

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Qualidade do Solo de um Sistema de Plantio de
Hortaliças, sob Produção Orgânica em
Seropédica (RJ)**

Camilla Santos Reis de Andrade da Silva

2020



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –
CIÊNCIA DO SOLO**

**QUALIDADE DO SOLO DE UM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE
HORTALIÇAS, SOB PRODUÇÃO ORGÂNICA EM SEROPÉDICA (RJ)**

CAMILLA SANTOS REIS DE ANDRADE DA SILVA

Sob orientação da Professora
Érika Flávia Machado Pinheiro

e Coorientação do Pesquisador
Ednaldo da Silva Araújo

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

Seropédica, RJ
Outubro de 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) Autor(a)

S586q Silva, Camilla Santos Reis de Andrade da, 1995-
Qualidade do solo de um sistema de plantio de hortaliças, sob produção orgânica em Seropédica (RJ) / Camilla Santos Reis de Andrade da Silva. – Seropédica, 2020.
64 f. : il.

Orientadora: Érika Flávia Machado Pinheiro.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2020.

1. Atributos do solo. 2. Manejo Agroecológico. 3. Olericultura. I. Pinheiro, Érika Flávia Machado, 1975-, orient. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. III. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

CAMILLA SANTOS REIS DE ANDRADE DA SILVA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra** no Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 21/10/2020.

Érika Flávia Machado Pinheiro. Dra. UFRRJ
(Orientadora)

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ

Beata Eموke Madari. Dra. Embrapa Agrobiologia

AGRADECIMENTOS

A Deus que me ama e me abençoa todos os dias da minha vida.

À minha família que tanto amo. Aos meus pais Ubiranilce Santos Reis e João Batista de Andrade da Silva, à Tia Isanir de Andrade da Silva, às minhas irmãs Carolina Santos, Maura Santos e Natália Santos e ao meu namorado Matheus Afonso.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por me proporcionar um ensino público e de qualidade.

Agradeço à equipe do Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, por me proporcionar toda ajuda e confiança para a realização das análises do meu projeto de pesquisa. Em especial, à minha orientadora Érika Flávia Machado Pinheiro e aos meus companheiros de laboratório: Melania Ziviani, Camila Matos, Carina Soares, Suelen Oliveira, Virgínia Costa, Christine Sanchez, Franceline Souza e Pedro Silveira.

Agradeço à equipe do Laboratório de Água e Solo em Agroecossistemas - LASA, Professor Marcos e Martin Freire, por toda ajuda e suporte para minha coleta de amostras e análises físicas.

Agradeço à Embrapa Agrobiologia e a Fazendinha Agroecológica Km 47 por me proporcionarem estar em contato com a pesquisa desde a minha iniciação científica. Em especial ao meu coorientador Ednaldo Araújo e aos meus amigos Jander Barbosa e Jhonatan Goulart.

A todos os professores do PPGA-CS por ensinarem conteúdos que fizeram diferença na minha trajetória profissional e acadêmica.

A todos os supracitados os meus sinceros agradecimentos!

BIOGRAFIA

Camilla Santos Reis de Andrade da Silva nasceu na cidade do Rio de Janeiro (RJ), em 16 de fevereiro de 1995. É técnica em Agroecologia pelo Colégio Técnico da Universidade Rural (2012). Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas no segundo semestre de 2013, onde foi Bolsista de Iniciação à Docência (2014-2016). Bolsista de Iniciação Científica pela Embrapa Agrobiologia (2017-2018) e Monitora da disciplina de Didática Geral (2017). Diplomou-se em 2017. Em setembro de 2018, iniciou o Curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Em setembro de 2019, concluiu a especialização em Estatística Aplicada/UFRRJ.

RESUMO

SILVA, Camilla Santos Reis de Andrade da. **Qualidade do solo de um sistema de plantio direto de hortaliças, sob produção orgânica em Seropédica (RJ)**. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

O sistema de plantio direto é uma prática de manejo que visa a recuperação do potencial produtivo do solo e possibilita o uso sustentável das terras agrícolas. Também apresenta princípios equivalentes com os utilizados nos sistemas orgânicos de produção. Acredita-se que este sistema de manejo, por manter a cobertura vegetal (viva ou morta), reduzir o revolvimento do solo e recomendar a rotação de culturas, constitui-se em uma ferramenta estratégica para potencializar a sustentabilidade do cultivo orgânico de olerícolas. O objetivo geral do trabalho foi avaliar o efeito da implantação do sistema de plantio direto na produtividade de hortaliças sob cultivo orgânico e na qualidade do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, em Seropédica (RJ). O estudo foi conduzido no SIPA-Sistema Integrado de Produção Agroecológica, localizado em Seropédica-RJ. Foram avaliadas três práticas de manejo do solo: a) sistema de plantio direto (PD) com o uso de triturador de palha (Triton); b) preparo convencional do solo, com o uso da enxada rotativa (PC-ER) e; c) preparo convencional do solo, com o uso de uma aração e duas gradagens (PC-AG). O plantio das hortaliças foi realizado após o manejo do pré-cultivo que se refere ao consórcio de milho com leguminosa (feijão-de-porco, crotalária e mucuna). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três tratamentos e quatro repetições. A produtividade das hortaliças foi avaliada durante cinco anos agrícolas. As amostras de terra deformadas e indeformadas, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, foram coletadas em 2018, quatro anos após a implantação do experimento para a avaliação dos seguintes atributos do solo: agregação e teor de carbono orgânico nos agregados, densidade do solo, porosidade total, resistência do solo à penetração, umidade gravimétrica, fração leve da matéria orgânica, fertilidade do solo, estoque de carbono e nitrogênio, carbono orgânico total e macrofauna edáfica. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre as médias dos sistemas de manejo do solo para os atributos físicos avaliados, exceto a resistência à penetração do solo (15-25 cm). Com relação aos atributos químicos e biológicos, os teores de carbono nos agregados do solo, a fração leve livre e a fauna do solo foram os mais sensíveis às práticas de manejo orgânico do solo. Os dois primeiros atributos foram superiores no PC-ER (0-5 cm). O PD favoreceu a maior densidade e riqueza dos grupos da fauna do solo. Como conclusão, observa-se que as diferentes práticas de manejo mantiveram a produtividade das olerícolas num patamar igual ao da média nacional. O tempo de quatro anos de implantação das práticas de manejo do solo é um curto período para verificar diferenças significativas entre os atributos do solo avaliados. Contudo, além da resistência do solo à penetração, a fração leve livre, o teor de carbono orgânico nos macroagregados e a fauna do solo foram os mais sensíveis às mudanças no uso do solo e confirmam o papel da matéria orgânica como indicadora chave de qualidade do solo em estudos de curta duração.

Palavras-chave: Atributos do Solo. Manejo Agroecológico. Olericultura.

ABSTRACT

SILVA, Camilla Santos Reis de Andrade da. **Soil quality of a no-tillage vegetable system, under organic production in Seropédica (RJ)**. 64p. Dissertation (Master in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

The no-till system is a practical management that aims to recover the productive potential of the soil and enable the sustainable use of agricultural land. It also presents principles equivalent to those used in organic production systems. It is believed that this management system, by keeping the vegetation cover (alive or dead), reducing soil overturning and recommending crop rotation, constitutes a strategic tool to enhance the sustainability of organic cultivation of vegetables. The general objective of the work was to evaluate the effect of the implantation of the no-tillage system on the productivity of vegetables under organic cultivation and on the quality of an *Argissolo Vermelho-Amarelo* (Ultisol), in Seropédica (RJ). The study was conducted at SIPA-Integrated System of Agroecological Production, located in Seropédica-RJ. Three soil management practices were evaluated: a) no-till system (PD) using straw shredder (Triton); b) conventional tillage of the soil, using the rotary hoe (PC-ER) and; c) conventional soil preparation, using a plow and two harrows (PC-AG). The planting of the vegetables was carried out after the pre-cultivation management that refers to the intercropping of corn with legumes (pork beans, *crotalaria* and *mucuna*). The experimental design used was a randomized block with three treatments and four replications. Vegetable productivity was assessed over five agricultural years. The deformed and undisturbed soil samples, in the 0-5 and 5-10 cm layers, were collected in 2018, four years after the implementation of the experiment for the evaluation of the following soil attributes: aggregation and organic carbon content in the aggregates, soil density, total porosity, soil resistance to penetration, gravimetric moisture, light fraction of organic matter, soil fertility, carbon and nitrogen stock, total organic carbon and edaphic macrofauna. The results showed that there was no significant difference between the means of the soil management systems for the evaluated physical attributes, except the resistance to penetration of the soil (15-25 cm). With regard to chemical and biological attributes, the carbon content in the soil aggregates, the free light fraction and the soil fauna were the most sensitive to organic soil management practices. The first two attributes were superior in the PC-ER (0-5 cm). The PD favored the greater density and richness of the soil fauna groups. As a conclusion, it is observed that the different management practices maintained the productivity of the vegetables at a level equal to the national average. The four-year period of implementation of soil management practices is a short period to verify significant differences between the evaluated soil attributes. However, in addition to soil resistance to penetration, the free light fraction, the organic carbon content in the macroaggregates and the soil fauna were the most sensitive to changes in land use and confirm the role of organic matter as a key indicator of the quality of the soil. soil in short term studies.

Key words: Soil Attributes. Agroecological Management. Olericulture.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema sobre os principais benefícios observados na literatura do sistema de plantio direto para a qualidade do solo. Fonte: DENARDIN et al., 2019; VEZZANI et al., (2019). 7
- Figura 2.** Sistema de plantio direto com a produção de biomassa aérea para adubo verde (a); com uso de Triton para facilitar o manejo da biomassa do adubo verde (b) e; detalhe dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo. 20
- Figura 3.** Preparo convencional do solo para a produção orgânica de olerícolas no SIPA: a) convencional com enxada rotativa; b) convencional com aração; c) convencional com uma aração e duas gradagens. 20
- Figura 4.** Coleta de amostra indeformada para determinação da densidade do solo na área de estudo. 22
- Figura 5.** Detalhe do medidor automatizado utilizado para medir a compactação do solo (a) e a avaliação da compactação do solo na área de estudo (b). 23
- Figura 6.** Conjunto de peneiras no interior do aparelho Yooder. 23
- Figura 7.** Detalhe da análise granulométrica pelo método da pipeta. 24
- Figura 8.** Resumo das etapas do fracionamento físico da matéria orgânica (FLL) por densidade: a) Sistema de filtração da Millipore; b) Bomba de vácuo para succionar a FLL; c) Frasco de centrífuga contendo a solução de iodeto de sódio e a FLL sobrenadante e d) Filtro de fibra de vidro com a FLL. 26
- Figura 9.** Detalhe da sonda utilizada para a coleta da macrofauna edáfica pelo método TSBF e as etapas seguintes de avaliação dos organismos: a) coleta manual dos indivíduos vistos a olho nu; b) identificação da fauna edáfica com uso de microscópio e; c) exemplo de um organismo identificado do grupo chilopoda. 27
- Figura 10.** Resistência à penetração do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de manejo orgânico do solo para cultivo de olerícolas nas profundidades de 0-60 cm em Seropédica (RJ). Médias seguidas de letras diferentes, no gráfico, diferem significativamente ($p < 0,05$) pelo teste de Scott- Knott ($p < 0,05$). A ausência de letras nas demais profundidades indica que não houve diferença significativa pelo teste F. 32
- Figura 11.** Teor de umidade do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, em diferentes profundidades, sob diferentes sistemas de manejo orgânico do solo com cultivo de olerícolas, em Seropédica (RJ). A ausência de letras, no gráfico, indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$). 33
- Figura 12.** Teores de carbono orgânico (g kg^{-1}) nos macroagregados do solo sob sistemas de manejo orgânico do solo com cultivo de olerícolas, em Seropédica (RJ). Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste Scott- Knott ($p < 0,05$). 36
- Figura 13.** Teores de carbono orgânico (g kg^{-1}) nos microagregados do solo sob sistemas de manejo orgânico do solo com cultivo de olerícolas, em Seropédica (RJ). A ausência de letras, no gráfico, indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$). 36
- Figura 14.** Distribuição da massa de fração Leve Livre (FLL) sob diferentes sistemas de manejo do solo sob cultivo orgânico de olerícolas, em Seropédica (RJ). Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste Scott- Knott ($p < 0,05$). 38
- Figura 15.** Distribuição da massa de fração leve intra-agregado (FLI) sob diferentes sistemas de manejo do solo sob cultivo orgânico de olerícolas, em Seropédica (RJ). A ausência de letras nas médias indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$). 39

- Figura 16.** Teores médios de N e C orgânico total (COT) de acordo com os diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ). A ausência de letras, no gráfico, indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$). 41
- Figura 17.** Estoque de carbono (EstC) e nitrogênio (EstN) de acordo com os diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ). A ausência de letras, no gráfico, indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$). 42
- Figura 18.** Indivíduos.m⁻² dos grupos taxonômicos observados nos sistemas de manejo do solo. A ausência de letras nas médias indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$). As barras indicam os valores de erro padrão das médias. 45
- Figura 19.** Análise de componentes principais entre os atributos físicos, químicos, grupos da macrofauna edáfica e a produção de hortaliças. 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo na olericultura orgânica.	14
Tabela 2. Atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo na olericultura orgânica.	15
Tabela 3. Estudos em sistemas de manejo na olericultura orgânica.	16
Tabela 4. Histórico de culturas, densidade populacional e adubação durante o estudo sobre o sistema de plantio direto na olericultura orgânica.	19
Tabela 5. Valores médios de N, C orgânico total (COT), Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e K^{+} de acordo com os diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças, em Seropédica (RJ) na profundidade 0-20 cm, no primeiro ano de instalação do experimento (2015).	20
Tabela 6. Valores médios de densidade do solo sob diferentes sistemas de manejo orgânico de produção de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ).	30
Tabela 7. Valores médios de densidade das partículas do solo (D_p) e volume total de poros (VTP) nos diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ).	30
Tabela 8. Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo sob diferentes sistemas de manejo orgânico do solo para produção de olerícolas em Seropédica (RJ).	34
Tabela 9. Valores médios de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e K^{+} de acordo com os diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ). A ausência de letras nas médias indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$).	40
Tabela 10. Índices ecológicos da comunidade da macrofauna invertebrada dos diferentes sistemas de manejo do solo sob cultivo orgânico de olerícolas, em Seropédica (RJ).	43
Tabela 11. Coeficientes de Pearson (r) entre os atributos físicos e químicos do solo e as ordens da fauna invertebrada do solo.	46
Tabela 12. Produtividade das olerícolas, que sucederam o pré-cultivo de leguminosa e gramínea, sob diferentes sistemas de manejo orgânico do solo em Seropédica (RJ).	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Sistema Orgânico de Produção	3
2.2. Olericultura	3
2.3. Produção Orgânica de Hortaliças	4
2.4. Sistema de Plantio Direto	5
2.5. Indicadores da Qualidade do Solo	8
2.6. Densidade, Porosidade do Solo e Resistência à Penetração	8
2.7. Estabilidade dos Agregados	9
2.8. Fertilidade do Solo	9
2.9. Fração Leve da Matéria Orgânica do Solo	9
2.10. Macrofauna Edáfica	10
2.11. Modificação dos Atributos do Solo pelo Manejo Orgânico	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo	18
3.2. Descrição dos Tratamentos e Delineamento Experimental	18
3.3. Avaliação da Produtividade das Hortaliças	20
3.4. Amostragem de Terra	21
3.5. Análises Físicas do Solo	21
3.5.1. Densidade do solo	21
3.5.2. Densidade das partículas (Dp)	22
3.5.2. Resistência à penetração	22
3.5.3. Estabilidade dos agregados do solo	23
3.5.4. Análise granulométrica	23
3.5.5. Volume total de poros (VTP)	24
3.6. Análises Químicas do Solo	24
3.6.1. Fertilidade do solo	24
3.6.2. Análise Biológica do solo	26
3.7. Análises Estatísticas	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Propriedades Físicas do Solo Sob Diferentes Sistemas de Manejo Orgânico de Produção de Olerícolas	29
4.1.1. Densidade do solo	29
4.1.2. Porosidade total do solo	30
4.1.3. Resistência à penetração do solo	31
4.1.4. Agregação do solo	33
4.2. Propriedades Químicas do Solo Sob Diferentes Sistemas de Manejo Orgânico de Produção de Olerícolas	34
4.2.1. Carbono orgânico nos agregados	34
4.2.2. Frações leves da matéria orgânica do solo	36

4.2.3. Fertilidade do Solo	39
4.2.4. Estoques de carbono e nitrogênio no solo	41
4.3. Propriedades Biológicas do Solo Sob Diferentes Sistemas de Manejo Orgânico de Produção de Olerícolas	42
4.3.1. Produtividade das hortaliças sob diferentes sistemas de manejo orgânico de produção	47
4.3.2. Análise de componentes principais	48
5. CONCLUSÕES	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

A agricultura orgânica é um modelo de agricultura que visa contribuir para a preservação da vida e da natureza, sendo comprometida com a ética, a saúde do solo e do homem como sendo indissociáveis, e a cidadania do ser humano. São empregadas práticas de cultivos tradicionais valorizando os saberes populares, assim como, recentes tecnologias, tais como: adubação verde, rotação e consórcio de culturas, compostagem, vermicompostagem, controle biológico, utilização de adubos orgânicos e o cultivo mínimo do solo. Devido a estes princípios acima, conforme descritos na Lei 10.803, é proibido a utilização de defensivos agrícolas, fertilizantes solúveis, hormônios, organismos geneticamente modificados e restrições de materiais sintéticos em qualquer fase da produção agrícola. Em síntese, sistemas orgânicos visam à produção de alimentos saudáveis, a valorização do agricultor e a sustentabilidade econômica e ecológica do agroecossistema.

Sistemas orgânicos de produção representam 0,3% do total de terras agricultáveis no Brasil, com adoção de 15.836 unidades orgânicas (VILELA et al., 2019). O Rio de Janeiro é o 8º estado com maior número de propriedades orgânicas (735 unidades), com área de produção em torno de 2.000 ha, sendo que cerca de 70% destas áreas são destinadas ao cultivo de hortaliças (SEBRAE, 2019). A produção orgânica dispõe de uma estrutura legislativa nacional que a gerencia e possui grande influência sobre o crescimento da produção no país (MAPA, 2020). Adicionalmente, é necessário o investimento de políticas públicas e pesquisas para tornar a agricultura orgânica mais difundida e acessível aos produtores nos âmbitos econômicos, sociais e ambientais.

No que se refere ao uso das terras, a produção de hortaliças é caracterizada pelo cultivo intensivo, com elevado aporte de insumos agrícolas, adubação abundante e intensa mecanização para o preparo do solo, plantio e encanteiramento. Dependendo da área e da gestão, podem ocorrer mais de dois preparos do solo através do arado, da grade e da enxada rotativa (ALCANTERA e MADEIRA, 2008). Esta prática de manejo por sua vez, quando praticada de forma inadequada, interfere na estrutura do solo, acarretando no rompimento dos agregados maiores e na oxidação da matéria orgânica, sendo também responsável pelo aparecimento de uma camada compactada que dificulta a infiltração de água e o crescimento de raízes, deixando o solo altamente suscetível à erosão (REICHERT, REINERT E BRAIDA, 2003).

Na agricultura orgânica, enfatiza-se práticas de manejo que favoreçam e/ou mantenham a atividade biológica e fertilidade do solo a longo prazo (ALTIERI et al., 2011). Desse modo, é necessário o desenvolvimento de estudos para reduzir a mecanização do solo, manejo este ainda muito utilizado pelos agricultores orgânicos com intuito de reduzir a incidência das plantas espontâneas.

Dessa forma, verifica-se que uma alternativa viável para a conservação do solo em produção orgânica de hortaliças é a inserção do plantio direto. Esse sistema de manejo baseia-se na realização do plantio sem a etapa do preparo convencional com arados, grades e enxadas rotativas, sendo necessário ocorrer a sucessão/rotação de culturas e a presença de palhadas ou plantas vivas sobre a superfície do solo. Associado a isso, este sistema de manejo apresenta abordagens equivalentes com a agricultura orgânica, no que se refere a proteção do solo pela cobertura vegetal, rotação e diversificação de culturas e o cultivo mínimo do solo, em conjunto apresentam potencial para promover sistemas agrícolas mais sustentáveis (LEAL et al., 2018).

A motivação de investimentos em pesquisas para adequar o plantio direto a sistemas orgânicos é em razão do uso mais sustentável das terras na olericultura orgânica, e

consequentemente o favorecimento da diminuição de perda de solo, o aproveitamento da água, o aporte contínuo de matéria orgânica, a atividade biológica e a estabilidade estrutural. Em outras palavras, introduzir sistemas de manejo que promovam a melhoria e manutenção das condições físicas, químicas e biológicas do solo (BRANCO et al., 2018).

Neste contexto, Jokela e Nair (2016) enfatizaram a necessidade de novos métodos eficientes para o controle das plantas espontâneas na olericultura orgânica, e que não tenham efeitos negativos sobre a sustentabilidade do sistema, especialmente, nos parâmetros de conservação do solo. Em vista disso, a utilização do triturador de resíduos (Triton) para o manejo da fitomassa das plantas de cobertura do solo no plantio direto se constitui em uma alternativa ao controle da vegetação espontânea, sendo este o principal obstáculo para adoção deste sistema de manejo na produção orgânica de olerícolas (DAROLT e SKORA, 2002). A operação do implemento agrícola acoplado ao trator resulta na formação da palhada, proporcionando uma maior uniformidade da biomassa vegetal, reduzindo assim a rebrota e a incidência das plantas espontâneas.

A partir disto, é essencial que o uso e manejo do solo praticados na agricultura orgânica promovam a manutenção da estrutura, da fertilidade e da biodiversidade do solo, garantindo o funcionamento do solo. Em vista disso, é necessário melhorar o conhecimento sobre o potencial de técnicas conservacionistas e sobre o comportamento dos atributos do solo nestes cultivos. Sendo assim, a avaliação de propriedades físicas, químicas e biológicas é essencial para impulsionar ações direcionadas para promover a proteção do solo, uma vez que estes atributos podem revelar se o mesmo está em condições adequadas para funcionar dentro dos limites naturais dos ecossistemas e sustentar as plantas, os animais e os seres humanos (HALDE, BAMFORD e ENTZ, 2015).

Diante disso, este estudo tem a seguinte hipótese: o sistema de plantio direto, com o emprego do triturador de palha (Triton), pode ser adotado em sistemas orgânicos de produção sem comprometer a qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

O objetivo geral do estudo foi avaliar o desempenho da implantação do sistema de plantio direto sobre a produtividade de hortaliças sob cultivo orgânico e na qualidade do solo em Seropédica (RJ).

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Avaliar propriedades químicas, físicas e biológicas do solo sob cultivo orgânico de produção de hortaliças utilizando como prática de manejo, o sistema de plantio direto, em comparação ao preparo convencional do solo.
- Avaliar a produtividade das hortaliças em cultivo de produção orgânica sob diferentes práticas de manejo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistema Orgânico de Produção

Sistemas orgânicos apresentam-se como alternativa de conservação do solo, sendo responsáveis, também, pela inserção de um conceito diferenciado acerca da compreensão do solo como organismo vivo (PRIMAVESI, 2003). A mencionada alternativa objetiva, portanto, a manutenção deste recurso natural, e entende que o cuidado do solo deve ser priorizado, uma vez que optam por práticas que proporcionam a manutenção e a melhoria da qualidade do solo, por meio do revolvimento mínimo, do aumento dos teores de matéria orgânica e a atividade biológica (ALTIERI et al., 2011).

No Brasil, a produção orgânica é caracterizada segundo a Lei 10.831, aprovada em 23 de dezembro de 2003, cuja regulamentação ocorreu em 27 de dezembro de 2007 com a publicação do Decreto Nº 6.323. A Lei preconiza que neste sistema de produção devem ser adotadas técnicas que visam o aperfeiçoamento do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a redução de produtos sintéticos e a não utilização de produtos geneticamente modificados, em qualquer fase do processo de produção, minimização da dependência de energia não renovável empregada, visando à proteção do meio ambiente. Além disso, esta lei busca garantir o fornecimento de produtos saudáveis para a alimentação e a preservação dos ecossistemas. A partir desta definição, considera-se que este modelo de agricultura tem papel fundamental no meio ambiente, e os benefícios cultivados através destas práticas de manejo serão essenciais para o aperfeiçoamento da produção vegetal, e sobretudo na conservação do solo a longo prazo (BISWAS et al., 2014).

As regulamentações agrícolas nos sistemas orgânicos de produção vegetal voltadas para a conservação do solo e da água estão descritas na Lei nº 10.831 e na Instrução normativa nº 46 (MAPA, 2020). Conforme essas legislações, os sistemas orgânicos de produção vegetal devem priorizar a reciclagem de matéria orgânica como base para a manutenção da fertilidade do solo e a nutrição das plantas; a manutenção da atividade biológica do solo, o equilíbrio de nutrientes e a qualidade da água. Em específico para cultivo de culturas perenes, é necessário no mínimo a manutenção de cobertura viva do solo. É enfatizada a diminuição dos desperdícios de água na irrigação e evitar a poluição da água de superfície e do lençol freático durante o manejo de esterco e da compostagem. Essas medidas colaboram com a manutenção das principais funções do solo essenciais para o equilíbrio do agroecossistema.

2.2. Olericultura

No Brasil, o termo olericultura refere-se ao campo da horticultura que estuda as culturas oleráceas ou hortaliças. É importante ressaltar que o termo horticultura e olericultura não são iguais, sendo que o primeiro se refere ao sistema de produção mais diverso e abrangente e subdivide-se em grupos. A *International Society for Horticultural Science* (ISHS) considera a olericultura como um grupo de *vegetables*, incluindo as raízes, tubérculos, parte aérea, caules, folhas, frutos e flores comestíveis. As oleráceas apresentam algumas características em comum, que são descritas a seguir: não lenhosas, ciclo curto, tratos culturais intensivos, aproveitamento de pequenas áreas em relação às grandes culturas, utilização na alimentação humana sem exigir preparo industrial e podem ser consumidos crus. Contudo, são alimentos de perecibilidade alta e possuem alto índice de perda de pós-colheita, e isto se intensifica pelo consumidor exigir boa aparência do produto (CLEMENTE, 2015).

O consumo de hortaliças no Brasil ainda é incipiente quando comparado aos países desenvolvidos da Europa e da América do Norte. Todavia, o mercado é crescente no país devido aos incentivos por hábitos alimentares mais saudáveis, pois de acordo com Moraes (2006) as hortaliças possuem propriedades nutritivas e medicinais, e quando consumidas regularmente possuem efeito benéfico sobre a saúde.

A produção com olerícolas ocupa, aproximadamente 946,700 ha, com produção de 19,4 megatoneladas, e através deste mercado já foram gerados mais de 1,78 milhão de empregos. Este setor de produção está presente na maioria das regiões do país, especialmente nas regiões Sul e Sudeste. Através disso, nota-se a importância do cultivo de hortaliças para a economia brasileira, sendo caracterizada por ser uma produção agrícola intensiva durante o todo o ano, desenvolvida nas quatro estações do ano, com uma alta produção por área e elevada demanda de mão de obra. Cabe ressaltar que a mesma é praticada majoritariamente pela agricultura familiar (BRANCO et al., 2018).

O cultivo de hortaliças é o segundo sistema produtivo que mais corrobora com a degradação do solo, devido principalmente ao uso intensivo do solo pela mecanização e pelo uso de insumos agrícolas (BRANCO et al., 2018; KHATOUNIAN, 2013). Devido aos riscos potenciais gerados no cultivo convencional de olerícolas, Branco et al. (2018) ressalta a necessidade de medidas urgentes para melhorar ou favorecer a sustentabilidade agrícola nestas áreas de produção. Sendo necessário o avanço de estudos visando à adequação de técnicas conservacionistas na olericultura. No entanto, existem muitos desafios a serem superados, como a baixa permanência do plantio sem revolvimento do solo, a baixa produção e pouca persistência da palhada das culturas olerícolas, a adaptabilidade restrita de algumas culturas e o uso intensivo da propriedade.

2.3. Produção Orgânica de Hortaliças

O Brasil possui, aproximadamente, 1.963.351 hectares sob manejo orgânico, os principais eixos econômicos são a horticultura e a soja orgânica. A agricultura orgânica apresenta tendência de crescimento e destaque no mercado brasileiro e mundial, já que o mercado nacional cresce 30% ao ano, e ocorre um crescimento do número de agricultores orgânicos no Brasil na ordem de 20% ao ano (MONTEIRO e SANTOS, 2009).

A adequação e preferência pelo cultivo das hortaliças pelos agricultores orgânicos é em razão da diversidade de culturas cultivadas em mesma área, pela menor dependência de recursos externos, pela maior utilização de mão-de-obra e menor necessidade de capital (ORMOND, 2002). Um estudo posterior mostrou que a maior concentração de produtores certificados é encontrada nas regiões Sudeste, Norte e Centro-Oeste pelo sistema de certificação por auditoria, a mesma apresentou o maior número de produtores certificados no Brasil (GALHARDO et al., 2018).

Um ponto importante é que muitas pesquisas evidenciaram que as hortaliças são altamente contaminadas por agrotóxicos pela agricultura convencional. Neste sentido, a busca por produtos orgânicos tem aumentado, pois são considerados mais confiáveis e seguros (SEDIYAMA et al., 2014). Isso pode ser confirmado por dados estatísticos exploratórios pelo MAPA (2018), cujos resultados evidenciaram que a quantidade de produtores orgânicos cadastrados aumentou 61,9% em setembro de 2018, quando comparado a março de 2015.

Desde a regulamentação da produção orgânica no país, a agricultura orgânica demonstrou grande destaque na economia brasileira e já é possível considerar que desde da adoção das normativas há resultados positivos em relação ao número de produtores orgânicos e nas áreas de produção (GALHARDO et al., 2018). Vale ressaltar que a certificação garante a qualidade do produto orgânico e, os consumidores são cientes da importância deste tipo de agricultura, a qual é empenhada com a saúde humana, a valorização dos trabalhadores rurais e

com a sustentabilidade na agricultura. Portanto, tais princípios e medidas se enquadram indiretamente na resolução, mesmo que em passos lentos, na segurança alimentar.

O Estado do Rio de Janeiro foi um dos estados pioneiros na adoção do modelo orgânico no país e teve início na década de 1980 (BARROS, 2011), sendo que a agricultura orgânica começou a ser praticada no setor da horticultura na região Serrana Fluminense. De acordo com o levantamento bibliográfico de Monteiro e Santos (2019), o Estado apresenta aumento constante sobre o número de agricultores orgânicos, com 763 registros ativos no MAPA em 60 municípios fluminenses. Cabe ressaltar que tal crescimento é em virtude da ação dos Organismos Participativos de Avaliação da Conformidade (OPAC) que auxilia os produtores que não possuem condições financeiras para arcar com os custos da certificação por auditoria.

A região Serrana do Estado do RJ possui os maiores números de agricultores orgânicos, com 230 registros, sendo que nessa região prevalece o cultivo de hortaliças folhosas, frutas e raízes. Já na Baixada Fluminense, os dados mais recentes mostraram 79 registros de produtores, com produção predominante de aipim, berinjela, batata doce, pimentão, quiabo e jiló. A variação destas regiões em relação ao número de produtores e produtos agrícolas é devido principalmente às condições climáticas de cada região, assistência técnica, acesso ao crédito rural, incentivo à produção e entre outros (MONTEIRO e SANTOS, 2009).

2.4. Sistema de Plantio Direto

O sistema plantio direto (SPD) fundamenta-se em três pilares: i) não revolvimento do solo; ii) cobertura permanente do solo, seja cobertura viva ou morta (palhada) e; iii) rotação e sucessão de culturas. Através destes fundamentos, este sistema de manejo visa diminuir os impactos ambientais ocasionados pela agricultura. O Brasil é líder mundial no uso de SPD, cujo sistema de manejo é empregado em mais da metade da área total com culturas anuais (TELLES et al., 2018). Aproximadamente mais de 32 milhões de hectares de terra agrícola adotam o SPD (FEBRAPDP, 2019) em função dos aumentos da produtividade e da preservação e melhoria da capacidade produtiva do solo (ALVARENGA et al., 2001). Essa afirmativa pode ser evidenciada em regiões do país onde o sistema ocorre em maior escala (JUNIOR BORTOLETI, 2015) como as regiões Sul e Centro-Oeste.

A alternativa de semeadura direta no solo, sem revolvê-lo com arado, demonstrou viabilidade na Inglaterra, experimentalmente, em 1930 (DENARDIN et al., 2019). No Brasil, as lavouras cultivadas com o SPD iniciaram na década de 1970 no estado do Paraná. A principal razão pela adoção desse sistema de manejo no país foi devido à intensa degradação ambiental provocada, principalmente, pela erosão dos solos que elevou os custos de produção a ponto de tornar-se a atividade agropecuária insustentável. A partir da década de 1980, esse sistema foi expandido em larga escala, após a descoberta de herbicidas seletivos e evolução da indústria de máquinas agrícolas (TELLES et al., 2018).

Entre as práticas de manejo, o preparo do solo é uma das atividades agrícolas que mais exerce influência sobre a estrutura do solo (MARIA et al., 1999). Esta prática consiste no uso da aração, gradagem, ou enxada rotativa, com o principal objetivo de controlar a vegetação espontânea para promover as melhores condições para o estabelecimento das plantas. Em comparação ao preparo convencional do solo, o SPD apresenta vantagens e desvantagens, mas o diferencial é a sustentabilidade que o SPD proporciona para atividade agrícola (CRUZ et al., 2001). As desvantagens do SPD são: o alto custo de herbicidas, as dificuldades na obtenção da quantidade adequada de palha para cobrir o solo, o maior índice de pragas e doenças, a adaptação de cultivos perenes e; a adequação de máquinas e implementos agrícolas (ALVARENGA et al., 2001). As vantagens do SPD são: o controle da erosão, maior retenção

de umidade pelo solo, maior disponibilidade de matéria orgânica e maior economia de mão-de-obra, maquinário e combustível (ALVES e SUZUKI, 2004). Na Figura 1, estão descritos os principais benefícios deste sistema de manejo para o agroecossistema.

Quanto ao cultivo de grãos, o SPD tem ampla aceitação pelos produtores, sendo adotado em larga escala no país. No entanto, na olericultura há a necessidade de ajustes, e existem poucos estudos que discutem a dinâmica do SPD neste tipo de cultivo, sobretudo em sistemas orgânicos (TIVELLI et al., 2010). É importante ressaltar que a olericultura se difere da produção de grãos, pois este setor exige o uso crescente de insumos, mecanização intensa e manejo de pragas e doenças, esta grande demanda é em razão da complexidade e características dos sistemas de produção de hortaliças (MADEIRA, 2009).

O preparo e o revolvimento do solo são práticas de manejo na produção de hortaliças que conduzem a degradação do solo a longo prazo (SEDIYAMA et al., 2014) e, em função disso, muitas áreas agrícolas são abandonadas pelos agricultores (PINHEIRO et al., 2003). Em vista disso, é preciso o acompanhamento e pesquisas na olericultura que alcancem produtividade agrícola acoplada à manutenção da qualidade do solo. No entanto, a partida inicial é a introdução de sistemas conservacionistas, a fim de minimizar a erosão, compactação e a contaminação e perdas de elementos potencialmente perigosos para os corpos de água, às plantas ou a atmosfera. Nenhuma etapa única de manejo do solo aumentará a qualidade, mas sugere-se que combinações integradas de estratégias se apresentam como potencial considerável. Percebe-se que a agricultura orgânica pode contribuir para a maioria dos pontos listados e, até certo ponto, isso também é verdade para produções convencionais (FLIEßBACH et al., 2007).

Na agricultura convencional, o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) iniciou-se em virtude da preocupação em relação aos impactos ambientais gerados pelo preparo intenso das terras agrícolas, pela utilização de adubos solúveis agrotóxicos nestes cultivos, custos elevados de produção e a saúde e segurança dos agricultores. A mobilização foi impulsionada pelos produtores familiares em prol de uma agricultura mais limpa, o movimento obteve apoio de professores e alunos da Universidade do Estado de Santa Catarina. A Região Sul do Brasil mais uma vez é a pioneira em estudos e ensaios experimentais com SPDH, pois foi no Estado de Santa Catarina que ocorreram os primeiros ensaios experimentais, na Estação Experimental da Epagri de Caçador. A partir de 2004, os estudos concentraram-se em Ituporanga, Rio do Sul, Grande Florianópolis e Criciúma com lavoura de tomate, melancia, moranga híbrida, maracujá, cebola, mandioquinha-salsa e alface. Atualmente, o SPDH no Sul do Brasil busca a construção coletiva do sistema de produção baseado na diminuição de custos, diminuição de demanda externa de insumos, aumento da produtividade de cultivos e a minimização do uso de agroquímicos (MASSON et al., 2019).

Medidas de precaução com o uso do solo também fazem parte dos sistema de produção orgânico, devido aos princípios que norteiam esse modelo de produção, o qual preza principalmente o manejo sustentável dos recursos naturais (ANDERSON, 2015). Observa-se que o SPDH se insere como um mecanismo de notável importância na promoção da produtividade do solo. É importante introduzir sistemas de manejo que sejam capazes de conciliar a produtividade agrícola, contribuindo com a conservação do solo, onde as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo estejam em equilíbrio e assim, em conjunto permitam o suprimento adequado de água, ar e nutrientes (VAKALI et al., 2011).

Há investimentos em pesquisas que adequam o SPDH em sistemas orgânicos em razão dos conceitos e benefícios que essa prática de manejo proporciona para o solo e ao meio ambiente, já que minimiza a frequência do revolvimento do solo, servindo de base para aumentar a sustentabilidade sobre o uso das terras agrícolas (AMADO et al., 2001; SANTOS et al., 2006; COSTA et al., 2006; CANALI et al., 2013). Contudo, ainda existem desafios para implementar o SPDH na agricultura orgânica, como o controle da vegetação espontânea sem

uso de herbicida, baixa produção de fitomassa e relação C/N das hortaliças que resultam pouca persistência dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo, influenciando no estoque e incremento de carbono no solo.

Os estudos preliminares mostram que existe grande incentivo para o estabelecimento da técnica na produção orgânica, mas os resultados de pesquisas sobre o efeito no controle das espontâneas, produtividade das culturas, e qualidade do solo ainda são escassos na maioria das regiões do Brasil, o que adia e dificulta a adoção em larga escala deste sistema de produção na agricultura orgânica (DAROLT e SKORA, 2002; SILVA, 2002; CASTRO et al., 2004, LEAVITT et al., 2011).

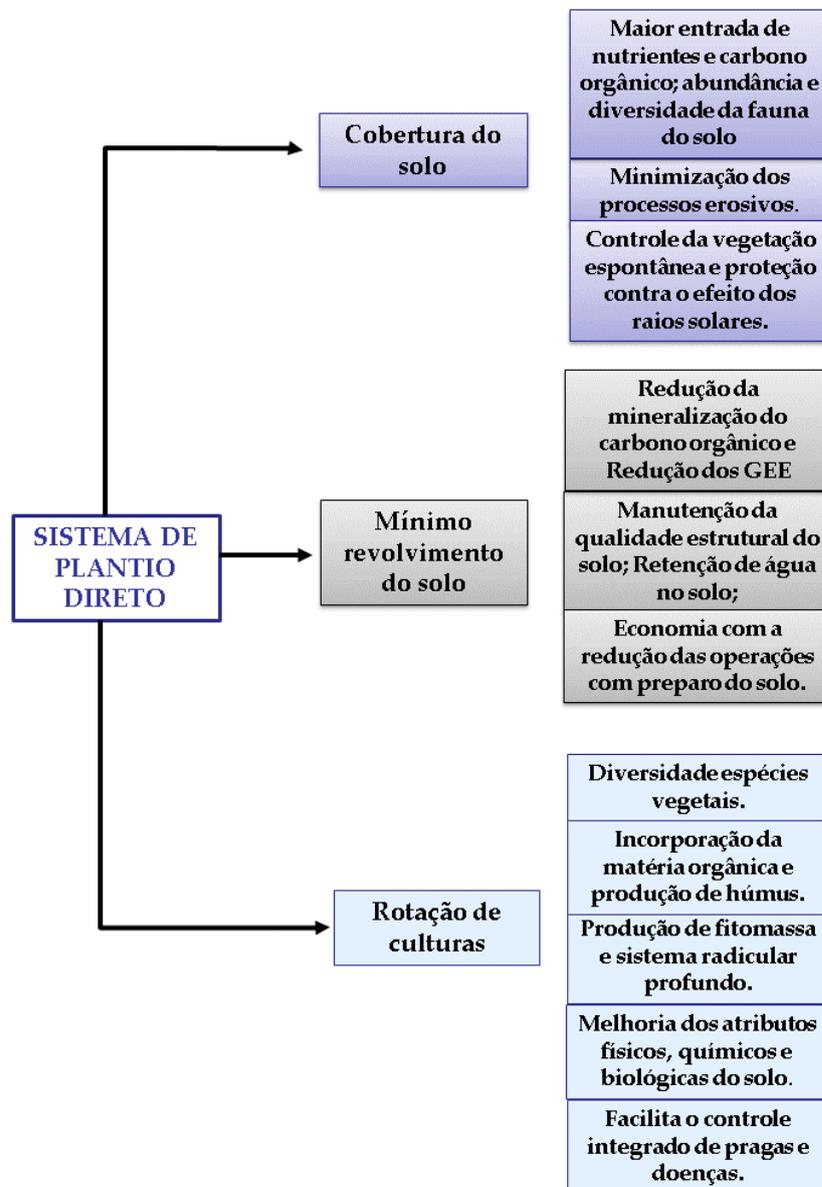


Figura 1. Esquema sobre os principais benefícios observados na literatura do sistema de plantio direto para a qualidade do solo. Fonte: DENARDIN et al., 2019; VEZZANI et al., (2019).

2.5. Indicadores da Qualidade do Solo

A qualidade do solo é atribuída quando o sistema solo é capaz de exercer suas funções sobre a promoção da saúde dos seres vivos, sustentação da produtividade das plantas e dos animais e na manutenção da qualidade do ar e água. Para monitorar a qualidade do solo faz-se necessário realizar uma avaliação por meio dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo. Através deste monitoramento será possível realizar estimativas e soluções para áreas agrícolas com algum nível de degradação e inferir efeitos positivos e/ou negativos das práticas de manejo sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas (SANTANA e BAHIA FILHO, 2002; REICHERT et al., 2003).

Os indicadores são propriedades do solo que revelam a condição atual em que este recurso natural se encontra, sendo fundamental que se relacionem com processos físicos, químicos e biológicos do solo. De acordo com Doran e Parkin (1994), para se obter uma precisa e robusta avaliação, esses indicadores devem seguir alguns critérios:

- a) envolver processos que ocorrem no ecossistema;
- b) compor propriedades e processos físicos, químicos e biológicos;
- c) ser sensível às modificações do manejo e do clima,
- d) ser acessível e aplicável no campo e,
- e) preferencialmente serem incluídos em banco de dados de solos.

Neste sentido, a qualidade física do solo é um importante elemento de sustentabilidade e monitorá-la pode propiciar medidas mais assertivas sobre práticas de manejo que mantenham ou melhorem a qualidade das terras agrícolas (REINERT et al., 2008; REYNOLDS et al., 2002). Os atributos físicos do solo são favoráveis ao crescimento radicular e são necessários para a obtenção e manutenção de elevadas produtividades. Os solos devem possuir suficiente espaço poroso para o movimento de água e gases, e resistência favorável à penetração do sistema radicular (IMHOFF et al., 2000). Os principais indicadores físicos da qualidade do solo, que têm sido utilizados e recomendados para avaliar a saúde do solo são densidade do solo, resistência à penetração, porosidade, capacidade de retenção d'água, condutividade hidráulica, e estabilidade de agregados (BÜNEMANN et al., 2018; VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Dentre os indicadores químicos do solo, destacam-se: a matéria orgânica e seus compartimentos, frações lábeis e estáveis, estoque de carbono, valores de pH, alumínio, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e a porcentagem de saturação por bases (SCHOENHOLTZ et al., 2000). A matéria orgânica do solo (MOS) é referida como indicadora da qualidade do solo por ser sensível às práticas de manejo, e por exercer acentuada influência nos processos de funcionamento do solo no ecossistema (STEVENSON, 1994).

Os indicadores biológicos apresentam eficiência na avaliação da qualidade do solo, estimam a ciclagem dos nutrientes, capacidade do solo para o crescimento vegetal, além de proporcionar respostas mais rápidas a mudanças no ambiente. Geralmente avaliam-se a biomassa microbiana, a fauna edáfica, respiração dos microrganismos, atividade enzimática, fixação biológica de nutrientes, e a mineralização do nitrogênio, enxofre e fósforo (ARAÚJO et al., 2012).

2.6. Densidade, Porosidade do Solo e Resistência à Penetração

A densidade do solo é um atributo que pode apresentar alteração em virtude do manejo agrícola. Portanto, essa propriedade é utilizada principalmente para monitorar o nível de

compactação e adensamento, além de possibilitar a inferência sobre o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular. Cabe ressaltar que os valores críticos de densidade do solo alteram em função do teor de argila, de modo que solos arenosos apresentam limite crítico maior que os argilosos. A porosidade do solo refere-se ao espaço poroso ocupado pelo ar e pela água, e assim interfere na aeração, condução e retenção de água, sendo a água o principal fator limitante da produtividade agrícola e aeração importante para a manutenção para respiração das raízes e da biota do solo (SOUZA et al., 2018). E esta propriedade é influenciada pelas variáveis da estrutura do solo, como a textura, matéria orgânica e manejo do solo.

A avaliação da resistência à penetração tem sido utilizada para identificar camadas compactas e andensadas, sendo que obtém uma estimativa direta sobre o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas. As avaliações podem ser realizadas através de penetrômetro ou penetrógrafo, que representa a resistência mecânica que as raízes enfrentam durante o crescimento. Ressalta-se que este fator físico depende do conteúdo de água, da densidade do solo e da distribuição do tamanho das partículas. Portanto, um solo seco ou mais denso apresenta maior resistência, se comparado com um solo úmido (ASSIS et al., 2009).

2.7. Estabilidade dos Agregados

A agregação do solo é fundamental para o desenvolvimento e crescimento vegetal, uma vez que interfere na infiltração de água no solo, no desenvolvimento das raízes, nas trocas gasosas e na proteção física do carbono orgânico do solo. É também considerada um ótimo indicativo na avaliação dos efeitos de diferentes usos e manejos do solo (PINHEIRO et al., 2004) Neste sentido, a análise da estabilidade de agregados por tamanho é fundamental, pois revela a susceptibilidade do solo ao movimento de água e vento, agentes causadores da erosão.

2.8. Fertilidade do Solo

A avaliação da fertilidade do solo é importante parâmetro, uma vez que o pH, conteúdo de sais, nutrientes e elementos tóxicos influenciam no crescimento vegetal. O principal fator limitante da fertilidade do solo é a presença de alumínio em determinada concentração no solo. A toxidez por alumínio ocorre geralmente em solo com pH abaixo de 5,5, nesta faixa ocorre o aumento da solubilidade deste elemento químico, bem como a sua ocupação do complexo de troca catiônica. Tal processo reflete na menor disponibilidade de nutrientes para as plantas. Neste sentido, a avaliação dos macronutrientes (cálcio, magnésio, potássio, fósforo) também é fundamental devido a sua importância para o aumento da produtividade agrícola (ANGHINONI et al., 2018).

Portanto, o monitoramento deste atributo é importante, haja vista que é amplamente utilizada pelos pesquisadores e produtores, pois é a partida inicial para recomendação de adubação e calagem nas terras agrícolas, bem como por ser aplicável no campo (SOUZA et al. 2019).

2.9. Fração Leve da Matéria Orgânica do Solo

A fração leve livre (FLL) constitui-se em resíduos vegetais, incluindo resíduos microbianos, sementes, fragmentos de raízes e hifas fúngicas, sendo a primeira entrada de matéria orgânica no solo. Já a fração intra-agregado (FLI), compreende grupos de compostos orgânicos de tamanho mais reduzido e apresenta estágio de decomposição mais avançado que a FLL, e se encontra no interior dos agregados. A avaliação da fração leve da matéria

orgânica permite o entendimento sobre os compartimentos relacionados com a estabilização, mecanismos de proteção e transformações da matéria orgânica no solo (BAYER et al., 2018). A FLL também se destaca em ser um atributo químico sensível às mudanças ocasionadas pelas práticas de manejo (PINHEIRO et al., 2004).

2.10. Macrofauna Edáfica

A fauna do solo compreende animais invertebrados que vivem ou passam alguma fase de sua vida no solo. Os organismos edáficos que possuem diâmetro corporal de 2 a 20 mm estão inseridos no grupo da macrofauna. O corpo e tamanhos desses invertebrados possibilitam a fragmentação da matéria orgânica, o rompimento de camadas/horizontes subsuperficiais e construção de galerias no solo, refletindo significativamente na ciclagem de nutrientes e na estrutura do solo (AQUINO et al., 2011).

Os grupos mais representativos como indicadores da qualidade do solo são as minhocas, cupins e formigas, sendo conhecidos como “engenheiros do ecossistema”. As minhocas influenciam na porosidade do solo e na disponibilidade de nutrientes devido ao seu hábito de promover abertura de canais e na ingestão de material orgânico e mineral (STEFFEN et al., 2013). Já, as formigas e cupins influenciam na ciclagem de nutrientes através do transporte, trituração, e digestão de matéria orgânica e, sobre a porosidade e textura do solo por meio da construção de túneis, ingestão e transporte de materiais de solo (FEIGL et al., 2018).

A fauna do solo é responsiva a alterações das práticas de manejo e da cobertura vegetal, bem como a alterações das condições físicas, químicas e biológicas do solo, sendo considerado um bom indicador biológico. Baretta et al. (2011) atribuíram a grande tendência de utilizar a fauna como bioindicadores em função da facilidade de sua estimativa e pela eficiente representação do ambiente. Associado a isso, o método para estimar os organismos edáficos é de fácil aplicabilidade no campo, sendo também um instrumento pedagógico eficiente na abordagem participativa sobre qualidade do solo com produtores rurais.

2.11. Modificação dos Atributos do Solo pelo Manejo Orgânico

A adubação verde é uma prática agrícola que se constitui em uma importante estratégia de manejo na promoção da melhoria e manutenção da qualidade do solo em sistemas orgânicos de produção. Neste sentido, o estudo de Espindola et al. (1998) foi realizado em Seropédica/RJ com intuito de avaliar a influência da adubação verde sobre a colonização micorrízica antecedendo a produção de batata doce. Os autores observaram que o pré-cultivo de crotalária e mucuna-preta provocou o aumento da taxa de colonização radicular na batata e no número de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares. Em relação ao efeito de adubos verdes sobre as propriedades do solo, o trabalho de Perin et al. (2002), realizado em Seropédica/RJ, evidenciou melhoria nos índices de agregação e incremento de carbono orgânico em solos cultivados com leguminosas herbáceas perenes (amendoim forrageiro, cudzu tropical e siratro) em relação à área capinada. O estudo posterior de Perin et al. (2004), realizado ainda com essas leguminosas perenes, constatou que a cobertura viva com o siratro e cudzu tropical condicionaram maior umidade e atenuaram a temperatura do solo em comparação com o amendoim forrageiro e a área capinada. Ainda sobre os benefícios da adubação verde, Biasse (2018) observou que o pré-cultivo com crotalária favoreceu rendimentos significativos sobre a produção de berinjela e melhoria da fertilidade em Seropédica (RJ).

O estudo de Silva et al. (2009) buscou avaliar o efeito do cultivo da couve em monocultivo e consorciada com leguminosas anuais (mucuna anã, mucuna cinza, crotalária

juncea e crotalária *spectabilis*), e a ausência e presença de adubação cama de aviário sobre os parâmetros de fertilidade e frações húmicas do solo. Os resultados mostraram que o consórcio elevou o teor de carbono orgânico total (COT), cálcio, fósforo e magnésio. Entre as leguminosas, as mucunas incrementaram os teores COT e fósforo em comparação com as crotalárias. Já, a adubação orgânica (esterco bovino e cama de frango) refletiu no aumento dos teores da fração humina e ácido húmico.

Sant'Anna et al. (2018) quantificaram o acúmulo de nitrogênio e a fixação biológica de nitrogênio, e mediram as emissões de óxido nitroso (N_2O) produzidos pelos resíduos culturais de três adubos verdes (crotalária *juncea*, mucuna e feijão-de-porco) em sucessão com a cultura da abóbora. Foi constatada vantagem econômica decorrente da fixação biológica do nitrogênio, em razão de maiores rendimentos na produção em comparação com o milho. Os maiores fatores de emissão de N_2O pelos resíduos culturais das leguminosas ficaram abaixo do padrão imposto pelo IPCC. Isto é positivo, por demonstrar os benefícios ambientais gerados pela agricultura orgânica ao não permitir o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, o que favoreceu a redução da emissão de gases do efeito estufa (óxido nitroso).

Os estudos de Loss et al. (2011); Loss et al. (2009a); Loss et al. (2009b) realizados no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (Fazendinha Agroecológica Km 47), no Município de Seropédica (RJ), buscaram avaliar os seguintes tipos de manejos orgânicos: plantio de figo (com preparo reduzido), plantio direto de milho/berinjelas, o cultivo de milho/feijão com preparo convencional do solo e o sistema agroflorestal. Foram determinados os seguintes atributos em cada cultivo orgânico: densidade do solo, diâmetro médio ponderado (DMP) e geométrico (DMG) de agregados, pH, alumínio, cálcio, magnésio, potássio, acidez potencial, fósforo, COT, frações da matéria orgânica (o carbono orgânico particulado e o carbono orgânico associado aos minerais), frações das substâncias húmicas, estoque de carbono no solo e índice de manejo do carbono. Foi observado que na área com plantio direto (milho consorciado com berinjela) foram encontrados maiores valores de DMP, DMG, ácido húmico, carbono orgânico particulado e melhor índice de manejo do carbono. Na área com preparo convencional foram observados menores valores destes atributos comparados ao plantio direto. Os autores destacaram ainda, que a área com plantio direto de berinjela apresentou maior sustentabilidade que as demais, baseado no melhor índice de manejo de carbono. Já na produção de figo, foram observados maiores valores de carbono orgânico total, fração humina, estoque de carbono, carbono orgânico associado aos minerais, nitrogênio e melhores níveis de fertilidade.

Ainda neste mesmo local, na Fazendinha Agroecológica km 47, Rossi et al. (2016) avaliaram a formação de agregados do solo e atributos químicos em diferentes áreas agrícolas, a saber: sistema agroflorestal, com 10 anos de implantação; café a pleno sol (15 anos); café sombreado (15 anos); aleias com flemíngia (10 anos); e plantio direto de milho e berinjela (6 anos). Foi observado que os sistemas de manejos apresentaram efeito homogêneo sobre os tipos de agregados (fisiogênicos, intermediários e biogênicos). Os autores constataram que os manejos com maior tempo de implantação apresentaram maiores teores de carbono no solo, cálcio, magnésio e com maiores valores de diâmetro médio ponderado e de diâmetro médio geométrico.

Ainda nestas áreas anteriores, Moura et al. (2019); Pinto et al. (2018) avaliaram, respectivamente, as frações de fósforos em agregados biogênicos e fisiogênicos, e a quantificação de $C-CO_2$. Os resultados do primeiro trabalho mostraram que todas as áreas de produção orgânica apresentaram adequados teores de fósforo, permitindo uma autossuficiência em relação à nutrição fosfatada. Os autores ainda ressaltaram as vantagens das práticas de manejo adotadas na agricultura orgânica, uma vez que permite a menor demanda por insumos externos. Já no segundo estudo, nesses mesmos sistemas de manejo, foi

evidenciado por Pinto et al. (2018) que o plantio direto apresentou maiores valores de emissão de C-CO₂ em agregados biogênicos em relação às demais áreas, os autores atribuíram este resultado pela menor relação C/N das culturas (milho e berinjela) implantadas nesta área, pela adubação orgânica (esterco bovino e cama de frango), e ao menor tempo de uso da área em comparação aos outros sistemas avaliados.

No módulo intensivo de cultivo de hortaliças orgânicas, localizado na Fazendinha Agroecológica km 47, em Seropédica (RJ), foram desenvolvidas pesquisas por Mata (2012) e Pian (2016) sobre os níveis de fertilidade neste sistema de produção. Os trabalhos abarcaram a avaliação dos seguintes atributos: COT, pH, alumínio, cálcio, magnésio, potássio e fósforo. Sobre estes níveis de fertilidade, foi observado nas pesquisas, que o manejo adotado proporcionou aumento do pH e manutenção dos teores de cálcio, magnésio e fósforo no solo em níveis elevados, porém a exportação de potássio pelas colheitas foi maior que o ingresso pela fertilização. A área apresentou baixos teores de COT, fração leve da matéria orgânica e carbono das frações húmicas. As autoras atribuíram este resultado a textura arenosa do solo (Planossolo) da área experimental, que não favorece o estoque e a fixação de carbono no solo.

O trabalho realizado por Favarato et al. (2015) em Domingos Martins/ES, evidenciou que o sistema de plantio direto de milho verde promoveu a redução dos teores de carbono orgânico, mas aumentaram os valores de pH, fósforo, potássio e cálcio no solo. Apesar de serem resultados pontuais, o trabalho denotou a eficiência da palhada (cobertura vegetal) em promover aportes significativos de teores químicos no solo.

No sul do Brasil, em Ituporanga/SC, o estudo de Souza et al. (2012) avaliou o efeito de plantas de cobertura em sistema de plantio direto agroecológico sobre a produtividade da cebola e nas propriedades químicas do solo. Os tratamentos avaliados foram cevada/aveia preta, centeio, nabo-forrageiro, centeio + nabo-forrageiro, cevada + nabo-forrageiro e a testemunha (vegetação espontânea). Os resultados revelaram que os resíduos vegetais (palhada) destas espécies aumentaram os níveis de produção da cebola e os teores de fósforo, potássio e CTC no solo. Dentre os tratamentos avaliados, o consórcio nabo-forrageiro se destacou por incrementar teores significativos de potássio e elevar a CTC no solo. Além disso, a fertilidade foi considerada de média a alta em todos os tratamentos com plantas de cobertura no solo.

Nesta mesma área e nos mesmos tratamentos com plantas de cobertura, Loss et al. (2015) avaliaram os teores de COT e a agregação do solo. Adicionalmente, estes tratamentos foram comparados com área de mata (floresta secundária) e com cultivo de cebola sob sistema de preparo convencional (agricultura convencional). Os teores de COT foram maiores na área de mata e menores na área com preparo convencional. Em relação aos valores de agregação do solo, a área de mata apresentou melhores índices de agregação na profundidade de 0-5 cm em comparação às outras áreas avaliadas. Na profundidade de 10-20 cm, o tratamento com o nabo-forrageiro se destacou com melhor índice de agregação do solo, seguido dos demais tratamentos com culturas de cobertura, área de mata e preparo convencional. Este efeito revela os benefícios do sistema radicular pivotante e profundo da crucífera sobre o incremento e melhoria da agregação do solo. Apesar de não ser recorrente, a área da mata apresentou menor agregação que sistema de plantio direto na camada de 10-20 cm, neste estudo. Os autores atribuíram este resultado a atuação de diferentes sistemas radiculares e ausência de revolvimento do solo. Vale ressaltar, que a área sob preparo convencional apresentou índices de agregação inferiores em todas as profundidades avaliadas, comportamento oriundo da ruptura da estrutura do solo e da retirada da vegetação.

O estudo posterior de Oliveira et al. (2017) nesta estação experimental, em Ituporanga/SC, buscou avaliar a liberação de formas residuais de fósforo nos diferentes tipos de cobertura vegetal das plantas de coberturas adotadas (cevada/aveia preta, centeio, nabo-forrageiro, centeio + nabo-forrageiro, cevada + nabo-forrageiro e vegetação espontânea) no

sistema de plantio direto de cebola. Os autores observaram que as plantas de coberturas em monocultivo apresentaram maior acúmulo da fração de fósforo que favorece a liberação mais rápida para as plantas (P inorgânico), e que os consórcios denotaram maior liberação de fósforo associado ao RNA em comparação aos demais tratamentos em monocultivo. Também foi observado que o tratamento com os resíduos culturais da vegetação espontânea liberou metade da quantidade de P inorgânico, apesar de ter quantidade considerável em sua biomassa vegetal.

Os trabalhos de Ramos et al. (2015) e Valarini et al. (2011) avaliaram a qualidade do solo em áreas com produção orgânica de hortaliça e compararam com áreas de mata e áreas sob manejo convencional. A primeira pesquisa foi realizada em Colombo/ PR, e avaliou a porosidade do solo, condutividade hidráulica, estabilidade dos agregados e a densidade do solo. Neste estudo, o sistema orgânico de produção propiciou melhores condições físicas do solo em comparação ao sistema convencional, atribuído aos maiores valores de condutividade hidráulica e agregação do solo. O melhor desempenho do sistema orgânico foi provavelmente devido ao manejo com tração animal e pelo uso de várias espécies de inverno. Já o sistema convencional utilizou manejo mecanizado e apenas uma espécie de inverno. No segundo estudo, realizado em São Paulo, foram avaliados atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Foi verificado que os manejos propiciaram a degradação do solo, haja vista redução dos teores de matéria orgânica, biomassa microbiana e na estabilidade dos agregados. A degradação foi decorrente do intenso revolvimento do solo e da retirada da cobertura vegetal nestes solos. As áreas avaliadas apresentaram valores inferiores ao da mata.

Essas pesquisas são importantes, pois motivam os agricultores a adotar o manejo orgânico em suas propriedades. Tais efeitos revelam as vantagens do manejo orgânico do solo em manter ou elevar a fertilidade do solo em áreas sob produção orgânica e melhorar a produtividade das culturas comerciais. Cabe ressaltar que na maioria dos casos, os benefícios dessas práticas agrícolas não são observados imediatamente, sendo necessário investir tempo para obter os ganhos na economia e na sustentabilidade.

As Tabelas 1 e 2 contêm as principais propriedades químicas e físicas do solo, respectivamente, avaliadas em estudos realizados em produções orgânicas de hortaliças. Já na Tabela 3 estão descritas pesquisas sobre outras linhas de pesquisas em ciência do solo. As três tabelas abarcam estudos direcionados sobre o efeito do manejo do solo em cultivo orgânico.

Tabela 1. Atributos químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo na olericultura orgânica.

Descrição Geral				Atributos Químicos				
Solo	Região	Manejo	pH	Ca+Mg (cmolc dm ⁻³)	P	K (mg dm ⁻³)	COT (g kg ⁻¹)	
1	Argissolo	Seropédica (RJ)	PD	6,80	5,74	162,07	106,79	19,83
2	Argissolo	Seropédica (RJ)	PC	6,74	5,74	113,70	128,97	9,46
2	Argissolo	Seropédica (RJ)	PD	6,78	4,95	94,68	128,70	9,91
3	-	Socorro (SP)	PC	5,30	4,39	42,0	120,90	4,22
3	-	Ibiúna (SP)	PC	5,60	7,15	174,3	159,90	3,36
4	Planossolo	Seropédica (RJ)	ENC	5,80	2,58	64,37	63,45	8,0
5	Cambissolo húmico	Ituporanga (SC)	PD	5,56	9,80	41,47	362,70	35,3
6	Latossolo	Domingos (ES)	PD	6,72	9,58	750,0	342,50	49,9
6	Latossolo	Domingos (ES)	PC	6,50	9,45	750,00	250,00	42,5
7	Planossolo	Seropédica (RJ)	PC e ENC	6,00	2,63	62,30	49,88	10,04

1 (SILVA et al., 2009); 2 (LOSS et al., 2009 a); 3 (VALARINI et al., 2011); 4 (MATA et al. 2012); 5 (SOUZA et al., 2012); 6 (FAVARATO et al. 2015); 7 (PIAN et al. 2015); COT (carbono orgânico total); ENC (Encanteiramento); PC (Preparo convencional); PD (Plantio direto).

Tabela 2. Atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo na olericultura orgânica.

Descrição Geral			Atributos físicos				
Solo	Região	Manejo	DMP (mm)	DMG (mm)	Ds (Mg m ⁻³)	PT (%)	
2	Argissolo	Seropédica (RJ)	PD	3,16	1,63	1,40	44,0
2	Argissolo	Seropédica (RJ)	PC	1,74	0,72	1,42	44,6
3	-	Socorro (SP)	PC	1,90	-	-	20,0
3	-	Ibiúna (SP)	PC	3,00	-	-	20,0
8	Cambissolo	Ituporanga (SC)	PD	4,64	4,46	-	-
8	Cambissolo	Ituporanga (SC)	PC	3,50	2,56	-	-
9	Cambissolo	Colombo (PR)	TA	3,60	-	0,95	60,0
10	Argissolo	Seropédica (RJ)	PD	3,05	2,4	-	-

2 (LOSS et al., 2009a); **3** (VALARINI et al., 2011); **8** (LOSS et al. 2015); **9** (RAMOS et al. 2015); **10** (ROSSI et al. 2016); DMG (diâmetro médio ponderado); DMP (diâmetro médio ponderado); Ds (Densidade do solo); PC (Preparo convencional); PD (Plantio direto); PT (Porosidade total); TA (Tração animal).

Tabela 3. Estudos em sistemas de manejo na olericultura orgânica.

Solo	Região	Manejo	Avaliação	Referência
Planossolo Háptico	Seropédica (RJ)	Adubação verde e plantio de batata doce	Colonização micorrizica	(ESPINDOLA et al., 1998)
-	Seropédica (RJ)	Diferentes coberturas vegetais	Macrofauna edáfica	(CORDEIRO et al., 2004)
Argissolo Vermelho-Amarelo	Seropédica (RJ)	Plantio direto de milho/berinjela	Peso e distribuição dos agregados do solo	(LOSS et al., 2009 b)
Argissolo Vermelho-Amarelo	Seropédica (RJ)	Plantio direto de milho/berinjela	Matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico total	(LOSS et al., 2010)
Argissolo Vermelho-Amarelo	Seropédica (RJ)	Plantio direto de milho/berinjela	Frações orgânicas e índice de manejo de carbono	(LOSS et al., 2011)
Argissolo Vermelho-Amarelo	Seropédica (RJ)	Plantio direto de milho/berinjela	Evolução de C-CO ₂ através da atividade microbiana	(LOSS et al., 2013)
Cambissolo Húmico	Ituporanga (SC)	Plantio direto de cebola em rotação de culturas	Dinâmica e acumulação de diferentes formas de fósforo	(OLIVEIRA et al., 2017)
Argissolo Vermelho-Amarelo	Seropédica (RJ)	Plantio direto de milho/berinjela	Evolução de C-CO ₂ em agregados biogênicos e fisiogênicos	(PINTO et al., 2018)
Argissolo Amarelo	Seropédica (RJ)	Adubação verde e produção de berinjela	Propriedades físicas, químicas e plantas de cobertura.	(BIASSE, 2018)
Argissolo Vermelho-Amarelo	Seropédica (RJ)	Plantio direto de milho/berinjela	Frações de Fósforo em agregados biogênicos e fisiogênicos	(MOURA et al., 2019)

De forma geral, os relatos de pesquisa descritos na tabela, foram mais representativos na região Sul e Sudeste. Os estudos apresentaram efeitos comuns sobre a melhoria da fertilidade e incremento de matéria orgânica pelo uso de plantas de cobertura. O preparo reduzido e o plantio direto proporcionaram maiores teores de carbono orgânico e agregação do solo, em comparação ao preparo convencional. Visto isto, estas pesquisas demonstram os benefícios das práticas de manejo adotadas (plantio direto e cultivo mínimo) no manejo orgânico para a sustentabilidade do agroecossistema e para qualidade do solo, apesar de serem resultados pontuais. Adicionalmente, é possível constatar carências de estudos relacionados à avaliação da qualidade do solo em sistemas orgânicos de produção, e esta escassez se intensifica principalmente na avaliação em indicadores biológicos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo

O experimento foi instalado no ano agrícola de 2014/2015 em uma área experimental pertencente ao Sistema Integrado de Produção Agroecológica – SIPA, conhecido como Fazendinha Agroecológica km 47. O SIPA está situado no município de Seropédica (RJ), localizado entre os paralelos 22° 49' e 22° 45' S e os meridianos 43° 23' e 43° 42' O, em altitude média de 33 metros, na Baixada Fluminense. O clima da região, segundo a classificação de Köopen, é do tipo Aw (clima tropical com estação seca). O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (DIAS, 2007), textura franco arenosa. Os valores médios de areia, argila e silte são 670, 257 e 73 g kg⁻¹ na profundidade de 0-5 cm e de 650, 280 e 70 g kg⁻¹ na camada 5–10 cm, respectivamente.

3.2. Descrição dos Tratamentos e Delineamento Experimental

Foram avaliados três tratamentos de preparo do solo, a saber: PD - sistema de plantio direto, sem uso de herbicida (Figura 2); PC-ER - preparo convencional com o uso da enxada rotativa; e PC-AG - preparo convencional com o uso de uma aração e duas gradagens (Figura 3). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições.

No ano de implantação do estudo foram realizados dois pré-cultivos, antecedendo a cultura principal. O primeiro pré-cultivo foi realizado antes da implantação dos tratamentos. A área total foi preparada com uma aração e duas gradagens, seguida da semeadura de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes* L.) consorciado com milho (var. catingueiro) em (15 de outubro de 2014). Nos demais pré-cultivos, as espécies utilizadas no consórcio com o milho foram: crotalaria juncea (*Contralera juncea* L.); mucuna verde (*Mucuna pruriens* (L.) DC. var. *utilis*) e mucuna preta (*Mucuna pruriens* L.).

Nos diferentes anos de estudo, após a colheita do milho verde, a biomassa do consórcio foi manejada com uso de um triturador de palha horizontal (Modelo: Triton 3.600), seguido pelo manejo do solo conforme descrição de cada tratamento. Nas parcelas que correspondem ao PD, a palhada permaneceu triturada em cobertura e nas demais, correspondentes ao PC-ER e PC-AG, o material foi incorporado ao solo durante a operação de preparo.

Após os diferentes pré-cultivos, as culturas principais utilizadas foram: abobrinha (*Cucurbita pepo* L. cv. menina brasileira); feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Ouro Velho); repolho (*Brassica oleracea* L. cv. astrus plus); brócolis americano (*Brassica oleracea* L. cv. Legacy) e abóbora (*Cucurbita moschata* L. cv. Jacarezinho). O detalhamento do manejo dos pré-cultivos e das culturas principais pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Histórico de culturas, densidade populacional e adubação durante o estudo sobre o sistema de plantio direto na olericultura orgânica.

Ano	Culturas	Densidade Plantas.ha ⁻¹	Adubação	
			Base	Cobertura
2015	Milho + Feijão de porco	50.000 + 80.000	-	-
	Abobrinha	21.000	6,6 kg N ha ⁻¹ Bokashi	-
2016	Milho + Crotalaria	50.000 + 40.000	-	100 kg N ha ⁻¹ Torta de Mamona
	Feijão Comum	240.000	-	20 kg ha ⁻¹ Sulfato de Potássio
2017	Milho + Mucuna verde	50.000 + 40.000	50 kg N ha ⁻¹ Torta de Mamona 40 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ Farinha de osso 20 kg ha ⁻¹ de K ₂ O Sulfato de Potássio	50 kg N ha ⁻¹ Torta de Mamona
	Repolho	33.333	40 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ Farinha de osso 20 kg ha ⁻¹ de K ₂ O Sulfato de Potássio	150 kg N ha ⁻¹ NVerde; Torta de Mamona
	Milho + Mucuna preta	50.000 + 40.000	-	50 kg N ha ⁻¹ Torta de Mamona
2018	Brócolis Americano	20.000	50 kg N ha ⁻¹ Torta de Mamona 40 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ Farinha de osso 20 kg ha ⁻¹ de K ₂ O Sulfato de Potássio	50 kg N ha ⁻¹ Torta de Mamona
2019	Milho + Crotalaria	50.000 + 40.000	-	100 kg N ha ⁻¹ Torta de Mamona
	Abóbora Jacarezinho	13.333	-	-



Figura 2. Sistema de plantio direto com a produção de biomassa aérea para adubo verde (a); com uso de Triton para facilitar o manejo da biomassa do adubo verde (b) e; detalhe dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo.



Figura 3. Preparo convencional do solo para a produção orgânica de olerícolas no SIPA: a) convencional com enxada rotativa; b) convencional com aração; c) convencional com uma aração e duas gradagens.

Tabela 5. Valores médios de N, C orgânico total (COT), Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e K^+ de acordo com os diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças, em Seropédica (RJ) na profundidade 0-20 cm, no primeiro ano de instalação do experimento (2015).

Sistema de manejo	0-20 cm						
	COT	N	Al	Ca^{2+}	Mg^{2+}	P	K^+
	g kg^{-1}	g kg^{-1}		Cmolc kg^{-1}		mg dm^{-3}	
PD	8,12	0,95	0,0	2,64	1,36	21,90	103,10
PC-AG	8,00	1,05	0,0	2,65	1,28	19,64	102,35
PC-ER	8,82	1,00	0,0	2,70	1,30	22,38	200,20

3.3. Avaliação da Produtividade das Hortaliças

As avaliações da produtividade comercial para as diferentes culturas foram avaliadas durante os cinco anos agrícolas estudados, sendo que a área útil colhida variou em função da

hortaliça e do ano, sendo:

Abobrinha - 21 m² (7 plantas por parcela)

Feijão-comum - 20 metros lineares

Repolho - 4,8 m² (16 plantas por parcela)

Brócolis - 36 m² (24 plantas por parcela)

Abóbora - 6,5 m² (5 plantas por parcela)

3.4. Amostragem de Terra

A coleta das amostras de terra para a caracterização química e física foi realizada após a colheita dos brócolis e da operação do triturador de resíduos na área experimental (7 de novembro de 2018), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Foram abertas três trincheiras, em cada parcela experimental, e recolhidos torrões que foram acomodados em sacolas plásticas previamente identificadas. Essas amostras foram passadas num conjunto de peneiras de diâmetros de 8; 4 e 2 mm para a análise de estabilidade dos agregados do solo. Paralelamente, também foram coletadas amostras de terra deformada para a análise química do solo.

Em abril e junho de 2019, após o cultivo das plantas de cobertura (milho + crotalária) foi realizada a avaliação das propriedades físicas (densidade e resistência à penetração). Em 14 e 21 de janeiro de 2020, foram realizadas as amostragens para a avaliação da macrofauna edáfica.

3.5. Análises Físicas do Solo

3.5.1. Densidade do solo

A coleta de amostras foi realizada pela introdução de um anel volumétrico (Kopecky), de volume conhecido (Figura 4). O método seguiu as recomendações da Embrapa (2017). A densidade do solo (D_s) foi determinada pela seguinte Equação 1:

$$D_s = MS \div VT \quad (1)$$

Em que:

D_s = densidade do solo, em Mg m⁻³

MS = massa do solo seco (Mg) em estufa à 105-110° C, durante 48 hs

VT = volume total (m³) calculado pelo volume do anel de Kopecky: $\pi r^2 h$



Figura 4. Coleta de amostra indeformada para determinação da densidade do solo na área de estudo.

3.5.2. Densidade das partículas (Dp)

A determinação da Dp foi realizada pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 2017). Foram pesadas 20 g de TFSA e transferidas para balão volumétrico de 50 ml, com o auxílio de um funil. O álcool etílico foi adicionado até o volume aferido (50 ml). Em seguida, foi anotado o volume final de álcool gasto para completar os 50 mL. O cálculo da Dp foi obtido pela Equação 2:

$$D_p = \frac{M_s}{V_b - V_a} \quad (2)$$

Em que:

Dp = Densidade das partículas do solo, em Mg m⁻³

Ms = massa seca (g) em estufa à 105-110° C, durante 24 hs

Vb = Volume do balão (50 cm³)

Va = Volume final de álcool gasto (cm³)

3.5.2. Resistência à penetração

A avaliação da resistência à penetração foi realizada com uso de medidor automatizado de compactação do solo, modelo SoloTrack, da marca Falker (Figura 5), nas profundidades de 0 a 60 cm, num intervalo de 5 cm. A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico (Embrapa, 2017), nas mesmas profundidades e no mesmo momento em que foi realizado o teste de resistência à penetração (EMBRAPA, 2017).

No início do cultivo da abóbora, o equipamento foi transportado para a área de estudo, onde foram realizadas cinco avaliações em cada parcela experimental (Figura 5 a). O controle e a determinação da resistência à penetração foram efetuados pela interface do painel do equipamento (Figura 5 b). As análises de dados foram realizadas pelo Software incluso no medidor de compactação do solo.

Ressalta-se que a avaliação da resistência à penetração foi realizada um mês após o preparo do solo na área experimental (10 de junho de 2019).

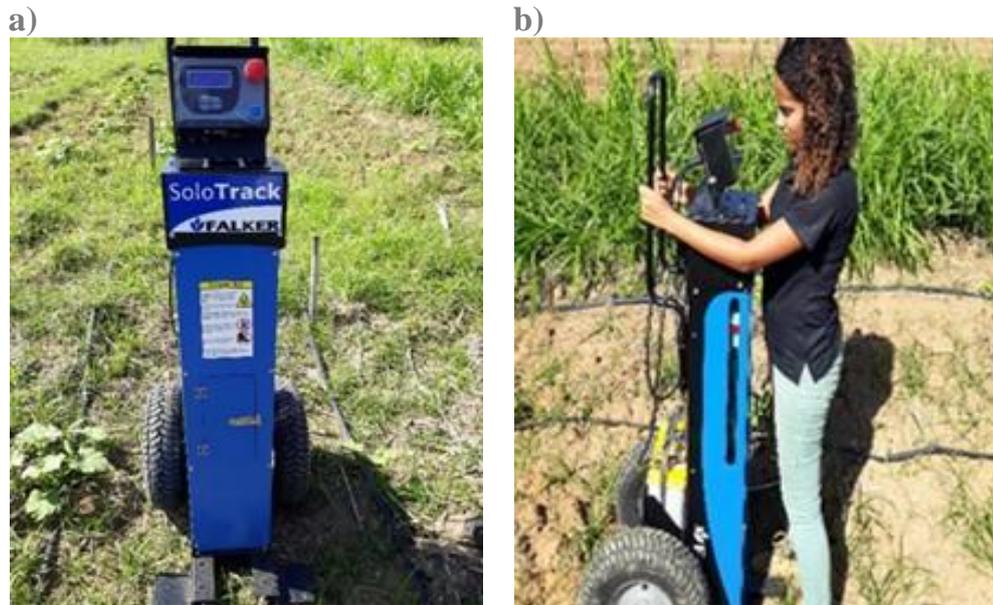


Figura 5. Detalhe do medidor automatizado utilizado para medir a compactação do solo (a) e a avaliação da compactação do solo na área de estudo (b).

3.5.3. Estabilidade dos agregados do solo

A análise de estabilidade dos agregados foi realizada no Laboratório de Gênese e Classificação de Solos. O método utilizado foi descrito pela EMBRAPA (2017) (Figura 6), via úmida. O DMP foi calculado de acordo com a seguinte expressão: $DMP = \sum x_i y_i$, em que i = intervalo de classe das peneiras: $8,0 \geq X > 2,0$ mm; de $2,0 \geq X > 1,0$ mm; de $1,0 \geq X > 0,5$ mm; de $0,5 \geq X > 0,25$ mm e de $0,25 \geq X > 0,105$ mm; $< 0,105$ mm; x_i = é o centro de classe (mm); e y_i = é a percentagem de agregados na referida classe (x_i).



Figura 6. Conjunto de peneiras no interior do aparelho Yooder.

3.5.4. Análise granulométrica

As amostras de terra foram dispersas em solução com NaOH (1mol^{-1}) e homogeneizadas em agitador horizontal, de acordo com a Embrapa (2017). O teor de argila

total foi determinado por sedimentação utilizando-se o método da pipeta (Figura 7). A fração areia foi separada por tamisamento utilizando peneiras de 0,053 mm de diâmetro. O silte foi obtido por diferença.



Figura 7. Detalhe da análise granulométrica pelo método da pipeta.

3.5.5. Volume total de poros (VTP)

O volume total de poros nas amostras de terra foi calculado de acordo com a Equação 3, pelo método da Embrapa (2017).

$$VTP (\%) = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \times 100$$

(3)

Em que:

D_s = densidade do solo (Mg m^{-3})

D_p = densidade da partícula (g cm^{-3})

3.6. Análises Químicas do Solo

3.6.1. Fertilidade do solo

As análises de fertilidade do solo foram realizadas no Laboratório de Química Agrícola (LQA) na Embrapa Agrobiologia. Foi realizada a determinação do pH e os teores de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio segundo os métodos descritos em Embrapa (2005). Mais detalhadamente, o pH em água, foi determinado numa relação 1: 2,5 (solo:água) por potenciometria. O alumínio foi extraído com $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ e determinado por titulação utilizando solução de $\text{NaOH } (0,025 \text{ mol L}^{-1})$ como titulante e azul de bromotimol como indicador do ponto de viragem. O fósforo assimilável foi determinado pelo método colorimétrico. O conteúdo de carbono orgânico total (COT) foi quantificado segundo Walkley e Black (1934). Os teores de cálcio e magnésio foram extraídos em solução de $\text{KCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e determinados pelo método de absorção atômica. O potássio foi extraído em solução de Mehlich-1 ($\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1} + \text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$) por fotometria em

chama. O teor de nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl (1883).

a) Estoque de carbono e nitrogênio no solo

A obtenção dos valores de estoques de C e N foram conforme Equação 4.

$$E = (C \text{ ou } N) \cdot Ds \cdot e \quad (4)$$

Em que:

E = estoque de C ou N do solo (Mg ha^{-1})

C = Teor de C no solo (g kg^{-1})

N = Teor de N no solo (g kg^{-1})

Ds = densidade do solo (Mg m^{-3})

e = espessura da camada avaliada (cm)

b) Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo

O fracionamento densimétrico seguiu o método de Sohi et al., (2001) modificada. Foram pesadas 5g de TFSA em frascos de centrífuga de 50 mL e, em seguida, 35 mL de iodeto de sódio (NaI , $d=1,80 \pm 0,02 \text{ gcm}^3$) foram adicionados. Os frascos foram levemente agitados manualmente e deixados em repouso por 48 horas. Após o tempo de centrifugação, a fração orgânica sobrenadante, denominada fração leve livre, (Figura 8 C) foi succionada através do sistema de filtração à vácuo (Figura 8A e 8B) e retida nos filtros de fibra de vidro (Whatman, 47 mm de diâmetro), os quais foram previamente pesados. A fração orgânica, juntamente com o filtro (Figura 8D), foi posteriormente seca à 65°C e pesada para a obtenção da massa de fração leve livre (g kg^{-1} solo). A extração da fração leve intra-agregado (FLI) foi realizada após a remoção da FLL, aplicando energia do ultrassom (modelo 250/450 Sonifier) por 1 min, resultando numa energia de 400 J mL^{-1} . Cabe ressaltar que, essa operação foi realizada, em banho de gelo, com o objetivo de evitar uma brusca elevação da temperatura. Após essa etapa, a FLI foi coletada nos filtros de fibra de vidro, seca e pesada da mesma forma que foi realizada para a fração leve livre.



Figura 8. Resumo das etapas do fracionamento físico da matéria orgânica (FLL) por densidade: a) Sistema de filtração da Millipore; b) Bomba de vácuo para succionar a FLL; c) Frasco de centrifuga contendo a solução de iodeto de sódio e a FLL sobrenadante e d) Filtro de fibra de vidro com a FLL.

c) Carbono orgânico nos agregados do solo

Para a determinação do teor de carbono orgânico nos agregados do solo, as amostras foram submetidas ao aparelho Yooder através do método via úmida, e assim a porção de agregados do solo retida em cada peneira foi posteriormente seca a 60° C. Após esta etapa, as classes de agregados foram separadas pelo tamanho em macroagregados (>0,250 mm) e microagregados (<0,250 mm), logo em seguida foram finamente moídas e pesadas. A quantificação do conteúdo de carbono orgânico foi feita de acordo com Walkley & Black (1932), no Laboratório de Química Agrícola, na Embrapa Agrobiologia.

3.6.2. Análise Biológica do solo

a) Fauna edáfica

A amostragem da fauna edáfica foi realizada no período chuvoso em Seropédica, pelo método Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), conforme Anderson e Ingram (1993). Em cada local de amostragem, os monólitos de 25x25 cm foram retirados através de uma caixa metálica, por meio de escavação na camada de 0-10 cm. As amostras de terra foram acondicionadas em sacos de plástico, identificadas e conduzidas ao Laboratório de Fauna do solo (Embrapa Agrobiologia), para a triagem dos macro invertebrados edáficos, por meio de catação manual (Figura 9A). Após a triagem, os invertebrados foram acondicionados em tubos de ensaio de 25 mL, com álcool a 70%, para posterior identificação em laboratório (Figura 9B e 9C).

A partir dos dados obtidos dos grupos da fauna do solo, foram calculados os seguintes índices ecológicos:

1. Indivíduos/m² (Equação 5):

$$I = \frac{\sum N}{n \cdot A} \quad (5)$$

Em que:

I = densidade média de indivíduos/m²

N = número de amostras por grupo

n = número de indivíduos por amostra

A = área da seção transversal do amostrador de solos (0,0625 m²)

2. Riqueza (S):

Estima o número de grupos taxonômicos de determinado local, e não considera a estrutura desta, nem a frequência com que esses indivíduos aparecem.

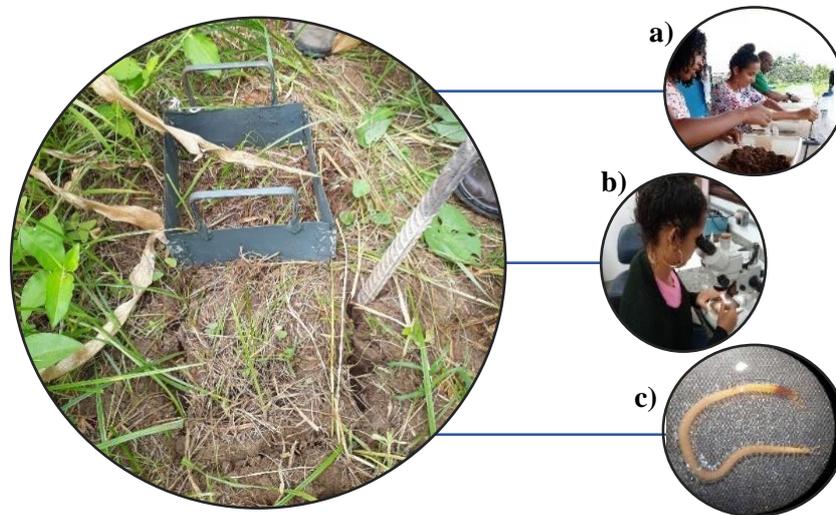


Figura 9. Detalhe da sonda utilizada para a coleta da macrofauna edáfica pelo método TSBF e as etapas seguintes de avaliação dos organismos: a) coleta manual dos indivíduos vistos a olho nu; b) identificação da fauna edáfica com uso de microscópio e; c) exemplo de um organismo identificado do grupo chilopoda.

3.7. Análises Estatísticas

Os dados obtidos foram analisados por meio da Análise de Variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de significância. Também foi realizada a análise de resíduos para garantir a validade da ANOVA, em que foram testadas a normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias por meio de testes Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente.

A análise de correlação utilizando o teste de coeficiente de Pearson (r) a 5% de significância foi aplicada nos dados referentes aos indivíduos/m² dos grupos da fauna invertebrada edáfica (profundidade de 0-10 cm) e nos atributos físicos e químicos do solo, visando compreender o efeito das condições químicas e físicas do solo sobre atividade dos organismos edáficos.

A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para descrever a relação entre a produtividades das hortaliças, os atributos do solo, e os tratamentos de sistemas de manejo do solo. A PCA foi realizada após a padronização dos dados (para evitar a influência de diferentes unidades de médias das variáveis respostas). O agrupamento hierárquico em componentes principais foi utilizado para o agrupamento de amostras com características semelhantes, e todas as análises estatísticas foram realizadas com o software R (R Core Team, 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades Físicas do Solo Sob Diferentes Sistemas de Manejo Orgânico de Produção de Olerícolas

4.1.1. Densidade do solo

Os diferentes sistemas de manejo do solo avaliados na produção orgânica de hortaliça mostraram atuar de forma homogênea na compactação e adensamento do solo (Tabela 6). A densidade do solo (D_s) é um atributo físico que pode indicar o nível de compactação do solo sob manejo agrícola.

Em todos os sistemas de manejo avaliados foram observados menores valores de densidade do solo na camada superficial (0-5 cm). Esse padrão é decorrente da constante adição de matéria orgânica (viva e morta) na camada superficial do solo quando comparado às camadas inferiores (5-10 cm). Os sistemas de manejo que utilizam máquinas agrícolas no plantio como o arado, a grade niveladora e enxada rotativa podem propiciar a formação de camadas compactadas em profundidade, o chamado “pé-de-arado” (SOUZA et al., 2018).

Os valores considerados críticos para a D_s em solos com textura franco-arenosa variam de 1,60 a 1,80 $Mg\ m^{-3}$, conforme proposto por Reichert et al. (2003). Verifica-se que somente o valor observado na área de plantio direto (5-10 cm) está acima da faixa crítica de D_s . Cabe ressaltar que valores altos de D_s podem ser um limite físico para o crescimento das raízes das plantas, podendo restringir a produtividade agrícola. Os valores de D_s observados foram similares ao estudo de Loss et al. (2009a) em Seropédica/RJ, em cultivo orgânico de olerícolas.

Em referência ao PD, nos primeiros anos deste sistema pode ocorrer aumento da D_s pela reorganização das partículas de solo. No entanto, com a consolidação do sistema, há aumento nos teores de carbono orgânico, o que leva à redução na D_s e, conseqüente, aumento da porosidade do solo (TORMENA et al., 2004; TORMENA, SILVA & LIBARDI, 1998).

É importante destacar, que os valores altos da D_s no PD (5-10 cm) podem ser em decorrência da mecanização, através da operação agrícola com o Triton no sistema (trituração da fitomassa). Contudo, conforme observado por Silveira et al. (2008), a introdução contínua de matéria orgânica e o uso de rotação de culturas neste sistema tende a diminuir a densidade com o passar do tempo. Em vista disto, Reinert et al. (2008) relataram que para reduzir a D_s é indicado o uso de espécies com sistema radicular profundo e vigoroso e que alcancem maiores profundidades do solo para reduzir a compactação. Os autores verificaram que o cultivo de mucuna, crotalária e feijão-de-porco podem ser utilizados como estratégia para diminuir a D_s em solos compactados. Caso os valores de D_s sejam superiores a 1,75 $Mg\ m^{-3}$ é sugerido a utilização de escarificador ou subsolador. Observa-se que o manejo inserido neste estudo pode contribuir com a redução da D_s pelo uso de plantas de coberturas que antecedem a cultura principal.

Tabela 6. Valores médios de densidade do solo sob diferentes sistemas de manejo orgânico de produção de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ).

Sistemas de manejo do solo	Densidade do Solo (Mg m^{-3})	
	0-5 cm	5-10 cm
PD	1,44	1,64
PC-AG	1,46	1,59
PC-ER	1,37	1,58
CV (%)	7,71	4,44

A ausência de letras nas médias indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$).

4.1.2. Porosidade total do solo

Para os diferentes sistemas de manejo do solo avaliados na produção orgânica de hortaliças não foram verificadas diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) para o atributo porosidade total do solo (Tabela 6). O comportamento uniforme entre os tratamentos pode ser atribuído à adição e incorporação de resíduos vegetais na superfície do solo, oriundos do uso de rotação de culturas e das plantas de cobertura.

Os valores de porosidade total do solo na camada de 0-5 cm aproximam-se das condições naturais do solo, que são aproximadamente 50% (BRADY & WEIL 2013). Já na camada 5-10 cm é verificado um decréscimo da porosidade do solo. Por conseguinte, Brady e Weil (2013) estabeleceram que os solos que possuem camadas subsuperficiais com valores de porosidade inferiores a 25% são considerados compactados. As camadas superficiais com 60% de porosidade apresentam boa agregação e podem apresentar altos teores de matéria orgânica.

Neste contexto, o estudo realizado por Guareschi et al. (2012) verificaram que áreas agrícolas em Montividiu-GO com mais de 20 anos sob o manejo de plantio direto, apresentaram porosidade próxima a 60%, e ainda com valores próximos aos observados nas áreas de cerrado nativo. Loss et al. (2017) verificaram que o sistema de plantio direto com uso de plantas de cobertura, no cultivo convencional de cebola, proporcionou aumento da porosidade total do solo e da umidade volumétrica comparativamente ao preparo convencional. Estes estudos denotam que os sistemas conservacionistas ao longo do tempo podem melhorar as condições do solo, favorecendo maior porosidade, menor densidade do solo e maiores conteúdos de matéria orgânica do solo.

Diante disso, verifica-se que os valores de VTP observados nos diferentes manejos deste trabalho são capazes de proporcionar adequada trocas de gases e líquidos entre o ambiente externo e o solo, com condições desejáveis para o desenvolvimento e crescimento vegetal, e que pode ser confirmado pelos valores de produtividade.

Em relação à Dp, também foi observado efeito homogêneo entre os tratamentos (Tabela 7). Este resultado está relacionado com o fato de a densidade da partícula ser um atributo físico estável, e assim dificilmente é influenciado pelo impacto do manejo.

Tabela 7. Valores médios de densidade das partículas do solo (Dp) e volume total de poros (VTP) nos diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ).

Sistemas de manejo do solo	Dp (Mg m^{-3})	VTP (%)
	0-5cm - 5-10 cm	0-5 cm - 5-10 cm
PD	2,60 - 2,60	45,00 - 36,80
PC-AG	2,60 - 2,60	43,40 - 38,45

Continua...

Continuação da **Tabela 7.**

Sistemas de manejo do solo	Dp (Mg m ⁻³)	VTP (%)
	0-5cm - 5-10 cm	0-5 cm - 5-10 cm
PC-ER	2,55 - 2,60	46,50 - 38,50
CV (%)	1,32 - 1,35	8,86 - 8,30

A ausência de letras nas médias indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$).

4.1.3. Resistência à penetração do solo

Na avaliação da resistência à penetração, foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em determinadas camadas do solo, a saber: 10-15 cm; 15-20 cm e 20-25 cm. Nas demais camadas, não foi constatada diferença estatística entre os tratamentos (Figura 10).

No intervalo de 0 a 5 cm de profundidade, o sistema de plantio direto proporcionou uma resistência superior em torno de 38% aos demais tratamentos. No intervalo de 10 a 25 cm de profundidade, o preparo convencional com aração e gradagem apresentou menor resistência que o preparo com enxada rotativa e o sistema de plantio direto.

Os efeitos acima podem estar relacionados com as ações da enxada rotativa, arado e da grade no solo, as quais promovem deslocamento das terras nas profundidades mencionadas anteriormente. Ao sair desta faixa (0-25 cm), não se verifica efeito significativo entre os sistemas de manejo avaliados.

Resultados semelhantes foram observados por Branco et al. (2014) no Sul do Brasil, onde os autores também evidenciaram que preparo convencional apresentou menor resistência à penetração que o plantio direto nos primeiros 30 cm de profundidade, durante o cultivo de melancia. Estes efeitos podem ser explicados pela ação dos implementos agrícolas, os quais causam o rompimento da superfície do solo, e desta forma diminuem a resistência e consequentemente expõe o solo à erosão (RICHART et al., 2005)

No que se refere às avaliações de resistência, os valores das camadas até 30 cm são considerados moderados conforme os critérios de Beutler et al. (2001). Já nas camadas subjacentes a esta última profundidade (30-60 cm), os valores são considerados altos. Outros autores, como Grant & Lafond (1993) e Arshad et al. (1996) constataram que a resistência à penetração pode ser restritiva ao crescimento radicular acima de 1,5 a 3,0 MPa e de 2,0 a 4,0 Mpa, respectivamente.

Ressalta-se que podem ser admitidos valores superiores (na ordem de 5,0 Mpa) em áreas de plantio direto. Isto é possível devido as raízes crescerem por canais contínuos deixados pela fauna do solo e pelo sistema radicular decomposto, conforme as observações de Ehlers et al. (1983). Associado a isso, demonstra-se a importância de estudos voltados para recomendação de plantas de cobertura adaptadas às condições edafoclimáticas da baixada fluminense que favoreçam a diminuição da compactação do solo a longo prazo.

Em relação aos efeitos sobre a umidade do solo, os diferentes sistemas de manejo do solo avaliados na produção orgânica de hortaliça mostraram atuar de forma homogênea no teor de umidade do solo, pois não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Figura 11). A determinação da umidade do solo é um importante atributo na avaliação da resistência à penetração, porque possui correlação com uma maior ou menor resistência do solo.

Verifica-se que na camada de 0-5 cm, o sistema de plantio direto apresenta umidade superior ao preparo com aração e gradagem em torno de 24%, isto pode ser em decorrência do benefício do uso de resíduos culturais sobre a superfície do solo. Neste sentido, observa-se na profundidade de 5-10 cm, que o preparo com aração e gradagem apresenta maior conteúdo de água em aproximadamente 14 % que o sistema de plantio direto. Então, a menor

resistência demonstrada anteriormente neste tratamento pode decorrer da umidade presente na camada da avaliação, já que a partir dos 25 cm o efeito da retenção de água é igual entre os tratamentos. Esses resultados corroboram estudos realizados por Assis et al. (2009); Lima et al. (2008), cujos resultados apontaram que a resistência do solo diminui com o incremento no conteúdo de água do solo.

Diante disso, é possível averiguar que os sistemas de manejo adotados neste estudo proporcionam condições favoráveis para o crescimento e desenvolvimento radicular das culturas. Isto é confirmado pelos valores de resistência que estão incluídos na faixa adequada para o crescimento vegetal (2 Mpa), conforme o estudo de Letey et al. (1985). Ressalta-se que as olerícolas avaliadas neste estudo apresentam sistema radicular que podem alcançar entre 20 e 50 cm de profundidade no solo.

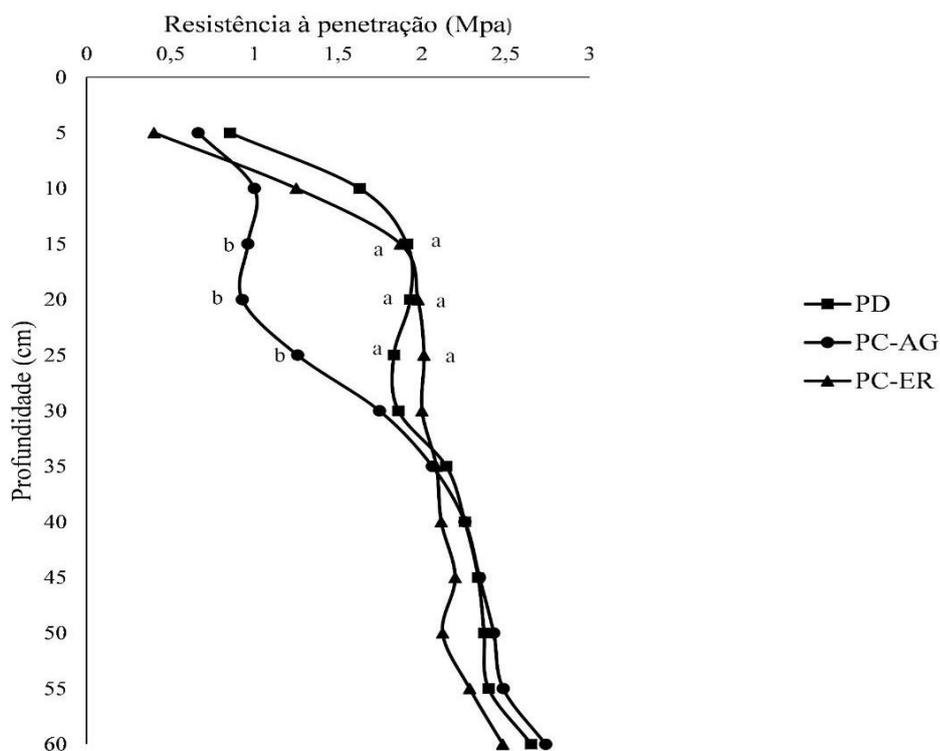


Figura 10. Resistência à penetração do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de manejo orgânico do solo para cultivo de olerícolas nas profundidades de 0-60 cm em Seropédica (RJ). Médias seguidas de letras diferentes, no gráfico, diferem significativamente ($p < 0,05$) pelo teste de Scott- Knott ($p < 0,05$). A ausência de letras nas demais profundidades indica que não houve diferença significativa pelo teste F.

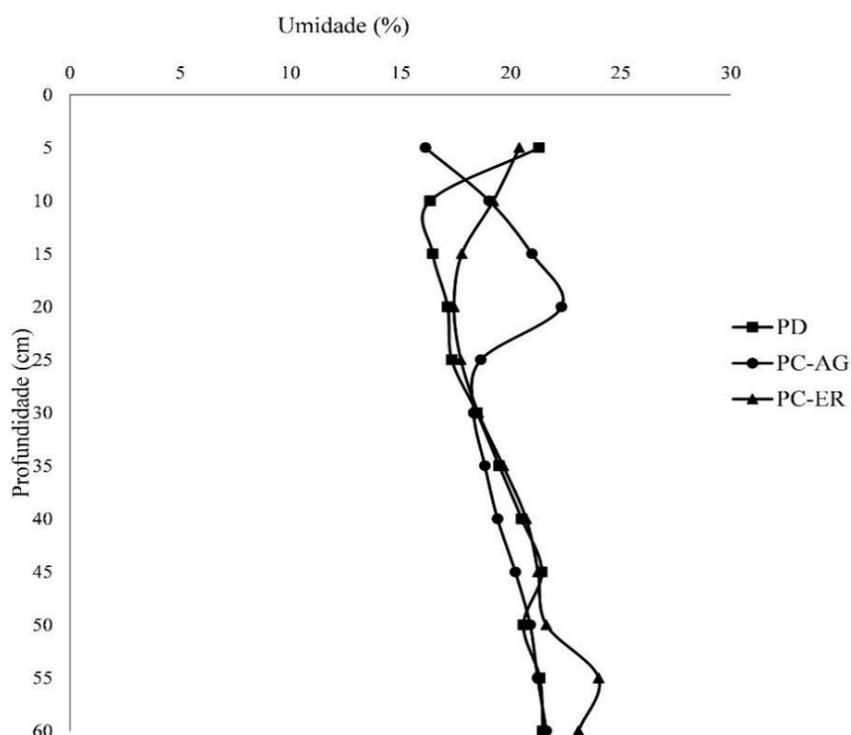


Figura 11. Teor de umidade do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, em diferentes profundidades, sob diferentes sistemas de manejo orgânico do solo com cultivo de olerícolas, em Seropédica (RJ). A ausência de letras, no gráfico, indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$).

4.1.4. Agregação do solo

Os sistemas de manejo do solo para a produção de hortaliças avaliados atuaram de forma homogênea na agregação do solo, não havendo diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 8). Com relação a comparação do DMP entre as profundidades, observa-se na área de preparo convencional com enxada rotativa uma maior média na profundidade de 0-5 cm. No entanto, na profundidade de 5-10 cm, neste tratamento, verificou-se uma brusca redução no valor de DMP na camada em que o implemento agrícola mobiliza o solo, já que a haste revolvente tem 10 cm de extensão. Na comparação entre as profundidades nos sistemas PC-AG e o PD, os valores de DMP foram semelhantes em 0-5 e 5-10 cm.

Os valores de DMP do presente trabalho são maiores que os observados por Pinheiro, Pereira & Anjos (2004) em Paty do Alferes/RJ e Loss et al. (2009) em Seropédica/RJ, porém apresentam-se inferiores ao encontrados por Loss et al. (2015) em Ituporanga-SC. Todos esses autores verificaram os efeitos de diferentes sistemas de manejo no cultivo de oleráceas e constataram agregados de maiores tamanhos em manejos conservacionistas quando comparados aos preparos convencionais do solo. Em experimento de longa duração (23 anos) em área sob sistema de semeadura direta de milho e feijão em Argissolo Vermelho-Amarelo, Hickmann et al. (2011) encontraram valores de DMP de 2,14 mm na profundidade de 0-5 cm. Esses resultados foram menores que os obtidos neste estudo.

Neste contexto, verifica-se que os dados do presente estudo, corroboram estudo realizado por ROSSI et al. (2016), em que os manejos agroecológicos de diferentes cultivos de hortaliças favorecem a formação de agregados no solo. Esses efeitos também são

confirmados por Bronick e Lal (2005) no qual, segundo os autores, a estabilização dos agregados depende do contínuo fornecimento de matéria orgânica. Dentre os mecanismos da gênese de agregados, a matéria orgânica destaca-se por ser um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo. A rotação de culturas e a manutenção de plantas de cobertura sobre solo mostram-se como estratégia fundamental para favorecer este processo.

A partir disto, é possível inferir que a produção orgânica de hortaliças, com especial atenção às fontes orgânicas introduzidas através dos pré-cultivos para a formação da palhada ou dos adubos orgânicos utilizados, está favorecendo uma boa agregação no solo.

Tabela 8. Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo sob diferentes sistemas de manejo orgânico do solo para produção de olerícolas em Seropédica (RJ).

Sistemas de manejo do solo	DMP (mm)	
	0-5 cm	5-10 cm
PD	3,72	3,18
PC-AG	3,70	3,23
PC-ER	3,93	2,81
CV (%)	7,81	14,87

A ausência de letras nas médias indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$).

4.2. Propriedades Químicas do Solo sob Diferentes Sistemas de Manejo Orgânico de Produção de Olerícolas

4.2.1. Carbono orgânico nos agregados

Os teores médios de carbono orgânico nos macroagregados ($>0,250$ mm) do solo são apresentados na Figura 12. Com relação ao manejo orgânico do solo para a produção de olerícolas, foram observadas diferenças significativas nos teores de C nos macroagregados ($>0,250$ mm) entre os sistemas de manejo adotados somente na profundidade de 0-5 cm. Os maiores teores de C foram encontrados no PC-ER ($22,28 \text{ g kg}^{-1}$), seguido do PD ($18,60 \text{ g kg}^{-1}$) e por fim, o PC-AG ($16,10 \text{ g kg}^{-1}$). Na camada de 5-10 cm, os teores de C nos agregados do solo foram estatisticamente homogêneos entre os tratamentos avaliados. Com relação aos teores de C nos agregados do solo nas profundidades, novamente observa-se uma diminuição dos teores entre as camadas (0-5 e 5-10 cm), como foi verificado anteriormente na estabilidade dos agregados.

Para os microagregados do solo ($<0,250$ mm), não foi observada diferença estatística entre os tratamentos (Figura 13). Constata-se maior conteúdo de C orgânico nos macroagregados em detrimento dos microagregados, tal padrão é comumente encontrado da literatura (PERIN et al., 2002; PINHEIRO et al., 2004; LOSS et al., 2009; COUTINHO et al., 2010; LOSS et al., 2015), sendo este decorrente da atuação dos diferentes compartimentos da matéria orgânica que atuam na estabilização destas classes de agregados do solo.

O comportamento dos sistemas de manejo observados neste estudo diverge da maioria das pesquisas realizadas, o que também é agravado pelos poucos estudos científicos que avaliaram as modificações nos atributos do solo em manejo agroecológico.

A adubação orgânica e os resíduos culturais provenientes da sucessão de culturas são os principais agentes cimentantes responsáveis pela estabilização da macroagregação na produção orgânica de hortaliças (TISDALL e OADES, 1980;1982). A partir disso, o que pode ter influenciado o teor de C nos tratamentos está estritamente relacionado à forma do preparo do solo. Neste sentido, os menores valores de C no PD comparado ao PC-ER, podem ser

atribuídos ao efeito “*priming*”. Este efeito é caracterizado pela mineralização do C nativo do solo, em decorrência do estímulo da ação dos microrganismos através do aporte contínuo de matéria orgânica do solo. Aliado a isso, a ausência de mobilização no solo pode ter favorecido a maior atividade biológica, haja vista os resultados da fauna do solo (Tabela 9). Já na área de PC-AG, os menores teores de C estão relacionados à oxidação da matéria orgânica proveniente da mobilização do solo.

Em relação à microagregação, as substâncias húmicas são os principais agentes cimentantes responsáveis pela estabilização desta classe de agregados. Sendo assim, as ligações químicas são estáveis, e dificilmente os microagregados são afetados pelas variações causadas pelo uso e manejo do solo (TISDALL e OADES, 1980;1982). Associado a isso, quatro anos não foram suficientes para que o impacto do manejo pudesse se expressar de forma significativa em relação a este atributo. Os resultados do estudo sugerem que a recalcitrância e proteção química (microagregados) são importantes no cultivo orgânico de olerícolas, visto que os resíduos culturais das culturas oleráceas, a textura do solo e o clima não favorecem o acúmulo de carbono no solo.

Estudos desenvolvidos no Sul do Brasil sobre sistema de plantio direto mostraram que este sistema de manejo é eficiente na melhoria da agregação e no acúmulo de carbono no solo, o que reflete na vasta adoção desse sistema nas regiões Sul e Central do país. Os benefícios proporcionados pelo sistema de plantio direto são devidos ao uso de rotação de culturas, ao mínimo revolvimento e a manutenção da palhada sobre a superfície do solo, o que acarreta na manutenção e/ou melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas. Resultados semelhantes a este estudo com concentrações de C nos agregados também foram vistos por Rossi et al. (2016); Loss et al. (2015) e Perin et al. (2002) em pesquisas realizadas com diferentes tipos de manejo orgânico do solo.

Acredita-se que o principal fator que está contribuindo para maior acúmulo de C nas áreas manejadas com revolvimento são as plantas de cobertura através de consórcio entre o milho e a leguminosa, conforme evidenciado por Nascente, Li & Crusciol (2015) e por Salton et al. (2008). Sendo assim, o planejamento adequado de rotação de culturas sucessoras representa estratégia fundamental nas melhorias das condições edáficas. A permanência do C no interior dos agregados pode estar atribuída à contínua inserção de nitrogênio através da adubação verde e dos adubos orgânicos. Resultados semelhantes foram encontrados por Loss et al. (2015), que verificaram que as áreas onde havia consórcio com leguminosas favoreceram maior teor de C orgânico nos macroagregados.

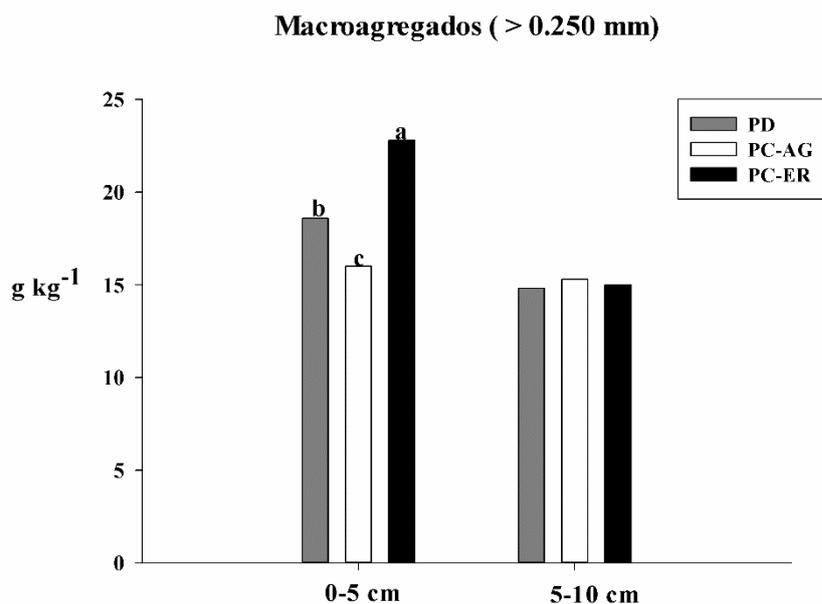


Figura 12. Teores de carbono orgânico (g kg⁻¹) nos macroagregados do solo sob sistemas de manejo orgânico do solo com cultivo de olerícolas, em Seropédica (RJ). Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste Scott- Knott (p <0,05).

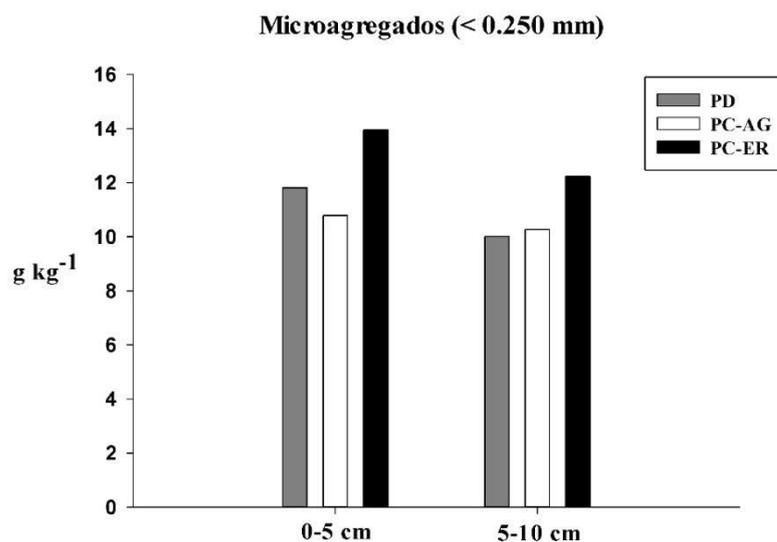


Figura 13. Teores de carbono orgânico (g kg⁻¹) nos microagregados do solo sob sistemas de manejo orgânico do solo com cultivo de olerícolas, em Seropédica (RJ). A ausência de letras nas, no gráfico, indica que não houve diferença significativa pelo teste F (p > 0,05).

4.2.2. Frações leves da matéria orgânica do solo

Na profundidade de 0-5 cm, a distribuição da massa da fração leve livre diferiu significativamente entre os sistemas de manejo do solo (Figura 15). Nesta camada, na área de

PC-ER foi observada a maior quantidade de fração leve livre (FLL), sendo 40% superior quando comparado aos demais tratamentos. Contudo, na camada inferior (5-10 cm), houve uma redução brusca de 9,13 para 1,74 g kg⁻¹, em um intervalo de 5 cm de profundidade. O padrão observado desta fração orgânica pode ser em decorrência da incorporação do solo em menor profundidade pela enxada rotativa, a qual alcança cerca de 10 cm de profundidade do solo, haja vista a perda de matéria orgânica leve mais pronunciada na camada de 5-10 cm. Na maioria dos estudos em agroecossistemas, é observado que os teores de FLL são maiores nas camadas onde ocorre maior influência do manejo. No PC-ER esperava-se maiores teores em 5-10 cm, o que não ocorreu. A brusca redução pode ser advinda da função do manejo, a qual pode ter contribuído para a mineralização dessa fração.

Nos tratamentos PD e PC-AG verificaram-se o mesmo padrão em relação a FLL (0-5 cm). No que se refere às profundidades, nos dois sistemas também não foram observados efeitos significativos. Este resultado pode estar relacionado ao desempenho dos sistemas de manejos, sobre os atributos do solo estar mais atrelado à interferência do implemento agrícola na subsuperfície do solo. Estudos de Conceição et al. (2014); Kunde et al. (2016); Pinheiro et al. (2004) constataram que a FLL foi sensível às mudanças de práticas de manejo, destacando-a como um importante indicador sobre conteúdo e dinâmica da matéria orgânica no solo.

Ressalta-se que a manutenção deste atributo no sistema-solo-planta é essencial para a sustentabilidade do ambiente, por representar alto potencial para a ciclagem de nutrientes. Em referência a este estudo, a palhada (consórcio milho/leguminosa e oleráceas) foi comum entre os sistemas de manejo, denotando que os teores de FLL são submetidos à uma forte influência da incorporação dos resíduos das plantas de cobertura. O que também refletiu nos teores de carbono orgânico nos agregados do solo.

O estudo de Loss et al. (2010) realizado na Fazendinha Agroecológica Km 47 buscou determinar diferentes compartimentos da matéria orgânica em cinco sistemas de produção orgânicos: plantio de figo, plantio de berinjela consorciada com leguminosa, plantio direto de milho/berinjela e o cultivo de milho/feijão com preparo convencional do solo e o sistema agroflorestal. A pesquisa revelou que na área com plantio direto de milho consorciado com berinjela foram observados os maiores teores de matéria orgânica leve em comparação com o preparo convencional. Além disso, foi verificado que a utilização da matéria orgânica leve foi mais eficiente que o carbono total como indicador de qualidade do solo sob sistemas de manejo orgânico, uma vez que foi mais sensível, apresentando diferença significativa entre os tratamentos.

Um estudo realizado em Goiás, por Melo et al. (2016), sob cultivo convencional de repolho em Latossolo Vermelho, demonstrou que o sistema de plantio direto foi capaz de aumentar os teores de matéria orgânica leve, estoque de carbono e nitrogênio, frações húmicas e oxidáveis em comparação ao sistema de preparo convencional e à pastagem.

Pinheiro et al. (2004) observaram comportamento dos atributos químicos distintos entre os diferentes usos das terras em Paty do Alferes/RJ, os resultados revelaram que nas áreas de cultivo mínimo ocorreram os maiores valores de FLL, favorecendo maior acúmulo de matéria orgânica na produção de oleráceas. Lima et al. (2016) encontraram efeitos semelhantes a este estudo, observando que em áreas de preparo reduzido (gradagem) foram verificados maiores teores de carbono orgânico associados aos minerais (COAM) que o sistema de plantio direto. Enquanto na camada 0-30 cm, os valores superiores de COAM foram quantificados nas áreas com plantio direto. Os autores atribuíram esse padrão à incorporação, a qual pode condicionar a distribuição do carbono em profundidade.

Outra possível explicação para o padrão observado pode ser atribuída ao “efeito priming”, o qual é ocasionado quando ocorre a degradação do carbono nativo do solo quando a microbiota é estimulada pelo fornecimento de matéria orgânica fresca. Neste estudo, acredita-se que a fração mais lábil da matéria orgânica (FLL) foi degradada primeiramente

pelos organismos decompositores. Sabendo que a recalcitrância é o único mecanismo de proteção da FLL, isto a torna mais suscetível a ação dos microrganismos no solo. É possível que o PD tenha condicionado a maior atividade dos grupos funcionais microbianos que decompõem a matéria orgânica fresca e o carbono nativo do solo, comparado às demais práticas de manejo do solo.

Associado a isso, o aporte e a permanência de resíduos vegetais no PD, sem perturbação advinda da mecanização, podem ter criado um ambiente favorável a biota do solo, e assim aumentou a atividade desses organismos, que conseqüentemente degradaram o carbono mais lábil e o carbono mais antigo do solo, o que resultou em menores valores de FLL na camada de 0-5cm (Figura 14). Neste sentido, Pascual et al. (2013) destaca a importância de pesquisas envolvendo experimentos com o objetivo de avaliar em conjunto o impacto do “efeito priming” e da diversidade das comunidades microbianas sobre a degradação da matéria orgânica fresca e do carbono nativo no solo.

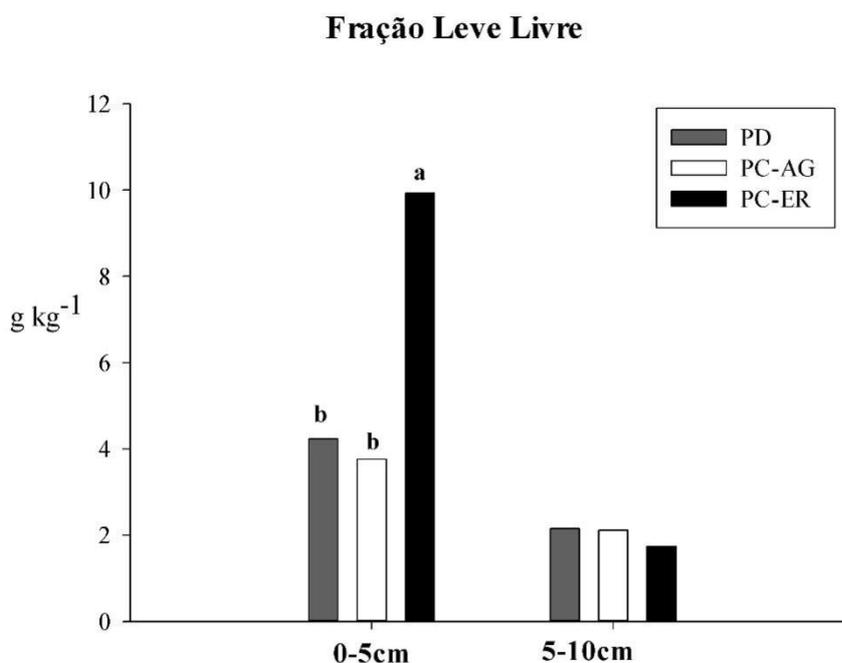


Figura 14. Distribuição da massa de Fração Leve Livre (FLL) sob diferentes sistemas de manejo do solo sob cultivo orgânico de olerícolas, em Seropédica (RJ). Médias seguidas de letras diferentes, diferem significativamente pelo teste Scott- Knott ($p < 0,05$).

A distribuição do peso da FLI apresentou efeitos iguais entre os tratamentos e nas profundidades avaliadas (Figura 15). Assim, os resultados deste estudo revelam que os sistemas de manejo favorecem igualmente a proteção física da matéria orgânica. Estes dados concordam com o padrão da estabilidade dos agregados das práticas de manejos. Atributo físico também demonstrou ser homogêneo entres os sistemas de manejo, uma vez que não foram observadas diferenças significativas.

É comumente visto na literatura, que os sistemas de manejo propiciam alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Na agricultura convencional, é bem elucidado pelos estudos que o preparo do solo afeta a estrutura e implica no rompimento dos macroagregados do solo, diminuindo a proteção da matéria orgânica, tornando-a exposta a ação dos microrganismos e conseqüentemente diminuindo as concentrações de carbono no solo. Contudo, neste estudo, este efeito não ocorreu após quatro anos de revolvimento do solo

para a produção orgânica de hortaliças.

Então, sugere-se que os resultados observados podem estar atrelados à resiliência que o manejo orgânico traz aos sistemas, através das práticas de manejo inseridas nesse modelo de agricultura. Adicionalmente, o uso do pré-cultivo e a manutenção da palhada nas áreas com preparo convencional pode ter beneficiado a agregação do solo e o incremento de matéria orgânica. Outro ponto a ser destacado é o tempo de implantação do experimento (quatro anos), que não foi suficiente para diferenciar os sistemas de manejo avaliados. Conforme é observado na literatura, neste estudo a matéria orgânica do solo se destacou como indicador chave da qualidade do solo através do compartimento de rápida ciclagem que é a fração leve livre.

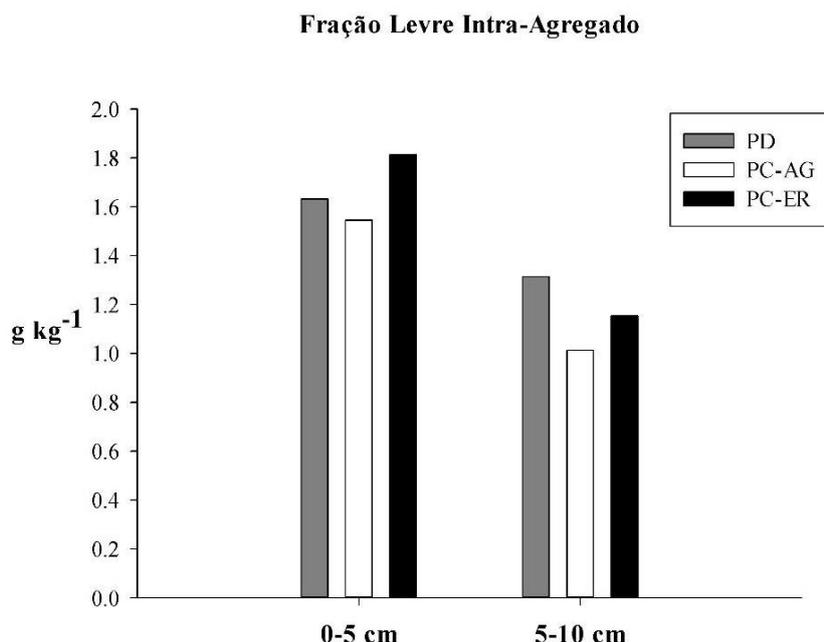


Figura 15. Distribuição da massa de fração leve intra-agregado (FLI) sob diferentes sistemas de manejo do solo sob cultivo orgânico de olerícolas, em Seropédica (RJ). A ausência de letras nas médias indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$).

4.2.3. Fertilidade do Solo

Os diferentes sistemas de manejo do solo avaliados na produção orgânica de hortaliças não apresentaram diferença significativa entre os nutrientes aplicados (Tabela 9). Verifica-se, também, que os valores dos atributos químicos são maiores na camada de 0-5 cm. Este efeito é devido à maior presença de matéria orgânica e de microrganismos decompositores nos primeiros centímetros do solo, cuja atividade metabólica é fundamental à manutenção da fertilidade do solo a longo prazo (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

Observa-se que após quatro anos de avaliação do sistema de plantio direto, os teores de K e P são altos em todos os tratamentos na camada superficial (Tabela 9). Por outro lado, foi observada uma redução dos teores desses macronutrientes na camada de 5-10 cm. Ainda assim, são valores adequados para a nutrição vegetal. Este quadro de fertilidade apresenta vantagem do manejo adotado no que diz respeito a menor dependência da quantidade de adubos potássicos e fosfatados, o que pode desencadear numa economia para os horticultores orgânicos (FAVARATO et al., 2015).

Os teores de Ca e Mg são considerados médios, de acordo com Freire et al. (2013), com pouca variação nas profundidades do solo de 0-5 e 5-10 cm. Estes resultados são similares aos encontrados por Souza et al. (2013) em Ituporanga (SC), onde somente os teores de fósforo e potássio modificaram-se em profundidade. Em relação aos valores de pH, a maioria das culturas tem seu desenvolvimento favorecido com o pH do solo na faixa de 5,5 a 6,5 (FREIRE et al., 2013). Verifica-se que os sistemas de manejo adotados neste estudo apresentam valores de pH satisfatórios para o desenvolvimento vegetal.

Tabela 9. Valores médios de pH, Ca²⁺, Mg²⁺, P e K⁺ de acordo com os diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ). A ausência de letras nas médias indica que não houve diferença significativa pelo teste F (p > 0,05).

Sistemas de manejo	pH	0-5 cm			
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K ⁺
		cmolc kg ⁻¹		mg dm ⁻³	
PD	6,19	3,53	1,32	68,94	132,30
PC-AG	6,33	3,58	1,20	64,27	143,30
PC-ER	6,46	3,85	1,35	88,93	200,20
CV (%)	2,99	7,80	6,35	27,85	24,04
Sistemas de manejo	pH	5-10 cm			
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K ⁺
		cmolc kg ⁻¹		mg dm ⁻³	
PD	6,29	3,11	1,17	72,65	48,26
PC-AG	6,32	3,37	1,14	85,58	55,18
PC-ER	6,40	3,88	1,24	95,99	52,47
CV (%)	4,76	8,40	10,84	20,94	22,96

Os teores de carbono orgânico observados foram baixos (Figura 16). Outros trabalhos também apontaram redução nos teores de matéria orgânica em áreas de cultivo orgânico de hortaliças. PIAN (2016) avaliou um módulo de produção de hortaliças em Seropédica/RJ, com cultivo intensivo desde 2010. Nesta área de produção, o teor de carbono orgânico total foi baixo (10 gkg⁻¹), mas os valores de pH, cálcio e magnésio aumentaram com o manejo adotado. Já Favarato et al. (2015) em Domingos (ES) evidenciaram que o plantio direto de milho, sob condições de manejo orgânico, promoveu redução nos teores de carbono orgânico, mas aumentaram os valores de pH, fósforo, potássio e cálcio no solo, o que representa a manutenção dos níveis de fertilidade do solo. Nota-se que os efeitos do sistema de manejo com rotação de culturas e o plantio sem revolvimento do solo dos referidos trabalhos foram similares aos resultados encontrados neste estudo.

A adição de matéria orgânica na produção orgânica de horticultura é baixa sendo feita, principalmente, através da manutenção da palhada na superfície do solo das culturas anteriores (milho, mucuna verde e preta, crotalária e feijão-de-porco) e dos adubos orgânicos. Os resíduos culturais da produção de olerícolas, geralmente, possuem uma baixa recalcitrância, apresentando uma alta taxa de decomposição, principalmente, sob as condições de estudo em solos arenosos sob clima tropical. Estes fatores, em conjunto, condicionam a rápida mineralização da matéria orgânica.

Valarini et al. (2011) compararam a qualidade do solo em função do manejo orgânico e convencional de hortaliça, sendo que em ambos os manejos eram realizadas práticas de mecanização do solo. O estudo revelou que houve redução dos teores de carbono orgânico em ambos os sistemas de manejo adotados. Os autores destacam a importância da cobertura vegetal e da redução de mecanização para a melhora do incremento de matéria orgânica no solo, seja na agricultura orgânica ou na convencional.

O estudo realizado por Loss et al. (2010) sobre a avaliação de diferentes manejos do solo em Seropédica (RJ) mostrou que o plantio direto com milho/berinjela se destacou do preparo convencional do solo, sendo observado maiores teores de matéria orgânica leve e carbono oxidável. Esses resultados demonstram o potencial de sistemas conservacionistas, como o plantio direto, em promover a estabilização da matéria orgânica do solo e assegurar a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Diante do exposto, observa-se que todos os sistemas adotados neste estudo contribuem para os níveis adequados de fertilidade do solo. Entretanto, os teores de C foram considerados baixos. Dessa forma, a estratégia adotada para este quadro é o fornecimento contínuo de matéria orgânica no solo, através da entrada de resíduos da palhada e da adubação orgânica. Além disso, é possível verificar que os sistemas de manejos avaliados neste estudo estão de acordo com princípios da agricultura orgânica, a qual preza pela manutenção da fertilidade do solo a longo prazo (CORDEIRO et al., 2018).

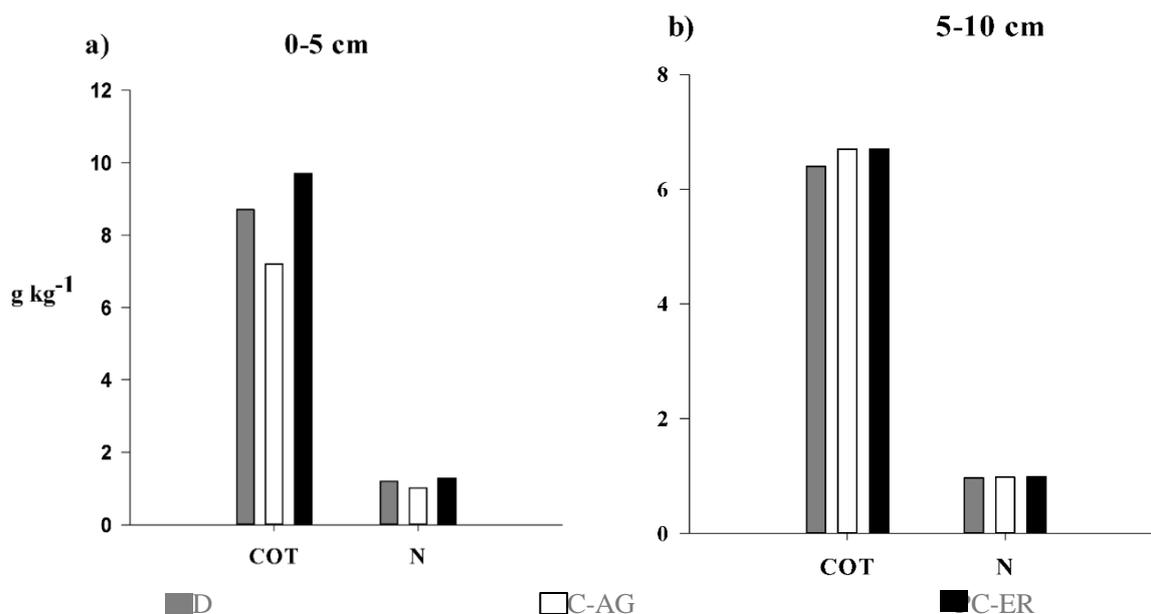


Figura 16. Teores médios de N e C orgânico total (COT) de acordo com os diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ). A ausência de letras no gráfico indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$).

4.2.4. Estoques de carbono e nitrogênio no solo

Os diferentes sistemas de manejo do solo avaliados na produção orgânica de hortaliças não apresentaram diferença significativa entre os estoques de carbono e nitrogênio, na profundidade de 0-10 cm (Figura 17).

Apesar do efeito comum observado neste estudo, Melo et al. (2016) no sudoeste de Goiás, evidenciou um aumento significativo de estoque de carbono no solo em sistema plantio direto de repolho (agricultura convencional), comparado aos sistemas de manejo com preparo convencional e pastagem.

No Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Loss et al. (2011) constatou que o estoque de C no plantio direto de berinjela foi superior ao preparo convencional com milho. Os autores destacaram a contribuição do plantio direto sob manejo orgânico para a manutenção do conteúdo de carbono orgânico e na manutenção da capacidade produtiva dos

sistemas agrícolas.

Geralmente, os estoques de N do solo são controlados pelas condições climáticas e pelo tipo de vegetação do ambiente. Enquanto o incremento de estoque de C associa-se principalmente com a proteção física (oclusão de carbono orgânico nos agregados do solo) e química (interações eletrostáticas com minerais e cátions do solo) da matéria orgânica (STEVENSON, 1994).

Portanto, o PD pode contribuir com o aumento do estoque de carbono e nitrogênio no solo a longo prazo, devido principalmente à permanência de resíduos vegetais, rotação de culturas e pela ausência ou o mínimo revolvimento do solo (PARRON et al., 2015; ROSCOE, 2006).

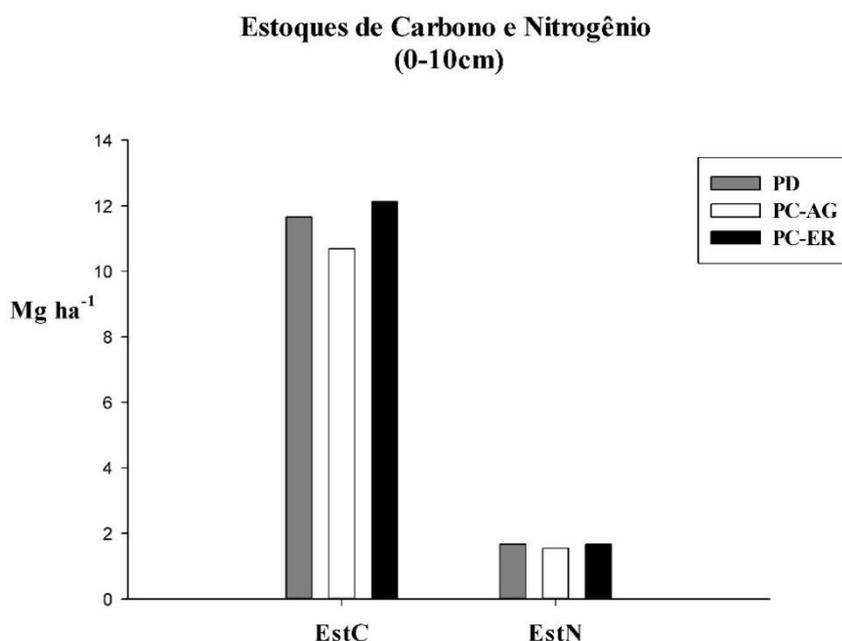


Figura 17. Estoque de carbono (EstC) e nitrogênio (EstN) de acordo com os diferentes sistemas de manejo do solo, sob cultivo orgânico de hortaliças no SIPA, em Seropédica (RJ). A ausência de letras no gráfico indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$).

4.3. Propriedades Biológicas do Solo sob Diferentes Sistemas de Manejo Orgânico de Produção de Olerícolas

Considerando todos os tratamentos estudados, foi amostrado um total de 9.960 indivíduos da fauna do solo, que se distribuíram em 20 grupos taxonômicos. Destes, os mais representativos foram: *Formicidae* (36,30%), *Oligochaeta* (13,73%), *Gastropoda* (7%), *Diplopoda* (11,20%), *Chilopoda* (7,03%), *Isopoda* (4,94%), *Coleoptera* (3,05%) e *Araneae* (1,32%), os quais contribuíram com 85% dos indivíduos de toda a comunidade. O restante da comunidade (15%) foi representado pelo conjunto denominado “Outros”, que incluiu *Auchenorrhyncha*, *Blattodea*, *Dermaptera*, *Heteroptera*, *Hymenoptera*, *Isoptera*, *Psocoptera*, *Orthoptera*, *Sternorrhyncha*, *Thysanoptera*, *Trichoptera*, *Larva e Pupa de coleoptera*, *larvas de Diptera* e *larvas de Lepidoptera*.

Os diferentes sistemas de manejo do solo apresentaram efeitos distintos sobre os índices ecológicos da comunidade da fauna do solo (Tabela 10). O PD favoreceu o aumento dos números de indivíduos.m⁻² e riquezas (média e total). Esse resultado é decorrente,

principalmente, deste sistema de manejo não revolver o solo e priorizar a cobertura por plantas em desenvolvimento, e por resíduos vegetais.

Neste sentido, Silva et al. (2006) também evidenciaram que as práticas de manejo que afetam menos a estrutura do solo condicionaram uma maior atividade e abundância da fauna edáfica. Associado a isso, a presença da cobertura vegetal sobre a superfície do solo representa um recurso fundamental por obter forte influência sobre a manutenção e estímulo da diversidade da fauna edáfica (BARROS et al., 2003).

Os resultados demonstraram que a macrofauna do solo respondeu claramente às perturbações induzidas pelo preparo convencional solo, uma vez que nos tratamentos PC-AG e PC-ER foram observados valores reduzidos de densidade dos grupos funcionais e riqueza em relação ao PD (Tabela 9). Sendo assim, é possível inferir que o revolvimento mais profundo no solo e a menor taxa de cobertura vegetal afetaram diretamente a estabilidade das comunidades da macrofauna edáfica, tais resultados corroboram o estudo de Portilho et al. (2011).

Resultados similares a este estudo foram observados por Silva et al. (2007), sendo o trabalho realizado em Dourados (MS), com objetivo de avaliar o efeito de sistemas de manejos sobre a diversidade e densidade da fauna edáfica. Os referidos autores observaram que o preparo convencional com aração e gradagem diminuíram a riqueza e densidade de indivíduos oriundos das modificações trazidas pelo deslocamento do solo, o que condicionou a destruição de *habitats*, eliminação da vegetação, aumento da temperatura e restrição de umidade no solo. As condições impostas pelo manejo do solo desfavoreceram a sobrevivência dos organismos edáficos.

Tabela 10. Índices ecológicos da comunidade da macrofauna invertebrada dos diferentes sistemas de manejo do solo sob cultivo orgânico de olerícolas, em Seropédica (RJ).

Sistemas de manejo do solo	Ind.m ⁻²	Erro	Riqueza Média	Riqueza Total
PD	5.540	544,52	12,50	20
PC-AG	1.988	591,26	10,25	13
PC-ER	2.432	1017,22	10,25	15

Na Figura 18 estão descritos os números de indivíduos m⁻² dos grupos taxonômicos em relação aos sistemas de manejo do solo, não sendo observado efeito significativo dos tratamentos sobre os grupos taxonômicos. A despeito de determinados grupos, cujas médias mostraram-se muito distantes entre si, ainda assim não houve diferença significativa entre os tratamentos decorrente da variabilidade muito grande entre as médias observadas. Apesar disso, houve uma tendência numérica de superioridade na densidade de indivíduos no PD em relação aos grupos *coleoptera* (besouro), *diplopoda* (gongolos), *formicidae* (formiga), *Gastrópoda* (caracóis), *isopoda* (cupins) e *oligochaeta* (minhocas).

Em relação ao grupo *Oligochaeta*, Tanck et al. (2000) destacam que o revolvimento do solo e a redução da cobertura vegetal ocasionam a diminuição da quantidade de minhocas no solo. Um trabalho posterior evidenciou que o preparo convencional reduz a densidade populacional do grupo *oligochaeta* (SILVA et al., 2007). Sendo assim, é possível inferir que o PC-AG e o PC-ER afetaram a sobrevivência destes organismos no solo, haja vista a menor ocorrência destes nestes tratamentos em comparação ao PD.

As minhocas geram estruturas biogênicas, as quais modificam as propriedades do solo, bem como a disponibilidade de recursos para outros organismos. Estas estruturas são geradas a partir da ação de movimentação e a ingestão de partículas do solo pelas minhocas, e influenciam positivamente as taxas de escoamento e infiltração de água e a capacidade de armazenamento de água no perfil do solo. A liberação de excrementos na superfície e no

interior do solo também atuam positivamente na estrutura e fertilidade do solo (STEFFEN et al., 2013). Dessa forma, denota-se que a presença desses organismos no solo é fundamental para a resiliência deste recurso natural nos agroecossistemas, além de serem amplamente reconhecidas como indicadoras da qualidade do solo.

As formigas destacaram-se no PD, onde representaram 44% da frequência total neste tratamento. Este resultado pode ser decorrente da cobertura do solo com resíduos vegetais que promovem melhores condições microclimáticas e de disponibilidade de alimento para esses indivíduos. Somado a isso, verifica-se constantemente na literatura maior ocorrência do grupo *Formicidae* em sistemas com plantio direto e em áreas com cultivo orgânico, condições semelhantes ao do presente estudo (QUEIROZ e ALMEIDA 2006)

A abundância elevada dos diplópodes, coleóptera e isópodes no PD pode estar relacionado às condições adequadas de temperatura, umidade e alimentação disponível para os estabelecimentos desses invertebrados, sendo considerados responsivos às alterações de manejo do solo. Além disso, os diplópodes são considerados os maiores consumidores de fragmentos orgânicos em florestas tropicais, A ocorrência destes indivíduos pode estar ligada à disponibilidade de alimento devido ao incremento de aporte de resíduos culturais através da sucessão de culturas e da manutenção da cobertura do solo (CORREIA e OLIVEIRA, 2006).

O tratamento PC-ER favoreceu uma tendência de superioridade do grupo *Araneae* (aranhas) que pode estar associada ao modo de vida desses indivíduos, o qual está sendo favorecido pela prática agrícola adotada, denotando adaptação ao ambiente. O grupo *chilopoda* (lacrãia) comportou-se de forma semelhante entre os tratamentos avaliados.

De forma geral, é possível inferir que a presença de cobertura vegetal (palhada/sucessão de culturas) associada à menor perturbação ao solo no PD favoreceu a colonização da macrofauna. Estes resultados evidenciam que a inserção desta prática de manejo é uma boa alternativa para produção orgânica de hortaliças por possibilitar a atividade da fauna do solo, importante indicador de qualidade do solo. Sendo assim, é possível inferir que sistemas de manejo que favorecem a atividade desses invertebrados edáficos podem propiciar a melhoria das condições químicas e físicas do solo, uma vez que a fauna edáfica é essencial para o funcionamento os sistemas de produção devido à associação com os processos de decomposição e ciclagem de nutrientes no solo.

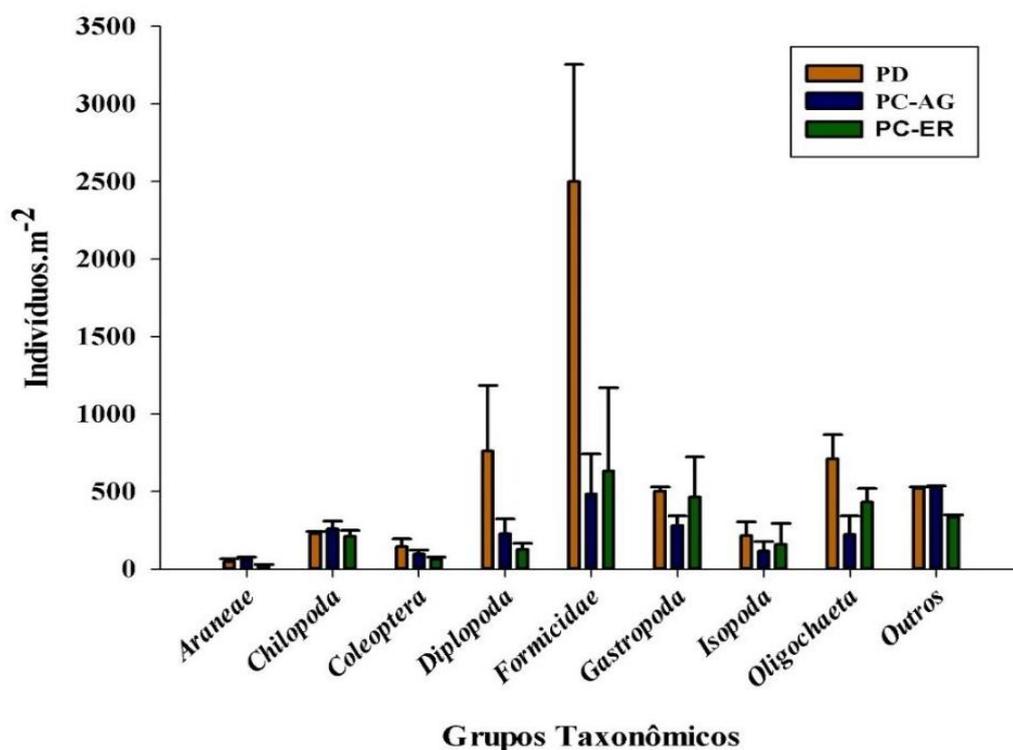


Figura 18. Indivíduos.m⁻² dos grupos taxonômicos observados nos sistemas de manejo do solo. A ausência de letras nas médias indica que não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$). As barras indicam os valores de erro padrão das médias.

Determinados grupos da macrofauna são mais sensíveis às mudanças de manejo, tais ordens taxonômicas são consideradas indicadoras da qualidade do solo por desempenharem papéis importantes na estruturação do solo. Visto isto, Baretta et al. (2011) descreveram algumas relações entre os grupos da fauna e a qualidade do solo. Essas relações positivas reforçam os resultados obtidos no presente estudo (Tabela 11). Dentre as quais, a seguir pode se destacar algumas: a abundância dos chilopodas está correlacionada com a qualidade e quantidade da cobertura do solo. Já a presença dos grupos Coleoptera e Isoptera estão atribuídos com a perturbação mecânica do solo. Por sua vez, os Diplópodes têm o aumento de sua população condicionada com a maior produção de biomassa vegetal. As Oligochaetas são sensíveis à compactação, sua presença indica bom teor de matéria orgânica e umidade do solo, e são mais frequentes em áreas manejadas com plantio direto em comparação ao preparo convencional.

Neste estudo, não foi observada correlação significativa ($p > 0,05$) entre a densidade de minhocas e os atributos físicos e químicos (Tabela 10). Contudo, houve correlação positiva com a resistência à penetração (Mpa) e a fração leve intra-agregado (FLI), e negativa com porosidade total (VTP). Estas correlações indicam uma possível dependência desses anelídeos com as condições físicas do solo.

O grupo das formigas e dos cupins apresentaram correlação positiva ($p < 0,05$) com Mpa (Tabela 11). Este resultado confirma novamente o papel dos “engenheiros de ecossistemas” sobre a estruturação do solo, refletido na menor resistência à penetração e, conseqüentemente, no estabelecimento do sistema radicular das plantas. Conforme observado por Ehlers et al., (1983), valores superiores 5,0 Mpa são admitidos em plantio direto em razão das raízes crescerem por canais contínuos deixados pela fauna do solo e pelo sistema radicular decomposto.

Sabe-se que tais funções são exercidas pelos referidos grupos acima, incluindo as minhocas, os quais foram mais abundantes no tratamento com PD. Então, ao considerar o estudo de Ehlers et al. (1983) e os resultados deste estudo, é possível sugerir que os maiores valores de Mpa observados (Figura 12) neste sistema de manejo podem ser decorrentes da ação da fauna do solo.

As aranhas apresentaram correlação negativa com teor de carbono dos macroagregados, cujo atributo foi significativamente menor no PC-AG, onde este grupo taxonômico apresentou maior ocorrência. Resultados semelhantes foram obtidos por Rosa et al. (2019). Os autores observaram forte associação destes artrópodes com os atributos físicos e químicos do solo. Já, os gastrópodes apresentaram correlação positiva com o VTP, demonstrando que este atributo físico pode ter influenciado na atividade desses organismos edáficos (Tabela 11). A densidade de indivíduos deste grupo foi maior no PC-ER e PD, nos quais observou-se maior porosidade do solo (Tabela 7).

Tabela 11. Coeficientes de Pearson (r) entre os atributos físicos e químicos do solo e as ordens da fauna invertebrada do solo.

	Ara	Chi	Col	Dipl	For	Gas	Iso	Oli
DMP	0,98	0,86	0,71	0,50	0,31	-0,47	0,37	-0,05
Mpa	0,20	-0,18	0,92	0,99	0,99*	0,62	1,00*	0,89
DS	0,84	0,54	0,91	0,78	0,63	-0,13	0,68	0,30
VTP	0,69	0,90	-0,20	-0,45	-0,63	0,99*	-0,57	-0,87
COT	-0,98	-0,97	-0,43	-0,18	0,02	0,74	-0,04	0,38
FLL	-0,96	0,80	-0,75	-0,55	-0,37	0,42	-0,43	-0,06
FLI	-0,78	0,95	0,06	0,32	0,51	0,97	0,45	0,79
Cma	-0,99*	0,89	-0,62	-0,40	-0,19	0,57	-0,26	0,17
Cmi	-0,76	-0,47	-0,96	-0,85	-0,73	-0,7	-0,77	-0,43
P	-0,91	0,70	-0,80	-0,68	-0,51	0,26	-0,57	-0,16
K ⁺	-0,83	0,50	-0,92	-0,80	-0,65	0,10	-0,70	-0,33
%	-0,97	-0,99	-0,34	-0,08	0,13	0,81	0,07	0,48

*Significativo a 5 % de probabilidade. Mpa: DMP: Cma, Ara: Araneae; Chi: Chilipoda; Col: Coleoptera; Dipl; Diplopoda; For; Formicidae; Gas; Gastropoda; Iso: Isoptera; Oli: Oligochaeta; Cma: teor de C orgânico nos macroagregados; Cmi: Teor de C orgânico nos microagregados.

De forma geral, foi constatado que a densidade dos organismos edáficos confirma o efeito da correlação de Pearson, ou seja, propriedades físicas do solo, principalmente, interferem na ocorrência de alguns grupos taxonômicos. O PD foi o manejo mais adequado, por favorecer o estabelecimento das comunidades da macrofauna, haja vista a maior presença da maioria dos grupos bioindicadores, riqueza e densidade de indivíduos neste tratamento.

Portanto, este sistema contempla os princípios da agricultura orgânica, por priorizar e favorecer a atividade biológica e a biodiversidade, sendo uma alternativa essencial para produtores que desejam contribuir para o desenvolvimento econômico e sustentável da agricultura orgânica.

Apesar de ser conhecida a importância dos invertebrados edáficos para o equilíbrio e funcionamento dos ecossistemas, poucos estudos têm sido realizados para se avaliar efeitos das práticas de manejo na produção orgânica de hortaliças sobre esses organismos.

4.3.1. Produtividade das hortaliças sob diferentes sistemas de manejo orgânico de produção

A produtividade das hortaliças produzidas após os cultivos com a gramínea e a leguminosa, respectivamente milho consorciado com feijão-de-porco, crotalária, mucuna verde, mucuna preta e crotalária são apresentadas na Tabela 12. Dentre as hortaliças cultivadas, somente a cultura do brócolis apresentou produtividade diferente em função do tipo de manejo do solo adotado. Quando cultivado sob sistema PC-AG, foram verificados os maiores valores de produtividade para o brócolis (11,20 Mg ha⁻¹) quando comparado com os sistemas PD e PC-ER (8,45 e 8,60 Mg ha⁻¹, respectivamente), que não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 12. Produtividade das olerícolas, que sucederam o pré-cultivo de leguminosa e gramínea, sob diferentes sistemas de manejo orgânico do solo em Seropédica (RJ). Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste Scott Knott.

Sistemas de manejo do solo	Produtividade (Mg ha ⁻¹)				
	Abobrinha	Feijão comum	Repolho	Brócolis	Abóbora
PD	19,50	1,60	48,80	8,45b	22,40
PC-AG	13,20	1,30	45,60	11,20a	21,40
PC-ER	15,70	1,50	52,30	8,60b	22,10
CV (%)	23,72	7,99	22,20	14,73	22,08
Média do Estado do Rio de Janeiro	8 a 10	1,14	30 a 40	15 a 30	10 a 20
Média Nacional	20	1,07	30	7 a 22	4,4

A produtividade geral de abobrinha obtida neste estudo (16,13 Mg ha⁻¹) está acima da média nacional (EMATER, 2019). Apesar dos poucos estudos com esta hortaliça em sistema orgânico de produção, a resposta da abobrinha foi satisfatória por se enquadrar com as médias nacionais de produção. Os resultados médios de produção são semelhantes aos encontrados por Azevedo et al (2018). Além disso, o resultado foi superior ao observado por Silva et al. (2011), que avaliaram a produtividade da abobrinha sob aplicação de diferentes doses de nitrogênio em Aquidauana-MS.

A produção do feijão comum (1,47 Mg ha⁻¹) ficou acima da média para o estado do Rio de Janeiro e do Brasil. Estes resultados foram superiores aos observados por Fernandes et al. (2015) em sistema orgânico de produção. Os autores observaram que as cultivares BRS Pontal, BRS Radianes e Constanza foram as mais adaptadas às condições edafoclimáticas da Baixada Fluminense do Rio de Janeiro e apresentaram produtividade acima da média nacional. Em Minas Gerais, Nunes et al. (2006) avaliaram diferentes quantidades de palhadas em sistema de plantio direto e verificaram que este sistema, aliado ao uso de plantas de coberturas com gramíneas, permitiu a obtenção de maiores rendimentos de grãos de feijão.

Com relação ao repolho, a produtividade média obtida ficou acima da média nacional e do estado do Rio de Janeiro (EMATER, 2019). Neste sentido, Oliveira et al. (2003) nas mesmas condições edafoclimáticas deste estudo, observou que o cultivo adotado (pré-cultivo com crotalária e adubação com cama de frango) alcançou valores de 34,7 Mg ha⁻¹ para a cultivar *astrus plus* sob a fitomassa de roçada de crotalária. Por outro lado, Cordeiro et al. (2018) observaram que a cultura do repolho foi beneficiada pelo pré-cultivo com mucuna verde, alcançando valores de produtividade na ordem de 60,7 Mg ha⁻¹. Ademais, os valores de massa fresca da “cabeça” da cultura estão de acordo aos padrões exigidos pelo mercado consumidor brasileiro, que varia entre 1,0 e 1,5 kg (FILGUEIRA, 2000).

A produtividade média de brócolis alcançou 9,40 Mg ha⁻¹. As cultivares de cabeça única podem alcançar níveis de produção em torno de 7 a 22 Mg ha⁻¹. Segundo Diniz et al. (2008), os híbridos mais produtivos alcançaram valores de 9,4 a 13,0 Mg ha⁻¹ de cabeças. SILVA (2002), nas mesmas condições edafoclimáticas deste estudo, observou que o rendimento de brócolis (*cv Legacy*) sob a palhada de crotalária em sistema de plantio direto foi de 7,4 Mg ha⁻¹ e no cultivo seguinte aumentou em mais de 50%, produzindo 15,6 Mg ha⁻¹, sob produção orgânica.

A média da produtividade da abóbora foi de 22 Mg ha⁻¹. Esses valores estão muito acima da média nacional e da média do estado do Rio de Janeiro (EMATER, 2019). Os resultados de produção da abóbora também foram superiores aos observados por Resende et al. (2013) que, ao avaliar a produtividade de abóbora em diferentes densidades de plantio e cultivares, verificaram que o espaçamento interfere na quantidade e peso dos frutos colhidos.

No que se refere a adoção de práticas conservacionistas na horticultura, Jokela e Nair (2016) enfatizaram que os estudos deveriam avaliar o potencial de cultivo de plantas de cobertura durante o período da primavera e verão, e que possam ser manejadas (trituras) em diferentes épocas do ano para a formação da palhada. De acordo com os referidos autores, o preparo reduzido e o plantio direto baseados na produção de plantas de cobertura podem ser opções economicamente viáveis e sustentáveis para o cultivo orgânico de hortaliças.

Associado a isso, Silva (2002) afirmou que o uso de rotação de culturas é essencial para o sucesso do sistema de plantio direto sob manejo orgânico pela adição de resíduos orgânicos no solo, e isso permite a ciclagem de nutrientes e a manutenção de cobertura do solo, haja vista que as condições edafoclimáticas da Baixada Fluminense favorecem a velocidade de decomposição dos resíduos culturais das olerícolas. Além disso, o autor destacou que o uso de máquinas e implementos apropriados para os manejos de hortaliças sobre a palhada é um desafio a ser superado.

Os valores de produção das hortaliças foram similares aos trabalhos observados na literatura e denotam que o potencial de produção dos sistemas avaliados se equiparam. Ademais, este estudo esclareceu uma lacuna acerca do controle de vegetação sem uso de herbicida e confirmou a viabilidade do cultivo de hortaliças utilizando o PD sem haver redução de produtividade em comparação ao preparo convencional.

A utilização da adubação verde através do consórcio entre leguminosa/milho e o uso do maquinário apropriado para trituração da palhada foram eficientes no manejo inicial das plantas espontâneas, com predomínio de tiririca (*Cyperus rotundus* L), possibilitando a adoção deste sistema na lavoura orgânica. Os resultados de produção das olerícolas deste trabalho são promissores na agricultura orgânica, uma vez que denotam que o sistema de plantio direto é produtivo, além de ser um sistema que pode reduzir a compactação e a erosão do solo, tendo em vista os resultados das propriedades do solo (SILVA et al., 2018).

Desse modo, é possível perceber que os trabalhos acima corroboram a contribuição deste estudo para a olericultura orgânica, sendo um sistema de manejo vantajoso para os sistemas orgânicos de produção, uma vez que proporciona sustentabilidade para a lavoura, economia ao produtor e para a qualidade do solo.

4.3.2. Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (PCA) da distribuição relativa dos atributos químicos da fertilidade do solo resultou em dois componentes principais, que juntos explicaram 100% da variância total (Figura 19). A primeira explicou 57,4% da variação e pode ser representada como uma combinação dos estoques de carbono e nitrogênio, carbono orgânicos dos macroagregados (C_{ma}), FLL, FLI e a produção de repolho e brócolis. A segunda componente

explicou 42,6% da variação e representou uma correlação entre os atributos físicos, os grupos taxonômicos da macrofauna e a produção de abobrinha, abóbora e feijão.

No que se refere às variáveis inter-relacionadas, nota-se uma clara divisão entre a macrofauna/atributos físicos e as propriedades da matéria orgânica, já que estão em componentes diferentes na análise. Sendo que a forte correlação entre os atributos físicos e a fauna foi relatada anteriormente, e já foi observado por Baretta et al., (2011).

Os grupos da macrofauna também foram bem associados com a produção de abobrinha, repolho e feijão. Enquanto a FLL foi altamente correlacionada com a Cma, e a FLI foi associada positivamente com os estoques de carbono e nitrogênio. Por outro lado, ocorreram associações negativas do DMP com Cma e FLL.

Em relação aos sistemas de manejo, é possível observar que nos grupos taxonômicos da macrofauna, as hortaliças (abobrinha, feijão e abóbora) estão mais correlacionadas com o PD. Enquanto, os estoques de carbono e nitrogênio, FLL, FLI, carbono orgânico dos macroagregados foram mais influenciados pelos PC-ER. Já o PC-AG foi mais correlacionado com o diâmetro médio ponderado, grupos das aranhas e lacraias e com a produção do brócolis.

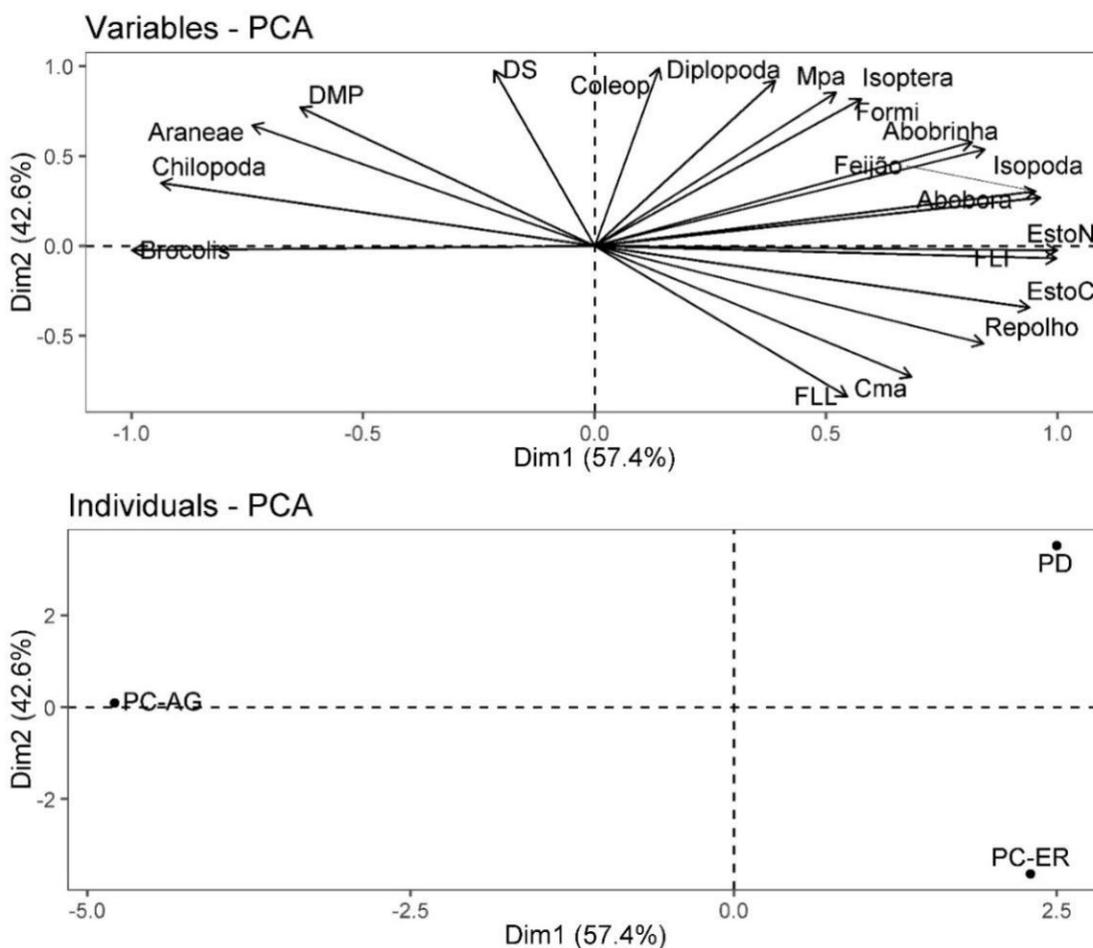


Figura 19. Análise de componentes principais entre os atributos físicos, químicos, grupos da macrofauna edáfica e a produção de hortaliças.

5. CONCLUSÕES

Quatro anos de implantação das práticas de manejo é um curto tempo para verificar diferença significativa para os atributos físicos avaliados, exceto a resistência à penetração do solo (15-25 cm). O preparo convencional com aração e gradagem apresentou menor resistência.

No que se refere aos atributos químicos e biológicos do solo, a fração leve livre, o teor de carbono orgânico nos macroagregados e a fauna do solo foram sensíveis às práticas de manejo adotadas, sendo que as propriedades químicas foram superiores no preparo convencional com enxada rotativa. Enquanto o sistema de plantio direto favoreceu uma maior densidade e riqueza dos grupos taxonômicos da macrofauna.

Esses resultados confirmam o papel da matéria orgânica do solo como indicadora chave de qualidade do solo, destacando o compartimento vivo (fauna do solo) e o compartimento morto (fração leve livre e carbono nos macroagregados do solo), podendo ser utilizados como indicadores de qualidade do solo em estudos de curta duração.

As diferentes práticas de manejo mantiveram a produtividade das olerícolas num patamar igual à média nacional. O sistema de plantio direto, com o emprego do Triton, proporcionou o mesmo nível de produtividade de olerícolas que o preparo convencional com enxada rotativa e com aração e gradagem.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os possíveis desafios para a viabilização do plantio direto de hortaliças são os gastos com a mão-de-obra para a realização da capina manual. Ainda são necessários esclarecimentos sobre a viabilidade econômica do Triton e o aceitamento deste implemento agrícola pelos agricultores. É importante alcançar a aceitabilidade e viabilidade deste implemento agrícola pelo agricultor para adoção do plantio direto em larga escala em sistemas orgânicos de produção.

Considerando o fator tempo, o sistema de plantio direto é estratégico para a promoção da sustentabilidade na produção orgânica de hortaliças ao longo do tempo em função dos seus princípios: cobertura do solo, rotação de culturas e ausência de revolvimento do solo. A contribuição desse sistema pode ser maior que o convencional em razão das condições edafoclimáticas da área de estudo. A maioria dos solos da região da Baixada Fluminense são de textura arenosa, pobres em nutrientes, sendo a adição de matéria orgânica fundamental para a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Somado a isso, as culturas olerícolas fornecem baixa permanência de palhada no solo e produção de biomassa aérea, além de possuírem uma arquitetura foliar que não possibilita a proteção do solo. Isto demonstra a importância da presença da cobertura vegetal no que tange à proteção do solo e entrada de material orgânico. Portanto, a contribuição da sucessão e rotação de culturas na produção orgânica de hortaliças é essencial para favorecer uma diversidade de fonte de C no solo para a formação de húmus. Além disso, a prática do revolvimento do solo acarreta a redução dos grupos da macrofauna, e na mineralização da matéria orgânica, principalmente nesse solo de textura arenosa.

Recomenda-se estudos sobre consórcios relacionados à produção de palhada e plantas de cobertura para as condições de Baixada Fluminense que possam favorecer o acúmulo de carbono no solo e possibilitar renda para o agricultor.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M. A.; LANA, M. A.; BITTENCOURT, H. V.; KIELING, A. S.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Enhancing Crop Productivity via Weed Suppression in Organic No-Till Cropping Systems in Santa Catarina, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 35, n. 8, p. 855-869, out. 2011.
- ALCANTARA, A. F.; MADEIRA, N. R. **Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças**. Circular técnica. Embrapa Hortaliças. Brasília, DF. 2008.
- ALVARENGA, C.; ALEJARULRO, W.; CABEZAS, L.; CRUZ, J. C.; PRUDENTE, D. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Embrapa Milho e Sorgo - Artigo em periódico indexado (**ALICE**), p. 12, 2001.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 1, p. 27-34, 16 abr. 2004.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. E. I. **Tropical Soil Biology and Fertility**. A handbook of methods. CAB. International: UK, 1993.
- ANDERSON, R. L. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 3, p. 967-974, 1 jul. 2015.
- ANDRIOLO, J. L. **Olericultura geral**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2020.
- ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; CARMONA, F. C. Inter-relação entre manejo e atributos químicos do solo. In: BERTOL, I.; De MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. Cap. 9. p. 251-279.
- ARAÚJO, A. S. F. DE; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, 18 set. 2007.
- ARAÚJO, E. A. DE; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 30 abr. 2012.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (eds.) **Methods for assessing soil quality**. (SSSA Special publication 49) Madison, Soil Science Society of America. 1996. p. 123-141.
- ASSIS, R. L. DE; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.

AZEVEDO, B. M. DE; FERNANDES, C. N. V.; VASCONCELOS, D. V.; GARCIA, A. C.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. DE; VIANA, T. V. DE A. Irrigation depths and yield response factor in zucchini cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 401-406, jun. 2018.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; VERA, E. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 119-170, 2011.

BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E. C. M.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, v. 47, n. 3, p. 273-280, 1 jan. 2003.

BARROS, R. C. Sustentabilidade na Agricultura e Geografia Agrária: O Contexto da Agricultura Orgânica no Rio de Janeiro. **Espaço Aberto**, v. 1, n. 1, p. 63-88, 4 jul. 2011.

BAYER, C.; DIECKOW, J.; CONCEIÇÃO, P. C.; dos SANTOS, J. C. F. Sistemas de manejo conservacionista e qualidade de solos, com ênfase na matéria orgânica. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Cap. 11. p. 315-343. 2018.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 167-177, mar. 2001.

BIASSI, D. **Avaliação dos atributos do solo sob diferentes tipos de preparo e emprego de plantas de cobertura em sistemas de produção orgânica**. 2018. 96f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciências do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2018.

BISWAS, S.; ALI, N.; GOSWAMI, R.; CHAKRABORTY, S. Soil health sustainability and organic farming: A review. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 12, n. 3-4, p. 237-243, 2014.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013. 685p.

BRANCO, B. F. R.; HIRATA, A. C. S.; PURQUEIRO L. F. V.; FACTOR, T. L., JUNIOR LIMA, S.; SILVEIRA, J. M. C.; TIVELLI, S. W. Manejo conservacionista do solo no cultivo de olerícolas. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Cap. 35. p. 1119-1153. 2018.

BRANCO, R.; NOWAKI, R.; SALLES, F.; BOLONHEZI, D.; GUALBERTO, R. Soil properties and agronomic performance of watermelon grown in different tillage and cover crops in the south eastern of brazil. **Experimental Agriculture**, v. 51, p. 299-312, 1 abr. 2014.

BRASIL. **Decreto n. 10.831**, de 23 de dez. de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências, Brasília, DF, dez 2003.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, jan. 2005.

BÜNEMANN, E. K., BONGIORNO, G., BAI Z., CREAMER, R.E., DE DEYN, G., DE GOEDE, R., FLESKENS, L., GEISSEN, V., KUYPER, T.W., MÄDER, P., PULLEMAN, M., SUKKEL, W., VAN GROENIGEN, J.W., BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, maio 2018.

CANALI, S. CAMPANELLI, G.; CIACCIA, C.; LETEO, F.; TESTANI, E.; MONTEMURRO, F. Conservation tillage strategy based on the roller crimper technology for weed control in Mediterranean vegetable organic cropping systems. **European Journal of Agronomy**, v. 50, p. 11-18, 2013.

CASTRO, C. M. DE; ALVES, B. J. R.; ALMEIDA, D. L. DE; RIBEIRO, R. DE L. D. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 779-785, ago. 2004.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 10 fev 2019.

CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; SANTOS, D. C. DOS. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 794-800, 28 mar. 2014.

CORDEIRO, A. A. S.; RODRIGUES, M. B.; GONÇALVES JÚNIOR, M.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. DA S.; GUERRA, J. G. M. Organic cabbage growth using green manure in pre-cultivation and organic top dressing fertilization. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 515-520, dez. 2018.

CORDEIRO, F. C.; DIAS, F. D. C.; MERLIM, A. D. O.; CORREIA, M. E. F.; AQUINO, A. M. D.; BROWN, G. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, v. 24, n. 2, p. 29-34, 2004.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005. Cap. 4. p. 77-99.

COSTA, E. A., WENCESLAU, J. B., SOUZA, D. M. G. Qualidade do solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; JUNIOR, D. J. R.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, p. 6, 2010.

CRUZ, J. C.; ALEXANDRE, I.; FILHO, P.; ALOARENGAI, R. C.; PRUDENTE, D. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (**ALICE**), 2001.

DA SILVEIRA, P. M., STONE, L. F., JÚNIOR, J. A., DA SILVA, J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um latossolo. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 3, 2008.

DAROLT, M. R.; SKORA NETO, F. Sistema de plantio direto em agricultura orgânica. **Revista Plantio Direto**, v. 70, n. 1, 2002.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; LEMAINSKI, J. Converter plantio direto em sistema plantio direto – um modelo à sustentabilidade agrícola. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 12, 2018. **Anais...** Passo Fundo: Projeto Passo Fundo. Solos e Nutrição Vegetal, p. 568-572. 2019.

DIAS, J. E. **Monitoramento do uso da terra e dos níveis de nutrientes do solo no Sistema Integrado de Produção Agroecológica utilizando geoprocessamento**. 2007. 111 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2007.

DINIZ, E. R.; SANTOS, R. H. S.; PETERNELLI, L. A.; BARRELLA, T. P.; FREITAS, G. B. DE. Crescimento e produção de brócolis em sistema orgânico em função de doses de composto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1428-1434, 2008.

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 Special Publication Number 35, 1994. p. 1-20.

EHLERS, W.; KÖPKE, U.; HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil and Tillage Research**, v. 3, n. 3, p. 261-275, 1 jul. 1983.

EMATER. **Empresa de Assistência técnica e extensão rural**. Disponível em: <<http://www.emater.rj.gov.br/images/munic2018.htm>>. Acesso em: 10 fev 2019.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Rio de Janeiro, 575p, 2017.

EMBRAPA. **Manual de Laboratórios: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313p.

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. DE; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R. DA; SOUZA, F. A. DE. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 339-347, 1 mar. 1998.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L. DE; GALVÃO, J. C. C.; DE, C. M.; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, p. 10, 2015.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (FEBRAPDP). **Evolução da área cultivada no sistema de plantio direto na palha** - Brasil, 2012. Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/download/34024evolucao-do-sistema-plantio-dibeto>>. Acesso em: 21 jul. 2020.

FEIGL, B. J.; OLIVEIRA, B. G.; FRANCO, A. L. C.; FRAZÃO, L. A. Inter-relação entre manejo e atributos biológicos do solo. In: BERTOL, I.; De MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e Conservação do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. Cap. 10. p. 281-313.

FERNANDES, R. C.; GUERRA, J. G. M.; ARAÚJO, A. P. Desempenho de cultivares de feijoeiro-comum em sistema orgânico de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 797-806, set. 2015.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2013. 421 p.

FLIESSBACH, A.; OBERHOLZER, H. R.; GUNST, L.; MÄDER, P. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 118, n. 1-4, p. 273-284, jan. 2007.

FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. **Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2013. 430p.

GALHARDO, L. R.; SILVA, L. F. S. DA; LIMA, A. S. F. Produtores orgânicos no Brasil e seus organismos certificadores. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 37-45, 2018.

GRANT, C. A.; LAFOND, G. P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 73, n. 2, p. 223-232, 1 maio 1993.

GUIMARÃES, T. D. S., DIAS, D. V.; DIAS, S. L. Oferta e preço de produtos orgânicos na região serrana do estado do Rio de Janeiro: o caso do município de Nova Friburgo no ano de 2016. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

HALDE, C.; BAMFORD, K. C.; ENTZ, M. H. Crop agronomic performance under a six-year continuous organic no-till system and other tilled and conventionally-managed systems in the northern Great Plains of Canada. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 213, p. 121-130, dez. 2015.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. DA; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A. Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um argissolo vermelho-amarelo sob diferentes manejos de longa duração e mata atlântica secundária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2191-2198, dez. 2011.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. D.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

ISHS. INTERNATIONAL SOCIETY FOR HORTICULTURAL SCIENCE. **International Society for Horticultural Science, Belgium**, 2020. Disponível em: < <https://www.ishs.org/defining-horticulture> >. Acesso em: 20 jul. 2020.

JOKELA, D.; NAIR, A. No Tillage and Strip Tillage Effects on Plant Performance, Weed Suppression, and Profitability in Transitional Organic Broccoli Production. **HortScience**, v. 51, n. 9, p. 1103-1110, set. 2016.

JUNIOR BORTOLETI, A. B.; GONÇALVES, L. G.; RIBEIRO, M. A. R.; DE OLIVEIRA AFONSO, R.; DOS SANTOS, R. F.; DA SILVA SOUZA, C. S. A importância do plantio direto e do plantio convencional e as suas relações com o manejo e conservação do solo. **Revista Conexão Eletrônica**. Três Lagoas, MS, v. 12, n. 1, 2015.

KHATOUNIAN, C. A. Problemas usuais para o manejo sustentável de Agro-ecossistemas no Centro-Sul do Brasil. In: I CURSO DE CAPACITAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA E SUSTENTÁVEL. 2013. São Roque. **Anais...** São Roque: SAA/SMA; 2013.

KUNDE, R. J.; LIMA, C. L. R. DE; SILVA, S. D. DOS A.; PILLON, C. N. Frações físicas da matéria orgânica em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1520-1528, set. 2016.

LEAL, M. A. de A.; ESPÍDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. S.; GUERRA, J. G. M.; ABOUD, A. C. S.; RIBEIRO, R. L. D.; ALMEIDA, D. L. Manejo do solo em cultivos orgânicos ou em transição agroecológica. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e Conservação do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. Cap. 25. p. 800-841.

LEAVITT, M. J.; SHEAFFER, C. C.; DONAL, L.; ALLAN, D L. Rolled Winter Rye and Hairy Vetch Cover Crops Lower Weed Density but Reduce Vegetable Yields in No-tillage Organic Production. **HortScience**, v. 46, n. 3, p. 387-395, 2011.

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

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J. DA; GUEDES, Í. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivados com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 378-387, abr. 2016.

LIMA, J. S. DE S.; OLIVEIRA, P. C.; OLIVEIRA, R. B. DE; XAVIER, A. C. Métodos geoestatísticos no estudo da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego de tratores na colheita de madeira. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 931-938, out. 2008.

LOSS, A.; JUNIOR, E. D. S.; SCHMITZ, D.; DA VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo

convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105-113, 1 jan. 2017.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. DE P.; OLIVEIRA, R. A. DE; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, ago. 2015.

LOSS, A.; MORAES, A. G. DE L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R. DA; ANJOS, L. H. C. DOS. Evolução e acúmulo de C-CO₂ em diferentes sistemas de produção agroecológica. **Acta Agronômica**, v. 62, n. 3, p. 242-250, 1 jul. 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; CUNHA DOS ANJOS, L. H.; RIBEIRO DA SILVA, E. M. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. *Idesia (Arica)*, v. 29, n. 2, p. 11-19, ago. 2011.

LOSS, A., DE LIMA MORAES, A. G., PEREIRA, M. G., DA SILVA, E. M. R., DOS ANJOS, L. H. C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 1, p. 57-57, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C. DOS; SILVA, E. M. R. DA. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 68-75, jan. 2009(a).

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; FERREIRA, E. P.; SILVA, E. M. R. DA; BEUTLER, S. J. Distribuição dos agregados e carbono orgânico influenciados por manejos agroecológicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 523-528, 25 jun. 2009(b).

MADEIRA, N. R. Avanços tecnológicos no cultivo de hortaliças em sistema de plantio direto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 4036-4037, 2009.

MAPA. **Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br> >. Acesso em: 8 mai 2018.

MAPA. **Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/sustentabilidade/organicos/produtosfitossanitarios/IN46.2011alteradapelaIN17.2014epelaIN35.2017.pdf> >. Acesso em: 10 mai 2020.

MARIA, I. C. DE; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 703-709, set. 1999.

MASSON, I.; ARL, V.; WUERGES, E.W. Trajetória, concepção metodológica e desafios estratégicos junto ao sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH). In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**. Florianópolis, Epiagri, 2019. 428p.

MATA, M. G. F. **Qualidade do solo e avaliação microeconômica de um módulo experimental de produção orgânica intensiva de hortaliças**. 2012. 75f. Dissertação

(Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo), Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2012.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, set. 2016.

MONTEIRO, B. L.; SANTOS, C. C. Panorama da agricultura orgânica no estado do Rio de Janeiro: um estudo de caso do município de Seropédica, RJ. **Controle Social e Desenvolvimento Territorial**. v. 5, n. 6, p. 11, 2019.

MORAES, F. P. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 3, n. 2, 2006.

MOURA, O. V. T. DE; ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, O. A. Q. DOS; PINTO, L. A. D. S. R.; ARAÚJO, E. D. S. Fósforo em agregados biogênicos e fisiogênicos sob diferentes sistemas de manejo agroecológico. **Agrarian**, v. 12, n. 46, p. 466-478, 8 dez. 2019.

NASCENTE, A. S.; LI, Y.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil Aggregation, Organic Carbon Concentration, and Soil Bulk Density As Affected by Cover Crop Species in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 871-879, jun. 2015.

NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E. DE B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 943-948, jun. 2006.

OLIVEIRA, L.; RIBAS, R. G. T.; JUNQUEIRA, R. M.; PADOVAN, M. P.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D. Uso do pré-cultivo de *Crotalaria juncea* e de doses crescentes de “cama” de aviário na produção do repolho sob manejo orgânico. **Agronomia**, v. 37, n. 2, p. 60-66, 2003.

OLIVEIRA, R. A., COMIN, J.J., TIECHER, T., PICCIN, R., SOMAVILLA, L.M., LOSS, A., LOURENZI C.R., KÜRTZ, C., BRUNETTO, G. Release of Phosphorus Forms from Cover Crop Residues in Agroecological No-Till Onion Production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 0, 2017.

ORMOND, J. G. P.; PAULA, S. R. L.; FAVERET FILHO, P.; ROCHA, L. T. M. Agricultura orgânica: quando o passado é futuro. **BNDS Setorial**, n. 15, p. 3-34, 2002.

PARRON, L. M.; RACHWAL, M. F. G.; MAIA, C. M. B. F. Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. DE; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 71-83.

PASCAULT, N., RANJARD, L., KAISERMANN, A., BACHAR, D., CHRISTEN, R., TERRAT, S., MATHIEU, O., LÉVÊQUE, J., MOUGEL, C., HENAULT, C., LEMANCEAU, P., PÉAN, M., BOIRY, S., FONTAINE, S., MARON, P.A. Stimulation of Different Functional Groups of Bacteria by Various Plant Residues as a Driver of Soil Priming Effect. **Ecosystems**, v. 16, n. 5, p. 810-822, ago. 2013.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 713-720, set. 2002.

PERIN, A.; LIMA, E. A. D.; PEREIRA, M. G.; GRANDI, M.; GUERRA, J. G. M. Efeitos de coberturas vivas com leguminosas herbáceas perenes sobre a umidade e temperatura do solo. **Agronomia**, v. 38, p.4, 2004.

PIAN, L. B. **Matéria orgânica e fungos micorrízicos arbusculares em um módulo experimental de produção orgânica intensiva de hortaliças**. 2016. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciências do Solo). Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciências do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2016.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 77, n. 1, p. 79-84, maio 2004.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 731-737, ago. 2004.

PINHEIRO, E.; PEREIRA, M.; ANJOS, L.; PALMIERI, F.; SOUZA, R. Matéria orgânica em latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 9, n. 1, 2003.

PINTO, L. A. S. R.; MENDONÇA, O. V. T.; ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; BARROS, F. C. Evolution and accumulation of C-CO₂ in biogenic and physiogenic aggregates of different agroecological management systems. **Acta Agronómica**, v. 67, n. 4, p. 494-500, 1 out. 2018.

PORTILHO, I. I. R.; CREPALDI, R. A.; BORGES, C. D.; SILVA, R. F. DA; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1310-1320, out. 2011.

PRIMAVESI, A. Revisão do conceito de agricultura orgânica: conservação do solo e seu efeito sobre a água. **Biológico**, São Paulo, v. 65, n. 1/2, p. 69-73, 2003.

QUEIROZ, J. M.; ALMEIDA, F. S. Conservação da biodiversidade e o papel das formigas (Hymenoptera: Formicidae) em agroecossistemas. **Floresta e Ambiente**, p. 9, 2006.

RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; UHLMANN, A.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F.; ALMEIDA, L. DE. Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 1, p. 45-51, 2015.

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

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, out. 2008.

RESENDE, G. M. DE; BORGES, R. M. E.; GONÇALVES, N. P. S. Produtividade da cultura da abóbora em diferentes densidades de plantio no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 504-508, set. 2013.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1, p. 131-146, 1 nov. 2002.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 24, 2005.

ROSA, M. G. DA; BRESCOVIT, A. D.; BARETTA, C. R. D. M.; SANTOS, J. C. P.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I. DE; BARETTA, D. Diversity of soil spiders in land use and management systems in Santa Catarina, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 2, p. e20180619, 2019.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; MOURA, O. V. T. DE; ALMEIDA, A. P. C. DE. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1677-1685, set. 2016.

ROSCOE, R. O seqüestro de carbono no sistema plantio direto: Possibilidades de contabilização. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Org.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, pp. 43-6. 2006.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; 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**, v. 32, n. 1, p. 11-21, fev. 2008.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. C. Qualidade do solo: Uma visão holística. **Boletim Informativo SBCS**, v. 27, p. 15-18, 2002.

SANT'ANNA, S. A. C.; MARTINS, M. R.; GOULART, J. M.; ARAÚJO, S. N.; ARAÚJO, E. S.; ZAMAN, M.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Biological nitrogen fixation and soil N₂O emissions from legume residues in an Acrisol in SE Brazil. **Geoderma Regional**, v. 15, p. e00196, dez. 2018.

SANTOS, C. A. B.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; ROCHA, M. V. C.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. L. D. Plantio direto de berinjela (*Solanum melongena*), sob manejo orgânico, em solo com cobertura viva permanente de gramínea e leguminosa. Embrapa Agrobiologia-**Comunicado Técnico** (INFOTECA-E), 2006.

SCHOENHOLTZ, S. H.; MIEGROET, H. V.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n. 1, p. 335-356, 1 nov. 2000.

SEBRAE. **Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas**. Acesso em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/rj?codUf=20>> Acesso em: 8 mar 2019.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C. DOS; LIMA, P. C. DE. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Revista Ceres**, v. 61, n. suppl, p. 829-837, dez. 2014.

SILVA, C. S. R. A.; SANTOS, S. D. S., SOUZA, D., GUERRA, J., ESPINDOLA, J., ARAUJO, E. D. S. Avaliação de diferentes manejos do solo sobre a produtividade do milho (*Zea mays*) em sistema orgânico de produção. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, jul. 2018.

SILVA, E. E.; DE-POLLI, H.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RIBEIRO, R. L. D.; GUERRA, J. G. M. Matéria orgânica e fertilidade do solo em cultivos consorciados de couve com leguminosas anuais. **Revista Ceres**, v. 56, p. 93-102, 2009.

SILVA, L. V.; OLIVEIRA, G. Q.; SILVA, M. G.; NAGEL, P. L.; MACHADO, M. M. V. Doses de nitrogênio em cobertura em duas cultivares de abobrinha no município de Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v. 6, n. 3, p. 447-451, 19 set. 2011.

SILVA, R. F. DA; AQUINO, A. M. DE; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. DE F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 697-704, abr. 2006.

SILVA, R. F. DA; TOMAZI, M.; PEZARICO, C. R.; AQUINO, A. M. DE; MERCANTE, F. M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 865-871, jun. 2007.

SILVA, V. V. **Efeito do pré-cultivo de adubos verdes na produção orgânica de brócolos (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) em sistema de plantio direto**. 2002. 86f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2002.

SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M.; POWLSON, D. S.; MADARI, B.; GAUNT, J. L. A Procedure for Isolating Soil Organic Matter Fractions Suitable for Modeling. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 4, p. 1121, 2001.

SOUZA, L. S.; MAFRA, A. L.; SOUZA, L. D.; SILVA, I. F. S.; KLEIN, V. A. Inter-relação entre manejo e atributos físicos do solo. In BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e Conservação do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. Cap.8. p. 194-249.

SOUZA, M.; COMIN, J. J.; LEGUIZAMÓN, E. S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; MÜLLER JÚNIOR, V.; VENTURA, B.; CAMARGO, A. P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 21-27, 4 dez. 2012.

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; JACQUES, S. Importância ecológica e ambiental das minhocas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 137-147, 2013.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 496p. 1994.

TANCK, B. C. B.; SANTOS, H. R.; DIONÍSIO, J. A. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo sobre a flutuação populacional do Oligochaeta edáfico *Amyntas* spp. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 409-415, jun. 2000.

TELLES, T. S.; REYDON, B. P.; MAIA, A. G. Effects of no-tillage on agricultural land values in Brazil. **Land Use Policy**, v. 76, p. 124-129, jul. 2018.

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

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. The effect of crop rotation on aggregation in a red brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, v. 18, p. 423-433, 1980.

TIVELLI, S. W.; PURQUEIRO, L. F. V.; KANO, C. Adubação verde e plantio direto em hortaliças. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2010.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 573-581, dez. 1998.

TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; ARAÚJO, M. A.; PINTRO, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 65-71, abr. 2004.

VAKALI, C.; ZALLER, J. G.; KÖPKE, U. Reduced tillage effects on soil properties and growth of cereals and associated weeds under organic farming. **Soil and Tillage Research**, v. 111, n. 2, p. 133-141, jan. 2011.

VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, F. R.; SCHILICKMANN, S. DE F.; POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 485-491, dez. 2011.

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

VEZZANI, F. M.; FERREIRA, G. W.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Conceitos, métodos de avaliação participativa e o SPDH como promotor de qualidade do solo. In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**. Florianópolis, Epiagri, 2019. 428p.

VILELA, G.; MANGABEIRA, J. D. C.; MAGALHÃES, L.; TOSTO, S. Agricultura orgânica no Brasil: um estudo sobre o Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos. Embrapa Territorial-**Documentos** (INFOTECA-E), 2019.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n.1. p. 29-39, 1934.