

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

MELISSA ALEXANDRE SANTOS

RESTAURAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO UTILIZANDO SISTEMA
AGROFLORESTAL COM BASE AGROECOLÓGICA

ILHA SOLTEIRA - SP
2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

MELISSA ALEXANDRE SANTOS

**RESTAURAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO UTILIZANDO SISTEMA
AGROFLORESTAL COM BASE AGROECOLÓGICA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Carolina dos Santos Batista Bonini

Coorientador: Prof. Dr. Vitor Corrêa de Mattos Barretto

ILHA SOLTEIRA - SP
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237r Santos, Melissa Alexandre.
Restauração da qualidade do solo utilizando sistema agroflorestal com base agroecológica / Melissa Alexandre Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
73 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientadora: Carolina dos Santos Batista Bonini
Coorientador: Vitor Corrêa de Mattos Barretto
Inclui bibliografia

1. Agricultura familiar. 2. Manejo do solo. 3. Física do solo. 4.
Desenvolvimento sustentável.


Erika Renata Bocchi Lomba
Supervisora Técnica de Seção

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RESTAURAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO UTILIZANDO SISTEMA AGROFLORESTAL COM BASE AGROECOLÓGICA

AUTORA: MELISSA ALEXANDRE SANTOS

ORIENTADORA: CAROLINA DOS SANTOS BATISTA BONINI

COORIENTADOR: VITOR CORRÊA DE MATTOS BARRETTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CAROLINA DOS SANTOS BATISTA BONINI (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP

Prof. Dr. RONALDO CINTRA LIMA (Participação Virtual)
Coordenação de Curso de Engenharia Agronomica / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP

Prof. Dr. DIEGO HENRIQUE SILVA DE SOUZA (Participação Virtual)
Departamento de manejo de água e solo / Univesidade Federal Rural do Pernambuco

Ilha Solteira, 01 de setembro de 2022

Carolina dos Santos Batista Bonini

DEDICATÓRIA

À minha avó Gegé (in memoriam) por cada gargalhada e cuidado com seu jardim (seus netos e flores).

Às mulheres do campo e da ciência, que lutaram e lutam para que hoje este e outros trabalhos possam ser lidos e feitos por outras mulheres.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradecer as forças que têm me regido nesse caminho; independentemente de seu nome, gratidão.

Aos meus pais Jô e Severo, por apostarem cada ficha em mim e me amarem.

À minha família, que sempre me apoiou e deu suporte a todas as escolhas que fiz para seguir meu caminho. Em especial minhas irmãs, Milene e Regiane, minhas paixões eternas, que aquecem meu coração e me fortalecem, também aos meus irmãozinhos Sabrina e Noah (que está por vir).

Ao meu sobrinho Samuel pelo dom da vida e do amor.

À Lu, minha parceira de vida, e aos nossos animais (Tião, Joca, Didi (*in memorian*), Neguinha, Zeus, Fumaça (*in memorian*), Tiê e Cora, que me deram e foram suporte emocional para que eu pudesse vivenciar a experiência do Mestrado tranquilamente e me proporcionaram a melhor família que alguém poderia ter.

À minha orientadora Carol Bonini, que com seu amor e paciência me ensinou muito mais que Ciência do Solo, mas também a delicadeza do amor e da gentileza. Além de ter aguentado essa maluquinha que vos escreve.

Às minhas mães do coração, Lucia Helena Romitelli e Maria Silvia Romitelli, que foram mais que anjos em minha vida, foram o estímulo na busca pelo conhecimento que me fez chegar até aqui.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Vitor Corrêa pelo suporte na pesquisa.

Aos meus amigos José Augusto, Aline Marchetti, Dhara Reis, Roberth Rodrigues, Gabriel Lunardelli e aos colegas do GENAP, que muito me apoiaram nas coletas e laboratório.

Ao Rancho Y-Íara que abriu suas porteiras e seu coração para mim, para que juntos pudéssemos produzir um trabalho que possibilitasse a compreensão da importância dos sistemas conservacionistas e da biodiversidade no campo e nas ideias.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro, através da concessão da Bolsa CAPES-DS.

À UNESP- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) e UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), por todos os professores, técnicos de laboratório e técnicos administrativos que contribuíram com essa pesquisa.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para que os meus sonhos se concretizassem e que continuam vibrando positivamente por mim.

Por fim, agradecer minha avó, a Gegé, que rindo e chorando ao mesmo tempo me fez ver a efemeridade da vida e a importância de não deixar nada para depois, porque o momento presente é o único que existe.

*“Utopia está en el horizonte.
Me acerco dos pasos, ella se aleja dos pasos.
Camino diez pasos y el horizonte se corre diez pasos más allá.
Por mucho que yo camine, nunca la alcanzaré.
¿Para qué sirve la utopía?
Para eso sirve: para caminar.”*
Eduardo Galeano

RESUMO

A agricultura que se baseia em práticas que visem a preservação da biodiversidade e em práticas ecológicas na produção de alimentos tem se tornado cada vez mais importante e viabilizado como alternativa para substituir sistemas convencionais. Sistemas agroecológicos se mostram mais eficazes quanto às demandas de segurança alimentar e nutricional, fortalecendo as mudanças nos sistemas tradicionais do setor agropecuário. Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, responsáveis pela estruturação, fertilidade e biodiversidade da vida presente, podem ser influenciados diretamente através do manejo e utilização, e devem ser estudados. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade do solo, através dos atributos do solo (físicos e químicos) em área manejada com sistema agroflorestal. O experimento foi desenvolvido em propriedade privada, denominada Rancho Luciana, na cidade de Panorama/SP, localizada na região do extremo oeste do Estado de São Paulo, as margens do Rio Paraná, na divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul. O clima é Aw (tropical com estação seca), com verão quente e chuvoso de outubro a março e inverno seco e ameno de baixa precipitação pluvial de abril a setembro. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 4 tratamentos e 4 repetições, sendo eles: T1 – área manejada com sistema agroflorestal desde 2014; T2 – área manejada com sistema agroflorestal desde 2018; T3 – área de mata nativa as margens do Rio Paraná e T4 – área de pastagem que está em pousio desde 2017. A condição atual do sistema mata nativa foi considerado como referência quanto a qualidade de solo, pois representa a condição natural de uso do solo. Foram avaliados os seguintes atributos do solo: Estabilidade de agregados, porosidade e densidade do solo, infiltração de água no solo, resistência e umidade gravimétrica, análise granulométrica (textura do solo) e floculação, fracionamento físico da MOS; densidade de partículas; teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio, matéria orgânica, pH, acidez potencial, somas de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases. Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade de variância. Os resultados foram analisados efetuando-se a análise de variância, correlação simples e teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação de médias. Os resultados mostraram que os tratamentos com espécies arbóreas inseridas (Mata Nativa e SAF's 2014 e 2018) foram superiores quanto à conservação dos atributos físicos e químicos do solo, no qual obtiveram resultados semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura familiar; manejo do solo; física do solo; desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

Agriculture that is based on practices aimed at preserving biodiversity and ecological practices in food production has become increasingly important and viable as an alternative to replace conventional systems. Agroecological systems are more effective in terms of food and nutrition security demands, strengthening changes in traditional systems in the agricultural sector. The physical, chemical and biological attributes of the soil, responsible for the structuring, fertility and biodiversity of present life, can be directly influenced through management and use, and must be studied. Thus, the objective of the present work was to evaluate the quality of the soil, through the attributes of the soil (physical and chemical) in an area managed with an agroforestry system. The experiment was carried out on a private property, called Rancho Luciana, in the city of Panorama/SP, located in the extreme west region of the State of São Paulo, on the banks of the Paraná River, on the border with the State of Mato Grosso do Sul. The climate is Aw (tropical with dry season), with hot and rainy summers from October to March and dry and mild winters with low rainfall from April to September. The soil at the site is classified as Red Yellow Latosol. The experimental design was completely randomized, with 4 treatments and 4 replications, as follows: T1 – area managed with an agroforestry system since 2014; T2 - area managed with an agroforestry system since 2018; T3 - area of native forest on the banks of the Paraná River and T4 - area of pasture that has been fallow since 2017. The current condition of the native forest system was considered as a reference for soil quality, as it represents the natural condition of land use. The following soil attributes were evaluated: Aggregate stability, soil porosity and density, soil water infiltration, gravimetric strength and moisture, granulometric analysis (soil texture) and flocculation, physical fractionation of SOM; particle density; phosphorus, potassium, magnesium and calcium contents, organic matter, pH, potential acidity, base sums, cation exchange capacity and base saturation. Data were tested for normality of errors and homogeneity of variance. The results were analyzed by performing analysis of variance, simple correlation and Tukey's test at 5% probability for the comparison of means. The results showed that treatments with inserted tree species (Mata Nativa and SAF's 2014 and 2018) were superior in terms of conservation of physical and chemical soil attributes, in which they obtained similar results.

KEYWORDS: family farming; soil management; soil physics; sustainable development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagens dos tratamentos amostrados para avaliação da qualidade do solo. Panorama/SP, 2021.....	36
Figura 2. Mapa (Google, 2021) com vista da propriedade e os respectivos tratamentos.....	37
Figura 3. Gráficos Box Splot, referente à porcentagem da porosidade e densidade do solo, para cada variável entre os tratamentos. Panorama -SP, dezembro de 2021.....	44
Figura 4. Gráfico de colunas, referente índice de estabilidade de agregados do solo, para cada tamanho entre os tratamentos. Panorama -SP, dezembro de 2021.....	45
Figura 5. Gráfico Box Splot, referente à taxa de infiltração de água no solo, entre os tratamentos. Panorama -SP, dezembro de 2021.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de distribuição do tamanho de partículas da área. Panorama - SP, 2022. ...	32
Tabela 2. Valores de CV (%) e teste F a 5% de probabilidade e valores médios da densidade de partículas do solo. Panorama - SP. Dezembro de 2021.	33
Tabela 3. Valores médios dos atributos químicos do solo na área do SAF coletado em agosto de 2018, na camada de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m.	34
Tabela 4. Valores do teste F, CV (%) e médios de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi); porosidade total do solo (PT) e densidade do solo (DS) dos tratamentos estudados nas camadas de solos (0-0,05; 0-05,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40m), Panorama -SP, dez. 2021.....	40
Tabela 5. Valores do teste F, CV (%) e valores médios do diâmetro médio ponderado e diâmetro das peneiras de 4; 2; 1; 0,5; 0,25 e < 0,25 mm, dos tratamentos estudados nas camadas de solos (0-0,05; 0-05,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40m), Panorama -SP, dezembro de 2021.	46
Tabela 6. Valores médios do grau de flocculação (%) e argila dispersa em água (%), CV (%) e teste F a 5% de probabilidade. Panorama - SP. Dezembro de 2021.....	48
Tabela 7. Valores de CV (%) e teste F a 5% de probabilidade e valores médios da taxa de infiltração da água no solo. Panorama - SP. Dezembro de 2021.	49
Tabela 8. Valores de CV (%) e teste F a 5% de probabilidade e valores médios do fracionamento físico da matéria orgânica. Panorama - SP. Dezembro de 2021.	51
Tabela 9. Atributos químicos do solo, nas camadas de 0,00-0,05 m; 0,05-0,10m; 0,10-0,20m e 0,20-0,40m. Panorama, SP. Dezembro de 2021.	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
2.2	Objetivo Específico.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	Agricultura conservacionista.....	15
3.2	Agricultura familiar	16
3.3	Sistemas Agroflorestais como alternativa para recuperação e conservação do solo.....	18
3.4	Agroecologia e sua importância para conservação do solo	20
3.5	Restauração ecológica e biodiversidade	22
3.6	Qualidade do solo e seus indicadores	23
3.7	Indicadores de qualidade do solo.....	24
3.8	Indicadores físicos do solo.....	25
3.9	Estabilidade de agregados em água	25
3.10	Porosidade e densidade do solo	26
3.11	Infiltração de água no solo	27
3.12	Grau de flocculação, textura do solo e densidade de partículas	28
3.13	Fracionamento físico da Matéria Orgânica do Solo (MOS)	29
3.14	Indicadores químicos do solo.....	30
4	MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1	Localização do trabalho de pesquisa e características do local	32
4.2	Histórico da área.....	33
4.3	Delineamento experimental e tratamentos utilizados	35
4.4	Avaliação e preparo das amostras do solo	37
4.5	Análises físicas	37
4.6	Análises químicas	39
4.7	Análise estatística.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	Porosidade e densidade do solo	40
5.2	Estabilidade de agregados em água.....	44
5.3	Grau de Flocculação e argila dispersa em água	47
5.4	Infiltração de água no solo	49
5.5	Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo	51
5.6	Fertilidade do solo.....	53
6	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

Entre as atividades que mais causam impactos ambientais a nível mundial, está a agricultura que utiliza aproximadamente 80% da água doce disponível e também impacta diretamente os processos naturais, e quando não são realizadas as práticas de manejo adequadamente, podem ser provocadas erosões e contaminações ambientais em grande escala (FAO, 2006).

O sistema convencional de agricultura atual associa a monocultura à utilização de máquinas para o preparo de solo, tal sistema realizado de forma inadequada tem como resultado um solo com modificações negativas quanto a sua qualidade. O desmatamento e a implantação de monoculturas em grandes áreas, sem a adoção de práticas conservacionistas como a utilização de matéria orgânica e, para além disso, o uso excessivo de insumos sintéticos para adubação, correção do pH, herbicidas, entre outros, resultam na aniquilação de boa parte dos microrganismos presentes no solo, diante disso, restando poucas espécies que auxiliam no equilíbrio dos nutrientes (PRIMAVESI, 2016).

A agricultura familiar tem apresentado grande relevância diante do cenário macroeconômico do Brasil, sendo apresentado nos dados do plano safra 2017/2020 elaborado pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (BRASIL, 2017) em que há no país aproximadamente 4,4 milhões de famílias agricultoras, o que representa 84% dos estabelecimentos rurais brasileiros, além de que 38% do valor bruto da produção agropecuária é originada deste setor e mais de 50% do constituinte dos alimentos da cesta básica e que a cada dez empregos no setor agropecuário, sete são providos através dessa categoria.

O estudo da agricultura em seus mais diversos espectros, questões sociais e globais é essencial para que haja a compreensão de que o desenvolvimento é o resultado de um conjunto de fatores e que através dessas novas informações e percepções será possível almejar a verdadeira agricultura sustentável. Para isso a agroecologia tem sido utilizada como base para alcançar uma visão unidimensional dos agroecossistemas, não focando apenas nesse nicho, mas nas inter-relações humanas, ambientais, sociais, políticas, culturais e econômicas. (ALTIERI, 2012).

O solo é um dos recursos naturais essenciais para sobrevivência, uma vez que é fundamental para o ecossistema como um todo. No entanto, segundo a FAO (2015) estima-se que de todo o solo global, 33% está comprometido devido aos processos de degradação, dessa forma questões relacionadas a qualidade do solo estão cada vez mais presentes nas discussões sobre formas de mitigar e desacelerar esses processos.

A funcionalidade do solo dentro do ecossistema, seja manejado pelo homem ou natural, resulta em sua qualidade, ou seja, quando esse solo apresenta qualidade, representa que ali há capacidade de manutenção da atividade biológica e qualidade ambiental, proporcionando a fauna e a flora condições para seu crescimento e desenvolvimento (DORAN; PARKIN, 1994).

Por ser um organismo vivo e complexo, o solo possui diversos componentes para realizar suas funções, como, por exemplo, a fertilidade. Sendo assim, o manejo e uso do solo podem influenciar diretamente em seus atributos, sejam físicos, químicos e/ou biológicos. Por isso é de suma importância avaliar com frequência o efeito que o manejo ou ausência dele podem provocar em sua estrutura. Esses efeitos podem ser avaliados através de indicadores quantitativos e/ou qualitativos para determinação da qualidade do solo e assim diagnosticar o nível de sustentabilidade dos sistemas, sejam eles manejados ou naturais (KARLEN *et al.*, 1997).

A utilização consciente e sustentável dos recursos naturais é uma preocupação crescente na atualidade e, por isso, técnicas que favoreçam a biodiversidade vêm sendo estudadas a fim de valorizar sistemas alternativos de produção, visando a racionalização de área e também a conservação do solo e da água.

Com o avanço dos estudos em sistemas mais sustentáveis, as discussões sobre os modelos de agricultura convencional têm levantado questionamentos e críticas por distintos grupos da sociedade em diferentes âmbitos. Enquanto ocorrem as discussões sobre os modelos convencionais, o aumento pela busca por alimentos saudáveis e produzidos de forma sustentável tem sido significativo, visando não apenas a não utilização de agrotóxicos, mas também a proteção do meio ambiente e preços acessíveis e socialmente justos (NASCIMENTO, 2012).

Diante das discussões sobre os métodos de cultivo e produção de alimentos, uma das estratégias os sistemas agroflorestais (SAF's) têm se destacado como alternativa em contramão a agricultura convencional. Como alternativa de produção, esses sistemas também têm se mostrado como possíveis mitigadores das consequências causadas pela agricultura convencional realizada de forma inadequada, além de promoverem resultados positivos quanto a qualidade do solo e ambiental, estabilidade ecológica e aproximação com a condição natural deste (LU *et al.*, 2015; TORRALBA *et al.*, 2016; PAUL *et al.*, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade do solo através de seus atributos físicos e químicos em área manejada com sistema agroflorestal com base agroecológica em comparativo a mata nativa (devido sua aproximação com o estado natural de uso do solo).

2.2 Objetivo Específico

- Avaliar os seguintes indicadores físicos de qualidade do solo: estabilidade de agregados; porosidade e densidade do solo; infiltração de água no solo; textura do solo (análise granulométrica), grau de floculação e argila dispersa em água; fracionamento físico da MOS e densidade de partículas; em área com sistema agroflorestal com base agroecológica.

- Avaliar os seguintes indicadores químicos de qualidade do solo: teores de fósforo; potássio; magnésio e cálcio; matéria orgânica; pH; acidez potencial; somas de bases; capacidade de troca catiônica e saturação por bases; em área com sistema agroflorestal com base agroecológica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Agricultura conservacionista

Após as Guerras Mundiais, uma nova estratégia para a produção de alimentos foi adotada, originando a Revolução Verde, que foi marcada pela utilização de tecnologias produzidas durante o período. Dentre essas tecnologias estavam a utilização frequente da mecanização agrícola, utilização de sementes modificadas geneticamente pelo homem e adubos químicos, além dos agrotóxicos o que também influenciou diretamente na marginalização dos agricultores que não podiam arcar com esse pacote tecnológico (ALTIERI, 2004; 2012).

O resultado da utilização simplificada da natureza, sendo expressa através do sistema convencional, que é um ecossistema que demanda a introdução constante do manejo humano através da aplicação de agroquímicos que influenciam na produtividade (ALTIERI, 1995). Em consequência dessas práticas e o avanço acelerado do crescimento populacional resultaram em uma forte pressão no desenvolvimento econômico e dos recursos ambientais, provocando nas últimas décadas grandes impactos negativos, não apenas sobre o ambiente, mas também a disparidade social (PESSOA; RIGOTTO, 2012).

Diante da problemática, estudos que buscassem alternativas sustentáveis aumentaram nas últimas décadas, iniciando um processo por uma agricultura que priorizasse a conservação dos recursos naturais através de técnicas acessíveis e que possibilitassem sua recuperação. Através da associação de manejos que integrassem solo, água e biodiversidade a fim de obter boas produtividades e qualidade, incluindo o cuidado e preservação do meio ambiente é possível alcançar o que hoje conhecemos como agricultura conservacionista (LOBATO, 2019).

Dentro das práticas conservacionistas há diferentes abordagens, sendo elas de caráter vegetativo, edáfico ou mecânico, sendo utilizadas concomitantemente entre si. Ainda, conforme Lobato (2019) os preceitos voltados à agricultura conservacionista e que a caracterizam, são fundamentais em qualquer região, clima, classificação do solo ou sistema de produção. Estes preceitos são a redução ou não revolvimento do solo, deposição de material vegetal (cobertura, adubação verde, etc.) na superfície e também a diversidade de espécies inseridas através dos diferentes manejos (consórcio, sucessão ou rotação de culturas).

No entanto, a agricultura conservacionista não está engessada apenas nesses preceitos, mas também em um conjunto de ações que tem como objetivo a preservação, manutenção,

restauração e recuperação dos recursos naturais, como solo, água e a biodiversidade (DENARDIN, 2019).

As práticas conservacionistas devem ser realizadas de acordo com o contexto em que o agricultor e/ou agricultora estão inseridos, levando em consideração os fatores sociais (local, unidade familiar, mão de obra disponível, etc.), econômico e ambientalmente possíveis (LAPICCIRELLA, 2022).

3.2 Agricultura familiar

Mundialmente não há um acordo claro sobre qual é a definição do termo “Agricultura Familiar” ou “Agricultura Camponesa”, podendo ser diferentes entre os países (GRAEUB *et al.*, 2016). As definições podem variar de acordo com diferentes aspectos a serem considerados como, por exemplo, dimensão territorial do estabelecimento agrícola, delimitando área de terra máxima, uma vez excedendo a delimitação a propriedade pode não ser mais reconhecida como familiar. Além da delimitação da área de terra, pode haver outras determinações onde a participação de renda familiar de atividades não relacionadas a agricultura não ultrapasse determinados valores (LOWDER; SKOET; RANEY, 2016). No entanto, mesmo com as diferentes definições de agricultura familiar, há semelhanças, onde os aspectos mais comuns são: o uso do trabalho familiar e a administração da propriedade pelo núcleo familiar (GARNER, E; O CAMPOS A de la, 2014).

Segundo a FAO, a agricultura familiar está definida 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, coevoluem e combinam funções econômicas, ambientais, sociais e culturais. (FAO, 2014).

No entanto, dentro da Legislação Brasileira presente na 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.

O Censo Agropecuário brasileiro realizado em 2006, constatou que havia 4,3 milhões de estabelecimentos familiares o qual totalizavam 85% dos estabelecimentos rurais segundo o IBGE (2006).

No entanto, apenas 24,3% da área total ocupados por estabelecimentos rurais eram ocupados pela agricultura familiar, essa porcentagem é referente aos quase 330 milhões de hectares no Brasil, sendo os outros 250 milhões de hectares voltados a monocultura do agronegócio, esse recorte é caracterizado justamente pelas limitações enfrentadas pelos agricultores familiares, limitações institucionais e estruturais diante do histórico brasileiro (MEDINA, *et al.*, 2015).

O último Censo Agropecuário (2017) avaliou as variações entre 2006 e 2017 em relação a agricultura familiar e não familiar e constatou uma queda de 9,5% na quantidade de trabalhadores no ramo agropecuário, em relação ao censo realizado em 2006 (IBGE, 2017).

Apesar dos números se contraporem no que se refere área ocupada e estabelecimentos de agricultura familiar, esta ainda é fundamental para distribuição de alimentos no Brasil, uma vez que saem dos quase 25% o abastecimento do mercado interno, com aproximadamente 70% de alimentos produzidos pelos agricultores e agricultoras familiares (IBGE, 2006).

Para além da produção de alimentos, a agricultura familiar é de suma importância para conservação e sustentabilidade ambiental (OKUYAMA *et al.*, 2012; CHAPPELL *et al.*, 2013), pois os agricultores familiares introduzem técnicas agroecológicas que influenciam diretamente na conservação do solo.

Em sistemas diversificados e desenvolvidos por agricultores familiares, a produção versus área de produção que resulta em produtividade, quando avaliada quantidade de produtos colhidos por unidade de área, essa é maior que em sistemas que utilizam a monocultura e além de considerar a produtividade, a agricultura familiar também colabora com a manutenção e conservação dos agroecossistemas devido a biodiversidade implementada (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012).

Através de estratégias realizadas pelos agricultores familiares é possível constatar a resiliência dos sistemas de cultivo (MIJATOVIC *et al.*, 2013). Tal resiliência se deve a técnicas que priorizem a conservação, manutenção e restauração dos ecossistemas, nos sistemas integrados de produção, como os sistemas agroflorestais, por exemplo, e a utilização consciente para uma agricultura verdadeiramente sustentável, onde sistemas complexos, diversificados e adaptados para realidade local possam resultar em biodiversidade e segurança alimentar para as comunidades (ALTIERI, 2012).

Com o declínio da produção de café no antigo Oeste Paulista, área que atualmente corresponde a região de Campinas, a marcha do café adentra a Nova Alta Paulista, área assim denominada pela sua colonização tardia, pós 1930, localizada no espigão rio Peixe/Águaçu. Migrantes nordestinos e paulistas, em sua maioria descendentes de espanhóis e italianos abriram a mata virgem e venderam madeira, abrindo espaço para as monoculturas do vinho da África (GIL, 2015).

Seguindo a lógica pedológica, a área era dividida em lotes menores, e então vendidas a preços mais elevados. Quanto mais ao centro do espigão, menos arenoso era o terreno, logo, também mais caro, as terras iam sendo barateadas conforme se avizinhavam dos rios, pois nessas regiões a terra arenosa dificultava a agricultura (GIL, 2015).

A formação pedológica do planalto basáltico paulista, fornecia ao grão condições favoráveis de cultivo, o sistema de divisão dos lotes supracitado, permitiu que a região se desenvolvesse em torno da agricultura familiar em pequenos lotes, principalmente a partir da década de 1940 com a geração baby boomer. Entre as linhas do café, os agricultores semeavam outras culturas anuais para auxiliar na subsistência das famílias naquele período, além de ser uma forma de juntar as reservas e pagar o valor cobrado pelos loteadores da terra (JOVIANO, 2009).

As características pedogenéticas são de extrema importância para as tomadas de decisões quanto a produção agropecuária e o manejo que melhor se aplica àquelas características, pois isso representa o nível de qualidade do solo e os agricultores têm domínio em equilibrar a ausência de capital natural do solo complementando-o e compensando-o de forma adequada (PALM *et al.*, 2007; DOMINATI, 2013).

Dentre tantos motivos para apoiar a agricultura familiar é importante ressaltar que esta é a chave para segurança nutricional e alimentar; usam modelos diversificados que promovem a sustentabilidade, auxiliam na mitigação dos gargalos ocasionados pela modernização da agricultura e principalmente, conservam os recursos naturais, sobretudo o solo que é a base da sobrevivência (ALTIERI, 2012).

3.3 Sistemas Agroflorestais como alternativa para recuperação e conservação do solo

Os sistemas agrícolas integrados são semelhantes aos ecossistemas naturais e são mais complexos quanto ao sistema de cultivo (GROPPO *et al.*, 2015), cujo objetivo é ampliar os rendimentos e intensificar o uso do solo para aumentar a área de produção do campo (OLIVEIRA *et al.*, 2018), e ser uma produção sustentável (LIEBIG *et al.*, 2017).

Os sistemas agropecuários integrados abrangem interações entre espaço e tempo, em diversas escalas, com manejos sendo realizados na mesma área ou entre áreas em escala territorial (MORAES *et al.*, 2019).

A utilização de árvores com diversos usos (frutíferas, florestais, etc.) interagindo com culturas, pastagem e também espécies animais, em regiões áridas e semiáridas são predominantes em sistemas agroflorestais. Ao acrescentar árvores no sistema produtivo, o manejo torna-se mais diversificado e complexo, em decorrência das relações positivas, negativas e neutras entre as espécies de plantas que estão no mesmo ambiente (PEZZOPANE *et al.*, 2017).

Segundo a legislação brasileira, presentes em distintos instrumentos legais (BRASIL, 2009; BRASIL, 2010) sistemas agroflorestais (SAF's) são definidos como:

Sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes. (BRASIL, 2012, Art. 2º, Inciso XVI)

Os SAF's sobressaem os diferentes modelos de produção e sugerem a sustentabilidade, pois partem dos conceitos básicos da agroecologia, além de somarem os conhecimentos tradicionais e histórico do local onde o sistema está implantado, projetando assim sistemas adaptados para o potencial natural do lugar onde está inserido (GÖTSCH, 1995).

Apesar de existirem muitos sistemas de cultivo com base agroflorestal, há particularidades em cada sistema, tornando-o único e diferente de outros que utilizam as mesmas bases, pois apesar das práticas serem semelhantes as características regionais, sociais, culturais e ambientais são distintas em cada SAF (NAIR; VISWANATH; LUBINA, 2016).

São diversos os termos e divisões de categorias de sistemas agroflorestais, tais divisões objetivam o desenvolvimento de ações para melhorar o manejo e obter melhores resultados na produção. Dentre as categorias que são agrupados de acordo com sua estruturação, estão os grupos mais usuais entre os agricultores, que são a agrossilvicultura (inserção de culturas anuais junto com espécies arbóreas), silvicultura (inserção de pastagem e animais junto com espécies arbóreas) e agrossilvicultura (inserção de culturas anuais, pastagem, animais junto com espécies arbóreas) (NAIR, 1991).

Apesar das classificações serem conhecidas e muito utilizadas, não representam todos os modelos agroflorestais existentes, isso porque é necessário conhecer e se inspirar no

ecossistema original de onde se pretende inseri-lo, além de compreender outros fatores essenciais como as interações dos elementos ambientais e realidade da região que se pretende inserir o sistema (GÖTSCH, 1995; TORQUEBIAU, 2000).

Os SAF's possuem o potencial de realizar uma diminuição nos impactos negativos com relação ao solo, auxiliando no equilíbrio entre os componentes naturais: solo, água, ar, microclima, paisagem, fauna e flora (MACGRATH *et al.*, 2000).

Além de auxiliar no equilíbrio dos recursos naturais, os SAFs colaboram na proteção e manutenção da biodiversidade, mitigação dos impactos dos gases do efeito estufa e aquecimento global. Esses sistemas também podem promover o equilíbrio do ciclo hidrológico, diminuição de erosão e assoreamento do solo, ciclagem de nutrientes e potencial de elevar a fertilidade do solo, colaborando positivamente nas propriedades físicas, biológicas e químicas do solo (MICCOLIS, 2016).

A qualidade do solo é afetada diretamente pelos SAF's, tanto no aumento da qualidade quanto na manutenção desta. A estruturação do solo pode ser influenciada positivamente proporcionando melhoras ao solo, devido ao acréscimo de material orgânico proveniente de fontes como podas das árvores, inserção de material vegetal urbano (folhas secas), resíduos de roçagem (gramíneas) entre outros, a ação das raízes, dos macros e microrganismos do solo, também promovem tais modificações positivas, 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 do solo (NAIR, 2009; TOBELLA *et al.*, 2014; PAVLIDIS; TSIHRINTZIS 2017).

Em trabalhos realizados por Pezarico *et al.* (2013) de avaliação dos impactos de sistemas agroflorestais com diferentes períodos de implantação, sendo um com 7 e 9 anos, analisando os atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores de qualidade do solo em relação a outros sistemas produtivos (Erval, Lavoura e Mata como referência), constatou-se a melhoria da qualidade do solo estando próximo ao tratamento referencial, no caso a mata nativa, utilizando os sistemas agroflorestais estudados.

3.4 Agroecologia e sua importância para conservação do solo

Apesar das vantagens relacionadas aos impactos ambientais quanto à conservação da biodiversidade, a utilização de sistemas ecológicos não abrange necessariamente aspectos como segurança alimentar e nutricional e tampouco outros quesitos como alimentação

saudável, práticas baseadas na sustentabilidade, qualidade alimentar, cidadania e direitos humanos (KEPPLE, 2011).

A insegurança alimentar é uma preocupação que perdura e perdurará por muito tempo, onde até o ano de 2015 não foi atingido o objetivo quanto à segurança alimentar e nutricional. Há inúmeros fatores que influenciam o aspecto citado, como crescimento na demanda por alimentos, competitividade territorial para produção alimentar e recursos naturais aplicados para tal. Dessa forma, a busca pela segurança alimentar e nutricional está relacionada diretamente com os sistemas produtivos e sua capacidade em utilizar recursos naturais e transformá-los em biomassa para alimentação humana (LIMA, 2017).

O desafio desse objetivo vai além da produção tecnológica, inclui também conceitos multidisciplinares como sócio economia (regional e local), acesso à informação sobre alimentação saudável, práticas baseadas na sustentabilidade, qualidade alimentar, cidadania, conservação dos recursos naturais, etc. (KEPPLE, 2011).

A matriz integradora, totalizante, holística, oportuno para desenvolver aprendizados e empregar conhecimentos criados a partir de distintas disciplinas científicas, a agroecologia, possui as premissas fundamentais para novas formas de agricultura, além de reconhecer e se fortalecer de saberes, conhecimentos e experiências dos agricultores e agricultoras (TOSETTO; CARDOSO; FURTADO, 2013).

Assim, sistemas oriundos da agroecologia se mostram mais eficazes quanto às demandas de segurança alimentar e nutricional comparado a apenas práticas ecológicas, onde os trabalhadores rurais pleiteiam mais que a produção de alimentos, mas incluem a quebra de paradigmas na produção e consumo de alimentos, fortalecendo as mudanças nos sistemas tradicionais no setor agropecuário (LIMA, 2017).

Dentre os princípios da agroecologia estão sempre em pauta os diálogos entre o homem e a natureza, onde o objetivo é o equilíbrio ecológico, a utilização e manejo funcional da agrobiodiversidade, conservação dos recursos naturais, principalmente o solo, mas extrapola o conceito dos agroecossistemas como caminho único e integrando níveis ecológicos, econômicos, sociais e as metodologias para alcançá-los (ALTIREI, 2012).

O planejamento e organização dos sistemas que utilizam as bases agroecológicas, são feitos com o objetivo de se aproximarem o máximo da natureza e sua complexidade e dos processos que se interagem. Dessa forma, os sistemas agricultáveis que utilizam dessa base priorizam formas alternativas de agricultura que realizam o manejo do solo adequadamente visando sua conservação (ALCÂNTARA, 2017).

Segundo Primavesi (2016) a agricultura isoladamente não alcança reproduzir ou conservar os ecossistemas naturais, no entanto é possível pensar em agroecossistemas mais simples e que diminuam a interferência causada nos serviços ecossistêmicos, respondendo através da saúde do solo, da planta e finalmente na do homem.

De uma forma geral, a agricultura familiar é acompanhada de algumas características que fazem da agroecologia um agente ideal para o desenvolvimento de agriculturas de base ecológica, tais como, produção para consumo familiar e para o mercado local e regional; produção diversificada, incluindo criação de animais; mão-de-obra familiar; tecnologias e equipamentos adaptados à sua realidade; conhecimento elevado sobre os ciclos agrícolas e especificidades da natureza; produção da própria semente e outros insumos; autonomia de gestão da família sobre a produção e a comercialização (STAMATO, 2005).

3.5 Restauração ecológica e biodiversidade

A utilização consciente e sustentável dos recursos naturais é uma preocupação crescente na atualidade e, por isso, técnicas que favorecem a biodiversidade vêm sendo estudadas a fim de valorizar sistemas alternativos de produção, visando a racionalização da área produtiva, conservação do solo e da água. Essas práticas surgem como alternativa para substituir sistemas convencionais que são associados, com frequência, a impactos socioambientais negativos (TSCHARNTKE, 2012).

A Sociedade de Restauração Ecológica (SER), define a prática de restauração ecológica como “o processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído”, no entanto o conceito tem evoluído e recentemente passou a ser descrito como:

A ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais. [...] busca-se garantir que a área não retornará à condição de degradada, se devidamente protegida e/ou manejada. (SERI, 2004, p. 74; BRANCALION, 2009, p. 43).

A biodiversidade está intimamente ligada à autorregulação dos agroecossistemas propiciados pelos sistemas naturais e converte-se nas relações e interações entre fauna, flora e solo (ALTIERI *et al.*, 1987).

Dessa forma, o desenvolvimento da sustentabilidade nos agroecossistemas é resultado da potencialização dos processos relacionados aos nutrientes disponíveis, a conservação de materiais que promovem a proteção da superfície do solo, restauração e conservação da biodiversidade (ALTIERI, 2002).

O aumento da biodiversidade dos sistemas é um contribuinte para elevar o nível de sustentabilidade e a inclusão de práticas de manejo como inserção de adubação verde, rotação ou sucessão de culturas, sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA's) e outros que priorizem o aumento de espécies em uma mesma área são essenciais para promover e induzir a maiores graus de sustentabilidade e conseqüentemente atingirem a restauração ecológica (ALCÂNTARA, 2017).

3.6 Qualidade do solo e seus indicadores

A qualidade física e química dos solos agrícolas pode ser afetada pelo sistema de manejo utilizado, sendo que o uso intensivo do solo promove modificações em seus atributos, principalmente na estrutura, que durante vários anos podem degradar os solos, reduzindo a produtividade e aumentando os custos de produção, refletindo assim na diminuição da qualidade do solo (PEREIRA, 2013).

O solo é um dos recursos naturais mais suscetíveis ao processo de degradação causado pelo homem, tendo suas características naturais alteradas devido à exploração inadequada. A história do uso do solo mostra que essa alteração sempre dá lugar a um novo sistema ecológico não sustentável, desse modo, solos utilizados intensamente e de forma inadequada, são levados à degradação (ALVES; SOUZA, 2008).

Ao visar a produção agropecuária e ao mesmo tempo a preservação do meio ambiente, se faz necessária a manutenção da qualidade do solo, podendo inclusive ter sua melhoria, e é fundamental para a sustentabilidade dos agroecossistemas (DORAN; JONES, 1996). É necessário para a avaliação e monitoramento da qualidade do solo, avaliar principalmente a capacidade do solo, bem como seu estado atual e também em distintos períodos, realizando uma comparação com o solo sob condição natural, como uma área nativa, por exemplo, ou através de parâmetros disponíveis na literatura considerados como ideais de acordo com o tipo de solo (DORAN; PARKIN, 1994).

Compreender os efeitos que ocorrem nos sistemas integrados na estrutura física do solo é fundamental para avaliar as vantagens e desvantagens de sua utilização (REIS *et al.*, 2021). A estrutura física do solo é influenciada através de processos dinâmicos (matéria

orgânica, trocas gasosas, transferências de calor, taxa de infiltração de água e transporte de solutos) que são influenciados por intervenções antropogênicas ou naturais, promovendo alterações na arquitetura dos poros, macroagregados e microagregados. Dessa forma, pesquisar sobre as alterações que ocorrem no solo é crucial para compreender o comportamento da porosidade sob distintos manejos agrícolas (JURY; HORTON, 2004; ARMINDO; WENDROTH, 2016; BORGES *et al.*, 2019; GALDOS *et al.*, 2019).

Dessa forma, é necessário que novas tecnologias e manejos adequados sejam buscados para o desenvolvimento apropriado do sistema, visando o todo e a racionalização das alternativas agronômicas que auxiliem em uma agricultura desejada (OLIVEIRA, 2015).

Solos arenosos, por muitas vezes são grandes vilões para agricultores que buscam cultivar determinados terrenos, devido à falta de matéria orgânica necessária para a maioria dos cultivos, e a alta suscetibilidade de erosão (TORDIN, 2015).

A perda da qualidade física do solo leva-o a degradação e um dos principais problemas é a compactação que influencia no crescimento das plantas e atividade dos organismos do solo.

Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, responsáveis pela estruturação, fertilidade e biodiversidade da vida presente, podem ser influenciados diretamente através do manejo e utilização. Tais atributos compõem um conjunto essencial para que o solo desempenhe suas funções e projete respostas quanto aos fatores de produtividade e qualidade do solo em questão, se fazendo importante o acompanhamento das práticas realizadas.

3.7 Indicadores de qualidade do solo

Não é possível avaliar a qualidade do solo de forma direta, ou com poucas variáveis, é necessário que exista uma quantidade possível para que se possa responder sobre a qualidade do solo, para além disso não é possível realizar essa avaliação de forma direta, mas estima-la através de indicadores de qualidade do solo (KARLEN; STOTT, 1994; KARLEN *et al.*, 1997; ANDREWS *et al.*, 2004).

Os indicadores de qualidade do solo, diz respeito à avaliação de atributos das propriedades do solo possíveis de mensurar, quantitativamente e/ou qualitativamente, podendo serem avaliadas propriedade do solo ou da planta no que se refere determinado processo ou atividade e que permitem retratar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas em um determinado ecossistema (KARLEN *et al.*, 1997).

Os indicadores auxiliam na avaliação dos fatores citados com relação ao solo, utilizando tanto para parâmetros quantitativos quanto qualitativos, para que assim as funções relevantes e relativas aos atributos do solo possam avaliar a sustentabilidade dos diferentes agroecossistemas, sejam cultivados ou naturais (ARAÚJO, 2012).

3.8 Indicadores físicos do solo

Para descrever a qualidade do solo, alguns atributos físicos são essenciais e levados em consideração, entre eles estão a porosidade e densidade do solo, condutividade hidráulica, distribuição dos poros por tamanho, distribuição e tamanho de partículas e profundidade em que as raízes crescem, de acordo com Ingaramo (2003).

Já os autores Salton e Mielniczuk (1995); Castro Filho *et al.* (1998) e Vasconcelos *et al.* (2010) utilizam os resultados obtidos da distribuição de agregados por tamanho, em agitação, em água ou a seco, de amostras de agregados em um conjunto de peneiras com malha de maior tamanho a menor tamanho, onde a partir daí avaliar a qualidade física do solo de acordo com o processo realizado.

3.9 Estabilidade de agregados em água

As mudanças nas propriedades físicas são muitas, pode-se citar a diminuição da taxa de infiltração do solo que é influenciada pela redução dos macroporos, o que leva à redução na área da seção transversal para o fluxo de água (SENA, 2015). A agregação do solo é um atributo físico importante para o desenvolvimento das plantas e afeta de modo direto a infiltração de água, biodiversidade dinâmica da biomassa, comunidade microbiana, nutriente, erosão do solo e disponibilidade de oxigênio para as raízes (NASCENTE *et al.*, 2015).

Os agregados do solo são definidos como, entidades específicas do solo constituídas por parte orgânica e mineral, e são interligados fortemente. Possuem tamanho, estabilidade e forma, de acordo com a textura, material de origem, clima, vegetação e atividade microbiológica (YUDINA; KUZYAKOV, 2019). O aumento da resistência do solo à penetração de raízes que é influenciada pela desestruturação e compactação das camadas.

Os agregados protegem fisicamente a M.O. do solo, e é considerada um mecanismo fundamental para a estabilizar o carbono no solo (KOCHIIERU *et al.*, 2020). Um parâmetro importante da qualidade do solo é a agregação, pois aumenta a porosidade, e dessa forma

afeta positivamente a taxa de infiltração, capacidade de retenção de água, reduzindo a erosão e o escoamento superficial (HAYDU-HOUDESHELL *et al.*, 2018).

Uma das funções principais da matéria orgânica é a agregação do solo, atuando como agente de ligação capaz de estabilizar os agregados (OKOLO *et al.*, 2020), e promove a retenção dos nutrientes e efeitos positivos na comunidade bacteriana (DING *et al.*, 2013; MHETE *et al.*, 2020). Além disso, quando se compara áreas manejadas com áreas de campo nativo, nota-se a maior concentração de microagregados em áreas manejadas, devido ao fato, das áreas de campo nativo terem predominância de grande quantidade de matéria orgânica e raízes, na qual favorece a formação de agregados, através da aproximação das partículas do solo (SILVA, 2019).

Os materiais vegetais que são dispostos na superfície do solo, podem contribuir na estabilização e diminuição da temperatura nas camadas superficiais, além de influenciar a estrutura do solo, e quando aplicado junto ao manejo adequado pode resultar no aumento da porosidade do solo e da estabilidade dos agregados (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001; SALTON; MIELNICZUK, 1995). A matéria orgânica está relacionada diretamente à qualidade do solo, além de ser considerada como um bom indicador, essa também tem grande influência sobre outros indicadores (REICHERT *et al.*, 2003; BAYER; MIELNICZUK, 2008).

3.10 Porosidade e densidade do solo

A porosidade do solo é importante no manejo do solo, mas muito maior é a preocupação com a distribuição do tamanho de poros. Os macroporos são responsáveis pela aeração e os microporos pelo armazenamento de água no solo. A distribuição ideal também é um indicativo da qualidade do solo. A microporosidade do solo não é influenciada pelo manejo, mas é indicador de degradação do solo, a proporção ideal é de $\frac{2}{3}$ da porosidade total do solo.

Bonini *et al.* (2017) apresentam que a porosidade total é a soma da macroporosidade e microporosidade, dessa forma não é possível afirmar que altos valores de porosidade do solo indicam condições adequadas do solo, sendo importante a distribuição do tamanho de poros na avaliação da qualidade de sua estrutura.

A compactação é um dos problemas mais agravantes das áreas degradadas, influenciando no crescimento das espécies vegetais e na capacidade da fauna do solo sobreviver nestas áreas que se tornam inabitáveis. Sendo assim, uma das primeiras medidas

físicas a serem aplicadas nestas áreas degradadas são relacionadas à diminuição da densidade do solo, seja por meio de manejo com máquinas pesadas ou da aplicação de matéria orgânica (KITAMURA, 2007).

A classificação de macroporos e microporos para alguns autores se apresenta com diâmetro maior e menor, nessa ordem, a 60 μm , como no caso de Kiehl (1979), no entanto a maioria dos autores sobre o assunto utilizam 50 μm como limitante entre as categorias, no caso Richards (1965); Libardi, (1995); Klein e Libardi (2002).

Ainda Klein e Libardi, 2002 e Ribeiro *et al.*, 2007 inserem os criptoporos, categoria menor que os microporos, apresentando diâmetro menor que 0,2 μm , e mantém a água guarda sem disponibilizar às plantas, e possuem tensões maiores que 1500 kPa, no qual geralmente é o limite para chegar ao ponto de murcha permanente.

A distribuição de poros do solo em sua matriz é de suma importância entre as relações das fases sólida, líquida e gasosa, determinando a evolução espacial e temporal dos processos hídricos e sua movimentação, influenciando diretamente o comportamento físico-hídrico do solo (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Para reduzir o valor da densidade do solo recomenda-se a aplicação de matéria orgânica nas suas diferentes formas de adubação verde, de esterco animais, de composto preparado na fazenda, de tortas vegetais e demais resíduos industriais como a vinhaça, o bagacinho, palha de arroz, etc. (KIEHL, 1979).

A densidade do solo é um dos parâmetros mais utilizados para caracterizar a estrutura física do solo, com o intuito de estimar estoque de carbono ou outros componentes (CHEN *et al.*, 2018; WALTER *et al.*, 2016). A menor ou maior dispersão entre as partículas do solo, ocorrem de acordo com as variações do pH, dos teores de K, Ca, Mg, Al, Na. Os efeitos dos atributos químicos do solo sobre a dispersão da argila e, desse modo, sobre a agregação do solo é dependente também da mineralogia do solo (CRUZ, 2017).

A redução da macroporosidade causada pela compactação, influencia negativamente o desenvolvimento radicular, diminuindo o crescimento das raízes principais que possuem maior diâmetro, quanto aumentando a quantidade de raízes laterais que possuem menor diâmetro, essas capazes de penetrar os poros menores e resultando em prejuízos no desenvolvimento geral da planta (GOMES, 2014).

3.11 Infiltração de água no solo

Segundo Reichardt; Timm (2004), é essencial que se conheça a capacidade de infiltração de água no solo e sua relação com os demais atributos para que o manejo adotado seja eficiente e dê resultados positivos quanto a qualidade do solo e produtividade.

A porosidade e textura do solo, influenciam a capacidade de infiltração de água no solo (CRUZ *et al.*, 2014). Na prática a infiltração de água é significativa, pois através dela é possível determinar o balanço de hídrico na área onde o sistema radicular está presente e o deflúvio superficial, responsável pela erosão hídrica (ALVES SOBRINHO *et al.*, 2003; REICHARDT, 1996).

Ao priorizar a utilização de manejos que realizam práticas conservacionistas, como proteção da camada superficial, inclusão de biodiversidade, redução do revolvimento do solo, entre outros, é possível alcançar resultados positivos quanto ao armazenamento e distribuição de água para as plantas, além de aumentar a quantidade de matéria orgânica e promover melhoria dos atributos físicos do solo (SÉGUY; BOUZINAC, 1995).

Em trabalhos realizados por Bertol *et al.* (2001) foi constatado redução significativa da infiltração de água no solo, reflexo da diminuição da densidade e da macroporosidade, quando este se apresenta em pastagens compactadas devido ao intenso pisoteio animal.

Sistemas que auxiliam na recuperação do solo em áreas degradadas estão sendo cada vez mais aplicados ao modelo de agricultura mais sustentável, entre esses sistemas, os que adicionam espécies florestais junto a outras culturas, vêm ganhando mais adeptos, pois além de contribuir na fertilidade, fixação biológica do N atmosférico, ciclagem de nutrientes, também eleva o teor de matéria orgânica, otimizando e melhorando as propriedades físicas e biológicas do solo (YOUNG, 1989; FRANCO; FARIA, 1997; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 1999; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2008; MACEDO *et al.*, 2008; HOUGHTON, 1994).

Para além dos benefícios já citados ao incluir espécies arbóreas ao sistema de produção, ainda há a diminuição de erosões causadas pela água, tanto pela redução do impacto da chuva sobre o solo quanto pelo carregamento de solo, auxiliando também no aumento da infiltração de água, efeito de agregação das partículas do solo e manutenção do teor de matéria orgânica (HOUGHTON, 1994).

3.12 Grau de floculação, textura do solo e densidade de partículas

O grau de floculação é a relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total, sendo obtida após a dispersão, indicando a fração de argila que se encontra floculada, assim

como o grau de estabilidade dos agregados no solo, seguindo a metodologia por Teixeira *et al.* (2017), no Manual de Métodos de Análise de Solo.

Dentre as características intrínsecas do solo, estão a textura e a densidade de partículas, isso quer dizer que essas propriedades não são afetadas pelo manejo utilizado em um curto período (STEFANOSKI, 2013). No entanto, para que a caracterização do solo seja realizada de forma adequada e eficaz, avaliar esses indicadores tem grande importância no estudo dos demais atributos, uma vez que tais características influenciam diretamente as propriedades físicas do solo, como a densidade do solo, estabilidade de agregados e também a porosidade do solo, dentre outras mais (PALM *et al.*, 2007; OLIVER *et al.* 2013).

Por ser uma propriedade que caracteriza a quantidade dos componentes do solo, no caso, as partículas de areia, silte e argila, a textura do solo por pertencer a uma categoria de atributos pouco modificada pelo manejo é importante para avaliação (GAVANDE, 1976).

3.13 Fracionamento físico da Matéria Orgânica do Solo (MOS)

O manejo aplicado pode interferir diretamente na matéria orgânica do solo (MOS), já que esta apresenta alta sensibilidade e pode ser modificada em maior ou menor grau (BARRETO *et al.*, 2008).

Apesar de importante, a avaliação única do carbono orgânico total (COT) pode ser insuficiente na obtenção de resultados que identifiquem a atuação dos efeitos do manejo e uso do solo, sendo necessário maiores desdobramentos quanto às outras frações da MOS e assim constatar as alterações presentes.

Em estudos realizados foi comprovado que em diferentes condições ambientais o fracionamento físico, bem como o químico da MOS podem auxiliar na identificação do efeito do manejo do solo e detectar as mudanças ocorridas (CONCEIÇÃO *et al.* 2005; LIMA *et al.* 2008; SANTOS *et al.*, 2012; ROSSI *et al.*, 2011; BEZERRA *et al.*, 2013; LOSS *et al.*, 2013; ROSSET *et al.*, 2016).

Para realizar o fracionamento físico da MOS, existem diferentes metodologias, uma através do método do densimétrico, e o outro utilizando o método granulométrico. Para realizar o método densimétrico, os compartimentos da fração leve (FL), ou seja, os mais labéis, são isolados e quantificados, sendo a FL composta pelas frações leve livre (FLL) e intra-agregada (FLI) (CHRISTENSEN, 1992; JANZEN *et al.*, 1992).

Já no método granulométrico, o isolamento e quantificação é realizada com os compartimentos mais humificados, que estão ligados à fração mineral do solo, no caso, areia,

silte e argila. No que se refere a esta fração, está o que se conhece por fração pesada (FP), apresentando maior estabilidade às desestabilizações do solo, ocasionadas pelo manejo do solo em curto período (BAYER *et al.*, 2004).

A composição de resíduos orgânicos (animal e/ou vegetal e microbianos) em diferentes estágios de decomposição forma a matéria orgânica não complexada que dá origem as FL (PEREIRA *et al.*, 2010) e podem ser encontradas livres na matriz do solo (fração leve livre – FLL) ou selada dentro dos agregados (fração leve intra-agregada – FLI) (ROSA, 2017).

Segundo Soares (2021) o que vai determinar a fração pesada (FP) são os tamanhos das partículas, onde estas são separadas e classificadas como FP-areia (>53 μm); FP-silte (2-53 μm) e FP-argila (0-2 μm).

Enquanto a FL é mais propícia a ser modificada pelo manejo em um curto período, a FP não, e por isso a ciclagem ocorre de forma lenta, uma vez que em sua composição se apresenta materiais com alto teor de decomposição e estabilização, principalmente pela interação com as partículas minerais (BAYER *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2012; BALDOCK; SKEJMSTAD, 2000).

Frações de FP-areia são beneficiadas quando o sistema de manejo utilizado propicia um baixo revolvimento do solo, como por exemplo, os SAF's, isso porque essa fração é composta pelos resíduos orgânicos e junto a eles há outros materiais na superfície da partícula, ou seja, a suscetibilidade a ação de microrganismos é mais atenuada que em outras frações pesadas (SILVA; MENDONÇA, 2007; FELLER; BEARE, 1997).

3.14 Indicadores químicos do solo

O desenvolvimento das espécies vegetais é influenciado pelos fatores de natureza química e por estarem relacionados entre si a classificação ou separação destes é complexa (MEURER, 2007).

Os indicadores químicos são, normalmente, agrupados em variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo, a acidez do solo, o conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos (Al^{3+} , por exemplo) e determinadas relações como a saturação de bases (V%) e de alumínio (m).

É sabido que o acréscimo de material orgânico tem sido estudado devido a possibilidade de melhora dos atributos físicos do solo. Nascimento *et al.* (2003) constataram

em estudos que em solos em estágio de degradação o uso de leguminosas contribuíram para a diminuição da acidez do solo, elevando o pH no perfil e os teores de K e Mg.

A verificação de nutrientes e sua disponibilidade, quantidade de elementos tóxicos, potencial osmótico se faz necessária nos estudos que envolvem a ciência do solo, já que sua composição química auxilia na resposta das culturas inseridas no campo (SILVA *et al.*, 2000).

Para que ocorra o desenvolvimento do sistema radicular das espécies vegetais com eficácia, é necessário o aporte adequado de nutrientes e demais componentes da química do solo, como pH, avaliação toxicidade de elementos, entre outros (BELL, 1998).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do trabalho de pesquisa e características do local

O experimento foi desenvolvido em propriedade privada, denominada Rancho Luciana. A área possui 1,95 hectares e está sediada na cidade de Panorama/SP, localizada na região do extremo oeste do Estado de São Paulo, a 286 metros de altitude, latitude 21°21'23" e longitude 51°51'35", as margens do Rio Paraná, na divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul. O clima, segundo a classificação Köpen-Geiger é Aw (tropical com estação seca), com verão quente e chuvoso de outubro a março e inverno seco e ameno de baixa precipitação pluvial de abril a setembro. A temperatura média anual é 26,5°C. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, de acordo Santos Teixeira et al. (2018), textura arenosa conforme os dados da tabela 1.

Tabela 1. Análise de distribuição do tamanho de partículas da área. Panorama - SP, 2022.

TRATAMENTO	Argila	Areia	Silte
	(g/kg-1)		
0,00 – 0,05 m			
MATA NATIVA	38,28	905,51	56,21
SAF 2014	27,02	925,21	47,77
SAF 2018	39,75	918,43	41,82
POUSIO	30,03	926,92	43,04
0,05 – 0,10 m			
MATA NATIVA	42,74	920,96	36,30
SAF 2014	35,11	905,46	59,43
SAF 2018	34,55	918,06	47,39
POUSIO	42,73	919,84	37,44
0,10 – 0,20 m			
MATA NATIVA	42,01	913,91	44,09
SAF 2014	40,71	916,56	42,73
SAF 2018	33,41	914,59	52,00
POUSIO	35,25	927,44	37,32

0,20 – 0,40 m			
MATA NATIVA	38,82	918,81	42,37
SAF 2014	42,62	919,92	37,45
SAF 2018	47,69	909,69	42,62
POUSIO	34,10	923,17	42,73

Fonte: Santos (2022).

A textura e a densidade de partículas são características intrínsecas do solo, sendo realizada a determinação dos teores das partículas de areia, silte e argila e também densidade de partículas. A análise de distribuição do tamanho de partículas foi realizada pelo método da pipeta e a densidade de partículas do solo foi determinada pelo método do balão volumétrico (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Tabela 2. Valores de CV (%) e teste F a 5% de probabilidade e valores médios da densidade de partículas do solo. Panorama - SP. Dezembro de 2021.

Tratamento	Densidade de partículas (g.cm ⁻³)
MATA NATIVA	2,57 b
SAF 2014	2,64 a
SAF 2018	2,63 ab
POUSIO	2,60 ab
F trat	0,05 *
CV (%)	2,95

Fonte: Santos (2022).

*significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

4.2 Histórico da área

A propriedade pertence à família Teruel Aires há mais de 40 anos, no qual já foram cultivadas diferentes espécies para fins comerciais, como o café e produção animal de aves e bovinos; além do uso comercial existia em baixa escala uma produção diversa de hortaliças para consumo próprio. Por muitos anos a área da propriedade baseou-se, majoritariamente, em pastagem e produção de café, onde era realizado o manejo mínimo e com baixa tecnologia.

Devido à essa fase onde não haviam manejos com objetivo de conservação, ocorreu a paralização das atividades comerciais, encerrando definitivamente o manejo do cafezal e o início do represamento do Rio Paraná, intensificando o processo de degradação da área.

Em meados de 2014, inicia-se o processo de transformação da propriedade que antes utilizava o sistema convencional e passa, em uma área menor, a empregar um modelo de agricultura sustentável, através do sistema agroflorestal (SAF). Para implantação do sistema, inicialmente foram inseridas uma diversidade de espécies frutíferas nativas, priorizando espécies da região, sendo ampliada gradativamente com plantas medicinais e culturas tradicionais, como milho, mandioca, batata doce, etc. A implantação das espécies citadas foi proposital a fim de resgatar cultura regional e resgatar espécies pouco produzidas e com risco de extinção. O propósito principal dessa transformação foi realizar de forma sustentável a conservação do solo e da água.

A partir de janeiro de 2018, a propriedade origina o projeto Rancho Y-Îara, no qual busca a criação de uma realidade diferente da região, introduzindo agroecologia, arte e conservação e manutenção dos recursos naturais. Através da proteção e recuperação do ecossistema e da biodiversidade, a missão em preservar o meio ambiente integrando-o ao desenvolvimento social e resgate da cultura regional por meio da alimentação, vem sendo desenvolvido desde então, integrando natureza e homem.

Não houveram trabalhos de pesquisa ou estudos anteriores na área para analisar as mudanças ocorridas pela transformação do sistema de manejo. A área foi escolhida devido ao histórico regional de um grande número de agricultores familiares em assentamentos e assim esse trabalho poder ser utilizado como modelo para esses agricultores.

A seguir estão apresentados os dados de alguns atributos químicos do solo, em análise de fertilidade realizada em 2018 (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios dos atributos químicos do solo na área do SAF coletado em agosto de 2018, na camada de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m.

Profundida de (m)	P-resina (mg/dm ³)	MO (g/dm ³)	pH	K (mmol/dm ³)	Ca (mmol/dm ³)	Mg (mmol/dm ³)	H+Al (mmol/dm ³)
0-0,20	12	13	5,4	2	17	6	6
0,20-0,40	6	12	5,3	1	13	5	13
	Al (mmol/dm ³)	SB (mmol/dm ³)	CTC (mmol/dm ³)	V (%)	Ca/CTC (%)	Mg/CTC (%)	m (%)
0-0,20	0	25	36	69	47	17	0
0,20-0,40	0	19	32	59	41	16	0

Fonte: Santos (2022).

4.3 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

Foram selecionadas quatro áreas da propriedade, caracterizadas por diferentes usos e/ou períodos de implantação dos sistemas e manejo do solo. O delineamento experimental foi realizado com levantamento amostral inteiramente ao acaso, com 4 tratamentos e 4 repetições para as variáveis analisadas.

Os tratamentos foram os seguintes:

T1	área manejada com sistema agroflorestal desde 2014 – cultivada com espécies arbóreas de produção: frutíferas, madeireiras, além de algumas espécies utilizadas para produção de matéria orgânica que é podada e utilizada para adubação do sistema
T2	área manejada com sistema agroflorestal desde 2018 – cultivada com espécies arbóreas de produção: frutíferas, madeireiras, além de algumas espécies utilizadas para produção de matéria orgânica que é podada e utilizada para adubação do sistema
T3	área de mata nativa as margens do Rio Paraná
T4	área de pastagem que está em pousio desde 2017 .

Figura 1. Imagens dos tratamentos amostrados para avaliação da qualidade do solo. Panorama/SP, 2021.



Fonte: Santos (2022). Legenda: A. área manejada com sistema agroflorestal **desde 2014**; B. área manejada com sistema agroflorestal **desde 2018**; C. área de pastagem em pousio **desde 2017**; D. área de mata nativa as margens do Rio Paraná.

A condição atual do sistema mata nativa (fragmento natural em processo de regeneração) foi considerado como referência quanto a qualidade de solo, pois é uma área onde, todavia não houve nenhum estudo ou avaliação da qualidade do solo (físico, químico e/ou biológico) para que haja um comparativo com sistemas convencionais de larga escala.

Figura 2. Mapa (Google, 2021) com vista da propriedade e os respectivos tratamentos.



Fonte: Google Maps (2021). A. área manejada com sistema agroflorestal **desde 2014**; B. área manejada com sistema agroflorestal **desde 2018**; C. área de pastagem em pousio **desde 2017**; D. área de mata nativa as margens do Rio Paraná.

4.4 Avaliação e preparo das amostras dosolo

Foram coletadas amostras deformadas e não deformadas nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m; no período de dezembro de 2020 a janeiro de 2021. Os locais de amostragem foram pré-definidos e marcados para um melhor acompanhamento da área, ao decorrer do experimento.

As coletas de amostras deformadas de solo para a análise física e química, os anéis volumétricos (amostras indeformadas) para avaliação da densidade do solo e porosidade do solo a fim de verificar o efeito das raízes das plantas utilizadas na área estudada.

Foram realizadas análises físicas e químicas do solo, descritas a seguir.

4.5 Análises físicas

a) Estabilidade de agregados:

A distribuição e estabilidade de agregados em água, diâmetro médio ponderado dos agregados foi determinado pelo método de Angers e Mehuys (2000).

b) Porosidade e densidade do solo:

A porosidade total foi determinada pela saturação do solo (volume de poros totais ocupados pela água), a microporosidade pelo método de mesa de tensão com coluna de água

de 0,060 kPa, e a macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade, segundo Teixeira *et al.* (2017). A densidade do solo pelo método de anel volumétrico de acordo com Teixeira *et al.* (2017).

c) Infiltração de água:

A taxa de infiltração de água foi determinada usando mini infiltrômetro de disco (ZHANG, 1997).

d) Teor de água no solo:

Umidade gravimétrica do solo pelo método clássico de pesagem (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Foi avaliada no momento da realização da resistência do solo à penetração.

e) Grau de Flocculação e análise granulométrica

O grau de flocculação que é a relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total, foi obtido após a dispersão, desta forma indica a fração de argila que se encontra flocculada, assim como o grau de estabilidade dos agregados no solo, seguindo a metodologia por Teixeira *et al.* (2017), no Manual de Métodos de Análise de Solo.

A granulometria foi determinada, seguindo os procedimentos para solos normais, e argila dispersa em água, dada pela leitura da densidade da mistura final. Os teores de argila total (AT) foram realizadas com dispersão química feita com NaOH 1mol L⁻¹, determinado pelo método da pipeta, e de argila dispersa em água (ADA). Em ambas análises, a dispersão mecânica foi realizada por meio de agitação lenta (35 rpm) com duração de 16h.

f) Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS)

As amostras de solo foram analisadas através da técnica de separação de agregados à seco realizada conforme descrito por Blaud *et al.* (2018). As frações do Carbono Orgânico do solo foi mensurado através do método densimétrico e categorizado como fração leve e pesada, de acordo com o método de Gao *et al.* (2016).

g) Densidade de partículas

A metodologia utilizada para a determinação da densidade de partículas foi a do balão volumétrico, seguindo o Manual de Métodos de Análise de Solo de Teixeira *et al.* (2017), com intuito de medir a densidade média das partículas minerais e orgânicas na amostra de solo, refletindo sua composição média.

O método do balão volumétrico consiste em duas etapas: a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação de seu volume.

4.6 Análises químicas

As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com a metodologia descrita Camargo *et al.* (2009) e foram avaliados os teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio pelo método de extração com resina trocadora de íons. O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método colorimétrico e o pH, em cloreto de cálcio, além da acidez potencial (hidrogênio + alumínio) a pH 7,0. Foram calculadas as somas de bases ($SB = Ca + Mg + K$), capacidade de troca catiônica ($CTC = SB + (H + AL)$) e saturação por bases ($V\% = (100 \times SB) / CTC$). As amostras foram coletadas com o auxílio de trado de caneca nas mesmas camadas de solo e datas em que foram coletadas as amostras para análise física do solo.

4.7 Análise estatística

Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade de variância. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas em correlação simples e teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro, com auxílio do programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o período de condução do experimento foi possível verificar que houve diferença entre os tratamentos para as variáveis analisadas, nas diferentes camadas estudadas. Conforme observado nos efeitos significativos dos tratamentos sobre os atributos físicos do solo nas tabelas a seguir, levando em consideração, as características texturais do solo (Tabela 1).

5.1 Porosidade e densidade do solo

Na tabela 4, estão apresentados os dados de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Em relação a macroporosidade, admitindo $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$, houve diferença significativa nas camadas de 0,05-0,10m e de 0,20-0,40m e o tratamento Mata Nativa demonstrou maior média seguida pelo SAF 2018 e 2014; e o Pousio seguido pela Mata Nativa, respectivamente. No entanto, em todas as camadas estudadas foi possível observar a proximidade dos valores de macroporosidade, principalmente nas camadas superficiais, apresentando as maiores médias.

Tabela 4. Valores do teste F, CV (%) e médios de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi); porosidade total do solo (PT) e densidade do solo (DS) dos tratamentos estudados nas camadas de solos (0-0,05; 0-05,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40m), Panorama -SP, dez. 2021

Tratamentos	Ma	Mi	Pt	Ds
	$(\text{m}^3.\text{m}^{-3})$			$(\text{kg}.\text{dm}^{-3})$
0,00-0,05m				
MATA NATIVA	0,3272	0,1563 a	0,4835 a	1,37
SAF 2014	0,3002	0,1312 a	0,4313 ab	1,32
SAF 2018	0,3061	0,1286 a	0,4347 ab	1,36
POUSIO	0,2911	0,0727 b	0,3638 b	1,55
F trat	0,659 ^{NS}	20,820*	6,538*	3,362 ^{NS}
CV (%)	12,31	12,66	8,98	8,04
0,05-0,10m				
MATA NATIVA	0,3035 a	0,1165 a	0,3918	1,46
SAF 2014	0,2689 b	0,1128 a	0,3954	1,48
SAF 2018	0,2961 ab	0,1108 a	0,3752	1,52
POUSIO	0,2696 b	0,0841 b	0,3391	1,61
F trat	5,807*	24,651*	1,992 ^{NS}	1,909 ^{NS}
CV (%)	5,22	5,62	9,72	6,31
0,10-0,20m				
MATA NATIVA	0,3007	0,0859 a	0,3776	1,52
SAF 2014	0,3178	0,0977 a	0,3939	1,48
SAF 2018	0,3005	0,0534 b	0,3539	1,59

POUSIO	0,2985	0,0816 ab	0,3410	1,60
F trat	0,334 ^{NS}	8,034*	2,031 ^{NS}	1,339 ^{NS}
CV (%)	10,25	16,64	9,07	6,53
0,20-0,40m				
MATA NATIVA	0,2883 a	0,1177 ab	0,3613	1,57
SAF 2014	0,2106 b	0,1565 a	0,3505	1,55
SAF 2018	0,2360 ab	0,951 b	0,3283	1,62
POUSIO	0,3098 a	0,0384 c	0,3483	1,60
F trat	7,033*	15,144*	1,107 ^{NS}	0,965 ^{NS}
CV (%)	13,23	24,88	7,55	3,99

Fonte: Santos (2022).

*significativo a 5% de probabilidade e NS não significativo. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A presença de material vegetal e serapilheira sobre a camada superficial do solo, influenciam diretamente a atividade biológica, propiciando aumento da macroporosidade, e também o teor de matéria orgânica presente, que em conjunto ao aumento da atividade biológica, auxiliam na formação de agregados e maior diâmetro de poros, consequentemente (MANHÃES *et al.*, 2009; RITA *et al.*, 2013).

Para a área de pousio, o valor de macroporosidade foi maior na camada 0,20-0,40 m do que nas demais camadas.

De acordo com estudos realizados em diferentes classificações de solo, os resultados de macroporosidade se mostraram mais próximos ao obtido nesse estudo, demonstrando que este atributo se apresenta maior em áreas de conservação, principalmente em florestas, e quando comparadas a outros sistemas como, por exemplo, áreas de pasto em situação de degradação do solo, ou sob manejo convencional, de uso intenso do solo sendo aplicados para o cultivo anual ou perene, mostram o inverso (MELLONI *et al.*, 2008; CALGARO *et al.*, 2015; KLEIN; LIBARDI, 2002; ARAUJO *et al.*, 2004; ARGENTON *et al.*, 2005; NUNES *et al.*, 2010; GUIMARÃES *et al.*, 2014).

As camadas superficiais, de 0,00 a 0,10 m, apresentaram maiores valores de macroporosidade quando presentes em sistemas de conservação (Mata Nativa, SAF 2014 e SAF 2018), com exceção da camada de 0,05 a 0,10m onde o tratamento pousio apresentou maior média que o SAF 2014, no entanto sem diferença significativa entre ambos.

Já nas camadas mais profundas, de 0,10 a 0,20m o tratamento pousio apesar de ter apresentado menor média, ficou muito próximo aos demais tratamentos. Enquanto na camada de 0,20 a 0,40m este mesmo tratamento obteve maior média, com diferença significativa dos demais tratamentos e o valor próximo ao apresentado pelo Mata nativa, SAF 2014 e SAF 2018 nas camadas superficiais (0,00 – 0,10m).

Em trabalho realizado por Calgaro *et al.* (2015), foram apresentados resultados semelhantes, onde a macroporosidade em sistemas florestais foi maior na camada superficial (0,00-0,10m) e menor nas subsuperficiais, inversamente ao que foi demonstrado em área de pastejo, sendo maior nas camadas subsuperficiais e menor nas superficiais, os resultados das camadas mais profundas foram atribuídos ao pisoteio animal, característica de manejo semelhante a este trabalho.

Nas camadas de 0,00 a 0,20m o tratamento Mata Nativa apresentou maiores médias para macroporosidade, sendo acompanhado pelos tratamentos com os SAF's, mostrando a capacidade desses sistemas em influenciar positivamente esse atributo, tal similaridade pode ser atribuída a presença de um alto teor de biomassa radicular das diferentes espécies, arbóreas e herbáceas, implantadas. Segundo Jackson *et al.* (1996), as espécies arbóreas apresentam biomassa de 2 a 5 kg/m² em comparação às espécies de produção agrícola e as forrageiras, que apresentam valores menores que 1,5 kg/m².

Para todos os tratamentos e camadas a macroporosidade apresentou valores maiores que 0,10 m³.m⁻³, limite mínimo crítico sugerido por Xu, Nieber e Gupta (1992) para o bom desenvolvimento vegetal.

Ao avaliar a microporosidade do solo, verificou-se a diferença significativa entre os tratamentos em todas as camadas analisadas, apresentando maiores médias nas camadas superficiais.

Nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10m o tratamento Mata nativa apresentou maiores médias em comparação aos demais tratamentos, já nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40m o tratamento que se destacou foi o SAF 2014.

Para todas as camadas analisadas, o tratamento pousio apresentou as menores médias de microporosidade, com exceção da camada de 0,10 a 0,20m que apresentou valores inferiores no tratamento SAF 2018.

Altos valores de microporosidade representam estágio de degradação do solo, sendo que a distribuição adequada de micro e macroporos, segundo Kiehl (1979), seja de ²/₃ de microporosidade (aproximadamente 33,5%) e ¹/₃ de macroporosidade (aproximadamente 16,5%) dos 50% ocupados pelo espaço poroso do solo.

De acordo com Alves (2001), a modificação da macroporosidade altera tanto a microporosidade quanto a porosidade total. Uma vez iniciado o processo de degradação e desestruturação do solo, o resultado é imediato, provocando o aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade. Ainda, segundo Alves (2001), a soma da macro e microporosidade correspondem à porosidade total do solo, no entanto, quando apresentada em

altos valores, a porosidade total não representa se o solo está em condição adequada. Dessa forma, a distribuição do tamanho de poros é uma informação extremamente importante para realizar a avaliação da qualidade estrutural do solo.

Como verificado por Kitamura *et al.* (2008) quando ocorre a diminuição da macroporosidade, solos degradados respondem com aumento de compactação, e esse resultado é indicado pelo aumento da densidade do solo.

Foi possível constatar nesse estudo, que os sistemas que priorizaram ações conservacionistas e a implantação de espécies arbóreas, influenciaram positivamente a microporosidade.

Para a porosidade total, estatisticamente houve diferença significativa apenas na camada de 0,00-0,05m no tratamento Mata nativa, com maiores valores apresentados, sendo estes valores próximos aos SAF 2014 e 2018. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo alto teor de material orgânico presente na superfície do solo.

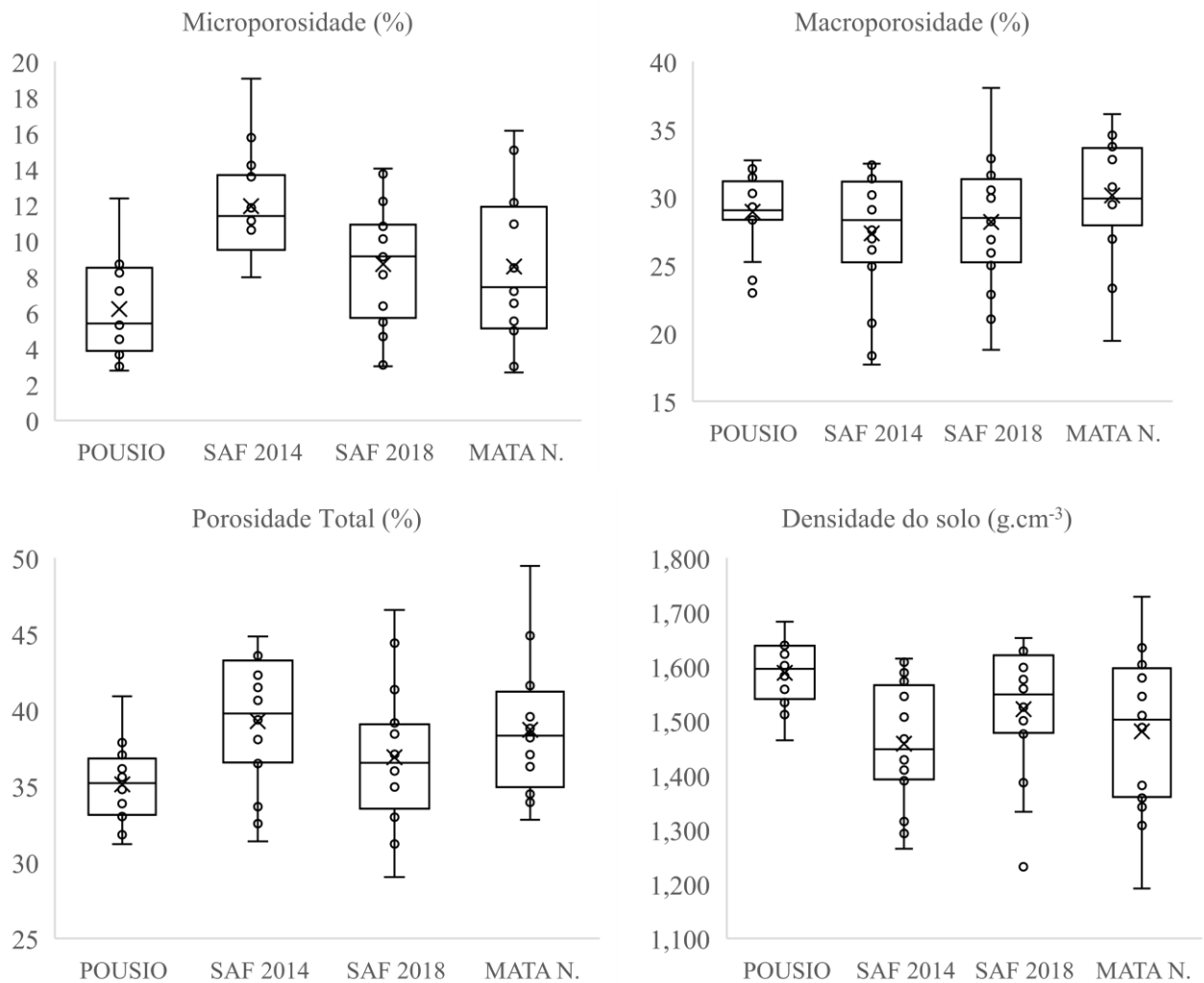
Nas camadas seguintes não houve diferença estatística entre os tratamentos, mantendo os valores de 0,33 a 0,39 $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$; destacando o tratamento SAF 2014 para as camadas de 0,05 a 0,20m e Mata nativa para camada de 0,20 a 0,40m.

O tratamento SAF 2014 apresentou menor densidade do solo para todas as camadas, com exceção da camada de 0,05 a 0,10m, apresentando menor valor no tratamento Mata nativa. Foi possível observar que houve a redução da D_s nas áreas com presença de espécies arbóreas, isso pode ser atribuído a inserção de material orgânico e conseqüentemente proximidade à condição natural do solo.

Em áreas de vegetação natural há uma grande diversidade de espécies vegetais e animais, devido a isso ocorre também a diversidade de organismos presentes no solo, contribuindo diretamente para o desenvolvimento adequado da porosidade e redução da densidade do solo (ROSSETTI; CENTURION, 2018).

Os resultados expressos na Figura 3, referem-se às médias de porosidade e densidade do solo, relacionados a suas respectivas áreas e porcentagens.

Figura 3. Gráficos Box Splot, referente à porcentagem da porosidade e densidade do solo, para cada variável entre os tratamentos. Panorama -SP, dezembro de 2021.



Fonte: Santos (2022).

5.2 Estabilidade de agregados em água

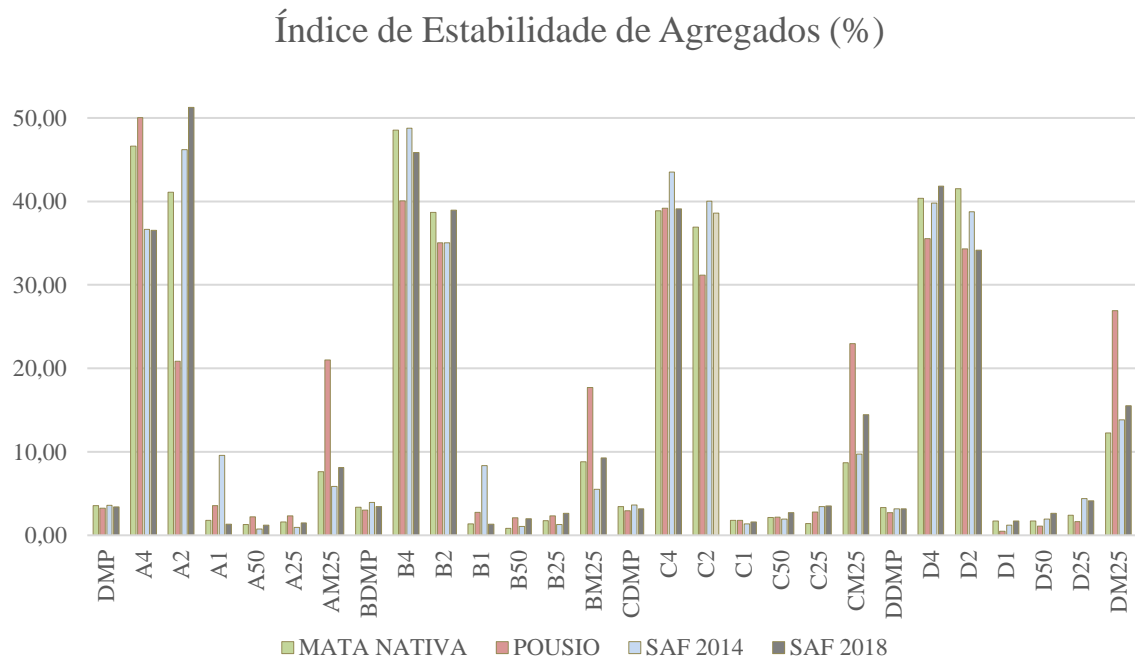
Na figura 4 e tabela 5, estão os resultados da estabilidade de agregados, no qual os agregados com diâmetro de 4 mm obtiveram diferença estatística nas camadas de 0,00-0,05m e 0,20-0,40m apresentando maiores médias nos tratamentos Pousio e SAF 2018, respectivamente. Os agregados com diâmetro de 2 mm também apresentaram diferença estatística, no entanto, apenas na camada de 0,00-0,05m, sendo as maiores médias apresentadas no tratamento SAF 2018, em comparação aos demais tratamentos. Para as demais camadas, os tratamentos com presença de árvores apresentaram melhores resultados que o tratamento pousio.

A média de agregados com diâmetro menor que 2 mm foi predominante no tratamento Pousio, que apresentou maior valor em todas as camadas.

De acordo com Cavalcante *et al.* (2019), quando presente a cobertura presente na superfície do solo, se mostra eficaz na redução, podendo inclusive evitar o impacto das gotas de chuva, proporcionando uma rugosidade hidráulica e diminuindo o escoamento superficial de água (HUI *et al.*, 2010; ZHAO *et al.*, 2016; CANTALICE *et al.*, 2017), a presença de cobertura, assim como a copa das árvores auxiliam na conservação da umidade no solo, propiciando um ambiente favorável à agregação desse (COSTA *et al.*, 2015).

As partículas primárias sofrem grande influência da matéria orgânica e outros agentes cimentantes que são favorecidos pelos oxihidróxidos de Fe e Al e pela forte interação com caulinita nos solos de clima tropical (SILVA; MENDONÇA, 2007). A estabilização e formação dos microagregados é realizada através de interações físico-químicas em companhia das ligações argilo-metal-húmicas (TISDALL; OADES, 1982; OADES, 1989; BASTOS *et al.*, 2005; SILVA; MENDONÇA, 2007). A desaceleração da entrada de água nos agregados auxilia na diminuição de desagregação, conseqüentemente aumentando a resistência dos agregados quando em contato com a água, isso pode ser atribuído à ação da MOS humificada (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Figura 4. Gráfico de colunas, referente índice de estabilidade de agregados do solo, para cada tamanho entre os tratamentos. Panorama -SP, dezembro de 2021.



Fonte: Santos (2022).

Legenda: DMP – diâmetro médio ponderado; A – camada 0,00 – 0,05m; B – camada 0,05 – 0,10m; C – camada de 0,10 – 0,20m; D – camada de 0,20 – 0,40m. 4, 2, 1, 0,5, 0,25 e DM25 correspondem ao tamanho dos agregados em mm.

Tabela 5. Valores do teste F, CV (%) e valores médios do diâmetro médio ponderado e diâmetro das peneiras de 4; 2; 1; 0,5; 0,25 e < 0,25 mm, dos tratamentos estudados nas camadas de solos (0-0,05; 0-05,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40m), Panorama -SP, dezembro de 2021.

Tratamentos	DMP (mm)	4 mm	2 mm	1 mm	0,5 mm	0,25 mm	< 0,25 mm
	0,00-0,05 m						
MATA NATIVA	3,562	46,620 ab	41,107 ab	1,775 b	1,292 b	1,587	7,617 b
SAF 2014	3,590	36,667 b	46,207 a	1,960 b	0,747 b	0,947	5,862 b
SAF 2018	3,410	36,550 b	51,225 a	1,537 b	1,227 b	1,490	8,132 b
POUSIO	3,232	50,045 a	20,870 b	2,802 a	2,222 a	2,312	20,987 a
F trat.	3,348 ^{NS}	5,992*	6,885*	8,661*	9,961*	3,119 ^{NS}	15,049 ^{NS}
CV (%)	5,21	13,30	25,47	18,53	18,74	20,11	23,69
0,05-0,10 m							
MATA NATIVA	3,370 b	48,525	38,682	1,382 b	0,832	1,765	8,807 b
SAF 2014	3,925 a	48,775	35,042	0,917 c	1,047	1,277	5,520 b
SAF 2018	3,447 ab	45,870	38,952	1,327 bc	1,972	2,617	9,262 b
POUSIO	3,035 b	40,070	35,042	2,742 a	2,087	2,340	17,717 a
F trat.	9,361*	1,592 ^{NS}	0,757 ^{NS}	61,460*	4,131 ^{NS}	3,711 ^{NS}	32,519*
CV (%)	6,97	14,00	13,58	12,72	22,22	21,06	17,67
0,10-0,20 m							
MATA NATIVA	3,447 a	38,875	36,927	1,772	2,132	1,412	8,677 b
SAF 2014	3,637 a	43,527	40,010	1,352	1,945	3,450	9,712 b
SAF 2018	3,182 b	39,097	38,600	1,602	2,722	3,515	14,460 b
POUSIO	2,930 c	39,190	31,157	1,780	2,160	2,770	22,950 a
F trat.	50,420*	0,517 ^{NS}	2,892 ^{NS}	0,941 ^{NS}	0,430 ^{NS}	2,892 ^{NS}	19,413*

CV (%)	2,64	15,51	12,47	25,41	25,70	27,65	21,17
0,20-0,40 m							
MATA NATIVA	3,327 a	40,377 a	41,512	1,720 a	1,722 ab	2,402 ab	12,262 b
SAF 2014	3,152 a	39,817 ab	38,777	1,227 ab	1,942 ab	4,412 a	13,825 b
SAF 2018	3,180 a	41,837 a	34,160	1,700 a	2,642 a	4,130 a	15,530 b
POUSIO	2,710 b	35,557 b	34,300	0,500 b	1,100 b	1,617 b	26,922 a
F trat.	10,388*	0,124*	2,886 ^{NS}	4,978*	4,797*	5,821*	51,225*
CV (%)	5,34	5,37	11,38	19,83	21,38	25,61	10,86

Fonte: Santos (2022).

*significativo a 5% de probabilidade e NS não significativo. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

5.3 Grau de Flocculação e argila dispersa em água

Os dados que se referem ao Grau de Flocculação (GF) estão dispostos na tabela 6. o valor do tratamento SAF 2018 foi maior na camada de 0,00-0,05 e 0,10-0,20m, apresentando diferença significativa para a primeira camada citada enquanto para a segunda, apesar de maior média, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Na camada de 0,05-0,10m a maior média foi do tratamento Mata nativa, não diferindo estatisticamente do tratamento SAF 2018.

Na camada de 0,20-0,40m o tratamento pousio apresentou maior média, não diferindo significativamente dos demais tratamentos.

Apenas para o SAF 2018, ocorreu a redução gradativa do GF entre as camadas conforme a profundidade aumentava, o que não aconteceu nos demais tratamentos como Mata nativa e Pousio que houve o inverso, aumento do GF à medida que se aprofundaram as camadas.

Quanto à Argila Dispersa em Água (ADA) houve diferença significativa apenas nas primeiras camadas (0,00-0,05 e 0,05-0,10m), o tratamento pousio apresentou maiores médias. No entanto, para os tratamentos SAF 2014 e 2018, houve aumento da ADA à medida que aumentava a profundidade do solo.

Tabela 6. Valores médios do grau de floculação (%) e argila dispersa em água (%), CV (%) e teste F a 5% de probabilidade. Panorama - SP. Dezembro de 2021.

Tratamento	Grau de floculação (%)			
	(0,00-0,05 m)	(0,05-0,10 m)	(0,10-0,20 m)	(0,20-0,40 m)
MATA NATIVA	60,115 b	86,637 a	80,330	60,622
SAF 2014	44,735 b	55,067 b	55,870	42,197
SAF 2018	88,150 a	83,290 a	82,145	55,502
POUSIO	48,130b	60,297 b	69,922	71,150
F TRAT	10,776*	13,027*	4,024 ^{NS}	1,617 ^{NS}
CV (%)	19,93	12,39	16,69	22,98
Tratamento	Argila dispersa em água (%)			
	(0,00-0,05 m)	(0,05-0,10 m)	(0,10-0,20 m)	(0,20-0,40 m)
MATA NATIVA	14,390 ab	8,660 bc	11,670	25,730
SAF 2014	13,032 b	15,410 ab	23,732	25,305
SAF 2018	4,967 c	6,540 c	11,527	21,217
POUSIO	21,830 a	16,587 a	14,840	20,915
F TRAT	14,642*	9,721*	2,979 ^{NS}	0,258 ^{NS}
CV (%)	26,64	6,91	23,03	23,59

Fonte: Santos (2022).

*significativo pelo método de Tukey (5%). Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si.

Segundo Alleoni e Camargo (1994), valores do grau de floculação se aproximando de 100% e a argila dispersa mais próximas de 0%, normalmente observados no horizonte B de Latossolos oxídicos, que possuem microestruturas fortalecidas, correspondem aos dados desse estudo. Esses valores afirmam que camadas superficiais do solo possuem maior quantidade de MO e conseqüentemente, maior será o valor do GF. De acordo com Cruz et al. (2014) obtiveram valores médios de 73% de GF na camada de 0-0,10m, 72% na camada 0,10-0,20m e 60% na camada de 0,20-0,40m, em floresta no Argissolo Amarelo, no estado de Roraima. Sendo associado que, quanto maior o GF, ou seja, mais próximo a 100%, maior será o teor de MO.

O alto teor do grau de floculação e o baixo teor de argila dispersa, são indicativos de boa estabilidade estrutural, influenciando diretamente na suscetibilidade do solo na ocorrência dos processos de compactação, demonstrando assim que os resultados desse trabalho corroboram com a relação citada evidenciando uma melhor qualidade estrutural nos sistemas com espécies arbóreas inseridas.

5.4 Infiltração de água no solo

As médias observadas e estatística da taxa de infiltração estão dispostas na tabela 7, e apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, no qual o tratamento Pousio apresentou maior média. O tratamento pousio, apesar do histórico de pisoteio animal, apresentou maior taxa de infiltração de água no solo, podendo o resultado ser atribuído ao período em descanso, que ocorreu o desenvolvimento de espécies espontâneas com sistemas radiculares distintos, além da deposição de material orgânico oriundo das roçadas e processos naturais, além de não haverem ações antrópicas na área a médio prazo.

Os valores obtidos em todos os tratamentos estão próximos aos valores de taxa de infiltração de Brandão *et al.* (2012) os quais indicam que solos com textura média apresenta infiltração constante entre 38,1 a 111,8 cm.h⁻¹.

Tabela 7. Valores de CV (%) e teste F a 5% de probabilidade e valores médios da taxa de infiltração da água no solo. Panorama - SP. Dezembro de 2021.

Tratamento	Taxa de infiltração (cm/h)
MATA NATIVA	41,85 c
SAF 2014	63,88 bc
SAF 2018	75,27 ab

POUSIO	98,68 a
F trat	0,00*
CV (%)	16,89

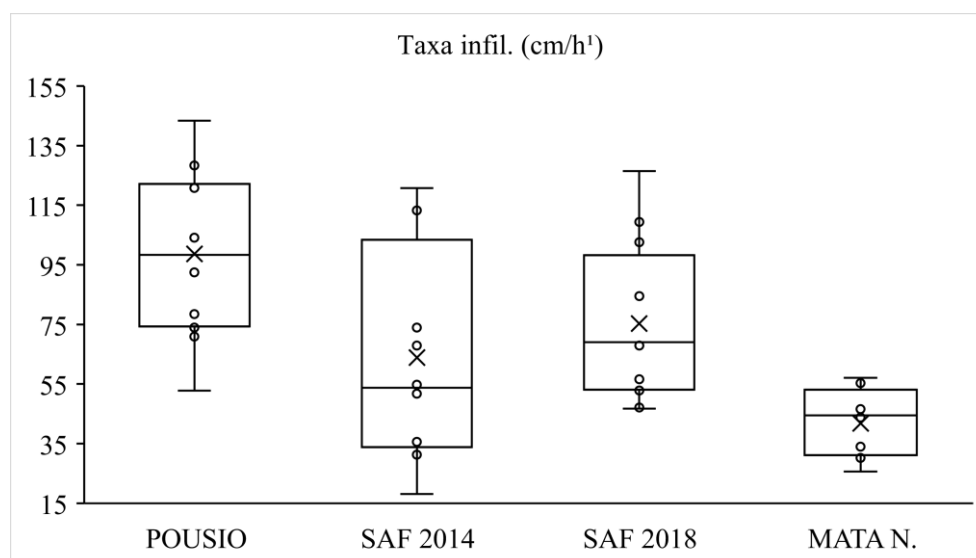
Fonte: Santos (2022).

*significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O processo de degradação física do solo, propicia seu selamento e influenciado pelo impacto das gotas da chuva, resulta na redução da taxa de infiltração (LAL, 1974). Souza e Alves (2003) citam que a adoção de técnicas conservacionistas, estão dentre as alternativas para diminuição do efeito causado pelo impacto das gotas da chuva e/ou irrigação, isso porque priorizam uma menor mobilização do solo e propiciam elevada proteção da superfície com os resíduos culturais.

Segundo Silva (2003) solos que apresentam maior macroporosidade permitem elevada movimentação de água no solo, devido à área de transporte ser mais extensa. Considerando também à relação ao movimento de água no solo, não é somente o tamanho do poro, mas a continuidade dos mesmos, pois pequenos poros podem conduzir mais água quando estes são contínuos.

Figura 5. Gráfico Box Plot, referente à taxa de infiltração de água no solo, entre os tratamentos. Panorama -SP, dezembro de 2021.



Fonte: Santos (2022).

Os valores de infiltração em todos os tratamentos estão dentro da taxa estável como determinado por Rawls *et al.*, (1996), pois em solos de textura arenosa quando

utilizadas para pastagem é recomendável que a taxa de infiltração esteja na faixa de 38,1 até 111,8 cm.h⁻¹ e 38,1 até 94,0 cm.h⁻¹ para áreas cultivadas.

5.5 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo

Na tabela 8, estão dispostos os dados referentes ao Carbono orgânico, avaliado através do fracionamento físico da matéria orgânica do solo.

Tabela 8. Valores de CV (%) e teste F a 5% de probabilidade e valores médios do fracionamento físico da matéria orgânica. Panorama - SP. Dezembro de 2021.

Tratamento	CO (g.kg ⁻¹)
MATA NATIVA	6,68 a
SAF 2014	2,95 b
SAF 2018	2,63 b
POUSIO	3,70 ab
F trat	0,008 *
CV (%)	19,2

*significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Estudos relatam que a FP é pouco transformada pelo uso e manejo do solo em curto espaço de tempo. Desse modo, o CO da Mata Nativa, apresentou uma ciclagem de nutriente mais lenta, afirmando o dado de Bayer *et al.* (2004) e Santos *et al.* (2012). Em consequência disso, o conteúdo de CO pode estar em alto grau de decomposição e estabilização, especialmente pelas interações entre as partículas minerais (BALDOCK; SKEJMSTAD, 2000). O tratamento Mata Nativa não sofreu interferências antrópicas e o acúmulo de MO proveniente da serrapilheira, podendo ter favorecido o maior teor de CO em comparação aos demais tratamentos.

Em trabalhos realizados por Silva e Mendonça (2007), os autores indicam que sistemas que foram submetidos a poucos processos de revolvimento do solo, se beneficiam com o incremento do CO da FP-areia no ambiente, sendo essa fração formada por diversos resíduos vegetais ou proveniente de outros materiais que se adeririam à superfície das partículas, sendo facilmente propenso à ação de microrganismos, em comparação às demais FP.

Em solos em situação de degradação e presentes em climas com temperaturas elevadas, presume-se a ausência ou baixa cobertura superficial de palhada devido aos

processos acelerados de decomposição do material orgânico, assim a temperatura tem potencial de influenciar negativamente o solo, reduzindo o teor de água e a capacidade de absorver nutrientes (ASHAGRIE *et al.* 2007).

Os tratamentos com SAF's implantados apresentaram menores médias em comparação aos demais tratamentos, uma das possibilidades que expliquem a redução de CO₂, é atividade microbiológica que está relacionada com a redução da MO. Os microrganismos realizam a oxidação dos materiais orgânicos que foram expostos através do manejo cultural (SPACCINI *et al.*, 2006), como é o caso desses sistemas onde há irrigação de manuseio dos canteiros, também de acordo com Cardelli *et al.* (2012), os autores salientaram que, assim como o conteúdo e a qualidade da MO, a bioquímica é afetada, especialmente quando o sistema natural é modificado para pastagem ou demais culturas.

5.6 Fertilidade do solo

Os resultados dos atributos químicos do solo nos tratamentos avaliados estão representados na tabela 9.

Tabela 9. Atributos químicos do solo, nas camadas de 0,00-0,05 m; 0,05-0,10m; 0,10-0,20m e 0,20-0,40m. Panorama, SP. Dezembro de 2021.

Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,00-0,05 m											
	P - resina mg/dm ³	MO g/dm ³	pH CaCl ₂	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	H+Al	Al	SB	CTC mmolc/dm ³	V %	m %
MATA NATIVA	13,5	20,0	5,4	2,5	20,5	9,8	14,3	0,0	32,7	47,0	68,3	0,0
SAF 2014	10,8	16,0	5,1	1,0	18,3	6,3	15,3	0,5	25,5	40,8	62,5	1,8
SAF 2018	14,3	15,0	5,5	2,1	14,0	9,5	12,3	0,0	25,6	37,8	66,3	0,0
POUSIO	17,8	13,8	5,3	3,1	10,8	8,5	12,8	0,0	22,3	35,1	62,8	0,0
Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,05-0,10 m											
	P - resina mg/dm ³	MO g/dm ³	pH CaCl ₂	K mmolc/ dm ³	Ca mmolc/ dm ³	Mg mmolc/ dm ³	H+Al	Al	SB	CTC mmolc/dm ³	V %	m %
MATA NATIVA	7,5	14,0	5,8	2,0	16,5	8,3	12,3	0,0	26,8	39,0	68,8	0,0
SAF 2014	12,0	13,0	5,2	0,9	17,5	5,3	13,5	0,3	23,6	37,1	63,3	1,3
SAF 2018	6,8	10,8	5,5	1,8	9,3	6,8	11,3	0,0	17,8	29,0	61,3	0,0
POUSIO	15,5	11,3	5,3	2,6	10,8	5,5	15,0	0,5	18,8	33,8	55,8	2,8
Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,10-0,20 m											
	P - resina mg/ dm ³	MO g/ dm ³	pH CaCl ₂	K mmolc/ dm ³	Ca mmolc/ dm ³	Mg mmolc/ dm ³	H+Al	Al	SB	CTC mmolc/dm ³	V %	m %
MATA NATIVA	5,5	12,0	5,4	1,7	11,5	6,0	12,5	0,3	19,2	31,7	60,8	1,0
SAF 2014	10,3	11,3	5,4	0,8	15,5	12,5	12,5	0,3	21,8	34,3	62,3	1,3
SAF 2018	5,8	10,0	5,4	1,3	8,3	6,8	11,8	0,0	16,3	28,0	58,0	0,0
POUSIO	9,0	9,8	5,4	1,9	11,8	3,5	12,8	0,3	17,1	29,9	56,5	1,3
Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,20-0,40 m											
	P - resina mg/ dm ³	MO g/ dm ³	pH CaCl ₂	K mmolc/ dm ³	Ca mmolc/ dm ³	Mg mmolc/ dm ³	H+Al	Al	SB	CTC mmolc/dm ³	V %	m %
MATA NATIVA	3,8	10,5	5,4	1,4	10,3	5,8	11,8	0,0	17,4	29,2	59,5	0,0
SAF 2014	7,8	9,5	5,6	0,6	13,0	5,8	10,8	0,0	19,4	30,1	64,0	0,0

SAF 2018	4,5	9,5	5,3	1,2	7,8	5,3	12,0	0,3	14,2	26,2	53,8	1,8
POUSIO	5,3	8,8	5,5	1,4	10,8	3,3	11,3	0,0	15,4	26,7	57,8	0,0

Fonte: SANTOS, 2022.

A análise do solo, representada na tabela 9, evidenciou que os teores de Ca, em sua maioria, são mais altos que Mg e K, em virtude da sua maior disponibilidade proveniente dos materiais introduzidos na área de estudo e possuir característica de afinidade com superfícies trocáveis no solo, esse fato também foi observado por Aquino (2014). A mata nativa apresentou maior teor entre os tratamentos na camada de 0,00-0,05m em seguida, o SAF 2014 nas demais camadas. Este resultado está relacionado com o aporte de MO no solo, proveniente da deposição de material orgânico (SILVA *et al.*, 2012; RIBEIRO *et al.*, 2019; BUTZKE *et al.*, 2020).

A análise química mostrou que o K possui valores médios a alto na camada de 0,00-0,05m e de médio a baixo nas demais camadas, para todos os tratamentos. O teor de P está em todas as camadas do solo e tratamentos. O Mg apresenta teores de médio a alto em todas as camadas e tratamentos, com exceção do tratamento pousio na camada de 0,10-0,20m.

Esses resultados se aproximam aos valores do P e K e confirmam os teores de Mg, dos trabalhos de Silva *et al.* (2012) e Ribeiro *et al.* (2019), que observaram que o estoque de serrapilheira, sob manejo agroflorestal, é capaz de acrescentar os teores de P, K e Mg na superfície do solo comparando com o sistema de Mata Nativa.

A faixa de pH está entre o neutro e levemente ácido, abaixo da faixa considerado ideal agronomicamente (5,5-6,5) portanto, a absorção dos nutrientes, é afetada negativamente. Os valores de pH possuem relação inversamente proporcional ao Al^{+3} ou seja, quanto mais alto o valor de pH menor será o Al^{+3} . Essa relação ocorreu em todas as camadas e tratamentos analisados.

O teor de MO diminuiu de acordo com a profundidade do solo em todos os tratamentos, em consequência da deposição proveniente de material orgânico de origem vegetal ou animal nas camadas superiores do solo. Verificou-se que a MO está relacionada com a CTC em todas as camadas e tratamentos. A Mata Nativa apresentou o maior teor de MO em todas as camadas analisadas. Esses resultados corroboram com os dados de GF, ADA desse mesmo trabalho, afirmando a ligação entre os atributos químicos com os atributos físicos do solo.

De acordo com Costa et al. (2015), as características químicas do solo em sistemas integrados são resultado do maior aporte de resíduos decompostos na camada superficial do solo, disponibilizam nutrientes no sistema, estimulando a atividade biológica.

A CTC, SB e $H+Al$, estão relacionados diretamente em razão de serem interdependentes para determinação dos atributos químicos do solo, dessa forma, corresponderam com altos teores em todas as camadas avaliadas e tratamentos.

Para a saturação por bases (V%), apresentou valores médios. Para todas as camadas, os teores de V% foram superiores nos tratamentos com componentes florestais e maior biodiversidade.

O SAF 2014 se destacou nas profundidades de 0,05 a 0,40m apresentando maiores teores de P, no entanto abaixo do ideal na maioria das profundidades e tratamentos.

Os solos tropicais são caracterizados pelos baixos teores de P disponível e alto grau de intemperismo (BONSER *et al.*, 1996; ROCHA *et al.*, 2005). É comumente encontrado no Brasil, solos ácidos que promovem a deficiência em P. Essa baixa disponibilidade e o reduzido aporte de P orgânico proveniente de resíduos decompostos no perfil superficial do solo, afirmaram as premissas descritas na literatura.

6 CONCLUSÃO

Os sistemas com espécies arbóreas inseridas, Mata Nativa, SAF's 2014 e 2018, apresentaram maiores contribuem para a melhoria dos atributos físicos do solo, demonstrando impactos positivos quanto à qualidade física do solo, ressaltando a sustentabilidade e preservação do solo através dos Sistemas Agroflorestais (SAF).

A macroporosidade observada nos sistemas com espécies arbóreas, Mata nativa e os Sistemas Agroflorestais implantados, se destacaram na profundidade de 0,20 m em relação ao Pousio, evidenciando o desempenho positivo do sistema radicular das espécies inseridas na melhoria da qualidade física do solo.

Avaliações do estoque de carbono orgânico apresentaram o tratamento mata nativa semelhante ao tratamento pousio, enquanto para os atributos químicos, os tratamentos Mata Nativa e SAF's (2014 e 2018), apresentaram melhores médias, em comparação ao tratamento pousio.

Foi possível observar nesse trabalho que áreas de pousio, podem ser evitado nos solos arenosos, visto que sistemas que propiciem maiores teores de materiais orgânicos resultam em melhorias na conservação do solo, ou seja, menor perda de C do solo, maior capacidade de estocar água devido a proteção do solo com cobertura vegetal na superfície, tendência à aumento da atividade microbiana e atividade enzimática, propiciada pela presença de substrato e indicando o favorecimento quanto à qualidade do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.717-723, 2001.
- ALCÂNTARA, F. A. **Manejo agroecológico do solo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 28 p.
- ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos de Latossolos Ácricos do Norte Paulista. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, p.321-326, 1994.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3ª ed. rev, ampl. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA, 2012. 400p.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592 p.
- ALTIERI, M. A. **Agroecology: the Science of sustainable agriculture**. Boulder, CO: Westview, 1995.
- ALTIERI, M. A.; ANDERSON, M. K.; MERRICK, L. C. Peasant agriculture and the conservation of crop and wild plant resources. **Conservation Biology**, Oxford, v. 1, n. 1, p. 49-58, 1987.
- ALTIERI, M. A.; FUNES-MONZOTE, F. R.; PETERSEN, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. **Agronomy For Sustainable Development**, Paris, v. 32, p.1-13, 2012.
- ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVEZ, M.C.; CARVALHO, D. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 6, p. 191- 196, 2003.
- ALVES, M. C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira - SP**. 2001. 83 f. Tese (Livre Docência em Solos) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.
- ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2505-2516, 2008.
- ANDRADE JÚNIOR, R. T. **Propriedades Físico-químicas de um solo em Recuperação e adaptação da *Brachiaria decumbens***. 2004. 49 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

- ANDREWS, S.S.; KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C.A. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, Wis, v.68, p.1945-1962, 2004.
- ANDRIOLI, I. **Plantas de cobertura em pré-safra à cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP**. 2004. 78f. Tese (Livre-Docente) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.
- ANGERS, D.A.; MEHUYS, G.R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M.R. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. **Lewis Publishers**, Boca Raton, Florida. p.529-539. 2000.
- AQUINO, R. E. **Características de atributos do solo em ambientes da região sul do estado do Amazonas**. 2014. 95 fDissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p.337-345.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p. 425-435, 2005.
- ARMINDO, R. A.; WENDROTH, O. Physical soil structure evaluation based on hydraulic energy functions *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.80, p. 1167-1180, 2016.
- ASHAGRIE, Y., ZECH, W., GUGGENBERGER, G., MAMO, T. Soil aggregation and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p.101-108, 2007.
- BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, p. 697-710, 2000.
- BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1471-1478, 2008.
- BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p. 21-31, 2005.

- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 677-683, 2004.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. *In*: Santos, G.A.; Silva, L.S; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, p. 7-18. 2008.
- BELL, C.L. Management of soils and overburden for plant growth medium reconstruction after mining. (Ed.) Recuperação de Áreas Degradadas. Viçosa UFV/Depto. de Solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. p. 117-129, 1998.
- BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal Soil Science**, Baltimore, v. 41, n. 3, p. 341-58, 1990.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.
- BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, p. 2637-2654, 2013.
- BLAUD, A.; VAN DER ZAAAN, B.; MENON, M.; LAIR, G.J.; ZHANG, D.; HUBER, P.; SCHIEFER, J.; BLUM, W.E.H.; KITZLER, B.; WEI, E.H.; VAN GAANS, P.; BANWART, S. The abundance of nitrogen cycle genes and potential greenhouse gas fluxes depends on land use type and little on soil aggregate size. **Appl. Soil Ecol**, Amsterdam, 125, p.1-11, 2018.
- BONINI, C. S. B.; HEINRICHS, R.; COSTA, N. R.; MEIRELLES, G. C. Estado da arte e fatores intrínsecos na física de solos no manejo de pastagens. *In*: Reges Heinrichs; Cecilio Viega Soares Filho; Carolina dos Santos Batista Bonini. (Org.). **Simpósio de Adubação e Manejo de Pastagens / Simpósio de Produção Animal a Pasto**. 1ed.São Paulo: Cultura Acadêmica, 2017, v. 1, p. 58-75.
- BONINI, C. S. B.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; HEINRICHS, R.; ARANHA, A. S.; SANTANA, E. A. R.; MEIRELLES, G. C. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 7, p. 1695-1698, 2016.
- BONSER, A. M.; LYCH, J. P.; SIEGLINDE, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. **New Phytologist**, Cambridge, v. 132, p. 281-288, 1996.
- BORGES, J.A.R.; PIRES, L.F.; CASSARO, F.A.M.; AULER, A.C.; ROSA, J.A.; HECK, R.J.; ROQUE, W.L.X-ray computed tomography for assessing the effect of tillage systems on topsoil morphological attributes **Soil Tillage Res.**, Amsterdam, n. 189, p. 25-35, 2019.

- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Uma visão ecossistêmica do processo de restauração ecológica. *In*: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ, Instituto BioAtlânticap, 2009. 78p.
- BRANDÃO, V.S.; CECILIO, R. A.; PRUSKI, F.F. & SILVA, D. D. **Infiltração da Água no Solo**. 3 ed. Viçosa, MG: UFV. 2012. 120f.
- BRASIL. Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012. 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 out. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7830.htm. Acesso em: 13 fev. 2022.
- BRASIL, 2009. Instrução Normativa n.º 4, de 8 de setembro de 2009. **Diário oficial da união**, 09 set. 2009.
- BRASIL. 2010. Resolução CONAMA n.º 425, **Diário oficial da união**, Brasília, 25 maio 2010.
- 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.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Plano safra 2017/2020: fortalecer o campo para desenvolver o Brasil**. Brasília: MDA. Disponível em: www.mda.gov.br/sitemda/plano-safra-daagricultura-familiar-20172020. Acesso em: 27 de fev. 2022.
- BUTZKE, A. G.; OLIVEIRA, T. K.; PAULA, A. E. B.; FIUZA, S. S.: Fertilidade e carbono orgânico do solo em sistemas agroflorestais de duas décadas compostos de castanheira, cupuçuzeiro e pupunheira na Amazônia Ocidental. **Revista de Ciências Agrárias**, Jaboticabal, v.48, n.2, p.160-169, 2020.
- CALGARO, H.F.; CAMBUIM, J.; SILVA, A.M.; ALVES, M.C.; BUZETTI, S.; MORAES, M.A.; CARVALHO, S.L.; MIRANDA, L.P.M.; MORAES, M.L.T. Distribuição natural de espécies arbóreas em áreas com diferentes níveis de antropização: atributos físicos do solo. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.24, p.327-344, 2015.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 77 p.
- CANTALICE, J.R.B.; SILVEIRA, F.P.M.; SINGH, V.P.; SILVA, Y.J.A.B.; CAVALCANTE, D.M.; GOMES, C. Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands. **Catena**, Amsterdam, v.148, p.11–116, 2017.

CARDELLI R., MARCHINI F., SAVIOZZI A. Soil organic matter characteristics, biochemical activity and antioxidant capacity in Mediterranean land use systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, p. 8-14, 2012.

CARVALHO, R. M. Recomendação de controle ambiental na exploração de jazidas de laterita no Planalto Central. *In: ENCONTRO IBERO-AMERICANO DE UNIDADES AMBIENTAIS DO SETOR TRANSPORTES*, 3., 1998, Florianópolis. **Resumos [...]** Florianópolis: DER, 1998.CD-ROM.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. (1998) Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, p.527-538.

CAVALCANTE, D.M.; CASTRO, M.F. de; CHAVES, M.T.L.; SILVA, I.R. da; OLIVEIRA, T.S. de. Effects of rehabilitation strategies on soil aggregation, C and N 84 distribution and carbon management index in coffee cultivation in mined soil. **Ecological Indicators**, Amsterdã , v.107, 105668, 2019.

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

CHEN, S.; RICHER-DE-FORGES, A.C.; SABY, N.P.A.; MARTIN, P.; WALTER, C.; ARROUAYS, D. Building a pedotransfer function for soil bulk density on regional dataset and testing its validity over a larger area, **Geoderma**, Amsterdã, 312, p. 52-63, 2018.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advance in Soil Science**, New York, v. 20, p. 1-90, 1992.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 777– 788, 2005.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 852-863, 2015.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n.8, p.1038-1047, 2012.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, K.L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M.; BONINI, C. dos S.B.; LONGHINI, V.Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.39, p.852-863, 2015.

CRUZ, D. L. S. **Influência dos sistemas integrados de produção nas características químicas e físicas de um argissolo**. 2017. 218 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2017.

CRUZ, D.L.S.; VALE JÚNIOR, J.F.; CRUZ, P.L.S.; CRUZ, A.B.S.; NASCIMENTO, P.P.R.R. Atributos físico-hídricos de um Argissolo amarelo sob floresta e savana naturais convertidas para pastagem em Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 307-314, 2014.

DENARDIN, José Eloir; D'AGOSTINI, L. R. Qualidade do manejo do solo. In: Embrapa Trigo-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: **WORKSHOP DA REDE DE PESQUISA SOLOVIVO**, 2018, Curitiba. Indicadores de qualidade da gestão de áreas com sistema plantio direto: palestras e resumos. **Anais [...]** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2019. p. 14-27, 2019.

DING, G.C.; PRONK, G.J.; BABIN, D.; HEUER, H.; HEISTER, K.; KOGEL-KNABNER, I.; SMALLA, K. Mineral composition and charcoal determine the bacterial community structure in artificial soil. **FEMS Microbiol. Ecol.**, Oxford, v. 86, p. 15-25, 2013.

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.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 1-20.

DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. 411p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Viale delle Terme di Caracalla, Rome, Italy 2006.
FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69-116, 1997.

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

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Status of the world's soil resources: main report**. Roma: FOA. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>. Acesso em: 06 jun 2022.

FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.29, p.897-903, 1997.

GALDOS, M.; PIRES, L.F.; COOPER, H.V.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A.; MOONEY, S.J. Assessing the long-term effects of zero-tillage on the macroporosity of Brazilian soils using X-ray Computed Tomography. **Geoderma**, Amsterdã, 337, p. 1126-1135, 2019.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S. (1999) Alterações edáficas sob plantios puros e misto de espécies florestais nativas do Sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v.23, p.581-592, 1999.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; PAULINO, G.M.; FRANCO, A.A. (2008) Atributos Químicos e Microbiológicos de Solos sob Diferentes Coberturas Vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v.32, p.1521-1530, 2008

GAO, J., FENG, J., ZHANG, X., YU, F.H., XU, X., KUZYAKOV, Y. Drying-rewetting cycles alter carbon and nitrogen mineralization in litter-amended alpine wetland soil. **Catena**, Amsterdã, v. 145, p. 285–290, 2016.

GARDNER, C.M.K.; LARYEA, K.B.; UNGER, P.W. **Soil physical constraints to plant growth and crop production**. Rome: FAO, 1999.106 p.

GARNER, E.; O CAMPOS, A. de la. **Identifying the family farm. An informal discussion of the concepts and definitions**. Rome: FOA, 2014, n. 14-10.

GAVANDE, S.A. **Física del suelos: principios y aplicaciones**. Ciudad del México: Editorial Limusa, 1976. 351 p.

GENRO JÚNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 477-484, 2004.

GIL, I. C. **Nova Alta Paulista: do desenvolvimento contido ao projeto político regional (1930-2007)**. 2ªed. São Paulo: Scortecci, 2015.

GOMES, D.S. **Estoque de carbono e nitrogênio em classes de agregados e em solos sob diferentes sistemas florestais no Norte Fluminense**. 2014. 51 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Rio de Janeiro, 2014.

GÖTSCH, E. **Break-through in agriculture**. Rio de Janeiro: Editora AS-PTA, 1995. 15 p.

GRAEUB, B. E.; CHAPPELL, M. J.; WITTMAN, H.; LEDERMANN, S.; KERR, R. B.; GEMMILL-HERREN, B. The State of Family Farms in the World. **World Development**, Oxford, v. 87, p.1-15, 2016.

GROPPO, J. D.; LINS, S. R. M.; CAMARGO, P. B.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorus due to land-use changes in Brazil, **Biogeosciences**, Goettingen, v. 12, p. 4765 - 4780, 2015.

GUIMARÃES, G.P.; MENDONÇA, E.S.; PASSOS, R.R.; ANDRADE, F.V. (2014) Soil aggregation and organic carbon of oxisols under coffee in agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v.38, p.278-287, 2014.

HAYDU-HOUDESHELL, Carrie-Ann *et al.* Soil aggregate stability under chaparral species in southern California. **Geoderma**, Amsterdã, v. 310, p. 201-208, 2018.

HOUGHTON, R.A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. *In*: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂, 1994, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, p.39-76. 1994.

HUI, E.Q., HU, X., JIANG, C.B. A study of drag coefficient related with vegetation based on the flume experiment. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v.22, p. 329–337, 2010.

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. 2003. 298 f. Tese (Doutorado) – Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.

JACKSON RB, CANADEL J, EHLERINGER JR, MOONEY HA, SALA OE, SCHULZE ED (1996) A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Oecologia**, Heidelberg, v. 108, p. 389-411. DOI: <http://doi.org/10.1007/BF00333714>.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT G. P.; LAFOND, G. P.; TOWNLEYSMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, p. 1799-1806, 1992.

OVIANO, Carlos Vitório Martins. **Expropriação, luta e resistência**: a questão camponesa no bairro “Maquininha”, município de Dracena-SP. 2009. 172 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdades de Ciências Humanas, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2009.

JURY, W.A.; HORTON, R. **Soil Physics** .6th ed. Hoboken: Wiley, 2004.

KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation, **A Guest Editorial**, [*s.l.*], v. 61, n. 1, p.4-10, 1997.

KARLEN, D.L.; STOTT, D. A framework for evaluating physical and chemical indicators. *In*: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society American, 1994. Cap.4, p.53-72.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. *In*: BITTON, G. (Org.) **Encyclopedia of Environmental Microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 2002. p. 3116-3126

KEPPLE, A. W; SEGALL-CORRÊA, A. M. Conceituando e medindo segurança alimentar e nutricional. **Ciência & Saúde Coletiva**, Manguinhos, v. 16, p. 187-199, 2011.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relação solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 405-416, 2008.

KITAMURA, E. M. **Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto**. 2007. 117f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. *Engenharia Agrícola*, Piracicaba, v. 18, p. 45-54, 1998.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. (2002) Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v.26, p.857-867, 2002.

KOCHIERU, M.; FEIZIENE, D; FEIZA, V.; VOLUNGEVICIUS, J.; VELYKIS, A.; SLEPETIENE, A.; DEVEIKYTE, I.; SEIBUTIS, V. Freezing-thawing impact on aggregate stability as affected by land management, soil genesis and soil chemical and physical quality. **Soil And Tillage Research**. Lithuania, p. 0-0. set. 2020.

LAL, R. **Role of mulching techniques in tropical soil and water management**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, 1974. 37 p. Technical Bulletin, 1.

LAPICCIRELLA, J. N. *et al.* O Uso e Compartilhamento de Práticas Agroecológicas na Agricultura Familiar. **Cadernos de Agroecologia**, Bento Gonçalves, v. 17, n. 2, 2022.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, Nova York, v.1, p.277-294. 1985.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1995. 497p

LIEBIG, M. A., HERRICK, J. E., ARCHER, D. W., DOBROWOLSKI, J., DUIKER, S. W., FRANZLUEBBERS, A. J. STRICKLAND, T. C. Aligning land use with land potential: The role of integrated agriculture. **Agricultural and Environmental Letters**, Hoboken, v 2, n.1, p. 1-5, 2017.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S.; CRUZ, L. E. C. Atributos físicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1849-1855, 2008.

LIMA, Juliana Schober Gonçalves. Segurança alimentar e nutricional: sistemas agroecológicos são a mudança que a intensificação ecológica não alcança. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 69, n. 2, p. 49-50, 2017.

LOBATO, B. **Agricultura conservacionista: conheça os preceitos e práticas para o Cerrado**. Brasília: EMBRAPA, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/48440960/agricultura-conservacionista-conheca-os-preceitos-e-praticas-para-o-cerrado>. Acesso em: 02 jun 2022.

- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; BEUTLER, S. J.; ANJOS, L. H. C. dos. Oxidizable carbon and humic substances in rotation systems with brachiaria/livestock and pearl millet/no livestock in the Brazilian Cerrado. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 11, p. 217-231, 2013.
- LOWDER, S. K.; SKOET, J.; RANEY, T. The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. **World Development**, Oxford, v. 87, p.16-29, 2016.
- LU, S., WANG, F., MENGA, P., ZHANG, J. Simultaneously protecting the environment and its residents: The need to incorporate agroforestry principles into the ecological projects of China. **Ecological Indicators**, Amsterdã , v. 57, p. 61-63, 2015
- MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** , Vicosa, MG, v.32, p.11-21, 2008.
- MACGRATH, D. A.; COMERFORD, N. B.; DURYEY, M. L. Litter dynamics and monthly fluctuations in soil phosphorus availability in an Amazonian agroforest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 131, n. 3, p. 167-181, 2000.
- MANHÃES, C.M.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C. (2009) Biomassa de Fauna do Solo e da Serapilheira em Diferentes Coberturas Vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Rev. Bras. de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 4, p.792-795.
- MEDINA, G. *et al.* Development Conditions for Family Farming: Lessons from Brazil. **World Development**, Oxford v. 74, p.386-396, out. 2015.
- MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N.; VIEIRA, F.B.M. (2008) Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v.32, p.2461-2470, 2008.
- MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. *In:* Novaes, R.F.; Alvarez, V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (eds.) **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.
- MHETE, M.; EZE, P.N.; RAHUBE, T.O.; AKINYEMI, F.O. Soil properties influence bacterial abundance and diversity under different land-use regimes in semi-arid environments **Scientific African**, Amsterdã, v. 7, p.e 00246, 2020.
- MICCOLIS, Andrew *et al.* **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais. Como conciliar conservação com produção-opções para cerrado e caatinga..** Brasília: Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal - ICRAF, 2016.

- MIJATOVIĆ, Dunja et al. The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: towards an analytical framework. **International Journal of Agricultural Sustainability**, Oxford, v. 11, n. 2, p. 95-107, 2013.
- MORAES, A. de; *et. al.* Integrated Crop-Livestock Systems as a Solution Facing the Destruction of Pampa and Cerrado Biomes in South America by Intensive Monoculture Systems. *In: Agroecosystem Diversity: reconciling contemporary agriculture and environmental quality.* Amsterdã: Elsevier, 2019. Cap 16, p. 257–273.
- NAIR, P. K. R. State-of-the-art of agroforestry systems. **Forest ecology and management**, Amsterdã, v. 45, n. 1-4, p.5-29, 1991.
- NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of plant nutrition and soil science**, Weinheim, v. 172, n. 1, p.10-23, 2009.
- NAIR, P. K. R.; VISWANATH, S.; LUBINA, P. A. Cinderella agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 91, n. 5, p.901-917, 2016.
- NASCENTE, A. S.; YUNCONG, L.; CRUSCIOL, C. A. And soil bulk density as affected by cover crop species in a not-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v.39, p. 871-879, 2015.
- NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 457- 462, 2003.
- NASCIMENTO, W. M.; VIDAL, M. C.; RESENDE, F. V. Produção de sementes de hortaliças em sistema orgânico. *In: CURSO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE HORTALIÇAS*, 12., 2012, Mossoró, RN. **Palestras [...]** Brasília, DF: Embrapa, 2012.
- NUNES, L.A.P.L.; DIAS, L.E.; JUCKSCH, I.; BARROS, N.F. (2010). Atributos físicos do solo em área de monocultivo de cafeeiro na zona da mata de Minas Gerais. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v.26, p.71-78.
- OADES, J.M. An introduction to organic matter in minerals soils. *In: DIXON, J.B.; WED, S.B. (eds.). Minerals in soil environments* 2 ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.89-160.
- OKOLO, C. C.; GEBRESAMUEL, G.; ZENEBE, A.; HAILE, M.; EZE, P. N.. Accumulation of organic carbon in various soil aggregate sizes under different land use systems in a semi-arid environment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdã , v. 297, p. 106924-0, 2020.
- 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**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p.1015-1021, set. 2012.

- OLIVEIRA, J.D., MADARI, B.E., CARVALHO, M.T.D. *et al.* Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. **Reg Environ Change**, Heidelberg, v. 18, 105–116, 2018.
- OLIVEIRA, R. A. **Plantas de cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada no milho em plantio direto**. 2015. 60 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.
- 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**, Nova York, v. 19, n. 2, p.129-139, 27 mar. 2013.
- PALM, C. *et al.* Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdã, v. 187, p.87-105, abr. 2014.
- PALM, C. *et al.* Soils: A Contemporary Perspective. **Annual Review Of Environment And Resources**, Palo Alto, v. 32, n. 1, p.99-129, nov. 2007.
- PAUL C., WEBER M., KNOKE T. (2017): Agroforestry versus farm mosaic systems – Comparing land-use efficiency, economic returns and risks under climate change effects. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, 587-588: 22-35.
- PAVLIDIS, G.; TSIHRINTZIS, V. A. Environmental Benefits and Control of Pollution to Surface Water and Groundwater by Agroforestry Systems: a Review. **Water Resources Management**, Dordrecht v. 32, n. 1, p.1-29, 2017.
- PEREIRA, F. de S. **Qualidade física e química do solo em sistemas de cultivo e produtividade do milho e da soja**. 2013. 58f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/100815>>.
- PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 508-514, 2010.
- PESSOA, V. M.; RIGOTTO, R. M. Agronegócio: geração de desigualdades sociais, impactos no modo de vida e novas necessidades de saúde nos trabalhadores rurais. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 37, p. 65-77, 2012.
- 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
- PEZZOPANE, J.R.M.; BERNARDI, A.C.C.; BOSI, C.; OLIVEIRA, P.P.A.; MARCONATO, M.H.; PEDROSO, A.F. SN Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agro. for. Syst.** Dordrecht, v.1, p. 1 - 11, 2017.
- PIELOU, E. C. **An introduction to mathematical ecology**. New York: Wiley-Interscience, 1969. 286p.

- PIELOU, E. C. **Ecological diversity**. New York: Wiley-Interscience, 1975. 165p.
- PRIMAVESI, A. **Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio**. / Ana Primavesi. 2ª ed. rev. São Paulo: Expressão Popular, 2016, 205p.
- RABOT E, WIESMEIER M, SCHLÜTER S, VOGEL HJ. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, Amsterdã, v. 314, p. 122–137, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
- RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 64p (Embrapa Soja. Documentos, 390).
- RAWLS, W.J.; DAVID, G.; VAN MULLEN, J.A.; WARD, T.J. Infiltration. *In*: **ASCE. Hydrology Handbook**. 2.ed. New York: ASCE, 1996. p.75-124. *Manuals and Report on Engineering Practice*, 28,
- REGELINK IC, STOOF CR, ROUSSEVA S, WENG L, LAIR GJ, KRAM P, NIKOLAIDIS NP, KERCHEVA M, BANWART S, COMANS RNJ. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. **Geoderma**, Amsterdã, v. 247–248, p. 24–37, 2015. <https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.022>.
- REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Física e Meteorologia, 1996. 160 p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. (2003) Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência Ambiental**, [s.l.], v.27, p.29- 48. 2003.
- REIS, A. M. H., AULER, A. C., ARMINDO, R. A., COOPER, M., PIRES, L. F., Micromorphological analysis of soil porosity under integrated crop-livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v 205, p, 104783, 2021.
- RIBEIRO, J.M.; FRAZÃO, L.A.; CARDOSO, P.H.S.; OLIVEIRA, A.L.G.; SAMPAIO, R.A.; FERNANDES, L.A.: Fertilidade do solo e estoque de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.29, n.2, p.913-923. 2019.
- RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T.S. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, p.1167-1175. 2007.
- RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. *In*: Black, C.A. (ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. p.128-152.
- RITA, J.C.O.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; ZAIA, F.C.; NUNES, D.A.D. Mineralization of organic phosphorus in soil size fractions under different

vegetation covers in the north of Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicoso, MG, 37:1207-1215, 2013.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; PICCOLO de LIMA, G.; PACHECO, F. P. Humic substances in soil cultivated with cover crops rotated with maize and soybean. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017

ROSSET, J. S.; LANA, M. DO C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; LEANDRO RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1529-1538, 2016.

ROSSETTI, K. D.V.; CENTURION, J.F. Use of S-index as a structural quality indicator for compacted Latossols cultivated with maize. **Revista Caatinga**, Mossoro, v.31, n.2, p.455-465, 2018.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, Campinas v. 70, n. 3, p. 622-630, 2011.

ROVEDDER, A. P. M & ELTZ, F. L. F Desenvolvimento de Pinus ellioti e do Eucaliptus tereticornis consorciado com plantas de cobertura, em solos degradados por arenização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, 2008.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. (1995). Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul - RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicoso, MG, v.19, p.313-319

SANTOS, D. C.; LIMA, C. L. R.; KUNDE, R. J.; CARVALHO, J. S.; ABEIJON, L. M.; PILLON, C. N. Agregação e proteção física da matéria orgânica em planossolo háplico sob diferentes sistemas de manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 54-63, 2012.

SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A; OLIVEIRA, J. B; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. rev. ampli. Rio de Janeiro: Embrapa. 531p, 2018.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. O plantio direto no cerrado úmido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 69, n. 1, p. 1-4, 1995.

SENA, K. N. **Comportamento do carbono orgânico e de atributos químicos, físicos e microbiológicos de um solo arenoso em área de conversão pastagem-Eucalipto**. 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2016.

SERI - Sociedade Internacional para a Restauração Ecológica. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**. Tucson, Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política (Versão 2). Traduzido, português. 2004. 135.

SHARMA, K. L.; Mandal, U. K.; Srinivas, K.; Vittal, K. P. R.; Mandal, B.; Grace, J. K.; Ramesh, V. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v.83, p.246-259, 2005.

SILVA, Ê.F.F., ANTI, G.R., CARMELLO, Q.A.C., DUARTE, S.N. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, p.785-789, 2000.

SILVA, F. R. F., SCHMITT, E. Thermal comfort and grazing behavior of Girolando heifers in integrated crop-livestock (ICL) and crop-livestock-forest (ICLF) systems. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringa, 41, p. 1–10, 2019.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. de S. Matéria Orgânica do Solo. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FERREIRA, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Org.). **Fertilidade do Solo**. 1 ed. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, J. F. da. **Física do solo e matéria orgânica em sistemas de produção agrícola de Cerrado**. 105 f. 2020. Tese (Doutorado em Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Botucatu, 2020.

SILVA, M.S.C.; SILVA, E.M.R.; PEREIRA, M.G.; SILVA, C.F.: Estoque de Serapilheira e Atividade Microbiana em Solos sob Sistemas Agroflorestais. **Revista Floram**, Rio de Janeiro, v.19, n.4, p.431-441, 2012.

SILVA, W. R. A importância das interações planta-animal nos processos de restauração. *In*: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E. de; MORAES, L. F. D. de; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 79-88.

SOARES, D. A. **Dinâmica da matéria orgânica e qualidade do solo em sistemas de produção agropecuários**. 2021.124 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia. Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2021.

SOUZA, Z. M. & ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, p. 18- 23, 2003.

SPACCINI, R., PICCOLO, A., HABERHAUER, G., GERZABEK, M. Transformation of organic matter from maize residues into labile and humic fractions of three European soils as revealed by ¹³C distribution and CPMAS-NMR spectra. European. **Journal of Soil Science**, Oxford v. 51, p. 583–594, 2006.

STAMATO, J. M. A. **Ecologia e desenvolvimento econômico: Uma Visão Holística**. Boa Esperança: FAFIBE, [19-?].

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.

STOLF, R. Teoria de testes experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v.15, p.229-235, 1991.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo** (3a ed.). Brasília: Embrapa, 2017.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, p.141-163, 1982.

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**, Hoboken , v. 50, n. 4, p.3342-3354, abr. 2014.

TORDIN, C. (Ed.). **Equipe avalia uso sustentável de solos arenosos**. 2015. Brasília: Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3444909/equipe-avalia-uso-sustentavel-de-solos-arenosos>. Acesso em: 22 dez. 2021.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v. 20, n. 2, p. 333- 339, 1996.

TORQUEBIAU, E. F. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. **Life Sciences**, [s.l.], v. 323, p.1009-1017, 24 jul. 2000.

TORRALBA, M.; FAGERHOLM, N.; BURGESS, P. J.; MORENO, G.; PLIENINGER, T. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. **Agriculture, ecosystems & environment**, Amsterdã v. 230, p. 150-161, 2016.

TOSETTO, E. M.; CARDOSO, I. M.; FURTADO, S. D. C. A importância dos animais nas propriedades familiares rurais agroecológicas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 8, n.3, p.12-25, 2013.

TSCHARNTKE, Teja et al. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. **Biological conservation**, Amsterdã, v. 151, n. 1, p. 53-59, 2012.

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.B.; OLIVEIRA, V.S.; COSTA, Y.D.J.; CAVALCANTE, D.M. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v.34, p.309-316, 2010.

WALTER, K.; DON, A.; TIEMEYER, B.; FREIBAUER, A. Determining soil bulk density for carbon stock calculations: a systematic method comparison **Soil Science Society Of American Journal**, Madison, 80, p. 579-591, 2016.

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

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Wallingford: CAB International/ICRAF. 276p. 1989.

YUDINA, A., KUZYAKOV, Y., Saving the face of soil aggregates. **Global Change Biol**, Chichester, v.11, 3574- 3577. 2019.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.61, p.1024-1030, 1997.

ZHAO, C., GAO, J., HUANG, Y., WANG, G., ZHANG, M. Effects of vegetation stems on hydraulics of overland flow under varying water discharges. **Land Degradation & Development**, Oxford, v.27, p. 748–757, 2016.