necessidade de mais luz e espaço, e também para adição de matéria orgânica no solo (STEEMBOCK, 2013), o que aumenta a ciclagem de nutrientes e diminuiu a dependência de insumos e suprimentos externos (SIMINSKI; SANTOS; WENDT, 2016).

O planejamento do sistema permite colheitas desde o ano de implantação. O agricultor pode obter rendimentos de culturas anuais, hortaliças e frutíferas de ciclo curto, enquanto ocorre a maturação das espécies florestais e das frutíferas de ciclo mais longo, das quais virá a renda posterior. Assim, existe produção de grande diversidade de alimentos em diferentes épocas, o que incrementa renda e otimiza mão-de-obra (ARMANDO, 2002).

Os sistemas agroflorestais têm sido estudados também para mitigar problemas ambientais. O cultivo conjunto de árvores perenes com culturas anuais e animais proporciona conservação da biodiversidade, melhoria na qualidade do ar e da água (JOSE, 2009), menor abundância de plantas daninhas e maior abundância de inimigos naturais (PUMARIÑO, 2015), sequestro de carbono atmosférico na biomassa de parte aérea e nas raízes (NAIR, 2009; JANSSEN, et al., 2010; JOSE; BARDHAN, 2012; SHI et al., 2018) e redução do desmatamento de matas nativas para produção de biomassa (SHARMA, 2016).

Os SAFs desempenham importante papel no aumento e na manutenção da qualidade do solo. A adição constante de matéria orgânica proveniente das podas das árvores e a ação das raízes e dos macro e microrganismos do solo promove melhorias da estrutura do solo, contribuindo para diminuição da erosão, regulação da quantidade e disponibilidade de água, melhoria da qualidade da água, aumento da recarga das águas subterrâneas e fornecimento de proteção em áreas ripárias (NAIR, 2009; TOBELLA et al., 2014; PAVLIDIS; TSIHRINTZIS 2017).

Estudando indicadores físicos de qualidade do solo em sistema agroflorestal e sistema convencional em um Latossolo Vermelho argiloso Carvalho; Goedert e Armando (2004) concluíram que o solo sob sistema agroflorestal apresenta menor densidade aparente, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior diâmetro médio de agregados ($0,91 \text{ g cm}^{-3}$; 64,71%; 0,48 MPa e 2,66 mm respectivamente), quando comparado ao mesmo solo sob sistema de plantio convencional ($1,21 \text{ g cm}^{-3}$; 54,38 %, 0,74 MPa e 2,39 mm respectivamente). Ao comparar a qualidade física de solos sob dois sistemas agroflorestais com solo sob plantio convencional e mata nativa, Silva et al. (2011) verificaram que os SAFs mantiveram a qualidade física do solo em níveis semelhantes à mata nativa, o que não ocorreu no manejo convencional.

A colonização de raízes em diferentes profundidades por parte das diferentes espécies aumenta o acesso a nutrientes, elevando a fertilidade (JOSE, 2009). Em trabalho comparando sistemas agroflorestais com áreas de regeneração natural, Schwiderke et al. (2012) verificaram que os SAFs impactaram de forma positiva os atributos químicos de qualidade do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Iwata et al. (2012) avaliando SAFs, áreas de agricultura de corte e queima e florestas nativas no Cerrado brasileiro.

Outro importante benefício observado é a melhoria e manutenção da biologia do solo, sendo a diversidade de espécies da biota do solo, estimulada pelas diferentes plantas presentes no sistema (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Em trabalho comparando atributos biológicos de qualidade do solo em agroflorestas sucessionais de 5 e 10 anos de idade comparados com área de regeneração, Cezar et al. (2015) observaram que tanto para atributos microbiológicos quanto para a mesofauna do solo, os SAFs mantiveram a qualidade biológica do solo mesmo com a exploração e retirada de produtos pelos agricultores.

Avaliando o impacto de dois sistemas agroflorestais (com 7 e 9 anos de implantação) analisando atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores de qualidade do solo em relação a outros sistemas produtivos (Ervai, Lavoura e Mata como referência), Pezarico et al. (2013) observaram que as agroflorestas estudados contribuíram para a melhoria da qualidade do solo e se aproximaram do referencial, a mata nativa.

3.6 ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS

A análise multivariada consiste em conjunto de técnicas estatísticas exploratórias, descritivas e inferenciais usadas para analisar situações que envolvem, simultaneamente, grande número de variáveis (JAMES; McCULLOCH, 1990). O objetivo é "resumir" o conjunto de variáveis, considerando a variância do conjunto de dados (MORRISON, 1976).

Considerando o solo como um sistema complexo, resultado das interações entre fatores geológicos, topográficos e climáticos e de seus atributos físicos, químicos e biológicos é possível utilizar técnicas de análise multivariada para explorar mais eficientemente as correlações entre essas variáveis e determinar aquelas que contribuem para a caracterização do solo e, ou, alterações neste (PRAGANA et al., 2012; FREITAS et al., 2014; CARVALHO et al., 2018).

A análise de componentes principais (ACP) é um dos métodos estatísticos multivariados mais simples (MANLY, 2008). A ACP tem como objetivo transformar um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de

variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original, os chamados fatores ou componentes principais (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JR., 2015).

A análise hierárquica de agrupamentos (AHA) é um método multivariado que tem como base as relações de similaridade ou distâncias entre as variáveis. O objetivo principal desta é agrupar indivíduos de uma amostra de acordo com as suas características, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo formado e heterogeneidade entre os grupos (MANLY, 2008).

Estudos têm aplicado técnicas multivariadas para análise de impactos do uso e manejo do solo em sua qualidade. Utilizando AHA e ACP para caracterizar diferentes usos do solo no sul da Amazônia, em função dos atributos físicos, químicos e biológico na camada 0-10 cm Carvalho et al., (2018) verificaram que os métodos, em conjunto, identificaram dois grupos que se formaram principalmente devido às operações antrópicas de preparo do solo e calagem. Na ACP, dois fatores explicaram 66,89% da variância do conjunto de dados. O uso do solo mais próximo da condição natural (floresta amazônica) foi a pastagem degradada, principalmente devido às concentrações de K, H+Al, MI e RBS. Por outro lado, os usos do solo mais distantes da condição natural foram a pastagem renovada e a cana-forrageira, principalmente pela concentração de Ca^{2+} , V%, Al^{3+} e CBM.

A partir da análise de atributos físicos, químicos e biológicos em dois sistemas agroflorestais (com 7 e 9 anos de implantação) e comparação com outros sistemas produtivos (Cultivo de erva-mate, Lavoura e Mata como referência), Pezarico et al. (2013) verificaram através da AHA que o SAF com 7 anos foi o que mais se aproximou da mata nativa, seguido do SAF de 9 anos, sendo que o cultivo de erva mate e a lavoura tiveram as maiores distâncias euclidianas em relação a mata, ficando estes em um mesmo grupo.

Estudando atributos microbiológicos do solo em SAFs e área de regeneração natural Cezar et al., (2015) observaram, através de ACP que 53,6% e 59,7% da variabilidade microbiológica nos ambientes decorreu da composição (riqueza e diversidade) da vegetação na camada 0-2,5 cm e 2,5-5 cm, respectivamente.

Os métodos estatísticos multivariados são também utilizados em estudos para geração de índices de qualidade do solo (IQS). A partir da PCA podem ser selecionados indicadores apropriados, variáveis mais significativas que melhor representam as funções do solo, para composição de um conjunto mínimo de dados. Estes indicadores são transformados e ponderados e a combinação destes culmina em um IQS (ARMENISE et al. 2013).

Utilizando este método ao comparar o efeito de sistemas de produção de café em agroflorestas (CA), café a pleno sol (CS) e mata nativa (MN) sobre atributos de qualidade do solo, Thomazini et al., (2015) observaram que o IQS decresceu na seguinte ordem: MN>CA>CS. Esta demonstra que enquanto alguns efeitos do sistema agroflorestal de café no solo não são ideias (comparado a mata), estes são melhores que o cultivo a pleno sol.

Com abordagem um pouco diferente, Velasquez; Lavelle e Andrade (2007) utilizaram ACP e um conjunto de cinco sub indicadores (qualidade física, fertilidade química, estoques de matéria orgânica, agregação e morfologia da camada 0-5 cm do solo e biodiversidade da macrofauna do solo). Estes foram combinados, visando a criação do Índice geral de Qualidade do Solo (GISQ), o qual pretende fornecer visão da Qualidade de Solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

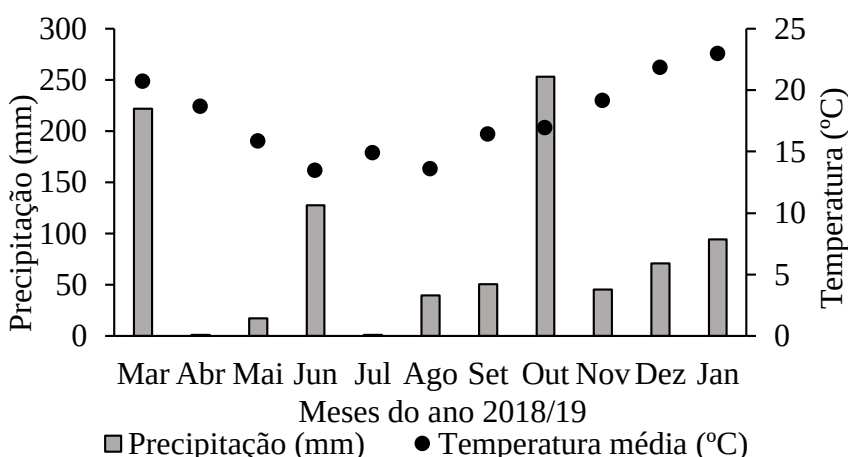
4.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi realizado em propriedade de agricultores familiares localizada no Assentamento Contestado, no município Lapa – PR (25° 37'09" S e 49° 42'07" O), com altitude média é de 910 m. A área do assentamento foi conquistada em 1999 e a proposta desde o início foi promover a produção agroecológica, sendo as áreas estudadas manejadas agroecologicamente desde então.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfb. A precipitação média anual varia de 1400 a 1600 mm e temperatura média de 17 a 18° C (CAVIGLIONE et al., 2000). A vegetação característica da região é formada por remanescentes da Floresta Ombrófila Mista Montana e Campo Natural (MAACK, 2007).

O solo das áreas em estudo é classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico. O material de origem é proveniente de arenitos da formação Itararé. Os valores da temperatura média mensal e precipitação mensal acumulada durante o período de estudo, provenientes da estação climatológica do Sistema Meteorológico do Paraná (SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ/ SIMEPAR) na Lapa (25° 38'33" S e 49° 46'65" O), estão apresentados na Figura 2.

Figura 2: Média mensal de temperatura e precipitação pluviométrica acumulada mensal de março de 2018 a janeiro de 2019. Lapa-PR



4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram selecionadas quatro áreas da propriedade, caracterizadas por diferentes usos e manejo do solo: (a) linha de agrofloresta com tempo de adoção de 4 anos (AL); (b) entrelinha de agrofloresta com tempo de adoção de 4 anos (AE); (c) lavoura de milho (LA) e (d) área de

mata nativa (MT), localizada na área de Reserva Legal do assentamento (Figura 3). O estudo foi realizado por levantamento amostral ao acaso, nos quatro tratamentos e seis repetições para todas as variáveis, com exceção da condutividade hidráulica saturada, que devido à variabilidade foi amostrada com doze repetições.

Figura 3: Imagens dos tratamentos amostrados para avaliação da qualidade de solo. Lapa –PR



Legenda: (a) mata nativa; (b) detalhe da mata nativa; (c) imagem aérea da agrofloresta; (d) detalhe da linha e da entrelinha da agrofloresta; (e) imagem aérea da lavoura de milho e (f) detalhe da linha de milho

A condição atual do sistema mata nativa foi considerado como referência quanto a qualidade de solo. Fotografias aéreas da década de 80 (INSTITUTO DE TERRAS E CARTOGRAFIA/ ITC, 1980) mostram que esta área não foi perturbada deste então, enquanto que as áreas sob LA, AL e AE eram áreas de campo nativo e foram convertidas para agricultura, fato já evidenciado em fotografia aérea de 2005 (SECRETÁRIA DO DESENVOLVIMENTO URBANO DO PARANÁ/ SEDU-PR, 2005).

O sistema agroflorestal, implantado em 2015, abrange aproximadamente 5000 m², sendo antes da implantação, a área utilizada com pastagem para bovinos de leite. No momento da implantação o solo foi preparado com grade aradora e niveladora. Foi realizada a calagem (25% do recomendado na análise de solo) e semeadura de aveia e ervilhaca, posteriormente roçadas. Nas linhas de transplante das árvores foi realizada operação com subsolador. As linhas de árvores foram implantadas a cada 6 metros no sentido Leste-Oeste e nas entrelinhas o agricultor optou pelo cultivo de hortaliças.

O solo da AL foi revolvido somente na formação dos canteiros para implantação, em 2015. Nestas, existem espécies de árvores para produção (principalmente frutíferas), madeiras, além de algumas espécies serem utilizadas para produção de matéria orgânica que é podada e utilizada para adubação das próprias árvores (Tabela 1).

Tabela 1: Principais espécies componentes das linhas do SAF

Nome comum	Nome científico	Função no sistema
Ameixa	<i>Prunus</i> sp.	Produção
Amora bicho de seda	<i>Morus</i> sp.	Produção e matéria orgânica
Angico branco	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Madeira
Araçá	<i>Psidium cattleianum</i>	Produção
Aroeira	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Produção e madeira
Banana	<i>Musa</i> spp.	Produção e matéria orgânica
Bergamota	<i>Citrus</i> sp.	Produção
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i>	Madeira
Cedro Australiano	<i>Toona ciliata</i>	Madeira
Erva Mate	<i>Ilex paraguariensis</i>	Produção
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp.	Matéria orgânica e madeira
Goiaba Serrana	<i>Acca sellowiana</i>	Produção
Kiwi	<i>Actinidia deliciosa</i>	Produção
Laranja	<i>Citrus sinensis</i>	Produção
Limão	<i>Citrus limon</i>	Produção
Manacá da serra	<i>Tibouchina mutabilis</i>	Ornamental – Flor
Mandioca	<i>Manihot esculenta</i>	Produção
Maracujá	<i>Passiflora edulis</i>	Produção
Nectarina	<i>Prunus persica</i> var. <i>nucipersica</i>	Produção
Nêspera	<i>Eriobotrya japonica</i>	Produção
Pêssego	<i>Prunus persica</i>	Produção
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	Produção
Ponkan	<i>Citrus reticulata</i>	Produção
Vassoura	<i>Sida</i> sp.	Melífera

Nas entrelinhas, o revolvimento do solo é intenso devido ao cultivo, principalmente de hortaliças. Desde a implantação já foram cultivadas diversas culturas como alface, couve, rúcula, couve-flor, brócolis, cenoura, beterraba, cebola e tomate. A partir do quarto ano, o sombreamento ocasionado pela parte aérea das árvores começou a limitar o cultivo de algumas hortaliças e o agricultor optou por cultivar espécies mais rústicas e de ciclo mais longo. Entre as culturas cultivadas no momento das coletas pode-se citar a mandioca, a cenoura e em uma das entrelinhas, onde há maior acúmulo de água, o inhame.

A entrelinha recebeu todos os anos adubação com cama de peru e sulfato de potássio, totalizando doses de aproximadamente $4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $0,72 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. O preparo do solo nas entrelinhas foi realizado com uso de enxada rotativa sempre que ocorreu adubação, sendo a cama de peru incorporada, o sulfato de potássio jogado a lanço e a superfície do solo coberta com material vegetal cortado e trazido de área adjacente.

A área de lavoura abrange aproximadamente 3000 m^2 e estava em período de pousio, sendo convertida para área de cultivo 7 meses antes das avaliações. Para isso, o solo foi preparado utilizando grade aradora e niveladora, em setembro de 2017. A cultura implantada no momento das avaliações era o milho. O manejo de plantas daninhas na entrelinha foi realizado com enxada rotativa no início do ciclo da cultura. Após a emergência do milho ocorreu a adubação em área total de cama de peru na dosagem, aproximada, de $1,2 \text{ Mg ha}^{-1}$.

4.3 AMOSTRAGEM DO SOLO

Para a avaliação da qualidade de solo nos sistemas de manejo foram selecionados os seguintes indicadores: (a) físicos: densidade do solo, porosidade total, macroporos, bioporos, microporos, condutividade hidráulica do solo saturado e análise visual da estrutura do solo, (b) químicos: acidez ativa (pH), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) e teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), fósforo (P), carbono (C) e alumínio (Al^{3+}), e (c) biológicos: carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano.

A amostragem para análise dos indicadores físicos e químicos de qualidade do solo foi realizada em abril de 2018. Os pontos de coleta foram georreferenciados para coleta, nos mesmo locais, dos indicadores biológicos e realização da análise visual da estrutura do solo, que ocorreu em janeiro de 2019. Foram coletadas amostras de solo indeformadas e deformadas.

Para os indicadores físicos, em cada ponto procedeu-se a coleta de amostras indeformadas para análise dos atributos estruturais em anéis volumétricos ($5 \times 3 \text{ cm}$ para as camadas superficiais e $5 \times 5 \text{ cm}$ para as camadas mais profundas) com auxílio de amostrador

do tipo Uhland, nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20-40 cm (SANTOS et al., 2018). Os anéis foram embalados em papel filme e levadas a laboratório para preparo e avaliação.

A análise da condutividade hidráulica saturada (Ksf) foi realizada a campo conforme método de Bagarello; Iovino e Elrick (2004). A técnica conhecida como método de carga decrescente (SFH), consiste resumidamente em retirar o material vegetal da superfície, aplicar um volume de água conhecido dentro de aros metálicos inseridos no solo de forma que não haja escoamento de água sobre a superfície e mensurar o tempo necessário para que a água infiltre. Neste método é necessário conhecer o conteúdo de água do solo inicial e de saturação e para isso, próximo ao ponto de avaliação, amostras de solo em anéis volumétricos (5 x 5 cm) foram coletadas com auxílio de trado Uhland e encaminhadas para laboratório.

A análise da Avaliação Visual da Estrutura do Solo (AVES) foi efetuada através do método proposto por Ball; Batey e Munkholm (2007). A coleta foi realizada com o auxílio de pá reta, sendo abertas trincheiras com 0,30m de largura x 0,40m de comprimento x 0,30m de profundidade. Foram extraídas amostras indeformadas (blocos) com 0,15m de largura x 0,25m de profundidade x 0,10m de espessura da camada superficial do solo.

Para os indicadores químicos, análise granulométrica (textura) e de densidade de partículas do solo, amostras deformadas foram coletadas com auxílio de trado holandês nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20-40 cm (JORIS et al., 2016; SANTOS et al., 2018).

A amostragem do solo para avaliação dos indicadores biológicos ocorreu somente na camada 0-10 cm, devido a esta ser a camada de maior atividade da fauna edáfica do solo (CEZAR et al., 2015). A coleta foi realizada utilizando trado calador, com 15 sub-amostras formando uma amostra composta. As amostras coletadas foram imediatamente acondicionadas em caixas térmicas e transportadas para laboratório.

4.4 DETERMINAÇÕES DOS INDICADORES FÍSICOS

As determinações dos indicadores físicos de qualidade do solo foram realizadas nos laboratórios de Física do Solo e Matéria Orgânica do Solo, na Universidade Estadual de Ponta Grossa. Considerando que a textura e a densidade de partículas são características inerentes do solo a determinação dos teores de areia, silte e argila e a densidade de partículas foram realizadas em amostras compostas provenientes da mistura de iguais proporções de solo (20 cm³) das amostras deformadas coletadas. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta e a densidade de partículas do solo foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/ EMBRAPA, 2017).

As amostras indeformadas foram utilizadas para a avaliação da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporos (MI) e macroporos (MA) conforme Embrapa (2017) e bioporos (BP) conforme Andrade et al., (2016). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico. O volume de bio e microporos foi calculado através da saturação das amostras por ascensão capilar, determinação da massa e acondicionamento em mesa de tensão. Nestas foram aplicadas as tensões de -1 kPa para retirada de água dos bioporos e -6 kPa para retirada de água dos microporos. A porosidade total foi determinada dividindo a densidade do solo pela densidade de partículas e o volume de macroporos foi calculado pela subtração entre a porosidade total e a microporosidade.

Na etapa de avaliação da Kfs à campo o volume de água utilizado para determinação do tempo de infiltração no solo foi de 730 mL e a área interna do aro metálico utilizado foi de 0,33979 m² (diâmetro interno de 0,208 m), correspondendo a um valor D de 0,0214 m. Como as medidas de tempo das avaliações foram inferiores a 5 minutos, a constante (α*) utilizada foi de 12 m⁻¹ (REYNOLDS; ELRICK, 2002).

Para a determinação da umidade inicial e de saturação do solo os anéis volumétricos coletados para análise da condutividade hidráulica saturada do solo tiveram as massas mensuradas no laboratório e foram submetidos a saturação com água. Novamente determinou-se a massa. Os anéis saturados foram levados a estufa a 105°C para obtenção da umidade volumétrica inicial e de saturação. A condutividade hidráulica do solo saturado (Kfs) foi calculada (SCARABELI et al., 2018) (equação 1):

$$Kfs = \frac{\Delta\theta}{(1-\Delta\theta)t\alpha} \left[\frac{D}{\Delta\theta} - \frac{D + \left(\frac{1}{\alpha^*}\right)}{1-\Delta\theta} \ln \left(1 + \frac{(1-\Delta\theta)D}{\Delta\theta \left(D + \left(\frac{1}{\alpha^*}\right)\right)} \right) \right] \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

Onde: Δθ: diferença entre o conteúdo de água no campo e depois da saturação no laboratório (m³ m⁻³);
tα: tempo requerido para o conteúdo de água infiltrar (segundos);
D: taxa entre o volume de água e área do cilindro (cm);
α *: parâmetro de comprimento capilar macroscópico, proposto por Reynolds e Elrick (2002), sendo utilizado o valor de 12 m⁻¹.

Os blocos de solo coletados para a análise visual da estrutura do solo foram desagregados manualmente para individualização dos agregados naturais. A avaliação da estrutura foi realizada através da aparência, resistência e das características das unidades estruturais de blocos de solo. Esta é definida por cinco escores de qualidade variando de 1 (melhor qualidade estrutural) até 5 (pior qualidade estrutural). Quando verificadas diferenças estruturais aparentes em uma mesma amostra, foi realizada a separação desta em camadas, conforme o método (BALL; BATEY E MUNKHOLM, 2007). A atribuição dos cinco escores

para análise da qualidade estrutural ocorreu individualmente para cada camada encontrada e para o escore final foi calculada a média ponderada entre os escores das camadas.

4.5 DETERMINAÇÕES DOS INDICADORES QUÍMICOS

As determinações dos indicadores químicos foram realizadas no laboratório de Fertilidade do Solo da UEPG. As amostras deformadas coletadas foram levadas ao laboratório, secas em estufa de circulação forçada de ar a 40°C e submetidas a peneiramento em peneira de malha de 2,0 mm para obtenção de terra fina seca em estufa (TFSE).

O pH foi determinado solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) 0,01 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 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. Os teores de carbono orgânico do solo (C) foram determinados pelo método do colorímetro após extração com dicromato de sódio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,667 mol L⁻¹) adicionado em ácido sulfúrico (5 mol L⁻¹) e quantificado por espectrometria de absorção molecular (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, 2017).

4.6 DETERMINAÇÕES DOS INDICADORES BIOLÓGICOS

Para analisar os atributos microbiológicos do solo as amostras foram peneiradas através de malha de 2 mm para remover raízes e resíduos de plantas. O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) foi determinado pelo método de fumigação-extração proposto por (VANCE; BROOKS; JENKINSON, 1987). A fumigação foi realizada com clorofórmio sem etanol durante 24 horas, no escuro, utilizando-se 20 g de solo. Posteriormente, a extração foi realizada com K_2SO_4 . O C-BMS foi obtido através da diferença da quantidade de carbono extraído da amostra fumigada e da amostra não fumigada.

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada pelo método proposto por Jenkinson e Powlson (1976), e consistiu na utilização de 50 g de solo e 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH), colocados em frascos, independentes, sem tampa. Logo após as misturas foram transferidas para recipientes com capacidade de 2 L, hermeticamente fechados, evitando-se entrada de CO₂ ou fuga do CO₂. Os frascos de 2 L foram deixados durante uma semana em estufas com temperatura controlada (25°C) e isentas de luz. Após período de incubação o NaOH foi titulado para determinação da RBS.

O quociente metabólico (q-CO₂) foi determinado pela relação entre RBS e o C-BMS. O quociente microbiano (qMIC) foi determinado pela relação entre o C-BMS e carbono orgânico total do solo (ANDERSON, 2003). O carbono orgânico total na camada 0-10 cm foi determinado através de extração com dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) e posterior titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal (WALKLEY; BLACK, 1934).

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Em posse dos dados analíticos procederam-se as análises estatísticas. Para as variáveis físicas (com exceção da AVES e da Kfs) e químicas do solo foram empregadas a análise de componentes principais (ACP) e análise hierárquica de agrupamentos (AHA). Quanto ao pré-processamento dos dados e o método de ligação (AHA), o autoescalamento e o incremental, respectivamente, foram os que melhor se ajustaram aos dados e às variáveis. O software utilizado na organização dos dados foi o Microsoft Excel® 2010. Nas análises ACP e AHA empregou-se o software Pirouette®4.5 (INFOMETRIX, 2011).

As variáveis físicas AVES e Kfs e as microbiológicas CBM, RBS, q-CO₂, qMIC e C na camada 0-10 cm foram submetidas às análises de variância e estatística de contrastes ortogonais. Os contrastes foram aplicados entre os tratamentos para cada variável estudada de acordo com a Tabela 2 com auxílio do software Sisvar®.

Tabela 2: Contrastes ortogonais aplicados aos tratamentos para as variáveis estudadas. Lapa- PR

Contraste	Tratamentos contrastados
1	MT x AL
2	MT x AE
3	MT x LA
4	AL x AE
5	AL x LA
6	AE x LA

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 GRANULOMETRIA E CLASSE TEXTURAL

A composição granulométrica do solo nos locais onde os usos e manejos estavam presentes mostrou diferentes classes texturais (Tabela 3). As áreas estudadas encontram-se sobre o grupo geológico Itararé, o qual possui formações com diferentes litologias e granulometrias. A propriedade utilizada no estudo localiza-se em zona de transição entre duas formações do grupo, uma composta predominantemente por arenitos (PCia) e outra composta por siltitos, folhelhos, varvitos e conglomerados (PCis) (MINERAIS DO PARANÁ/MINEROPAR, 2006), o que pode ter contribuído para a variação textural entre as áreas.

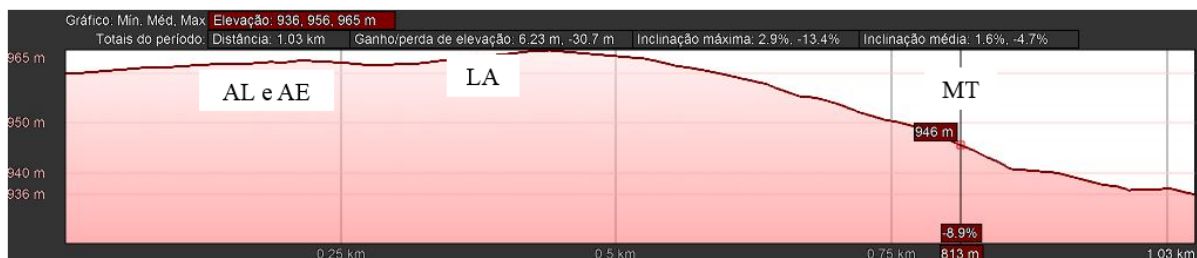
Tabela 3: Granulometria e classe textural do solo em áreas de mata (MT), agrofloresta linha (AL), agrofloresta entrelinha (AE) e lavoura (LA). Lapa – PR, Brasil

Tratamento	Areia -----	Silte (g kg ⁻¹) -----	Argila -----	Classe textural
(0-5 cm)				
MT	711	167	122	Franco-arenosa
AL	574	213	213	Franco argilo-arenosa
AE	544	168	288	Franco argilo-arenosa
LA	370	238	392	Franco-argilosa
(5-10 cm)				
MT	712	134	154	Franco-arenosa
AL	574	151	275	Franco argilo-arenosa
AE	561	172	267	Franco argilo-arenosa
LA	365	264	371	Franco- argilosa
(10-20 cm)				
MT	694	131	176	Franco-arenosa
AL	558	151	292	Franco argilo-arenosa
AE	516	215	269	Franco argilo-arenosa
LA	389	280	332	Franco-argilosa
(20-40 cm)				
MT	674	140	186	Franco-arenosa
AL	537	160	303	Franco argilo-arenosa
AE	523	162	315	Franco argilo-arenosa
LA	376	317	307	Franco-argilosa

O local onde se encontra a mata nativa (MT) foi o que apresentou maiores teores de areia (Tabela 3). Além da formação geológica, através da análise de perfil da paisagem (Figura 4) observa-se que LA é o ponto mais alto, sendo que AL e AE possuem gradiente topográfico de 1,1 % em relação a LA e MT de 8,9% em relação a LA. Estas podem ter favorecido processos erosivos e consequente remoção de argila na mata nativa. Solos inclinados, de acordo com Bronick e Lal (2004), são mais suscetíveis à erosão, particularmente em regiões de chuvas

intensas. Segundo os autores, a erosão tende preferencialmente a remover partículas de baixa densidade ou leves, incluindo argila e matéria orgânica, que são dois dos principais agentes de agregação e da capacidade de troca catiônica dos solos.

Figura 4: Perfil de elevação dos locais tratamentos amostrados para avaliação da qualidade de solo. Lapa –PR



Legenda: MT: mata nativa; AL: agrofloresta linha; AE: agrofloresta entrelinha; LA: lavoura

Nos quatro ambientes o teor de argila aumentou e o teor de areia diminuiu em profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Mota, Freire e Assis Júnior (2013) estudando atributos físicos de qualidade do solo em Cambissolo sob diferentes manejos.

5.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO

Os valores de estatística descritiva para os indicadores físicos de qualidade do solo nos sistemas de uso e manejo de solo e nas profundidades são apresentados nas tabelas 4, 5, 6 e 7.

De maneira geral os diferentes manejos apresentaram valores médios de densidade do solo (DS) semelhantes na mesma camada. Comparando os valores de DS encontrados com os valores críticos propostos por Reichert; Reinert e Braida (2003) ($1,55 \text{ g cm}^{-3}$ para solos entre 200 e 550 g kg^{-1} de argila e $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com menos de 200 g kg^{-1} de argila) conclui-se que as camadas estudadas nos manejos não apresentam impedimento físico crítico. Na MT, por se tratar de solo com textura franco-arenosa, esperava-se que os valores de DS fossem naturalmente maiores, porém este fato não foi observado, o que pode ter relação com os teores de C (matéria orgânica) do solo, que possui densidade relativa menor e pode reduzir a DS do solo (KLEIN, 2007).

O volume médio de poros totais (PT) variou de 45,4% a 59,4 %, sendo encontrados valores semelhantes nas camadas 10-20 cm e 20-40 cm. Os valores encontrados estão de acordo com o proposto por Kiehl (1979) para solos arenosos e argilosos.

Para todos os usos e manejos os valores médios para macroporosidade (MA) na camada 0-5 cm estão acima do valor crítico de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ sugerido por Xu; Nieber e Gupta (1992). Para os tratamentos MT e AL, a macroporosidade ficou acima do limite crítico em todas as

profundidades, no entanto LA na camada 5-10 cm e LA e AE na camada 10-20 cm apresentaram valores de MA inferiores ao limite sugerido. A macroporosidade, na camada 20-40, em todos os manejos foi superior ao limite.

Em relação aos bioporos do solo (BP), em geral a mata nativa demonstrou os maiores valores médios em todas as camadas, seguida de AL, AE e LA. Todos os manejos apresentaram valores médios de BP maiores que 3%. Este valor foi sugerido como médio para solos com uso agrícola (REINERT et al., 2008). Os maiores valores foram encontrados em superfície e nas áreas com presença de espécies arbóreas (MT e AL). Os manejos AE e LA nas camadas 10-20 e 20-40 cm apresentaram valores menores, mas ainda acima do referencial.

Em geral, menores valores médios de (microporos) MI foram encontrados na mata nativa em relação aos demais manejos, fato que pode ser atribuído à textura da MT. Solos com textura mais arenosa possuem menor quantidade de microporos comparado a solos mais argilosos (KLEIN, 2008).

Os coeficientes de variação (CVs) dos atributos físicos de qualidade do solo podem ser visualizados nas tabelas 4, 5, 6 e 7. Em geral os CVs para DS, PT em todas as profundidades variaram entre baixos ($CV < 10\%$) e médios (CV entre 10 e 20%) considerando a classificação proposta por Pimentel Gomes (1985). Para MA, MI e BP ocorreu maior variação, principalmente nas camadas mais profundas (10-20 cm e 20-40 cm) com alguns valores podendo ser considerados altos (entre 20 e 30%) a muito altos ($> 30\%$).

5.3 ANÁLISE DESCRITIVA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE QUALIDADE DO SOLO

Os valores de estatística descritiva para os indicadores químicos de qualidade do solo conforme sistemas de uso e manejo de solo e nas diferentes profundidades são apresentados nas tabelas 4, 5, 6 e 7. Os valores de referência utilizados para esses indicadores foram extraídos do Manual de Adubação e Calagem para o estado do Paraná (SBCS – NEPAR, 2017).

Os valores médios para pH variaram de 3,8 a 5,4 e se mantiveram constantes para MT, diminuindo com a profundidade nos demais manejos. Na mata nativa, o valor encontrado é considerado muito baixo ($< 4,0$) e nos demais manejos os valores podem ser considerados altos (entre 5,0 e 5,5), com exceção das camadas 20-40 de AE e LA que apresentam pH médio.

Os valores médios de acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), acidez trocável (Al^{3+}) e saturação por alumínio (m%) na MT em todas as profundidades podem ser considerados muito altos. Na AL, AE e LA observa-se que os valores tenderam a decrescer em profundidade, sendo considerados muito baixos.

Tabela 4: Análise descritiva dos atributos físicos e químicos para os manejos na profundidade de solo 0-5 cm. Lapa –PR

		DS	PT	BP	MA	MI	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	C	SB	CTC a pH 7,0	CTC efetiva	V%	m%	Ca/Mg
MT	Média	0,9	51,1	12,9	31,3	22,8	3,8	12,1	3,1	0,2	0,2	0,2	4,0	36,4	0,6	12,9	3,7	4,7	86,4	0,9
	Mediana	1,2	52,3	12,6	31,2	24,1	3,8	11,7	3,1	0,2	0,2	0,2	3,4	38,0	0,6	12,6	3,6	4,2	86,4	0,9
	Máximo	0,9	54,5	15,7	34,9	25,1	3,9	13,1	3,9	0,5	0,3	0,2	8,0	42,0	0,9	14,1	4,5	7,1	87,9	1,0
	Mínimo	0,9	45,0	10,5	27,9	19,3	3,6	11,3	2,5	0,1	0,2	0,1	2,7	30,0	0,4	12,1	3,2	3,2	84,8	0,7
	CV%	7,7	7,5	16,8	7,3	11,7	2,4	6,2	15,8	61,2	27,5	7,4	48,9	14,2	28,7	6,9	12,9	30,1	1,6	14,5
AL	Média	1,0	59,4	18,4	27,3	27,4	5,4	5,2	0,0	5,0	2,7	0,7	10,2	34,7	8,2	13,1	8,2	60,7	0,4	1,9
	Mediana	1,0	59,1	17,6	27,9	27,1	5,4	5,2	0,0	5,0	2,7	0,7	10,3	35,0	8,3	13,4	8,3	60,2	0,0	1,9
	Máximo	1,1	65,3	20,9	36,2	31,8	5,6	5,6	0,2	5,5	3,0	0,8	12,6	42,0	9,0	14,2	9,0	64,6	2,2	2,0
	Mínimo	0,8	55,4	16,6	17,2	21,4	5,3	4,8	0,0	4,4	2,2	0,7	6,7	26,0	7,2	12,0	7,2	58,7	0,0	1,8
	CV%	9,9	6,7	12,2	25,2	15,8	2,4	7,5	15,8	61,2	27,5	7,6	38,3	7,2	28,7	6,5	12,9	3,9	6,2	68,7
AE	Média	1,1	55,3	10,2	22,0	32,1	5,4	5,0	0,0	4,9	2,6	0,6	14,3	31,0	8,9	13,0	8,6	65,3	0,0	2,1
	Mediana	1,1	53,4	10,3	21,1	31,3	5,4	5,0	0,0	4,9	2,7	0,6	13,4	32,5	9,0	12,8	8,6	64,6	0,0	2,1
	Máximo	1,2	61,5	12,4	27,7	36,5	5,6	5,6	0,0	5,9	2,9	0,6	21,5	36,0	9,7	14,3	9,7	67,7	0,0	1,9
	Mínimo	0,9	52,2	7,7	16,0	30,5	5,1	4,3	0,0	4,2	2,3	0,5	10,2	24,0	7,8	12,1	7,4	63,4	0,0	1,5
	CV%	8,7	7,0	17,2	18,4	7,1	3,0	10,5	0,0	14,4	12,1	7,4	28,0	13,8	9,5	7,2	11,5	3,4	0,0	2,3
LA	Média	1,0	54,5	8,0	15,2	41,1	5,0	7,1	0,2	6,2	2,8	0,2	14,2	37,3	9,2	16,3	9,4	57,5	1,6	2,2
	Mediana	1,0	54,5	7,7	15,4	41,1	5,1	7,1	0,2	6,1	2,8	0,2	15,6	37,5	9,1	16,3	9,2	56,0	2,0	2,2
	Máximo	1,1	56,7	9,2	16,0	43,8	5,1	8,1	0,3	7,1	3,1	0,2	19,2	44,0	10,1	16,9	10,3	61,1	3,0	2,5
	Mínimo	1,0	51,2	6,8	13,8	37,4	4,9	6,2	0,0	5,8	2,6	0,1	7,6	31,0	8,5	15,8	8,7	54,7	0,0	2,1
	CV%	4,2	3,5	12,4	6,4	5,1	1,5	9,0	81,6	7,8	7,1	14,0	36,5	15,0	6,9	2,9	7,7	5,1	80,8	6,4

Legenda: MT: Mata Nativa; AL: Agrofloresta Linha; AE: Agrofloresta Entrelinha; LA: Lavoura

DS: densidade do solo (g cm^{-3}); PT: porosidade total (%); BP: bioporos (%); MA: macroporos (%); MI: microporos (%); H+Al: acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); 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 (g dm^{-3}); SB: soma de bases ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); CTC a pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); V%: saturação de bases (%); m%: saturação por alumínio; Ca/Mg: Relação Cálcio/Magnésio

Tabela 5: Análise descritiva dos atributos físicos e químicos para os manejos na camada de solo 5-10 cm. Lapa- PR

		DS	PT	BP	MA	MI	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	C	SB	CTC a pH 7,0	CTC efetiva	V%	m%	Ca/Mg
MT	Média	0,9	59,7	13,1	30,3	35,5	3,8	13,2	3,0	0,1	0,1	0,1	1,6	22,0	0,3	12,9	3,3	2,3	92,3	0,3
	Mediana	0,9	60,3	12,4	30,6	35,5	3,8	13,5	3,1	0,0	0,1	0,1	1,6	22,0	0,3	13	3,3	1,6	92,4	0,24
	Máximo	1,1	65,2	15,9	35,4	43,7	3,9	14,0	3,7	0,6	0,1	0,1	3,0	24,0	0,8	14,3	3,9	6,8	93,2	0,44
	Mínimo	0,8	54,0	11,6	25,1	26,2	3,7	12,1	2,2	0,0	0,1	0,1	0,8	20,0	0,2	11,2	2,9	0,8	91,1	0,1
	CV%	12,7	8,6	14,6	13,0	20,2	1,3	7,5	18,0	*	11,4	17,9	47,6	10,4	67,4	10,8	12,0	97,2	1,0	63,1
AL	Média	1,0	58,2	8,1	19,2	47,4	5,3	5,0	0,1	4,7	2,4	0,2	13,1	30,3	7,7	12,7	7,7	60,4	0,8	1,9
	Mediana	1,0	57,0	6,5	17,9	48,2	5,3	5,0	0,0	4,7	2,5	0,2	14,2	30,0	7,7	12,8	7,8	60,2	0,0	1,9
	Máximo	1,1	64,9	13,1	11,5	49,0	5,5	5,4	0,2	5,4	2,7	0,3	15,6	37,0	8,7	13,7	8,9	63,8	2,6	2,0
	Mínimo	0,8	51,8	4,7	5,9	44,3	5,2	4,6	0,0	4,0	2,2	0,2	9,7	22,0	6,6	11,3	6,6	57,8	0,0	1,7
	CV%	13,8	10,0	46,8	33,2	4,4	2,0	6,0	*	12,0	8,9	17,4	22,9	20,6	10,2	7,8	10,8	3,2	*	5,4
AE	Média	1,1	52,2	7,6	13,0	42,1	5,4	5,2	0,0	4,7	2,5	0,4	7,1	31,0	7,9	13,0	7,8	59,7	0,0	1,9
	Mediana	1,0	53,8	7,2	13,1	41,4	5,4	5,3	0,0	4,6	2,4	0,4	7,4	31,0	7,9	12,7	7,7	60,3	0,0	1,9
	Máximo	1,2	57,0	11,7	20,1	48,9	5,5	5,8	0,0	5,4	2,9	0,4	9,6	35,0	8,9	14,3	8,7	62,1	0,0	2,1
	Mínimo	1,0	44,8	5,0	7,3	35,9	5,2	4,6	0,0	4,4	2,1	0,3	3,9	27,0	7,3	12,2	6,8	56,0	0,0	1,6
	CV%	10,2	9,3	33,5	40,8	12,3	2,1	7,9	0,0	8,3	11,6	7,4	29,2	9,3	7,7	7,0	8,4	3,7	0,0	8,9
LA	Média	1,0	53,4	5,5	8,9	53,5	5,1	6,8	0,2	6,2	2,9	0,1	17,1	31,0	8,9	16,2	9,4	57,7	1,6	2,2
	Mediana	1,0	53,9	4,7	8,3	54,2	5,1	6,6	0,2	6,0	2,8	0,1	18,2	32,0	8,9	16,2	9,1	59,0	2,2	2,2
	Máximo	1,1	58,0	9,9	15,1	58,8	5,2	7,4	0,3	7,3	3,1	0,2	19,1	34,0	9,7	17,7	10,8	59,4	2,8	2,3
	Mínimo	0,9	49,5	4,1	5,7	48,9	5,0	6,2	0,0	5,6	2,6	0,1	13,0	27,0	8,4	15,1	8,6	53,9	0,0	2,0
	CV%	6,7	5,8	39,7	36,9	8,4	1,4	7,2	81,6	10,0	6,2	18,0	16,4	10,6	5,4	6,0	8,8	4,0	78,6	5,1

Nota: *CV>100%

Legenda: MT: Mata Nativa; AL: Agrofloresta Linha; AE: Agrofloresta Entrelinha; LA: Lavoura

DS: densidade do solo (g cm^{-3}); PT: porosidade total (%); BP: bioporos (%); MA: macroporos (%); MI: microporos (%); H+Al: acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); 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 (g dm^{-3}); SB: soma de bases ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); CTC a pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); V%: saturação de bases (%); m%: saturação por alumínio; Ca/Mg: Relação Cálcio/Magnésio

Tabela 6: Análise descritiva dos atributos físicos e químicos para os manejos na camada de solo 10-20 cm. Lapa-PR

		DS	PT	BP	MA	MI	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	C	SB	CTC a pH 7,0	CTC efetiva	V%	m%	Ca/Mg
MT	Média	1,1	55,9	8,8	22,3	27,1	3,8	12,6	3,2	0,0	0,1	0,1	1,5	19,3	0,2	12,8	3,4	1,5	94,7	0,1
	Mediana	1,1	55,7	8,8	21,9	26,6	3,8	12,5	3,2	0,0	0,1	0,1	1,5	19,0	0,2	12,7	3,4	1,4	94,9	0,1
	Máximo	1,1	58,2	10,4	27,8	32,0	3,9	13,0	3,9	0,1	0,1	0,1	2,6	22,0	0,3	13,2	4,0	2,5	96,4	0,4
	Mínimo	1,0	53,5	7,3	16,3	23,6	3,8	12,1	2,6	0,0	0,1	0,1	0,9	17,0	0,1	12,4	2,8	0,7	92,7	0,0
	CV%	4,3	3,4	14,5	17,2	11,8	0,8	3,1	14,5	*	20,5	15,7	38,5	11,6	29,0	2,6	13,0	42,2	1,4	*
AL	Média	1,2	50,6	4,6	12,1	34,9	5,2	5,4	0,0	4,0	2,2	0,2	7,0	23,8	6,3	11,5	6,5	55,9	0,0	1,8
	Mediana	1,2	50,3	4,9	12,5	34,7	5,2	5,5	0,0	3,9	2,2	0,2	6,0	23,0	6,1	11,5	6,4	56,2	0,0	1,8
	Máximo	1,3	58,2	7,9	16,1	39,5	5,3	6,0	0,2	4,9	2,6	0,2	12,1	27,0	7,1	12,6	7,7	57,3	0,0	1,9
	Mínimo	1,1	45,1	0,9	6,1	30,0	5,1	4,6	0,0	3,2	1,8	0,2	2,7	22,0	5,7	10,7	5,7	53,4	0,0	1,5
	CV%	6,4	9,4	58,5	31,8	10,9	1,3	10,9	*	16,1	13,4	3,6	48,7	9,1	7,9	6,2	10,8	2,7	0,0	8,8
AE	Média	1,2	46,8	3,8	6,8	38,6	5,3	5,4	0,0	4,6	2,4	0,3	4,3	28,5	7,7	13,1	8,7	58,5	0,0	1,8
	Mediana	1,2	46,8	3,4	6,0	38,7	5,3	5,4	0,0	4,7	2,4	0,3	3,9	29,5	7,7	12,9	7,7	59,3	0,0	1,8
	Máximo	1,3	48,8	6,3	11,9	42,5	5,6	6,2	0,0	5,1	2,6	0,3	7,8	31,0	8,9	14,7	8,9	63,3	0,0	2,0
	Mínimo	1,2	44,3	2,5	3,7	34,7	5,2	4,6	0,0	3,9	2,1	0,3	2,6	25,0	6,3	11,6	6,3	54,0	0,0	1,5
	CV%	3,0	3,1	34,3	37,7	7,3	2,5	10,1	0,0	8,8	8,8	10,9	48,2	10,3	11,3	8,2	11,3	6,1	0,0	10,0
LA	Média	1,1	50,3	3,1	5,1	44,8	5,1	6,7	0,1	5,7	2,8	0,1	7,1	30,7	8,6	15,4	8,7	56,0	0,7	2,0
	Mediana	1,1	50,3	3,5	5,5	44,4	5,1	6,7	0,0	5,5	2,8	0,1	6,4	31,0	8,3	15,5	8,4	56,1	0,0	2,0
	Máximo	1,2	55,5	5,3	8,0	50,9	5,2	7,5	0,2	6,5	3,2	0,1	11,1	35,0	9,6	16,5	9,8	60,7	2,4	2,1
	Mínimo	1,0	46,3	0,8	1,8	39,9	5,0	6,2	0,0	5,1	2,6	0,1	4,6	27,0	7,7	14,2	7,7	51,9	0,0	1,9
	CV%	7,0	6,9	56,7	48,9	8,0	1,4	8,0	*	9,9	8,4	15,0	41,7	10,4	9,2	5,4	9,4	5,9	*	2,8

Nota: *CV>100%

Legenda: MT: Mata Nativa; AL: Agrofloresta Linha; AE: Agrofloresta Entrelinha; LA: Lavoura

DS: densidade do solo (g cm^{-3}); PT: porosidade total (%); BP: bioporos (%); MA: macroporos (%); MI: microporos (%); H+Al: acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); 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 (g dm^{-3}); SB: soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); CTC a pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); V%: saturação de bases (%); m%: saturação por alumínio; Ca/Mg: Relação Cálcio/Magnésio

Tabela 7: Análise descritiva dos atributos físicos e químicos para os manejos na camada de solo 20-40 cm. Lapa-PR

		DS	PT	BP	MA	MI	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	C	SB	CTC a pH 7,0	CTC efetiva	V%	m%	Ca/Mg
MT	Média	1,1	52,6	9,9	28,1	20,1	3,8	12,2	3,3	0,1	0,1	0,1	1,6	17,3	0,2	12,4	3,5	1,9	93,4	0,4
	Mediana	1,1	52,4	9,9	27,0	20,5	3,9	11,9	3,2	0,0	0,1	0,1	1,7	18,0	0,2	12,1	3,5	1,3	95,2	0,3
	Máximo	1,2	55,1	12,0	33,8	24,1	3,9	14,1	4,4	0,2	0,2	0,2	2,1	21,0	0,6	14,3	4,6	4,7	96,6	1,3
	Mínimo	1,1	49,1	7,7	25,3	16,6	3,8	11,3	2,6	0,0	0,0	0,1	0,7	12,0	0,1	11,4	2,7	0,8	84,3	0,0
	CV%	4,5	4,1	15,9	12,0	14,4	1,2	8,9	19,9	*	48,2	52,8	31,0	19,5	71,8	8,4	18,9	75,8	4,9	*
AL	Média	1,2	45,4	4,8	36,3	8,2	5,2	5,5	0,1	3,7	2,3	0,2	2,9	34,0	6,2	11,7	6,3	52,9	1,8	1,6
	Mediana	1,2	45,6	4,0	36,2	6,8	5,2	5,5	0,0	3,7	2,3	0,2	2,2	33,0	6,1	11,7	6,2	53,4	0,0	1,6
	Máximo	1,4	51,1	9,6	38,9	15,4	5,5	6,2	0,5	4,6	2,9	0,3	6,2	46,0	7,6	12,7	7,6	60,6	8,8	1,7
	Mínimo	1,1	38,6	0,5	33,3	1,8	4,7	5,0	0,0	2,8	2,0	0,1	0,8	24,0	5,2	10,7	5,4	45,4	0,0	1,3
	CV%	9,1	11,0	73,6	5,3	63,1	5,4	8,2	*	19,0	15,1	36,3	78,3	21,0	16,1	7,3	14,2	10,0	*	8,4
AE	Média	1,2	46,3	3,6	37,9	6,0	5,0	6,8	0,2	2,9	2,2	0,3	2,0	22,0	5,5	12,3	5,7	44,6	3,9	1,3
	Mediana	1,2	46,0	3,9	37,4	6,1	4,9	6,8	0,2	2,7	2,2	0,3	1,7	22,0	5,2	12,5	5,4	42,7	2,8	1,3
	Máximo	1,3	48,7	4,2	42,5	7,8	5,5	8,7	0,5	3,9	3,1	0,6	4,0	25,0	7,0	13,0	7,1	57,6	10,6	1,7
	Mínimo	1,2	44,6	2,3	35,5	4,1	4,6	5,0	0,0	2,1	1,6	0,1	0,7	19,0	4,2	11,3	4,7	32,7	0,0	1,1
	CV%	3,1	3,6	21,0	7,0	23,1	6,2	19,1	89,4	24,4	22,3	55,6	59,8	10,8	21,2	5,4	18,3	21,4	98,1	15,7
LA	Média	1,2	50,1	3,2	43,6	4,7	4,9	8,5	0,8	3,6	2,4	0,1	2,2	25,3	6,1	14,6	6,9	41,2	12,4	1,5
	Mediana	1,2	48,8	3,3	42,8	4,9	4,8	9,0	0,9	3,4	2,4	0,1	1,3	26,0	5,8	15,4	6,7	39,0	12,7	1,4
	Máximo	1,3	55,8	5,1	48,9	7,2	5,3	9,7	1,2	6,7	3,2	0,1	5,1	34,0	10,0	16,0	10,3	62,5	22,8	2,1
	Mínimo	1,1	46,7	1,0	40,8	1,5	4,6	6,0	0,3	1,9	1,4	0,1	0,4	16,0	3,4	11,7	4,4	28,8	2,9	1,2
	CV%	6,9	6,9	43,0	6,8	43,6	5,2	18,0	45,7	44,1	25,0	12,0	91,9	24,8	35,3	12,3	28,6	27,6	56,7	21,3

Nota: *CV>100%

Legenda: MT: Mata Nativa; AL: Agrofloresta Linha; AE: Agrofloresta Entrelinha; LA: Lavoura

DS: densidade do solo (g cm^{-3}); PT: porosidade total (%); BP: bioporos (%); MA: macroporos (%); MI: microporos (%); H+Al: acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); 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 (g dm^{-3}); SB: soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); CTC a pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); V%: saturação de bases (%); m%: saturação por alumínio; Ca/Mg: Relação Cálcio/Magnésio

Para os nutrientes cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) os teores médios encontrados decresceram em profundidade para todos os manejos e foram menores na MT comparado aos demais tratamentos. Neste manejo, os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} podem ser considerados muito baixos e o de K^+ baixo. Agrofloresta linha e entrelinha apresentaram em geral valores médios semelhantes para os nutrientes em todas as profundidades, considerados altos. A lavoura foi o tratamento que apresentou os maiores teores médios de Ca^{2+} , Mg^{2+} , porém menores valores de K^+ , semelhantes aos resultados obtidos na mata.

Para fósforo (P) os valores médios encontrados na MT em todas as profundidades e em AL, AE e LA na profundidade 20-40 cm são considerados muito baixos. Nas demais camadas, para os manejos AL, AE e LA os valores médios de P são considerados altos.

Os valores médios da soma de bases (SB) decresceram em profundidade para todos os manejos. Na MT, em decorrência dos teores menores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , a SB é considerada muito baixa em todas as profundidades. Na camada 20-40 cm de AE e LA, ocorreu decréscimo da SB sendo considerada média. Na AL em todas as profundidades e na AE e na lavoura nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm a SB pode ser considerada alta.

Os teores médios de carbono (C) do solo apresentaram decréscimo em profundidade para todos os manejos. Todos os valores podem ser considerados elevados, sendo altos a muito altos em todas as camadas de todos os manejos. Na rizosfera, de acordo com Lal (2016), o nível crítico de carbono orgânico do solo é de 1,5 a 2,0 %, estando os teores médios encontrados para os manejos em todas as camadas acima deste nível.

A CTC a pH7 e a CTC efetiva apresentaram os maiores valores médios na área de lavoura e os menores na área de MT. Neste ambiente, os valores são considerados médio e baixo, respectivamente. Nas áreas de AL e AE tanto CTC a pH 7 quanto CTC efetiva apresentam valores médios.

Alguns dos atributos químicos avaliados apresentaram coeficientes de variação muito altos, como o Al, o Ca, P e o Mg e como consequência o m%, a SB e a relação Ca/Mg. Maiores CVs para Ca e Mg foram encontrados na MT, e para Al nos ambientes cultivados.

5.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

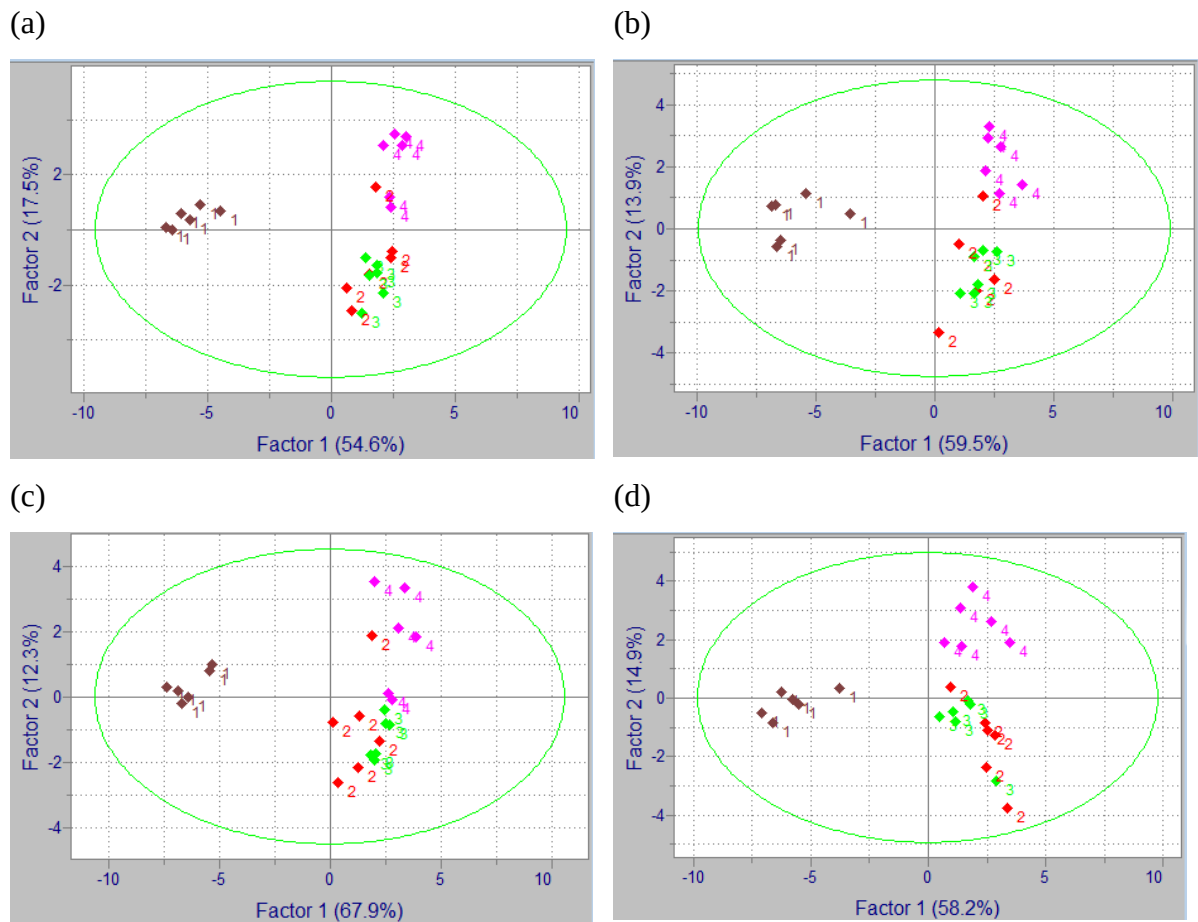
Em todas as camadas o método de análise de componentes principais (ACP) indicou que existem três grupos com variabilidades diferentes os quais coincidem com usos e manejos de solo amostrados: 1) MT, 2) AL e AE e 3) LA (Figura 5). Dois fatores explicaram mais de 70% da variabilidade total contida no conjunto de dados em todas as camadas (Tabela 8).

Tabela 8: Porcentagem da variabilidade do conjunto de dados nos fatores 1 e 2 da análise de componentes principais

	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
Fator 1	54,6	59,5	67,9	58,2
Fator 2	17,5	13,9	12,3	14,9
Total	72,1	73,4	80,2	73,1

Na ACP verificou-se que as características de acidez e fertilidade do solo foram as que mais caracterizaram os efeitos do uso e manejo para todas as camadas. Para o fator 1, componente que explica a maior parte da variabilidade do conjunto de dados, as variáveis com maior contribuição negativa areia, H+Al, Al e m% (lado esquerdo) foram claramente separadas das variáveis argila, SB, Ca, Mg, V%, CTC efetiva, pH, relação Ca/Mg e microporos (lado direito) (Figura 6). Através do biplot projetando os manejos em cada profundidade (Figura 5), nota-se que o fator 1 foi responsável pela formação de 2 grupos com variabilidades diferentes: 1) MT e 2) AL, AE e LA.

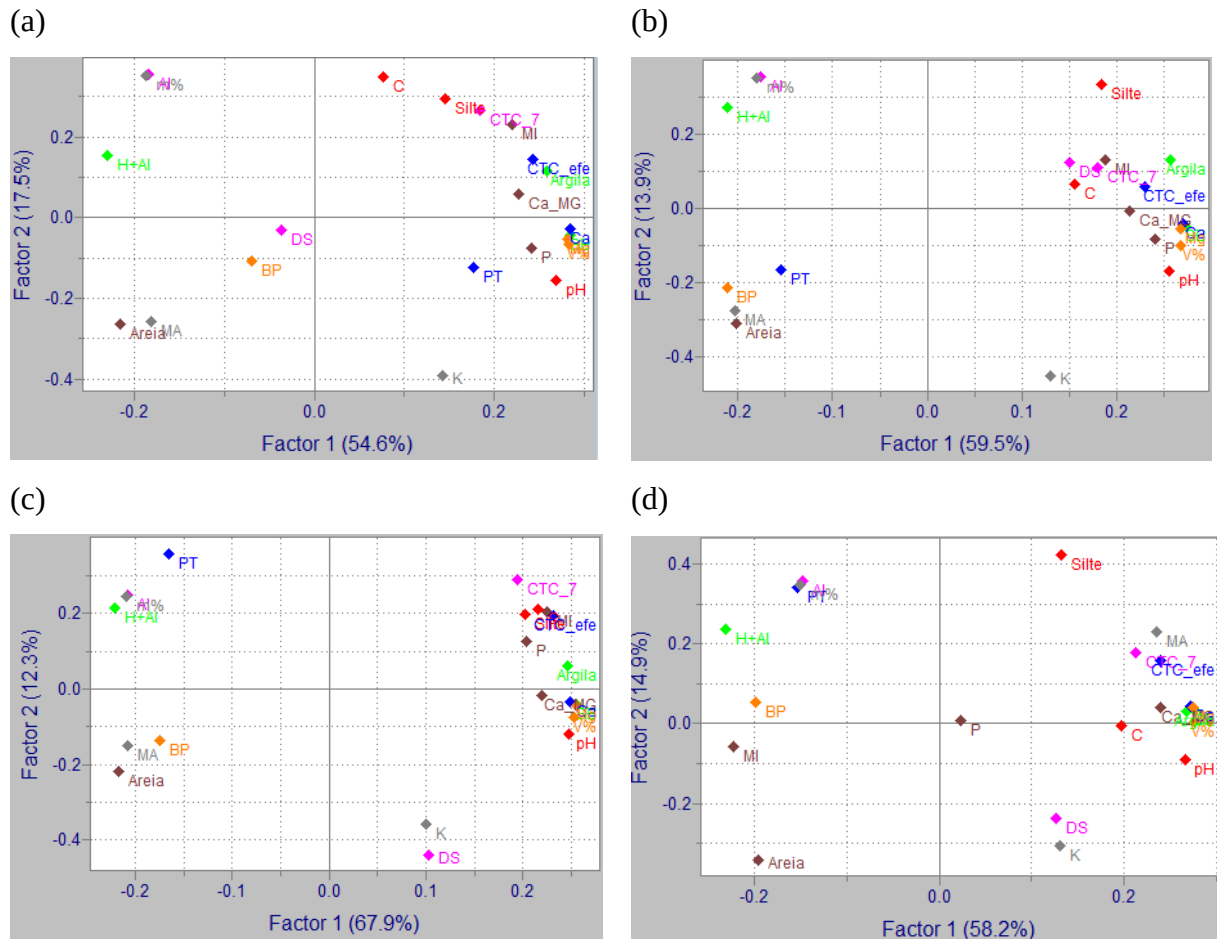
Figura 5: Representação gráfica da ACP dos manejos agrupados pelos fatores 1 e 2 em cada camada de solo



Legenda: Números - 1:Mata nativa; 2: Agrofloresta Linha; 3: Agrofloresta Entrelinha; 4: Lavoura
 Letras: (a)camada 0-5 cm ; (b) camada 5-10 cm; (c) camada 10-20 cm; (d) camada 20-40 cm

Quanto ao fator 2 no geral, estão presentes em comum, contribuindo com correlação positiva o teor de silte e negativa o teor de areia e K. Nas camadas 10-20 e 20-40 ocorre contribuição da DS. O fator 2 possibilitou a separação de AL e AE da LA.

Figura 6 : Representação gráfica da ACP das variáveis físicas e químicas agrupadas pelos fatores 1 e 2 em cada camada de solo



Legenda: Números - 1:Mata nativa; 2: Agrofloresta Linha; 3: Agrofloresta Entrelinha; 4: Lavoura
 Letras: (a)camada 0-5 cm ; (b) camada 5-10 cm; (c) camada 10-20 cm; (d) camada 20-40 cm

Comparado aos demais usos e manejos de solo estudados, pode-se verificar para todas as camadas, que a área de mata nativa apresenta os maiores teores de areia, menores valores de pH e nutrientes e maiores valores dos componentes da acidez do solo, o que pode ser também visualizado nas tabelas de análise descritiva (Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7). Solos com teores de areia consideráveis possuem capacidade de troca catiônica menor, devido ao menor potencial de geração de cargas negativas da partícula areia, menores teores de carbono do solo (USOWICZ et al., 2004) e maior lixiviação de cátions básicos, o que pode acarretar em menores valores de pH, SB e V% (BEHERA; SHUKLA, 2015).

Sob vegetação nativa, especialmente nos trópicos, Chaer e Tótola (2007) afirmam que o pH do solo pode assumir valores ácidos a muito ácidos (até $< 3,5$) e que a ciclagem de nutrientes e fornecimento para as plantas é mantida principalmente através da serrapilheira. A acidificação do solo em ecossistemas florestais, de acordo com Schoenholtz; Van Miegroet e Burger (2000) é um processo pedogênico natural resultado da formação de ácidos orgânicos associados à matéria orgânica, absorção de cátions e lixiviação vertical, corroborando os resultados encontrados para MT.

É importante salientar que o solo sob os usos e manejos estudados é classificado como Cambissolo e em geral estes solos apresentam naturalmente baixa fertilidade e níveis elevados de alumínio trocável. Quanto aos atributos físicos os Cambissolos são solos rasos e predominantemente apresentam textura média tendendo a arenosa. Estas características fazem com que esta classe de solos apresente maior fragilidade ambiental (SÁ, 2007). Assim sendo, os valores baixos de nutrientes devem-se, além dos processos pedogenéticos citados acima, à baixa fertilidade natural do solo, em decorrência de seu material de origem. Esse fato, somado ao gradiente topográfico acentuado na região e a proximidade desta de curso de água, são considerados limitação às atividades agrícolas. Assim, é necessária a manutenção do equilíbrio existente neste ambiente, sem a ocorrência de mobilização de solo, priorizando a manutenção da serrapilheira e da vegetação arbórea, pensamento existente entre os produtores do Assentamento Contestado.

Quanto aos atributos físicos, a mata apresentou os maiores valores de bioporos em todas as camadas, bem como os maiores valores de macroporos nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm e de porosidade total na camada 10-20 e 20-40 cm. Estes resultados podem ser justificados pela ausência de transformação antrópica e ação mais intensa de raízes e da macrofauna do solo. Conclusões semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2018), que estudando diferentes usos de solo e seus efeitos nos atributos físicos encontraram valores menores de DS e maiores de PT e BP em floresta nativa, comparado a área de integração lavoura-pecuária. As raízes de árvores e os incrementos na matéria orgânica do solo a partir da serrapilheira melhoram a estrutura do solo e promovem a atividade da fauna, resultando em maior macroporosidade e bioporosidade, poros preferenciais para a infiltração de água (BARGUÉS TOBELL et al. 2014).

Os solos sob os manejos (AL, AE e LA) possuem textura franco-argilo-arenosa e franco-argilosa, assim sendo, possuem maiores teores de argila comparado a MT, como demonstrado pelo posicionamento destes manejos a direita do fator 1 (Figura 4). A argila, juntamente com a matéria orgânica, são as principais partículas formadoras de cargas negativas no solo

(BRONICK; LAL, 2004). Estas cargas são responsáveis pela retenção de cátions básicos como Ca^{2+} e Mg^{2+} , que contribuem para o aumento da CTC efetiva e da saturação de bases (V%) do solo. O aumento do V% está relacionado com o aumento do pH do solo, pois o maior conteúdo de bases na fase sólida deste resulta em menor conteúdo de íons H^+ , elevando o pH (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Além das maiores condições naturais de formação de cargas e retenção de cátions, estes ambientes passaram por processos de correção de acidez e fertilidade do solo, o que contribui para elevação do pH e teores de nutrientes e diminuição de componentes da acidez do solo (H^+ e Al^{3+}). Para AE a adubação com cama de peru ocorreu em todos os anos desde a implantação do SAF e na LA, quando da semeadura do milho também foi realizada adubação com o fertilizante orgânico, o que deve ter contribuído para melhoria dos atributos químicos do solo. Objetivando avaliar os efeitos da aplicação de cama de peru sobre os atributos químicos de solo sob pastejo rotacionado, Pinto et al. (2012) observaram que aplicações sequenciais do adubo promoveram melhorias na fertilidade do solo, com aumento de pH, P, K, V% e C e diminuição no m% nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

O manejo agroecológico sem a utilização de fertilizantes minerais também pode ter relação com os valores de pH do solo em AE e LA. Tem sido relatada relação entre a aplicação de fertilizantes nitrogenados e a diminuição do pH do solo e aumento dos teores de Al^{3+} , causados em superfície, principalmente pelo processo de nitrificação da amônia (FAGERIA et al., 2010; OBOUR et al., 2017). Em contrapartida, tem sido observado que a utilização de adubos orgânicos, como esterco bovino e cama de peru pode promover o aumento do pH do solo e melhoria de outros atributos químicos, como o conteúdo de carbono e bases trocáveis (CAI et al., 2015; PINTO et al., 2012).

O elevado aporte de material vegetal proveniente da poda anual pode ter contribuído para melhoria dos atributos químicos do solo em AL. A deposição de resíduos vegetais, pode promover a elevação do pH do solo na camada superficial, pela troca ou complexação dos íons H e Al, por Ca, Mg, K e outros compostos presentes no resíduo vegetal, aumentando assim a saturação por bases (AMARAL et al., 2004; PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Em trabalho avaliando o efeito da palhada de canola, grão de bico e trigo no pH do solo em um Cambissolo, Butterly, Baldock e Tang (2012) concluíram que os resíduos elevaram o pH do solo, com maior aumento 3 meses após a deposição, mas com efeitos persistentes em até 2 anos. A alcalinidade foi gerada segundo os autores, via reações entre H^+ e a matéria orgânica adicionada e também via processos de amonificação e descarboxilação durante a decomposição.

Resultados encontrados por Iwata et al. (2012) avaliando qualidade química do solo em agroflorestas de 6 e 13 anos mostraram que os SAFs promoveram aumento do pH, redução da saturação por alumínio e aumento dos teores de nutrientes. Os autores atribuíram este efeito aos teores de matéria orgânica adicionados ao solo por parte dos SAFs, principalmente nas camadas superficiais.

A separação entre AL e AE de LA se deu principalmente pelos maiores teores de K na linha e entrelinha da agrofloresta e pelos maiores teores de silte na LA. Os menores teores de K em LA em relação a AE podem ser atribuídos ao fato desta ter recebido adubação com sulfato de potássio, elevando os teores deste nutriente. A cama de peru, adubo utilizado na LA, é rica em Ca e P, mas possui menores teores de K (SBSC-NEPAR, 2017). Adubações sucessivas de cama de peru, no entanto, podem aumentar os teores de K no solo (PINTO et al., 2012), outra possível explicação para os maiores teores de K na AE em relação a LA.

Na AL a matéria orgânica proveniente das podas pode ter contribuído para os níveis de K elevados e similares a AE. Grande número de bananeiras são cultivadas nas linhas da agrofloresta, cuja função principal no sistema é prover biomassa. O potássio, de acordo com Moreira e Fageria (2009) é o nutriente mais acumulado pela bananeira representando cerca de 70% do total. Os autores verificaram que apenas 18,8% do K é exportado para o fruto, permanecendo grande parte no pseudocaule, brácteas, restos florais e folhas, podendo estes servirem como fonte significativa desse nutriente. A bananeira pode servir de fonte de outros nutrientes como Ca e Mg que também estão presentes em quantidades expressivas nesses órgãos da planta.

Na camada 0-5 cm o teor de C influenciou a separação estatística entre agrofloresta e lavoura, tendo LA apresentado maiores teores de carbono nesta camada. LA passou por período de pousio, com crescimento de plantas espontâneas, e recebeu adição de fertilizante orgânico, fatores que podem ter contribuído para aumento dos teores de C nesta camada. Além disso esta área passa por processos de alagamento periódico, o que pode fazer com que o carbono seja preservado, pois as condições anaeróbicas no solo desaceleram a decomposição da matéria orgânica (MITSCH et al., 2007).

Nas camadas 0-5 e 5-10 AL e AE apresentaram maior volume de BP e MA em relação a LA. Assim como ocorre em ambiente nativo, a ausência de mobilização e a ação das raízes das árvores na linha podem ter favorecido a formação de poros maiores neste ambiente, com valores médios superiores comparado a AE e LA.

Na AL foi observado durante as coletas a existência de grande número de minhocas, que estão entre os principais construtores de bioporos do solo (BROWN et al., 2015), o que

pode ter contribuído para o maior número de BP neste manejo que na camada 0-5 cm apresentou valores médios de BP 44,5 e 56,5% superiores a AE e LA, respectivamente. Além disso, não ocorreu preparo do solo com revolvimento na AL nos últimos 3 anos. De acordo com KAUTZ (2014) o preparo da camada arável do solo causa efeitos negativos no arranjo de bioporos nesta, o que pode explicar o número menor de BPs encontrados na AE e na LA em relação aos demais manejos. Ao estudar as modificações no espaço poroso causadas por tráfego de máquinas em um Latossolo cultivado com laranja, Lima et al. (2005) relataram que a compactação de superfície por cultivo agrícola e máquinas afetou a forma e distribuição dos poros na camada 0-12 cm, particularmente dos bioporos.

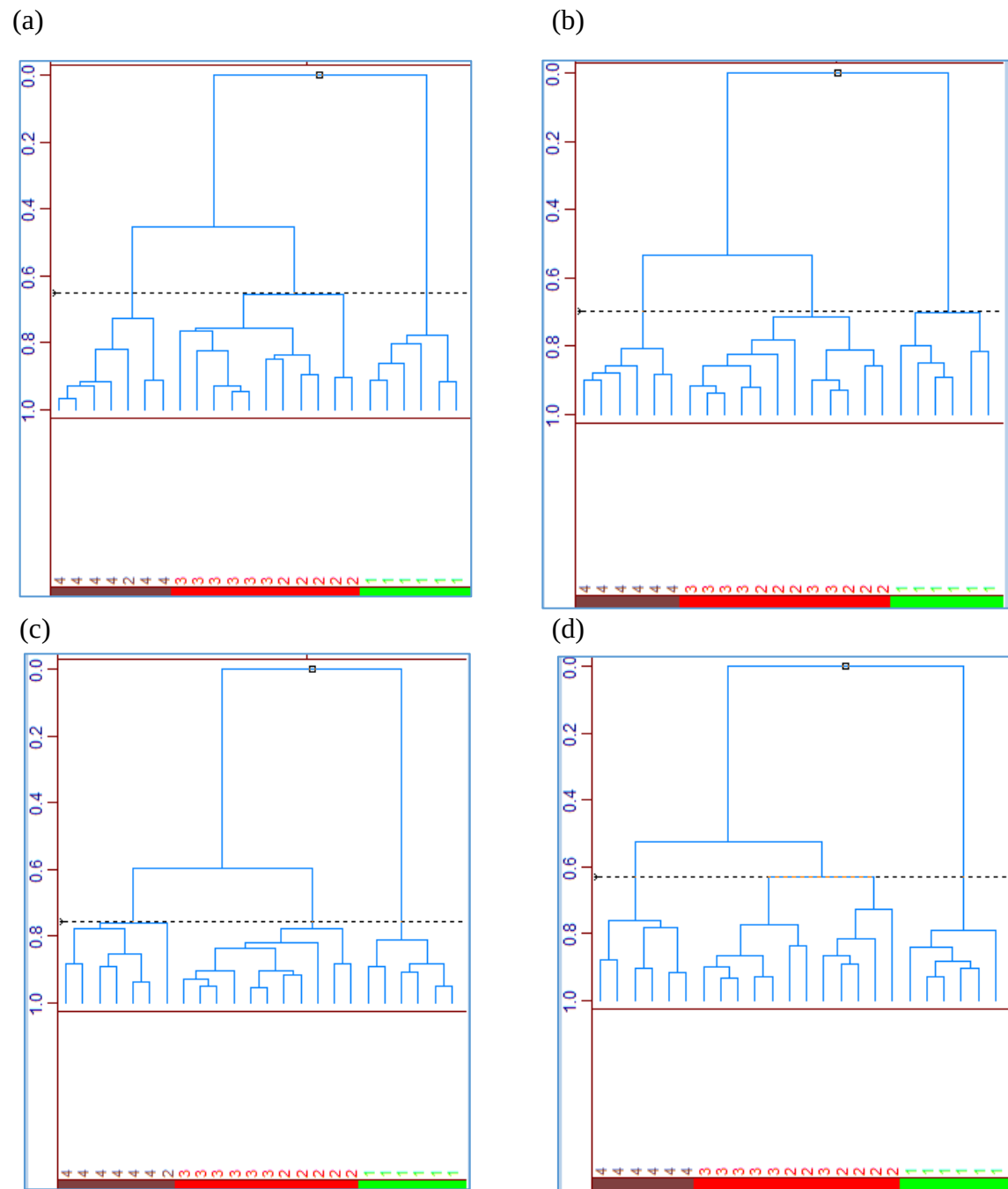
Na camada 10-20 cm para LA a macroporosidade foi reduzida. Através da análise descritiva pode-se observar que neste manejo e também em AE, a MA assumiu valores abaixo do limite crítico de 10% (XU; NIEBER; GUPTA, 1992). O uso anterior do solo com agricultura pode ter ocasionado compactação na camada 10-20 cm devido ao tráfego de máquinas e preparo do solo. Em AE e LA a prática de preparo de solo continuou a ser utilizada, o que pode ter relação com a diminuição da MA. Comparando AL e AE, nota-se que ocorreu diminuição de 56 % no volume médio de macroporos na camada 10-20 cm (Tabela 6). A ausência de revolvimento e tráfego de máquinas, bem como a ação das raízes das árvores podem ter resultado em recuperação do espaço macroporoso do solo nesta profundidade.

Resultados encontrados por Moraes et al., (2016) avaliando atributos físicos do solo em plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) mostraram que na camada 20-30 cm a MA em PC foi 50% menor que em PD.

Nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm LA apresentou os maiores valores de microporos e menores valores de macroporos em relação a AL e AE. Na camada 20-40 cm esta situação se inverte, ocorrendo na lavoura aumento de 88 % no valor médio de macroporos em relação à camada 10-20 cm (Tabelas 6 e 7).

Ao estudar as variáveis pela análise hierárquica de agrupamentos (Figura 7), confirma-se os resultados denotados na ACP, com similaridade entre 0,63 e 0,78. Para todas as camadas ocorreu a formação dos três grupos da análise de componentes principais: 1) MT, 2) AL e AE e 3) LA.

Figura 7: Representação gráfica da AHA das variáveis físicas e químicas agrupadas pelos fatores 1 e 2 em cada camada de solo



Legenda: Números - 1:Mata nativa; 2: Agrofloresta Linha; 3: Agrofloresta Entrelinha; 4: Lavoura
 Letras: (a)camada 0-5 cm ; (b) camada 5-10 cm; (c) camada 10-20 cm; (d) camada 20-40 cm

5.5 ANÁLISE VISUAL DA ESTRUTURA DO SOLO (AVES)

A análise de variância demonstrou que houve efeito altamente significativo do uso e manejo de solo sobre a qualidade estrutural avaliada através do método de análise visual da estrutura do solo (AVES) ($p < 0,001$) (Tabela 9).

Tabela 9: Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para análise visual da estrutura do solo (AVES) nos tratamentos estudados. Lapa - PR

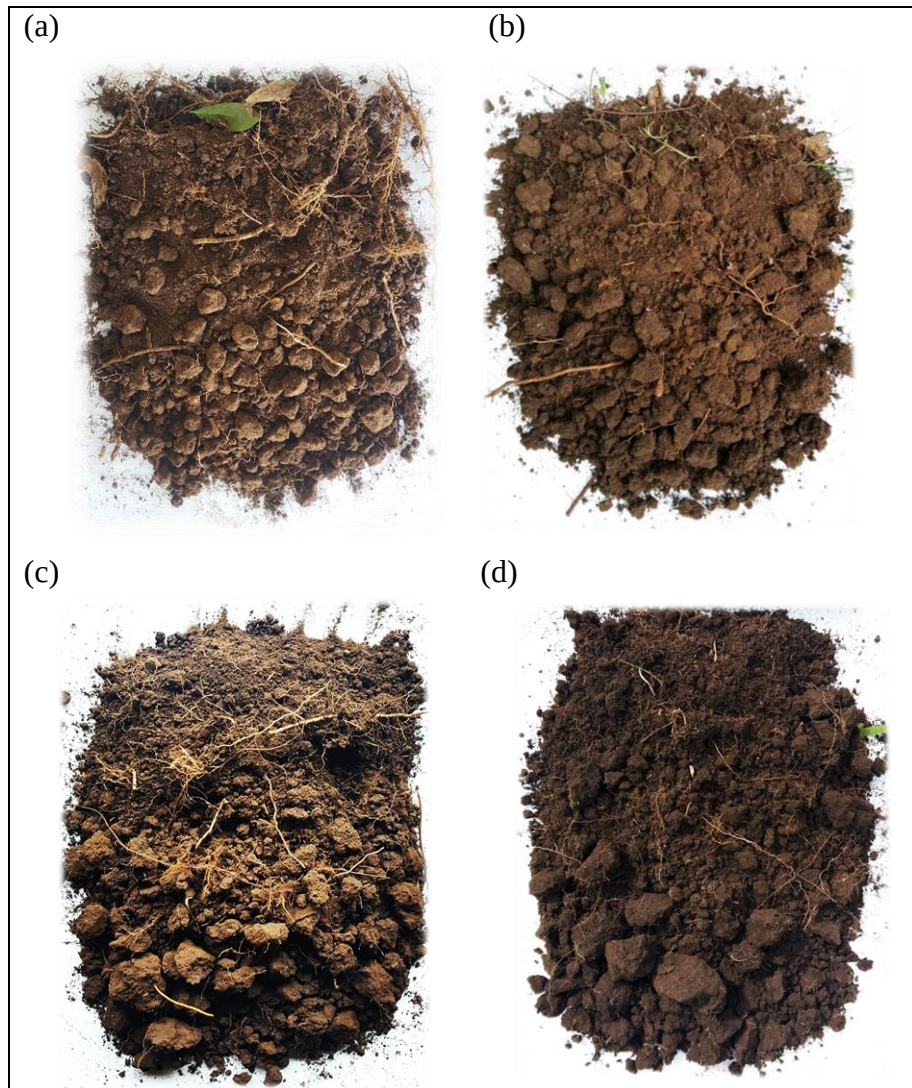
	MT	AL	AE	LA
MT	-	0,252	0,009	>0,001
AL	-	-	0,104	>0,001
AE	-	-	-	0,003
LA	-	-	-	-

Legenda: MT: Mata nativa, AL: Agrofloresta Linha, AE: Agrofloresta Entrelinha e LA: Lavoura

As diferenças visuais na estrutura entre as áreas estudadas podem ser visualizadas na Figura 8. Na área de mata nativa observa-se a deposição de serrapilheira na superfície do solo e presença de raízes e agregados em todo perfil (bloco) indicando homogeneidade estrutural do solo. A linha da agrofloresta apresenta aparência similar a área de mata, sendo agregados pequenos e raízes presentes em todo perfil.

Na entrelinha da agrofloresta e na lavoura nota-se menor uniformidade nos blocos, com todos os pontos amostrados apresentando, no mínimo duas camadas de solo com diferenças estruturais: uma camada superficial com agregados menores e raízes e outra camada com agregados mais firmes, pouco porosos e com tamanho maior.

Figura 8: Blocos de solo extraídos e manuseados para a avaliação visual da qualidade da estrutura do solo



Legenda: (a) Mata nativa, (b) Agrofloresta linha, (c) Agrofloresta entrelinha
(d) Lavoura

Com base na análise de contrastes ortogonais (Tabela 9) observaram-se diferenças significativas nos valores dos escores de qualidade da estrutura do solo (Q_e) entre as áreas avaliadas. Para MT x AL e AL x AE não foram encontradas diferenças. Entre MT x AE, MT x LA, AL x LA e AE x LA ocorreram diferenças significativas.

A área de mata nativa apresentou Q_e médio de 1,33, semelhante estatisticamente à linha da agrofloresta, com Q_e médio de 1,51 (Tabela 10). Este resultado para MT e AL deve-se provavelmente à ausência de preparo do solo e presença de resíduos vegetais, fundamentais para a manutenção de boa estrutura deste (BRONICK; LAL, 2004). Trabalhos avaliando a qualidade de solo através do método AVES tem encontrado valores semelhantes para ambientes

sem interferência antrópica (GIAROLA et al., 2009; EURICH et al., 2014; TUCHTENHAGEN et al., 2017).

O Qe médio encontrado para a área de lavoura (2,28) (Tabela 10) demonstra que este manejo apresenta qualidade inferior em relação a MT, AL e AE, provavelmente em decorrência do manejo antrópico. Da mesma forma, Giarola et al. (2009) relataram maiores escores visuais em solos sob integração lavoura pecuária (3,07), seguido por sistemas de plantio direto e solos florestais. Eurich et al., (2014) encontraram escores médios de 2,4 avaliando ambiente de lavoura com o método AVES, inferiores ao ambiente de referência (mata).

Na entrelinha, a cobertura do solo com material vegetal e a utilização de adubo orgânico por longo tempo podem ter contribuído para valores de Qe similares a agrofloresta linha. Resíduos culturais podem melhorar a estrutura do solo através de adição de matéria orgânica e proteção dos agregados do solo e da compactação causada pelo impacto das gotas da chuva (TURMEL et al., 2015).

Tabela 10: Análise descritiva da variável AVES por tratamento (manejos). Lapa - PR

	MT	AL	AE	LA
Média	1,33	1,51	1,77	2,28
Mediana	1,40	1,51	1,80	2,21
Máximo	1,51	1,66	2,01	2,86
Mínimo	1,00	1,33	1,45	1,84
CV	13,93	8,06	10,79	20,02

Legenda: MT: Mata nativa, AL: Agrofloresta Linha, AE: Agrofloresta Entrelinha e LA: Lavoura

De acordo com Ball et al., (2007), escores de qualidade do solo entre 1 e 2,9 indicam boa qualidade estrutural, sem necessidade de procedimentos remediativos. Assim sendo, todos os manejos apresentam boa qualidade estrutural. Contudo, deve-se salientar que algumas das camadas subsuperficiais de AE e LA obtiveram Qe elevados, próximos a 3 (dados não mostrados), o que indica a necessidade de monitoramento e de possíveis intervenções no manejo destas áreas.

5.6 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA (KFS)

A condutividade hidráulica saturada do solo (Kfs) foi influenciada pelos diferentes usos e manejos do solo ($p < 0,037$).

Os resultados médios encontrados para a condutividade hidráulica saturada nos tratamentos estudados na camada 0-10 cm seguem a seguinte ordem: MT>AL>LA>AE (Tabela

12). A análise de contrastes ortogonais denota a ocorrência de diferenças estatisticamente significativas entre mata nativa e agrofloresta entrelinha, agrofloresta linha e agrofloresta entrelinha e entre agrofloresta entrelinha e lavoura (Tabela 11).

Tabela 11: Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para condutividade hidráulica saturada (Kfs) nos tratamentos estudados. Lapa - PR

	MT	AL	AE	LA
MT	-	0,504	0,008	0,304
AL	-	-	0,042	0,715
AE	-	-	-	0,090
LA	-	-	-	-

Legenda: MT: Mata nativa, AL: Agrofloresta Linha, AE: Agrofloresta Entrelinha e LA: Lavoura

Os maiores valores médios de Kfs encontrados para MT e AL (861,6 mm h⁻¹ e 756,64 mm h⁻¹) (Tabela 12) podem ser decorrentes da não mobilização do solo e da ação das raízes e da fauna edáfica, que contribuíram para formação de MA e BP nestes tratamentos. Estes são poros de maior diâmetro, e o movimento de água em condições saturadas se dá por poros grandes (MILLAN et al., 2014). Em trabalho comparando atributos físicos do solo em plantio direto e plantio convencional, Moraes et al. (2016) verificaram que a Kfs na camada 0-10 cm dobrou em sistema de plantio direto (20 mm h⁻¹) comparado a preparo convencional (10 mm h⁻¹), atribuindo o resultado ao provável maior número de bioporos do plantio direto.

Tabela 12: Análise descritiva da variável condutividade hidráulica saturada (Kfs) nos tratamentos estudados. Lapa - PR

	MT	AL	AE	LA
Média	861,60	756,64	428,91	699,41
Mediana	891,26	669,05	263,30	604,41
Máximo	1417,88	1447,85	1108,09	1156,71
Mínimo	382,83	238,62	37,05	233,64
CV%	40,45	46,73	65,41	46,07

Nota: Kfs = mm h⁻¹

Legenda: MT: Mata nativa, AL: Agrofloresta Linha, AE: Agrofloresta Entrelinha e LA: Lavoura

A Kfs para LA apresentou valor médio estatisticamente igual a área de MT e AL, o que provavelmente se deve ao preparo do solo, que a curto prazo reduz a DS e aumenta a proporção de poros maiores (HARUNA et al., 2018), implicando valores altos de Kfs na lavoura. É importante lembrar, contudo, que em LA, na camada 10-20, foram encontrados valores críticos

para macroporos do solo (Tabela 6), podendo, a partir desta camada neste manejo, a infiltração de água no solo ser comprometida.

Apesar de o preparo do solo aumentar o número de macroporos, Dal Ferro et al., (2014) observaram que o manejo convencional diminui grandemente a continuidade dos poros do solo. Assim sendo, na AE, a continuidade destes pode ter sido prejudicada devido ao preparo de solo mais intenso. Neste ambiente o valor médio de Kfs encontrado foi 50,2 % e 46,6 % menor que a Kfs encontrada em MT e AL, respectivamente. Avaliando a qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças convencionais e orgânicos em dois locais, Valarini et al (2011) observaram que as práticas de manejo, principalmente ligadas ao preparo dos canteiros e a ausência de cobertura do solo, afetaram negativamente diversos atributos físicos do solo. Os autores verificaram em sistemas orgânicos valores de Kfs de 358, 4 e 380,1 mm h⁻¹, resultados inferiores ao encontrado neste trabalho para a Kfs da AE, onde o solo também é constantemente revolvido, porém o canteiro é sempre coberto com resíduos vegetais.

5.7 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS

A análise de variância demonstrou que houve efeito significativo do uso e manejo de solo somente na variável quociente microbiano ($p < 0,001$) (Tabela 13). Para as variáveis carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e qCO₂ (quociente metabólico) não foram encontradas diferenças.

Tabela 13: Valores (p-valor) relacionando grupos de amostras independentes para análise dos atributos biológicos nos tratamentos estudados. Lapa - PR

Tratamentos contrastados	CBM	RBS	qMIC	qCO ₂
MT x AL	0,417	0,821	0,006	0,016
MT x AE	0,414	0,591	0,001	0,278
MT x LA	0,931	0,600	0,001	0,052
AL x AE	0,112	0,754	0,187	0,14
AL x LA	0,467	0,764	0,177	0,571
AE x LA	0,368	0,989	0,974	0,346

Legenda: MT: Mata nativa, AL: Agrofloresta Linha, AE: Agrofloresta Entrelinha e LA: Lavoura
 CBM: 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 CBM h⁻¹)

Valores de qCO₂ acima de 2,0 e de qMIC abaixo de 2,0 podem ser considerados críticos (ANDERSON, 2003). Valores altos de qCO₂ e baixos de qMIC indicam biomassa microbiana menos eficiente na utilização dos compostos orgânicos, devido a condições de estresse ou a

baixa qualidade nutricional da matéria orgânica. Nestas situações os microorganismos liberam mais C na forma de CO₂ e incorporando menos C aos tecidos microbianos (SILVA et al, 2010).

Assim, ao comparar os valores médios encontrados para estes atributos (Tabela 14) com os valores referenciais, pode-se concluir que a comunidade microbiana nos usos e manejos estudados pode estar passando por condição estressante, desviando energia de crescimento e manutenção, para reparar danos devido a perturbações.

Tabela 14: Análise descritiva das variáveis microbiológicas nos usos e manejos na profundidade de solo 0-10 cm. Lapa-PR

		CBM	RBS	qCO ₂	qMIC
MT	Média	216,1	2,1	14,3	1,4
	Mediana	207,6	2,1	17,9	1,3
	Máximo	348,9	3,3	19,5	1,9
	Mínimo	81,4	0,9	7,4	1,2
	CV	45,5	41,7	39,8	19,8
AL	Média	257,5	2,0	7,3	0,9
	Mediana	307,0	2,3	7,8	1,1
	Máximo	365,4	3,1	14,2	1,2
	Mínimo	122,9	0,7	2,2	0,5
	CV	40,0	51,9	67,9	35,6
AE	Média	174,4	1,9	11,4	0,7
	Mediana	169,6	1,9	11,5	0,7
	Máximo	238,7	2,6	17,0	1,0
	Mínimo	85,8	1,0	6,5	0,3
	CV	32,9	30,8	31,7	31,7
LA	Média	220,5	1,9	8,8	0,7
	Mediana	184,6	1,7	9,6	0,6
	Máximo	314,7	3,0	11,3	1,0
	Mínimo	159,1	1,3	5,7	0,5
	CV	30,2	34,4	26,8	29,6

Legenda: MT: Mata Nativa; AL: Agrofloresta Linha; AE: Agrofloresta Entrelinha; LA: Lavoura
 CBM: 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 CBM h⁻¹)

Nota-se, no entanto, pela análise de contrastes ortogonais que MT diferiu de AL, AE e LA para qMIC, o que demonstra que o ambiente de vegetação nativa é mais eficiente em utilizar o C do solo para conversão em C da biomassa do microorganismos, denotando material orgânico de qualidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Novak et al. (2017), ao

comparar diferentes usos de solo e encontrar maiores valores de qMIC para solo sob floresta nativa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso e os manejos de solo apresentam diferentes classes texturais o que tende a interferir nas variáveis físicas, químicas e biológicas intrínsecas do solo.

A análise descritiva, pelas medidas de tendência central, comparando os atributos físicos e químicos de qualidade do solo a valores críticos e de referência demonstrou que, no geral, os usos e manejos antrópicos não acarretaram efeitos negativos na qualidade do solo. Valores abaixo dos referenciados foram encontrados para a macroporosidade na agrofloresta entrelinha na camada 10-20 cm e para lavoura, nas camadas 5-10 e 10-20 cm.

Por meio das análises multivariadas, verifica-se que os usos e manejos do solo ocasionaram diferenças e similaridades refletidas pelos atributos do solo. Em todas as camadas a ACP indicou que existem três grupos com variabilidades diferentes os quais coincidem com usos e manejos de solo amostrados: 1) Mata nativa, 2) Agrofloresta linha e entrelinha e 3) lavoura.

Os atributos argila, areia, pH, soma de bases (SB), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), saturação de bases, saturação por alumínio (m%) e acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foram os que mais contribuíram para diferenciação do manejo mata dos demais usos e manejos. Silte, densidade do solo e potássio foram os atributos que mais influenciaram a separação da agrofloresta linha e entrelinha da lavoura. Estes atributos podem ser considerados bons indicadores de qualidade físico e química dos solos, visto que, a variabilidade destas variáveis caracteriza a variabilidade diferenciada dos usos e manejos.

Os ambientes mata nativa e a agrofloresta linha, sem perturbações do solo e que acumulam grande quantidade de resíduos resultaram em melhorias na qualidade estrutural do solo comparado à lavoura.

Os usos e manejos afetaram a condutividade hidráulica saturada do solo. Agrofloresta entrelinha, ambiente com preparo de solo intensificado, foi o manejo que apresentou os menores valores de Kfs, não diferindo da lavoura.

Em relação aos atributos microbiológicos, o quociente microbiano demonstrou que a mata nativa é o ambiente que apresentou microbiota mais eficiente em utilizar o carbono do solo.

Além dos benefícios ambientais proporcionados pelo sistema agroflorestal, durante a construção deste trabalho, quando das coletas de solo e visitas às áreas, foi possível verificar com os agricultores, que o SAF proporcionou benefícios econômicos e sociais.

O SAF proporciona ambiente de mais conforto para o trabalho no campo, através da sombra das árvores. O cultivo agroecológico e livre de agrotóxicos proporciona proximidade com o local de moradia da família, sendo além de sistema de produção, quintal para o filho pequeno. Os recursos florestais provenientes do sistema agroflorestal já foram utilizados para construções na propriedade.

O econômico e o social ultrapassam o benefício da família quando se percebe que são dezenas de famílias recebendo alimento de qualidade para consumo, enquanto conservam recursos naturais.

7. CONCLUSÕES

A área de mata nativa apresentou características pedogenéticas distintas.

Os indicadores físicos demonstraram que a entrelinha agroflorestal e a lavoura apresentam valores de macroporosidade abaixo do limite ideal na camada 10-20 cm e 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. Nas camadas 0-5 e 5-10 cm, a linha e a entrelinha da agrofloresta apresentaram maior volume de bioporos em relação a lavoura.

Melhor qualidade visual da estrutura do solo foi observada na linha e na entrelinha, comparado a área de lavoura. A entrelinha foi o manejo que apresentou os menores valores de condutividade hidráulica saturada, não diferindo da lavoura. Estes resultados demonstram que o preparo do solo utilizado na área da lavoura é prática não recomendável.

A linha e a entrelinha agroflorestal possuem teores de argila e qualidade química semelhante a área de lavoura, com maiores teores de soma de bases, cálcio, magnésio, saturação de bases, capacidade de troca catiônica efetiva, pH, relação Cálcio/Magnésio e menores valores de H^+Al , alumínio e saturação por alumínio. Linha e entrelinha diferem da lavoura por apresentarem maior quantidade de potássio em todas as camadas, maior densidade do solo (camadas 10-20 e 20-40 cm), menores teores de silte em todas as camadas e de C na camada 0-5 cm.

Os atributos microbiológicos; carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente metabólico não diferiram entre os manejos.

REFERÊNCIAS

- ADEYOLANU, O. D.; OGUNKUNLE, A. O. Comparison of qualitative and quantitative approaches to soil quality assessment for agricultural purposes in South-western Nigeria. **Cogent Food & Agriculture**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.1-10, 24 fev. 2016.
- ADHIKARI, K; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystem services — A global review. **Geoderma**, [s.l.], v. 262, p.101-111, jan. 2016.
- ALTIERI, A. H. et al. Tropical dead zones and mass mortalities on coral reefs. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [s.l.], v. 114, n. 14, p.3660-3665, 20 mar. 2017.
- ALTIERI, M. A. et al. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy For Sustainable Development**, [s.l.], v. 35, n. 3, p.869-890, 1 mai. 2015.
- 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, p.1-13, 14 out. 2012.
- ALTIERI, M.A. Agroecology, small farms and food sovereignty. **Monthly Review**, v. 61, n. 3, p.102–111, 2009.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.115-123, fev. 2004.
- ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 98, n. 1-3, p.285-293, set. 2003.
- ANDERSON, T; DOMSCH, K. 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**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.393-395, mar. 1993.
- ANDRADE, A.P. et al. Changes in physical properties and organic carbon of a Kandiodox fertilized with manure. **Ciência Rural**, v.46, n.5, p. 809-814, 2016.
- ARAÚJO, E. A. de et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.187-206, 30 abr. 2012.
- ARMANDO, M. S. et al. **Agrofloresta para Agricultura Familiar**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. 11 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Circular Técnica, 16).
- ARMENISE, E. et al. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 130, p.91-98, jun. 2013.
- ASSIS, R. L. de; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e Agricultura Orgânica: controvérsias e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 6, p. 67-80, 2002.
- BAGARELLO, V.; IOVINO, M.; ELRICK, D. A Simplified Falling-Head Technique for Rapid Determination of Field-Saturated Hydraulic Conductivity. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 68, n. 1, p.66-73, 2004.

- BAI, Z. et al. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 265, p.1-7, out. 2018.
- BALL, B.C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L.J. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peirlkamp test. **Soil Use and Management**, v.23, p.329-337, 2007.
- BASTIDA, F. et al. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. **Geoderma**, [s.l.], v. 147, n. 3-4, p.159-171, out. 2008.
- BAYALA, J. et al. Advances in knowledge of processes in soil–tree–crop interactions in parkland systems in the West African Sahel: A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 205, p.25-35, jul. 2015.
- BEHERA, S. K.; SHUKLA, A. K. Spatial Distribution of Surface Soil Acidity, Electrical Conductivity, Soil Organic Carbon Content and Exchangeable Potassium, Calcium and Magnesium in Some Cropped Acid Soils of India. **Land Degradation & Development**, [s.l.], v. 26, n. 1, p.71-79, 15 ago. 2014.
- BINI, D. et al. Effects of land use on soil organic carbon and microbial processes associated with soil health in southern Brazil. **European Journal Of Soil Biology**, [s.l.], v. 55, p.117-123, mar. 2013.
- BLUM, W.E. H. Functions of Soil for Society and the Environment. **Reviews In Environmental Science And Biotechnology**, v. 4, n. 3, p.75-79, ago. 2005.
- BRASIL– Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos**. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/cadastro-nacional-produtores-organicos>>. Acesso em: 06 nov. 2018.
- BRASIL. Lei 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial de União**, Brasília, 25 jul. 2006.
- BRASIL. Lei 6.746, de 10 de dezembro de 1979. Altera o disposto nos arts. 49 e 50 da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 (Estatuto da Terra), e dá outras providências. **Diário Oficial de União**, Brasília, 10 dez. 1979.
- BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, [s.l.], v. 124, n. 1-2, p.3-22, jan. 2005.
- BROWN, G. G. et al. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M. et al (Ed.). **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Distrito Federal: Embrapa, 2015. Cap. 10. p. 122-154.
- BÜNEMANN, E. K. et al. Soil quality – A critical review. **Soil Biology And Biochemistry**, [s.l.], v. 120, p.105-125, maio 2018.
- BUTTERLY, C. R.; BALDOCK, J. A.; TANG, C. The contribution of crop residues to changes in soil pH under field conditions. **Plant And Soil**, [s.l.], v. 366, n. 1-2, p.185-198, 26 ago. 2012.
- CAI, Z. et al. Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China. **Journal Of Soils And Sediments**, [s.l.], v. 15, n. 2, p.260-270, 14 out. 2014.

CARDOSO, E. J. B. N. et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?. **Scientia Agricola**, [s.l.], v. 70, n. 4, p.274-289, ago. 2013.

CARVALHO, M. A. C. de et al. Multivariate approach of soil attributes on the characterization of land use in the southern Brazilian Amazon. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 184, p.207-215, dez. 2018.

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

CAVIGLIONE, J. H. et al. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=860>. Acesso em: 15 ago. 2017.

CEZAR, R. M. et al. Soil biological properties in multistrata successional agroforestry systems and in natural regeneration. **Agroforestry Systems**, [s.l.], v. 89, n. 6, p.1035-1047, 30 jul. 2015.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 31, n. 6, p.1381-1396, dez. 2007.

CHAPPELL, M. J. et al. Food sovereignty: an alternative paradigm for poverty reduction and biodiversity conservation in Latin America. **F1000research**, p.1-17, nov. 2013.

CHENU, C. et al. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], p.1-12, maio 2018.

CORRÊA NETO, N. E. et al. **Agroflorestando o mundo de facão a trator: Gerando práxis agroflorestal em rede**. Curitiba: Kairós, 2016. 91 p.

DAL FERRO, N. et al. Soil macro- and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 140, p.55-65, jul. 2014.

DE PAULA, M. P.; KAMIKURA, Q. P.; SILVA, J. L. G. Mercados institucionais na agricultura familiar: dificuldades e desafios. **Revista de Política Agrícola**, n. 1, p. 33-43, mar. 2014.

DEXTER, A. R. Soil physical quality Part I: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, [s.l.], v. 120, n. 3-4, p.201-214, jun. 2004.

DOMINATI, E. J. Natural capital and ecosystem services of soils. In: DYMOND, J. R. (ed.). **Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends**. Lincoln: Manaaki Whenua Press, 2013. p. 132-142.

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

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil Health and Sustainability. In: SPARKS, D. (Ed.). **Advances in Agronomy Volume 56**. [s.l.]: Academic Press, 1996. Cap. 1. p. 2-45.

DUBOIS, J. C. L. (2008) Classificação e Breve Caracterização de SAFs e práticas agroflorestais. In: MAY, P.H.; TROVATTO, C. M. M. (eds). *Manual agroflorestal para a Mata Atlântica*. Ministério de Desenvolvimento Agrário, Brasília, pp 15–40.

DUTRA, L. S.; FERREIRA, A. P. Associação entre malformações congênitas e a utilização de agrotóxicos em monoculturas no Paraná, Brasil. **Saúde em Debate**, [s.l.], v. 41, n. 2, p.241-253, jun. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. Brasília, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2017. 575 p.

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

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; MORAES, M. F.. Influence of Urea and Ammonium Sulfate on Soil Acidity Indices in Lowland Rice Production. **Communications In Soil Science And Plant Analysis**, [s.l.], v. 41, n. 13, p.1565-1575, 30 jun. 2010.

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

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - STATISTICS ON-LINE WEBSITE/ FAOSTAT. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em: 03 out. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - STATISTICS ON-LINE WEBSITE/ FAOSTAT. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em: 12 out. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/ FAO. **Soils are the foundations of family farming**. 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/pt/c/271795/>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/ FAO. **Status of the World's Soil Resources**. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>. Acesso em: 06 jun 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/ FAO. **What is family farming**. 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/family-farming-2014/home/what-is-family-farming/en/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FRANCIOLI, D. et al. Mineral vs. Organic Amendments: Microbial Community Structure, Activity and Abundance of Agriculturally Relevant Microbes Are Driven by Long-Term Fertilization Strategies. **Frontiers In Microbiology**, [s.l.], v. 7, p.1-16, 14 set. 2016.

FREITAS, L. de et al. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences**, [s.l.], v. 57, n. 3, p.224-233, 2014.

GARNER, E.; de la O CAMPOS, A. (2014). Identifying the “family farm”: An informal discussion of the concepts and definitions. ESA Working Paper No. 14-10. Rome, FAO.

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

GIBBS, H. K. et al. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [s.l.], v. 107, n. 38, p.16732-16737, 31 ago. 2010.

GÖTSCH, E.; PAZ, P. O renascer da agricultura. AS-PTA, Rio de Janeiro, p. 7–24, 1995.

GRAEUB, B. E. et al. The State of Family Farms in the World. **World Development**, v. 87, p.1-15, nov. 2016.

HARUNA, S. I. Soil Hydraulic Properties: Influence of Tillage and Cover Crops. **Pedosphere**, v. 28, n. 3, p.430-442, 2018.

HENNERON, L. et al. Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. **Agronomy For Sustainable Development**, [s.l.], v. 35, n. 1, p.169-181, 8 abr. 2014.

HONGYU, K., SANDANIELO, V. L. M., JUNIOR, G. J. O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 1, n. 5, p. 83-90. 2016.

INFOMETRIX. **Pirouette Multivariate Data Analysis Software**. Versão 4.5. Seattle: Infometrix, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/ IBGE. (2010). **Censo Agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 777p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/ IBGE. **Censo Agropecuário 2017**: Resultados preliminares. 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pdf/estabelecimento_s.pdf>. Acesso em: 16 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/ IBGE. **Sinopse do censo demográfico**: 2010. 2011. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

INSTITUTO DE TERRAS E CARTOGRAFIA/ ITC. Levantamento Aerofotogramétrico do Paraná. 1980. Fotografia aérea número 49352. Escala 1:25000. Vôo de 7 jun. 1980.

INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES/ IPEBS. **Media Release**: Worsening Worldwide Land Degradation Now ‘Critical’, Undermining Well-Being of 3.2 Billion People. 2018. Disponível em: <<https://www.ipbes.net/news/media-release-worsening-worldwide-land-degradation-now-%E2%80%98critical%E2%80%99-undermining-well-being-32>>. Acesso em: 10 set. 2018.

IWATA, B. de F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 16, n. 7, p.730-738, jul. 2012.

JAMES, F. C.; MCCULLOCH, C. E.. Multivariate Analysis in Ecology and Systematics: Panacea or Pandora's Box?. **Annual Review Of Ecology And Systematics**, [s.l.], v. 21, n. 1, p.129-166, nov. 1990.

JANSSON, C. et al. Phytosequestration: Carbon Biosequestration by Plants and the Prospects of Genetic Engineering. **BioScience**, v.60, p. 685-696, out. 2010.

- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, V. 8, p. 209-213, 1976.
- JÓNSSON, J. Ö. G.; DAVÍÐSDÓTTIR, B. Classification and valuation of soil ecosystem services. **Agricultural Systems**, [s.l.], v. 145, p.24-38, jun. 2016.
- JORIS, H. A. W. et al. Liming in the conversion from degraded pastureland to a no-till cropping system in Southern Brazil. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 162, p.68-77, set. 2016.
- JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 1, p.1-10, 7 abr. 2009.
- JOSE, S.; BARDHAN, S. Agroforestry for biomass production and carbon sequestration: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 86, n. 2, p.105-111, out. 2012.
- JOUZI, Z. et al. Organic Farming and Small-Scale Farmers: Main Opportunities and Challenges. **Ecological Economics**, [s.l.], v. 132, p.144-154, fev. 2017.
- KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 61, n. 1, p.4-10, 1997.
- KAUTZ, T. Research on subsoil biopores and their functions in organically managed soils: A review. **Renewable Agriculture And Food Systems**, [s.l.], v. 30, n. 04, p.318-327, 15 jan. 2014.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. 1.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262 p
- KIM, K.; KABIR, E.; JAHAN, S. A. Exposure to pesticides and the associated human health effects. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 575, p.525-535, jan. 2017.
- KLEIN, V. A. Física do solo. Passo Fundo: Ediupf, 2008.
- KUMAR, B.M.; NAIR, P. K. R. The enigma of tropical homegardens. **Agroforestry Systems**, [s.l.], v. 61-62, n. 1-3, p.135-152, jul. 2004.
- LAL, R. Soil health and carbon management. **Food And Energy Security**, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 212-222, nov. 2016.
- LEAKEY, R. R. B. Multifunctional Agriculture and Opportunities for Agroforestry: Implications of IAASTD. In: NAIR, P. K. R; GARRITY, D. (Ed.). **Agroforestry: the future of global land use**. Dordrecht: Elsevier, 2012. p. 203-214.
- LEAKEY, R. R. B. The Role of Trees in Agroecology and Sustainable Agriculture in the Tropics. **Annual Review Of Phytopathology**, [s.l.], v. 52, n. 1, p.113-133, 4 ago. 2014.
- LIMA, H. V. de et al. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 29, n. 5, p.677-684, out. 2005.
- LIU, Y. et al. Glyphosate application increased catabolic activity of gram-negative bacteria but impaired soil fungal community. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 25, n. 15, p.14762-14772, 14 mar. 2018.
- LORI, M. et al. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. **Plos One**, [s.l.], v. 12, n. 7, p.1-25, 12 jul. 2017.

LOWDER, S. K.; SKOET, J.; RANEY, T. The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. **World Development**, v. 87, p.16-29, nov. 2016.

MAACK, R. **Formações fitogeográficas - Estado do Paraná**. 2007. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeo_grafico_A3.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2017.

MANLY, B. J. Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MAY, P. (2008) Viabilidade financeira, renda familiar e serviços gerados por SAFs. In: MAY, P.H.; TROVATTO, C. M. M. (eds). Manual agroflorestal para a Mata Atlântica. Ministério de Desenvolvimento Agrário, Brasília, pp 63–94.

McLAUHLAN, K. The Nature and Longevity of Agricultural Impacts on Soil Carbon and Nutrients: A Review. **Ecosystems**, [s.l.], v. 9, n. 8, p.1364-1382, dez. 2006.

MEDINA, G. et al. Development Conditions for Family Farming: Lessons from Brazil. **World Development**, v. 74, p.386-396, out. 2015.

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O.A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, p. 963–969, 2004.

MIJATOVIĆ, D. et al. The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: towards an analytical framework. **International Journal Of Agricultural Sustainability**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.95-107, 19 jun. 2012.

MILLAN E. R. et al. Condutividade hidráulica, porosidade, resistência mecânica e intervalo hídrico ótimo em Latossolos artificialmente compactados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 10, p.1003-1009, out. 2014.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT/MEA. **Ecosystems and human well-being: General Synthesis**. Washington: Island Press, 2005. 765p.

MINERAIS DO PARANÁ/ MINEROPAR. Folha de Ponta Grossa. SG.22-X-C. Escala 1:250000. 2006.

MITSCH, W. J. et al. Wetlands, carbon, and climate change. **Landscape Ecology**, [s.l.], v. 28, n. 4, p.583-597, 12 jun. 2012.

MORAES, M. T. de et al. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 155, p.351-362, jan. 2016.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Repartição e remobilização de nutrientes na bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l.], v. 31, n. 2, p.574-581, jun. 2009.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625p.

MORRISON, D. E. **Multivariate statistical methods**. New York: McGraw-Hill, 1976. 338 p.
MOSS, B. Water pollution by agriculture. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 363, n. 1491, p.659-666, 12 fev. 2008.

- MOTA, J. C. A; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 37, n. 5, p.1196-1206, out. 2013.
- MOTTA, E. V. S.; RAYMANN, K.; MORAN, N. A.. Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [s.l.], v. 115, n. 41, p.10305-10310, 24 set. 2018.
- MURTY, D. et al. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen: a review of the literature. **Global Change Biology**, [s.l.], v. 8, n. 2, p.105-123, fev. 2002.
- NAIR, P. K. R. **An Introduction to Agroforestry**. Holanda: Kluwer Academic Publishers, 1993. 489 p.
- NAIR, P. K. R. Climate change mitigation and adaptation: a low hanging fruit of agroforestry. In: NAIR, P. K. R; GARRITY, D. (Ed.). **Agroforestry: the future of global land use**. Dordrecht: Elsevier, 2012. p. 31-68.
- NAIR, P. K. R. Grand challenges in agroecology and land use systems. **Frontiers In Environmental Science**, [s.l.], v. 2, p.1-6, 2014.
- NAIR, P. K. R. State-of-the-art of agroforestry systems. **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 45, n. 1-4, p.5-29, nov. 1991.
- NAIR, P. K. R.; GARRITY, D. Agroforestry Research and Development: The Way Forward. In: NAIR, P. K. R; GARRITY, D. (Ed.). **Agroforestry: the future of global land use**. Dordrecht: Elsevier, 2012. p. 515-532.
- NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal Of Plant Nutrition And Soil Science**, [s.l.], v. 172, n. 1, p.10-23, fev. 2009.
- NAIR, P. K. R.; VISWANATH, S.; LUBINA, P. A. *Cinderella* agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, [s.l.], v. 91, n. 5, p.901-917, 11 jun. 2016.
- NOVAK, E. et al. Chemical and microbiological attributes under different soil cover. **Cerne**, [s.l.], v. 23, n. 1, p.19-30, mar. 2017.
- OBOUR, A. K. et al. Changes in soil surface chemistry after fifty years of tillage and nitrogen fertilization. **Geoderma**, [s.l.], v. 308, p.46-53, dez. 2017.
- ODUM, E. P. Trends Expected in Stressed Ecosystems. **Bioscience**, [s.l.], v. 35, n. 7, p.419-422, jul. 1985.
- OKUYAMA, K. K. et al. Adequação de propriedades rurais ao Código Florestal Brasileiro: estudo de caso no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 16, n. 9, p.1015-1021, set. 2012.
- OLIVER, D. P. et al. Review: soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in Australian viticulture. **Australian Journal Of Grape And Wine Research**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.129-139, 27 mar. 2013.
- PALM, C. et al. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 187, p.87-105, abr. 2014.

PALM, C. et al. Soils: A Contemporary Perspective. **Annual Review Of Environment And Resources**, [s.l.], v. 32, n. 1, p.99-129, nov. 2007.

PARISI, C.; TILLIE, P.; RODRÍGUEZ-CEREZO, E. The global pipeline of GM crops out to 2020. **Nature Biotechnology**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.31-36, jan. 2016.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Circular Técnica 76. Londrina: IAPAR, 1992. 39 p.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.911-920, jun. 2008.

PAVLIDIS, G.; TSIHRINTZIS, V. A. Environmental Benefits and Control of Pollution to Surface Water and Groundwater by Agroforestry Systems: a Review. **Water Resources Management**, v. 32, n. 1, p.1-29, 2017.

PETTINGER, N. A. (1935) A useful document for teaching the relation of soil reaction to the availability of plant nutrients to crop. Virginia Polytechnic Institute Extension Bulletin 136, 1-19.

PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences**, [s.l.], v. 56, n. 1, p.40-47, 2013.

PIEKIELEK, J. Cooperativism and Agroforestry in the Eastern Amazon. **Latin American Perspectives**, [s.l.], v. 37, n. 6, p.12-29, 21 out. 2010. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0094582x10382097>.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

PINGALI, P. L. Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [s.l.], v. 109, n. 31, p.12302-12308, 23 jul. 2012.

PINTO, F. A. et al. Atributos de solo sob pastejo rotacionado em função da aplicação de cama de peru. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s.l.], v. 42, n. 3, p.254-262, set. 2012.

PRAGANA, R. B. et al. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 36, n. 5, p.1591-1600, nov. 2012.

PRETTY, J.; BHARUCHA, Z. P. Sustainable intensification in agricultural systems. **Annals Of Botany**, v. 114, n. 8, p.1571-1596, 28 out. 2014.

PUECH, C. et al. Organic vs. conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 194, p.48-57, set. 2014.

PULLEMAN, M. et al. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services - an overview of European approaches. **Current Opinion In Environmental Sustainability**, [s.l.], v. 4, n. 5, p.529-538, nov. 2012.

PUMARIÑO, L. et al. Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis. **Basic And Applied Ecology**, [s.l.], v. 16, n. 7, p.573-582, nov. 2015.

RAMANKUTTY, N. et al. Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. **Annual Review Of Plant Biology**, [s.l.], v. 69, n. 1, p.789-815, 29 abr. 2018.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v.27, p.29-48, 2003.

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**, [s.l.], v. 32, n. 5, p.1805-1816, out. 2008.

REIS JÚNIOR; MENDES. Biomassa microbiana do solo. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2007. 38 p. (Embrapa Cerrados. Documentos 205).

REYNOLDS, W.D., ELRICK, D.E., 2002. Pressure infiltrometer. In: DANE, J.H., TOPP, G.C. (Eds.), **Methods of Soil Analysis: Part 4 - Physical Methods**. SSSA Book Series, p. 826-836, 2002.

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.

ROSEGRANT, M. W.; RINGLER, C.; ZHU, T. Water for Agriculture: Maintaining Food Security under Growing Scarcity. **Annual Review Of Environment And Resources**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.205-222, nov. 2009.

SÁ, M. F. M. Os solos dos Campos Gerais. In: MELO, M. S. de; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná. 1e. Ponta Grossa. Editora UEPG, 2007, p. 73-84.

SANDHU, H. S.; WRATTEN, S. D.; CULLEN, R. Organic agriculture and ecosystem services. **Environmental Science & Policy**, v. 13, n. 1, p.1-7, fev. 2010.

SANTOS, K. F. dos et al. Study of soil physical properties and water infiltration rates in different types of land use. **Semina: Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 39, n. 1, p.87-98, 16 fev. 2018.

SCARABELI, I.G.R. et al. Field-saturated hydraulic conductivity measured by two techniques and at different sampling positions relative to maize-crop rows and interrows. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v.39, n.1, p. 403–410, 2018.

SCHOENHOLTZ, S. H; VAN MIEGROET, H; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology And Management**, v. 138, p.335-356, jan. 2000.

SCHWIDERKE, D. K. et al. Atributos químicos do solo em sistemas agroflorestais multiestrata sucessional e em áreas de regeneração natural. In: Congresso Florestal Paranaense, 4., 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa, 2012. p. 1 - 7.

SECRETÁRIA DO DESENVOLVIMENTO URBANO DO PARANÁ/SEDU-PR. 2005. Ortofoto SPOT 5. folha MI 2856-2.

SHARMA, N. et al. Bioenergy from agroforestry can lead to improved food security, climate change, soil quality, and rural development. **Food And Energy Security**, v. 5, n. 3, p.165-183, ago. 2016.

- SHI, L. et al. Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. **Land Degradation & Development**, [s.l.], p.1-12, 4 set. 2018.
- SILVA, G.I. et al. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma**, [s.l.], v. 167-168, p.61-70, nov. 2011.
- SILVA, R.R. et al., Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 34, p. 1585-1592, 2010.
- SIMINSKI, A.; SANTOS, K. L. dos; WENDT, J. G. N.; Rescuing agroforestry as strategy for agriculture in Southern Brazil. **Journal of Forest Research**, v.27, n. 4, p. 739-746, 2016.
- SINGH, S. et al. Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: A review. **Environmental And Experimental Botany**, [s.l.], v. 137, p.177-193, maio 2017.
- SMITH, P. M. et al (Ed.). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: EDENHOFER, O. et al. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. Cap. 11. p. 816-887.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ (Curitiba)/ SBCS - NEPAR. **Manual de adubação e calagem**: para o estado do Paraná. Curitiba, 2017. 482 p.
- SOUZA, D. M. G. de; NOBRE, L.; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAES F. et al., (Ed). **Fertilidade do solo**. 1 ed. Viçosa. SBCS, 2007, p. 205-275.
- STEEMBOCK, W. et al. Agroflorestas e sistemas agroflorestais no espaço e no tempo. In: STEEMBOCK, W. et al. (Org.). **Agrofloresta, ecologia e sociedade**. Curitiba: Kairós, 2013. Cap. 3. p. 39-60.
- STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, dez. 2013.
- THOMAZINI, A. et al. SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil. **Geoderma Regional**, [s.l.], v. 5, p.15-24, ago. 2015.
- TOBELLA, A. B. et al. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 50, n. 4, p.3342-3354, abr. 2014.
- TOBELLA, A. B. et al. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. **Water Resources Research**, v. 50, n. 4, p.3342-3354, 2014.
- TORQUEBIAU, E. F. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. **Life Sciences**, [s.l.], v. 323, p.1009-1017, 24 jul. 2000.
- TSCHARNTKE, T. et al. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes - a review. **Journal Of Applied Ecology**, [s.l.], v. 48, n. 3, p.619-629, 31 jan. 2011.

TUCHTENHAGEN, I. K. et al. Visual Evaluation of the Soil Structure under Different Management Systems in Lowlands in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 42, p.1-13, 3 maio, 2018.

USOWICZ et al., Spatial variability of physical and chemical soil properties in a field and commune scale. **Acta Agrophysica**. v. 103, p. 237-247.

VALARINI P. J. et al. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 04, p. 485-491, 2011.

VANCE, E.D.; BROOKS, P.C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biologic & Biochemistry**, v. 19, n. 6, p.703-707, 1987.

VELASQUEZ, Elena; LAVELLE, Patrick; ANDRADE, Mercedes. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology And Biochemistry**, [s.l.], v. 39, n. 12, p.3066-3080, dez. 2007.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2009. v. 33, n. 4, p. 743–755.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, jan. 1934.

WALLACE, R. B. et al. Coastal ocean acidification: The other eutrophication problem. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 148, p.1-13, jul. 2014.

WILLIAMS, D. M. et al. Organic Farming and Soil Physical Properties: An Assessment after 40 Years. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 109, n. 2, p.600-609, 2017.

WURST, S.; DEYN, G. B. De; ORWIN, K. Soil Biodiversity and Functions. In: WALL, D. H. (Ed.), **Oxford Handbook of Soil Ecology and Ecosystem Services**. 1 ed. Oxford: Oxford University Press, 2012, p. 28-41.

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction Effect on the Gas Diffusion Coefficient in Soils. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 56, n. 6, p.1743-1750, 1992.

ZHANG, W. et al. Ecosystem services and dis-services to agriculture. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 253-260, dez. 2007.

ZORNOZA, R. et al. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.173-185, 6 fev. 2015.