

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

**AGRONOMIA CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Plantas de Cobertura e Plantio Direto: Atributos  
Químicos do Solo e Produção de Quiabo em Sistema  
Orgânico**

**Thassiany de Castro Alves**

**2023**



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

**PLANTAS DE COBERTURA E PLANTIO DIRETO: ATRIBUTOS  
QUÍMICOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE QUIABO EM SISTEMA  
ORGÂNICO**

**THASSIANY DE CASTRO ALVES**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Everaldo Zonta**

*Co-orientação*  
**Nivaldo Schultz**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2023

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

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

A474p

Alves, Thassiany de Castro, 1999-

Plantas de cobertura e plantio direto: Atributos químicos do solo e produção de quiabo em sistema orgânico/Thassiany de Castro Alves. – Seropédica, 2023. 77 f. : il.

Orientador: Everaldo Zonta.

Dissertação (Mestrado). – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo, 2023.

1. *Abelmoschus esculentus*. 2. Ciclagem de nutrientes. 3. Palhada. 4. Rotação de cultura. 5. Sustentabilidade. I. Zonta, Everaldo, 1970-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo III. Título.

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

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (CIÊNCIAS DO SOLO)



**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 22 / 2023 - CPGACS  
(12.28.01.00.00.27)**

**Nº do Protocolo: 23083.019101/2023-81**

**Seropédica-RJ, 29 de março de 2023.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

INSTITUTO DE AGRONOMIA

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

**THASSIANY DE CASTRO ALVES**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Área de Concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24/02/2023.

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ

(Orientador)

Priscila Silva Matos. Dra. UFRRJ

Franciele Caroline de Assis Valadão. Dra. IFMT

*(Assinado digitalmente em 29/03/2023 14:17 )*

EVERALDO ZONTA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
IA (12.28.01.21)  
Matrícula: 2213075

*(Assinado digitalmente em 29/03/2023 14:21 )*

PRISCILA SILVA MATOS  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 095.755.766-32

*(Assinado digitalmente em 29/03/2023 20:26 )*

FRANCIELE CAROLINE DE ASSIS VALADÃO  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 834.852.792-34

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **22**, ano: **2023**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **29/03/2023** e o código de verificação: **3311443cb7**

*Dedico aos meus pais e irmão por sempre estarem comigo.  
E a todos que sempre me ajudaram!*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e nossa mãe Maria, por Eles abençoarem e protegerem todas as etapas da minha vida. E agradeço a Eles pela família que tenho, que me apoiam em todos os momentos e escolhas para minha vida. Em especial aos meus pais Claudio Ricardo Alves Pereira e Sueli Cristina de Castro Alves, irmão Thelmo de Castro Alves e minha sobrinha Helena Morais de Castro Alves que são os meus combustíveis em todas as situações que surgem no dia a dia. Saiba que mais essa conquista é devido ao esforço que vocês meus pais e meu irmão sempre fizeram para me ajudar e serei sempre grata por tudo, amo vocês.

Agradeço as pessoas que foram fundamentais para alcançar o mestrado, aos professores e grandes amigos que fiz no IFMT-CNP, principalmente professora Franciele Valadão, Daniel Valadão e Leonardo Durval, que são pessoas extraordinárias e que os seus ensinamentos tanto profissionais como pessoais ficarão para minha vida toda. Agradeço ao professor Everaldo Zonta pela oportunidade concedida em 2020 através do estágio da graduação, decisão que mudou a minha vida e fez eu crescer tanto profissional como pessoal e consegui concretizar mais um sonho em minha vida, tornar mestra. Hoje como meu orientador, agradeço pelos “puxões de orelha” que são apenas uma maneira de falar: eu acredito em você, vai e faça acontecer. Obrigada por acreditar em mim e depositar a sua confiança, saiba que você é o paizão Zonta com seu coração enorme que sempre nos presenteia com muita balinha, chocolates e conhecimento.

E não poderia deixar de agradecer aquelas pessoas que tornaram essa caminhada mais leve e que se tornaram a minha família aqui no RJ. SIM, a minha família, ALOJAMENTO DA PÓS-GRADUAÇÃO, uma pessoa de cada região do país, com seu jeito único, em especial destaco as 24 mulheres que tenho a honra de conviver todos os dias. Mulheres fortes que sabem o que querem e onde vão chegar, que com esse jeito guerreiro me inspiraram a cada dia de convivência. Obrigada meninas mulheres, vocês foram o meu suporte em muitos dias através de um simples oi até um abraço, que não temos longe da família. Em especial quero agradecer a uma amiga que fiz em Seropédica, pessoa incrível que transformou a minha vida, ousada em dizer isso, mas ela fez eu olhar com outros olhos para a ciência e para a vida. Pessoa simples com coração enorme que sabe o que quer e não abaixa a cabeça para nada, estou falando de Priscila Silva Matos. Obrigada minha grande e eterna amiga, como sempre falei, você além de amiga é uma grande irmã.

E para que tudo isso fosse possível a ajuda de muitas pessoas foi essencial, como os meus ajudantes diários Eduardo Albano, Mateus Belarmino, Guilherme Oliveira, Jhulia Santos Raphael Fontes e José Moraes, saiba que vocês alegraram todos os meus dias e mostraram que eu não estava sozinha. Agradeço em especial meu coorientador Nivaldo Schultz pela paciência e dedicação em ensinar e me mostrar o caminho sempre quando o busquei, ao meu amigo Derique Biassi que sempre me ajudou e esteve presente em todos os momentos, ao professor Marcos Gervasio que sempre esteve disposto a me ajudar e contribuir com minha carreira profissional e a Dona Salete mulher incrível que me inspira, trabalhadora e não tem tempo ruim, produtora orgânica com amor e que transmite isso para quem visita seu sítio, meu muito obrigada. Por fim, agradeço ao Laboratório de Estudo das Relações Solo-Planta (LSP), Laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água (LMCSA), Laboratório de Gênese e Classificação do Solo (LGCS) e ao Laboratório de Indicadores de Sustentabilidade Ambiental (LISA), muito obrigada a cada um que faz parte.

E agradeço aos órgãos de fomento CAPES, CNPq e FAPERJ pelo apoio financeiro para que fosse possível a realização da pesquisa, ao Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro meu muito obrigada por contribuírem com meu futuro.

**Obrigada!**

## **BIOGRAFIA**

Filha de Claudio Ricardo Alves Pereira e Sueli Cristina de Castro Alves e irmã do Thelmo de Castro Alves, nasci em Mirassol D' Oeste, Mato Grosso no dia 18/08/1999. Com 5 anos mudei para Campo Novo do Parecis – MT, cidade que conclui o ensino médio integrado ao curso de Técnica em Agropecuária e logo depois a graduação em Agronomia, ambos os títulos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Campo Novo do Parecis. A transição do MT para o RJ aconteceu através do estágio da graduação realizado no final de 2020 na UFRRJ localizada na cidade de Seropédica – RJ, mais precisamente no laboratório do estudo das relações solo-planta. Oportunidade que indagou a minha vontade de realizar o mestrado em Ciência do Solo na UFRRJ e que se concretizou no início de 2021, na qual finalizo essa etapa na minha vida com muita gratidão em fevereiro de 2023.

## RESUMO GERAL

ALVES, T. C. **Plantas de cobertura e plantio direto: Atributos químicos do solo e produção de quiabo em sistema orgânico.** 2023. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

A degradação do solo é um cenário de preocupação para conservação do solo e da água, diante dessa situação o uso do sistema plantio direto e adubação verde torna-se alternativas promissoras para melhoria dos atributos do solo e ao mesmo tempo para agricultura orgânica. Com isso, o objetivo no estudo foi avaliar o uso de plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo para melhoria da qualidade do solo e a produtividade de culturas em sistema de produção orgânico. O experimento foi realizado na propriedade orgânica Sítio do Sol localizada no município de Seropédica estado do Rio de Janeiro. O experimento foi disposto em blocos casualizados com três repetições em esquema de parcela subdividida 2 x 6, sendo dois sistemas de plantio distribuídos nas parcelas (sistema plantio direto – SPD e sistema convencional do solo – SPC) e seis plantas de coberturas distribuídas nas subparcelas cultivadas isoladas (Milheto – *Pennisetum glaucum*; Crotalária - *Crotalária juncea* e feijão de porco – *Canavalia ensiformis*; consórcio formado pela mistura de 100% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; consórcio formado pela mistura de 50% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; plantas espontâneas mantidas na área pousio). No primeiro capítulo foi abordado o “Acúmulo e liberação de nutrientes das plantas de cobertura para o solo” para isto foram realizadas coletas das plantas de cobertura para avaliação da fitomassa seca, teores e acúmulos dos nutrientes, relação C/N, decomposição e liberação dos nutrientes e os nutrientes no solo. No segundo capítulo sobre “O efeito sistemas conservacionistas de uso do solo sobre o estoque total de carbono e frações de matéria orgânica” foram realizadas coletas de solo nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m para avaliação do carbono orgânico total e fracionamento físico da matéria orgânica constituído pelo fracionamento granulométrico e densimétrico. Por último, no capítulo três foi abordado o tema “Produtividade do quiabo e balanço de nutrientes do solo em sistema de agricultura orgânica”, para isto foram realizadas análises dos teores de nutrientes no fruto para o cálculo de exportação e balanço nutricional do solo, seguido pela análise foliar da cultura para determinação das concentrações dos nutrientes e por fim a produtividade do quiabo em sistema orgânico. O uso de gramíneas para cobertura do solo e as leguminosas no fornecimento de nutrientes, as duas juntas são promissoras como coquetéis na área. Em relação aos atributos químicos do solo mostraram que na cova e entrelinha o SPD precisa de mais tempo para construção da fertilidade do solo, mas em relação ao carbono orgânico total e nas frações do solo nos anos avaliados 2019 e 2022 o SPD garantiu aumento do teor de matéria orgânica no solo e em seus compartimentos. O quiabo apresentou maior teor e acúmulo provenientes do SPD e C1, mas a produtividade foi maior no SPC devido a fatores como maior estande de plantas nesse sistema.

**Palavras-chave:** *Abelmoschus esculentus*. Ciclagem de nutrientes. Palhada. Rotação de cultura. Sustentabilidade.

## GENERAL ABSTRACT

ALVES, T. C. **Cover crops and no-tillage: Soil chemical attributes and okra production in organic system.** 2023. 77 p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science), Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Soil degradation is a scenario of concern for soil and water conservation, in view of this situation the use of no-tillage system and green manure becomes promising alternatives for improving soil attributes and at the same time for organic agriculture. Thus, the objective of the study was to evaluate the use of cover crops and soil management systems to improve soil quality and crop productivity in an organic production system. The experiment was carried out in the organic property Sítio do Sol located in the municipality of Seropédica, state of Rio de Janeiro. The experiment was arranged in randomized blocks with three replications in a 2 x 6 split-plot scheme, with two planting systems distributed in the plots (no-tillage system - SPD and conventional soil system - SPC) and six cover crops distributed in the cultivated subplots. isolated (Milheto – *Pennisetum glaucum*; Crotalaria – *Crotalaria juncea* and jack bean – *Canavalia ensiformis*; consortium formed by mixing 100% of the recommended cover plant seeds; consortium formed by mixing 50% of the recommended cover plant seeds; spontaneous plants kept in the fallow area). In the first chapter, the “Accumulation and release of nutrients from cover crops to the soil” was addressed. nutrients and nutrients in the soil. In the second chapter on “The effect of conservationist land use systems on the total carbon stock and fractions of organic matter”, soil samples were taken in the layers 0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10 - 0.20 m for evaluation of total organic carbon and physical fractionation of organic matter constituted by granulometric and densimetric fractionation. Finally, in chapter three, the topic “Okra productivity and soil nutrient balance in an organic farming system” was addressed. by leaf analysis of the crop to determine nutrient concentrations and finally the productivity of okra in organic system. The use of grasses to cover the soil and legumes to supply nutrients, the two together are promising as cocktails in the area. In relation to the chemical attributes of the soil, they showed that in the pit and between the rows, the NTS needs more time to build soil fertility, but in relation to the total organic carbon and in the soil fractions in the evaluated years 2019 and 2022, the NTS guaranteed an increase in the content of organic matter in the soil and its compartments. Okra showed higher content and accumulation from NT and C1, but productivity was higher in SPC due to factors such as higher plant stand in this system.

**Keywords:** *Abelmoschus esculentus*. Nutrient cycling. Straw. Crop rotation. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> A. Temperatura e precipitação nos meses de maio a agosto de 2021. B. Temperatura e precipitação nos meses de maio a agosto de 2022. <b>Fonte:</b> Dados climáticos obtidos no site do INMET (2023) e elaborado pelo autor. ....	12
<b>Figura 2.</b> Coleta das plantas de cobertura para avaliação da fitomassa seca. <b>Fotos:</b> Autor próprio, 2021. ....	13
<b>Figura 3.</b> Condições climáticas durante os 120 dias de avaliação da decomposição e liberação dos nutrientes das plantas de cobertura. <b>Fonte:</b> Dados climáticos obtidos no site do INMET (2023) e elaborado pelo autor. ....	14
<b>Figura 4.</b> Curvas ajustadas com equação quadrática, para representar a decomposição das plantas de cobertura até os 120 dias. <b>Fonte:</b> Elaborado pelo autor, 2022. ....	22
<b>Figura 5.</b> Curvas de liberação do nitrogênio para cada planta de cobertura ao longo do tempo. <b>Fonte:</b> Elaborado pelo autor, 2022. ....	24
<b>Figura 6.</b> Curvas de liberação do fósforo para cada planta de cobertura ao longo do tempo. <b>Fonte:</b> Elaborado pelo autor, 2022. ....	25
<b>Figura 7.</b> Curvas de liberação do potássio para cada planta de cobertura ao longo do tempo. <b>Fonte:</b> Elaborado pelo autor, 2022. ....	25
<b>Figura 8.</b> Projeção das variáveis das propriedades do solo na cova (0-5 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. <b>Fonte:</b> Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022. ....	32
<b>Figura 9.</b> Projeção das variáveis das propriedades do solo na cova (5-10 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. <b>Fonte:</b> Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022. ....	33
<b>Figura 10.</b> Projeção das variáveis das propriedades do solo na cova (10-20 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. <b>Fonte:</b> Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022. ....	34
<b>Figura 12.</b> Projeção das variáveis das propriedades do solo na entrelinha (0-5 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. <b>Fonte:</b> Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022. ....	35
<b>Figura 11.</b> Projeção das variáveis das propriedades do solo na entrelinha (5-10 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. <b>Fonte:</b> Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022. ....	36
<b>Figura 13.</b> Projeção das variáveis das propriedades do solo na entrelinha (10-20 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. <b>Fonte:</b> Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022. ....	36
<b>Figura 14.</b> Estoque de carbono das frações da matéria orgânica do solo comparando as camadas em cada período avaliado, na qual <sup>ns</sup> não houve diferença entre os sistemas no ano e letras diferentes houve significância entre os sistemas no ano de acordo com teste de Tukey a 5% de probabilidade. <b>Fonte:</b> Elaborado pelo autor, 2022. ....	58
<b>Figura 15.</b> Ataque de formigas no quiabo. <b>Foto:</b> Autor próprio, 2021. ....	67
<b>Figura 16.</b> Preparo de mudas de quiabo. <b>Foto:</b> Autor próprio, 2021. ....	68
<b>Figura 17.</b> Adubação orgânica diretamente na cova e com auxílio da fertirrigação. <b>Fotos:</b> Autor próprio, 2021. ....	68
<b>Figura 18.</b> Colheita do quiabo e corte das plantas. <b>Fotos:</b> Autor próprio, 2021. ....	69

<b>Figura 19.</b> Média do número de covas por tratamento com plantas de quiabo. SC-C1: sistema convencional coquetel 1; SC-C2: sistema convencional coquetel 2; SC-Crot: sistema convencional crotalária; SC-FP: sistema convencional feijão de porco; SC-M: sistema convencional milho; SC-PE: sistema convencional plantas espontâneas; SPD-C1: sistema plantio direto coquetel 1; SPD-C2: sistema plantio direto coquetel 2; SPD-Crot: sistema plantio direto crotalária; SPD-FP: sistema plantio direto feijão de porco; SPD-M: sistema plantio direto milho; SPD-PE: sistema plantio direto plantas espontâneas. <b>Fonte:</b> Elaborado pelo autor, 2021. ....	72
<b>Figura 20.</b> Comparação visual da altura de plantas do quiabo nos dois sistemas de manejo. <b>Fotos:</b> Autor próprio, 2021. ....	73

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Fitomassa seca em kg ha <sup>-1</sup> das plantas de cobertura em 2021 e 2022, Seropédica - RJ. .....	16
<b>Tabela 2.</b> Teor e acúmulo dos nutrientes em plantas de cobertura avaliadas em 2021, Seropédica – RJ. ....	17
<b>Tabela 3.</b> Teor e acúmulo dos nutrientes nas plantas de cobertura em 2022, Seropédica - RJ. .....	19
<b>Tabela 4.</b> Relação C/N das plantas de cobertura ano 2021 e 2022, Seropédica - RJ. ....	20
<b>Tabela 5.</b> Constante de decomposição e tempo de meia-vida das plantas de cobertura, Seropédica - RJ.....	21
<b>Tabela 6.</b> Liberação dos nutrientes N, P e K das plantas de cobertura, durante os 120 dias no campo, Seropédica - RJ. ....	23
<b>Tabela 7.</b> Atributos químicos do solo na cova, Seropédica - RJ. ....	27
<b>Tabela 8.</b> Atributos químicos do solo na entrelinha, Seropédica - RJ.....	30
<b>Tabela 9.</b> Classificação granulométrica do solo da área experimental, Seropédica - RJ.....	51
<b>Tabela 10.</b> Carbono orgânico total do solo em diferentes camadas nos anos de 2019 e 2022, Seropédica - RJ.....	53
<b>Tabela 11.</b> Percentual de aumento de COT do ano de 2019 para 2022, Seropédica - RJ. ....	54
<b>Tabela 12.</b> COP e COam em diferentes profundidades no ano de 2019 e 2022, Seropédica - RJ. .....	55
<b>Tabela 13.</b> Fração leve livre da matéria orgânica do solo, Seropédica - RJ. ....	56
<b>Tabela 14.</b> Teor, exportação e balanço nutricional dos nutrientes, Seropédica - RJ. ....	70
<b>Tabela 15.</b> Teor e acúmulo de N no quiabo, Seropédica - RJ. ....	70
<b>Tabela 16.</b> Teor e acúmulo de P e K no quiabo, Seropédica - RJ. ....	71

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Plantio Direto .....	3
2.2 Plantas de Cobertura.....	3
2.3 Espécies Utilizadas como Plantas de Cobertura .....	4
2.3.1 <i>Crotalaria juncea</i> .....	4
2.3.2 Feijão de porco.....	4
2.3.3 Milheto.....	4
2.3.4 Coquetel de adubos verdes .....	5
2.4 Efeito da Cobertura do Solo sobre Plantas Espontâneas.....	5
2.5 Agricultura Orgânica.....	5
2.6 Sistema de Plantio Direto em Hortaliças (SPDH).....	6
<b>3 CAPÍTULO I .....</b>	<b>7</b>
<b>ACÚMULO E LIBERAÇÃO DOS NUTRIENTES DAS PLANTAS DE COBERTURA PARA O SOLO.....</b>	<b>7</b>
3.1 RESUMO .....	8
3.2 ABSTRACT .....	9
3.3 INTRODUÇÃO .....	10
3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3.4.1 Histórico do experimento.....	11
3.4.2 Implantação e coleta das plantas de cobertura.....	11
3.4.3 Avaliação da decomposição e liberação dos nutrientes das plantas de cobertura ....	13
3.4.4 Análise química das plantas de cobertura.....	15
3.4.5 Coleta e análise da fertilidade do solo .....	15
3.4.6 Análise estatística dos dados.....	15
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
3.5.1 Fitomassa seca das plantas de cobertura.....	16
3.5.2 Teor e acúmulo de nutrientes nas plantas de cobertura .....	17
3.5.3 Relação C/N das plantas de cobertura .....	20
3.5.4 Decomposição e liberação dos nutrientes das plantas de cobertura .....	21
3.5.5 Atributos químicos do solo .....	26
3.6 CONCLUSÕES.....	37
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
<b>4 CAPÍTULO II.....</b>	<b>47</b>
<b>O EFEITO SISTEMAS CONSERVACIONISTAS DE USO DO SOLO SOBRE O ESTOQUE TOTAL DE CARBONO E FRAÇÕES DE MATÉRIA ORGÂNICA.....</b>	<b>47</b>

4.1 RESUMO .....	48
4.2 ABSTRACT .....	49
4.3 INTRODUÇÃO .....	50
4.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	51
4.4.1 Área de estudo .....	51
4.4.2 Área de referência .....	51
4.4.3 Amostragem de solo .....	51
4.4.4 Análise de carbono orgânico total, fracionamento granulométrico e densimétrico da matéria orgânica.....	51
4.4.5 Análise estatística .....	52
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
4.5.2 Carbono orgânico total e fracionamento físico da matéria orgânica do solo.....	53
4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60
<b>5 CAPÍTULO III .....</b>	<b>63</b>
<b>PRODUTIVIDADE DO QUIABO E BALANÇO DE NUTRIENTES DO SOLO EM SISTEMA DE AGRICULTURA ORGÂNICA .....</b>	<b>63</b>
5.1 RESUMO .....	64
5.2 ABSTRACT .....	65
5.3 INTRODUÇÃO .....	66
5.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	67
5.4.1 Área de estudo .....	67
5.4.2 Semeadura do quiabo .....	67
5.4.3 Análise foliar e do fruto .....	69
5.4.4 Teor, exportação e balanço nutricional dos nutrientes.....	69
5.4.5 Colheita do quiabo .....	69
5.4.6 Análise estatística .....	69
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	70
5.5.1 Análise do teor e acúmulo de nutrientes no quiabo e fruto.....	70
5.5.2 Produtividade do quiabo em sistema orgânico .....	71
5.6 CONCLUSÕES.....	74
5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
<b>6 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A busca por sustentabilidade e segurança alimentar impulsiona a utilização de sistemas de produção que minimiza o uso de produtos sintéticos e se baseiam nos conceitos da agricultura orgânica (FAROOQ et al., 2019; FERREIRA et al., 2015). Estima-se que em 2019 mais de 750 milhões de pessoas ou aproximadamente 1 a cada 10 pessoas no mundo foram expostas a níveis severos de insegurança alimentar (FAO et al., 2020). Para atender a demanda do consumidor por alimentos com maior segurança, medidas são realizadas desde o campo com práticas que visam a junção da sustentabilidade com a segurança alimentar, que visa manter o direito de todos ao acesso a alimentos de qualidade que não prejudiquem a saúde e em quantidade suficiente (LIMA, 2021, CONSEA, 2004).

O uso de sistemas de manejo baseados em melhoria da qualidade do solo, agricultura de baixo carbono e mudança das práticas de uso do solo, são requisitos que atendem a sustentabilidade e como consequência o aumento da produção de alimentos (SÁ et al., 2016). A manutenção sustentável das culturas e a garantia de alimentos é influenciada pela qualidade do solo, uma vez que o manejo impróprio e intensivo do solo com constante revolvimento pode provocar a degradação e em alguns casos pode ser irreversível (SILVA et al., 2021).

Em busca da sustentabilidade, a procura por alternativas que melhorem a qualidade do solo em relação aos atributos químicos, físicos e biológicos esta crescente e cada vez a pesquisa se engaja mais em fornecer informações a respeito do manejo e conservação do solo e água. Diante do exposto, um sistema que diminui a degradação do solo principalmente em solos considerados frágeis como solos arenosos, é o sistema de plantio direto (SPD). Diferente do sistema convencional que ocorre o intenso preparo do solo com maquinários, alterando o ambiente através do revolvimento (SOMASUNDARAM et al., 2020), o SPD deve seguir as três premissas básicas para o cultivo da cultura principal, como o mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e a manutenção da cobertura do solo (BERTOL, 2016).

O uso de plantas de cobertura no sistema pode levar a conservação da fertilidade do solo que ao mesmo tempo otimiza as necessidades da planta de acordo com as modificações que são realizadas no sistema, na qual garante a melhoria dos índices de fertilidade do solo e pode levar ao aumento da produtividade da cultura principal (NASCENTE et al., 2015; RUSU 2014). O uso de plantas de cobertura no sistema de plantio direto permite agregar a agricultura orgânica no sistema, a fim de fornecer nutrientes que compactue com a agricultura orgânica baseada na utilização de fertilizantes orgânicos e proibição do uso de substâncias sintéticas (REGANOLD et al., 2016).

O destaque para a agricultura orgânica desenvolvida principalmente pela agricultura familiar é devido ao aumento do interesse da sociedade por alimentos que não proporcionem risco a saúde e ao mesmo tempo mantenha o desenvolvimento sustentável (MORAES et al., 2017). A Research Institute of Organic Agriculture – FiBL e a *Organics International* publicaram a produção orgânica mundial e mostraram que em 2020 mais de 74,9 milhões de hectares de terras são orgânicas na qual a Oceania ganha destaque com 35,9 milhões de hectares de terras agrícolas orgânicas, seguido pela Europa (17,1 milhões de hectares) e a América latina 9,9 milhões de hectares. O Brasil se destaca por ser o maior país da América Latina na produção de orgânicos (WILLER et al., 2022).

A hipótese no trabalho é que em sistema de produção orgânica a utilização de plantas de cobertura pode auxiliar nas modificações dos atributos químicos do solo como contribuição para menor dependência dos insumos externos e reflexo na redução dos custos e ao mesmo tempo, manutenção ou aumento de produtividade das culturas.

A respeito da abordagem, a dissertação ficou dividida em três capítulos, o primeiro intitulado como “Acúmulo e liberação dos nutrientes das plantas de cobertura para o solo”. O capítulo dois ficou nomeado como “Estoque total de carbono e frações de matéria orgânica em função do uso do solo”. O capítulo três ficou definido como “Produtividade do quiabo e balanço de nutrientes do solo em sistema de agricultura orgânica”. Portanto, o objetivo geral da pesquisa é disponibilizar informações para comunidade científica sobre o uso de plantas de cobertura em sistemas de agricultura orgânica, tendo em vista à adoção de técnicas conservacionistas para melhoria da qualidade dos solos e a produtividade das culturas em sucessão.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A população no Brasil encontra-se em 213,3 milhões de habitantes com expectativa de aumento exponencial nas próximas décadas, e com isso surge a necessidade de alavancar a produção para o abastecimento de alimentos no país (GOV, 2021). De acordo com a Conab no Boletim Hortigranjeiro (2021), no período de 2019 e fevereiro de 2021 a quantidade de hortaliças comercializadas aproximou-se de 350.000 Mg. Concomitante a necessidade de aumento de produção para abastecimento global, é crescente a busca por alimentos com maior qualidade, aumentando-se o rigor nos critérios de escolha, visto que a forma como os alimentos são produzidos reflete diretamente na saúde das pessoas (MATTOS et al., 2009).

O novo cenário de segurança do alimento é um desafio que deve atender a demanda do consumidor, para isso medidas devem ser realizadas desde o campo visando práticas que atenda esse requisito (LIMA, 2021). Em busca da segurança alimentar, a produção de alimentos deve priorizar a minimização do uso de produtos sintéticos e maior atenção deve ser dada às práticas de manejo, como na agricultura orgânica (FERREIRA et al., 2015). Associado ao cultivo orgânico de hortaliças está o plantio direto que atende a três premissas básicas como cobertura do solo auxiliando na isenção de agrotóxicos, revolvimento mínimo do solo e rotação de cultura (BERTOL, 2016).

Deste modo, é importante aumentar a produção das hortaliças de forma a manter a segurança alimentar e agredir menos o agroecossistema, o plantio direto é uma alternativa que auxilia na diminuição da degradação física, química e biológica do solo (ECHER et al., 2016).

### 2.1 Plantio Direto

O sistema de plantio direto é definido como um manejo que visa o cultivo sobre restos de plantas anteriores sempre alternando as culturas e com o mínimo revolvimento do solo. Compreende um conjunto de técnicas que visa a redução de custos, a sustentabilidade ambiental com o intuito de interações biológicas e processos naturais benéficos ao solo, melhorando as condições ambientais refletindo em menor impacto possível (FREITAS, 2005).

Na horticultura, devido ao levantamento de canteiros, há predominância do revolvimento do solo como é realizada na cultura da alface (OLIVEIRA et al., 2006), independente do sistema orgânico ou convencional, está sendo observada a perda da qualidade do solo (VALARINI et al., 2011). Então, esse sistema surge como alternativa para as hortaliças com o intuito de minimizar os impactos causados pelo atual modelo de cultivo das espécies de hortaliças (ECHER, et al., 2016).

De acordo com Menezes et al., (2009) para o sucesso do plantio direto tem que resultar no mínimo 5 Mg ha<sup>-1</sup> de cobertura no solo. No estudo de Schultz et al., (2020) realizado na região serrana do Rio de Janeiro, a produção de palha da aveia preta foi de 8,1 Mg ha<sup>-1</sup>, na qual o plantio direto proporcionou maior produtividade da cultura da couve-flor, em relação aos sistemas de manejo que ocorreu o revolvimento do solo e incorporação dos resíduos vegetais.

### 2.2 Plantas de Cobertura

No plantio direto as plantas de cobertura utilizadas têm o objetivo de cobrir o solo para evitar processos erosivos e a lixiviação de nutrientes (LAMAS, 2021), sendo uma fonte de matéria orgânica devido a decomposição da palhada na superfície do solo, que formam substâncias orgânicas (ácidos fúlvicos, húmicos e humina) que caracteriza a matéria orgânica disponível para a planta (SALTON et al., 1998). Outra função das plantas de cobertura é a modificação da temperatura no interior do solo e na superfície, mantendo um local mais

agradável para as hortaliças se desenvolverem e conseguirem um incremento produtivo (MELO et al., 2010).

Um dos benefícios da utilização da cobertura no solo são os ganhos em relação a fertilidade do solo e nutrição de plantas, pois, algumas espécies podem promover a ciclagem ou disponibilização de nutrientes que irão beneficiar as culturas subsequentes, como é o caso da palhada do milho que apresentou capacidade na ciclagem do potássio (LIMA, 2014, DELAZERI et al., 2020). Então, a aplicação de fertilizantes pode ser minimizada devido ao uso das plantas de cobertura especialmente as leguminosas (POTT et al., 2008) que incorporam N atmosférico devido a fixação biológica por bactérias simbióticas nas raízes (FERREIRA et al., 2012).

A escolha da planta de cobertura deve ser baseada na espécie que mais se identifica com as condições do local e que se estabeleçam rápido para produção de fitomassa, na qual sua quantidade e qualidade depende do sistema adotado, tipo de planta e do manejo. A maior produção de fitomassa sinaliza mais palhada sobre o solo (ALVARENGA, et al. 2001). A fitomassa muda em relação a espécie, no caso das gramíneas devido à alta relação C/N a quantidade de fitomassa é mais elevada e a cobertura do solo permanece por mais tempo (ANDREOLA et al., 2000). Em relação as leguminosas, essas apresentam baixa relação C/N pelo fato que fixam mais N atmosférico como consequência a decomposição é mais rápida promovendo pouca cobertura do solo (PERIN et al., 2004).

De acordo com Torres et al., (2008) as gramíneas apresentaram maior produção de fitomassa, sendo o milho que produziu a maior quantidade seguido do sorgo e braquiária. Em outro estudo a adição de fitomassa de leguminosas em sistema de agricultura orgânica do tomateiro aumentou a produtividade, número de frutos por planta e massa média dos frutos (POTT et al., 2008).

## **2.3 Espécies Utilizadas como Plantas de Cobertura**

### **2.3.1 *Crotalaria juncea***

A crotalaria é uma leguminosa que possui elevado potencial para ser utilizada no Estado do Rio de Janeiro como adubo verde em sistemas de produção de hortaliças, por suas características de crescimento e sua grande adaptação às condições edafoclimáticas locais (LEAL et al., 2012). É uma planta com hábito de crescimento arbustivo ereto, que pode alcançar de 2,0 a 3,0 m, ciclo de 170 a 180 dias e possui sistema radicular pivotante, que agrega massa verde de 35 a 60 t/ha e massa seca de 10 a 15 t/ha. As vantagens do seu uso como adubo verde é a alta capacidade de fixação de nitrogênio por ser uma leguminosa e melhoria e recuperação dos solos (CALEGARI, 2016).

### **2.3.2 Feijão de porco**

O feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) é uma leguminosa anual, herbácea de porte ereto que pode chegar de 0,60 a 1,2 m de altura. A sua produção de massa verde e massa seca varia de 12 a 30 t/ha por ano e 2,7 a 7,0 t/ha por ano, respectivamente. É uma planta que se adapta tanto a solos argilosos quanto a solos arenosos, com pouca exigência na fertilidade do solo (LOPES, 2000).

### **2.3.3 Milheto**

O milheto (*Pennisetum glaucum*) pertence à família Poaceae das gramíneas, na qual seu crescimento é de touceira ereto que pode alcançar de 1,5 a 2,5 m, com um ciclo de 130 a 140

dias, sistema radicular fasciculado, na qual obtém massa verde de 50 a 60 t/ha e massa seca de 8,0 a 15 t/ha (CALEGARI, 2016).

### **2.3.4 Coquetel de adubos verdes**

Várias espécies de plantas são utilizadas como adubos verdes, no caso das espécies pertencentes a família Fabaceae, como a crotalária, essas plantas possuem associações simbióticas com bactérias fixadoras de N, que torna disponível esse nutriente para as plantas. Outra característica importante é a baixa relação C/N que resulta em rápida decomposição das leguminosas que pode beneficiar adequado suprimento de nutrientes as culturas em sucessão (PERIN et al., 2010). Já por outro lado, em estudo realizado por Bortolini et al., (2000) espécies de gramíneas apresentaram baixa taxa de decomposição, na qual determina melhor proteção ao solo. Então, a ideia de consorciação de espécies leguminosas e gramíneas em sistema de plantio direto tem o objetivo de encontrar um equilíbrio entre aspectos de composição, proteção do solo e liberação de nutrientes (PERIN et al., 2010).

### **2.4 Efeito da Cobertura do Solo sobre Plantas Espontâneas**

As plantas daninhas são importantes devido sua interferência no crescimento e desenvolvimento com a cultura principal, que leva a ocorrência de perda da produtividade ou depreciação do produto (MOISINHO et al., 2017). O uso da cobertura sobre o solo para controle de plantas daninhas pode ser tanto por efeito alelopático quanto efeito físico com impedimento da incidência luminosa (FAVERO et al., 2001).

O efeito alelopático depende da qualidade e quantidade do material vegetal depositado na superfície, do tipo de solo, da população microbiana, condições climáticas e da composição de espécies da comunidade de plantas daninhas (MONQUERO et al., 2009). Em um estudo realizado por Souza Filho (2002), mostrou que o preparo de extrato a partir da cultura do feijão-de-porco, independente de qual parte da planta utilizada para o extrato, a inibição da germinação de plantas daninhas ocorreu. Já o efeito físico, a cobertura morta pode interferir na germinação das plântulas de espécies de plantas daninhas devido a necessidade de luz e amplitude térmica para o processo germinativo (MONQUERO et al., 2009), como exemplo sementes de erva-de-touro (*Tridax procumbens*) são fotoblásticas positivas, não germinam sem a presença de luz (GUIMARÃES et al., 2002).

### **2.5 Agricultura Orgânica**

A produção está em constante aumento para acompanhar o aumento populacional, e por isso sistemas de produção estão sendo criados, principalmente sistemas que visem manter a saúde dos animais, pessoas e reduzir os danos ao meio ambiente (COUTINHO et al., 2018). Uma alternativa foi a agricultura orgânica, que surgiu após inúmeras críticas ao modelo convencional moderno chamado de Revolução verde época que introduziu o uso de defensivos agrícolas, máquinas e transgênicos na agricultura convencional (LAZZARI et al., 2017; DE SOUSA et al., 2015).

A produção e o consumo de produtos orgânico está crescendo de forma rápida no Brasil, sendo possível adquirir o produto não somente em feiras pequenas, mas também em supermercados (LOURENÇO et al., 2017). A produção dos produtos orgânicos ocorre preferencialmente pela agricultura familiar que afirma promover o bem-estar e qualidade de vida aos trabalhadores (PESSOA et al., 2014). A agricultura familiar representa maior parte das 17 mil propriedades certificadas no Brasil, com os principais produtos orgânicos vendidos sendo frutas e hortaliças, com destaque para região Sul, Sudeste e Nordeste e para os estados

do Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina, Pará, Minas Gerais, Pernambuco, Rio de Janeiro, Ceará e Bahia (SOUZA et al., 2021).

A agricultura familiar faz prevalecer a agroecologia que integra princípios agronômicos, ecológicos e socioeconômicos nos sistemas de produção agrícola através da redução da dependência de insumos externos. Nesse contexto, a agricultura orgânica está inserida, pois, é um sistema que visa os princípios da agroecologia, excluindo em grande parte os fertilizantes e agrotóxicos sintéticos e substituindo por rotação de culturas e adubos verdes como leguminosas e gramíneas (MAAS et al., 2018; ALTIERI, 2004).

## **2.6 Sistema de Plantio Direto em Hortaliças (SPDH)**

A produção de hortaliças no sistema de plantio direto é uma alternativa adequada ambientalmente para o cultivo orgânico, pela razão de não ocorrer a destruição dos microrganismos do solo, aumentar a matéria orgânica do solo e redução dos custos de implantação. A cobertura morta aumenta a eficiência do uso da água no cultivo de hortaliças (TIVELLI et al., 2010).

O cultivo orgânico é uma atividade em crescimento no mundo e utilizada especialmente por agricultores familiares, por sua adequação a propriedades pequenas com gestão familiar e pela diversidade de produtos em uma mesma área (SEDIYAMA et al., 2014). No Brasil o número de estabelecimentos agropecuários com uso de agricultura orgânica é de 68.716, por outro lado o número de estabelecimentos que não tem a prática de agricultura orgânica é 5.003.436 (IBGE, 2017).

O cultivo orgânico não adota o uso de fertilizantes e defensivos químicos (BRANCO et al., 2017), junto a isso, a utilização de plantio direto em hortaliças é mais uma alternativa para os produtores sem o uso de herbicidas. A palhada originada da roçada das plantas de cobertura é uma alternativa para substituir o uso de herbicidas e acrescentar ao sistema de plantio direto o cultivo orgânico, principalmente em época de verão, quando a ocorrência de planta daninha aumenta (HIRATA et al., 2014).

O cultivo orgânico associado ao plantio direto são manejos que beneficiam a produção de algumas hortaliças, como no caso do tomateiro em sistema orgânico, que a produção total de frutos aumentou com adoção da cobertura viva no solo (RESENDE et al., 2020).

### **3 CAPÍTULO I**

## **ACÚMULO E LIBERAÇÃO DOS NUTRIENTES DAS PLANTAS DE COBERTURA PARA O SOLO**

### 3.1 RESUMO

O uso de plantas de cobertura na superfície do solo aliado ao sistema plantio direto é uma ferramenta promissora para o fornecimento dos nutrientes e proteção ao solo com a permanência da palhada na superfície. Frente a isso, o objetivo neste capítulo foi avaliar a produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes das plantas de cobertura; determinar a taxa de decomposição da liteira e liberação dos macronutrientes para o solo e avaliar as propriedades químicas do solo na cova e na entrelinha. O experimento foi realizado na propriedade orgânica Sítio do Sol em Seropédica – RJ. A disposição do experimento foi em blocos casualizados com três repetições em esquema de parcela subdividida 2 x 6, sendo dois sistemas de plantio distribuídos nas parcelas (sistema plantio direto – SPD e sistema convencional do solo – SPC) e seis plantas de coberturas distribuídas nas subparcelas cultivadas isoladas (Milheto – *Pennisetum glaucum*; Crotalária - *Crotalária juncea* e feijão de porco – *Canavalia ensiformis*; consórcio formado pela mistura de 100% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; consórcio formado pela mistura de 50% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; plantas espontâneas mantidas na área pousio). As atividades foram realizadas em épocas diferentes (2021 e 2022), sendo que a coleta das plantas de cobertura foi realizada em pleno florescimento para avaliação da fitomassa seca, teor e acúmulo de nutrientes, relação C/N e a decomposição e liberação dos nutrientes. Para avaliação da fertilidade do solo foram coletadas amostras de 0,0-0,5, 0,5-0,10 e 0,10-0,20 m e realizadas as análises dos nutrientes (P, K, Ca, Mg, Na, Al) pH, H+Al, SB, CTC e V%. A fitomassa seca obteve nas duas épocas avaliadas, os maiores valores para o milheto foram próximos e/ou acima do considerado ideal para cobertura do solo; o teor e acúmulo de nutrientes obteve em 2021 maiores valores de N para C1, C2, FP e CJ, para o P o FP se destacou com maior valor de acúmulo no SPD e teor foi no M. O K apresentou maior valor do teor e acúmulo nos dois coquetéis. Em 2022, os coquetéis apresentaram maiores teores e acúmulos de N e K, para o P o M obteve o maior teor e acúmulo. A decomposição apresentou maior velocidade no FP e menor no M com confirmação através do tempo de meia vida do FP foi 63 dias e para o M foi 77 dias. Os atributos do solo na cova foram maiores em relação a entrelinha devido o residual da adubação orgânica; na entrelinha o SPD apresentou maior H+Al e o SPC maior V%. O PCA mostrou que na cova as plantas de cobertura influenciaram nas camadas 0-5 e 5-10 cm e o SPD não relação com a CTC; na entrelinha o SPD associou mais ao K, H+Al e P. O uso de plantas de cobertura disponibiliza ao solo nutrientes que através do manejo conservacionista ao longo do tempo irá potencializar a fertilidade do solo e a disponibilização dos nutrientes para as culturas sucessoras.

**Palavras-chave:** Aproveitamento. Conservação. Qualidade do solo.

### 3.2 ABSTRACT

The use of cover crops on the soil surface combined with the no-tillage system is a promising tool for providing nutrients and protecting the soil with the straw remaining on the surface. In view of this, the objective of this chapter was to evaluate the phytomass production and nutrient accumulation of cover crops; to determine the rate of litter decomposition and release of macronutrients to the soil and to evaluate the chemical properties of the soil in the pit and between rows. The experiment was carried out on the organic property Sítio do Sol in Seropédica - RJ. The experiment was arranged in randomized blocks with three replications in a 2 x 6 split-plot scheme, with two planting systems distributed in the plots (no-tillage system - SPD and conventional soil system - SPC) and six cover crops distributed in the subplots. cultivated isolated (Milheto – *Pennisetum glaucum*; Crotalaria - *Crotalaria juncea* and jack bean – *Canavalia ensiformis*; consortium formed by mixing 100% of the recommended cover plant seeds; consortium formed by mixing 50% of the recommended seeds of cover; spontaneous plants kept in the fallow area). The activities were carried out at different times (2021 and 2022), and the collection of cover crops was carried out in full flowering to evaluate dry phytomass, content and accumulation of nutrients, C/N ratio and decomposition and release of nutrients. To assess soil fertility, samples of 0.0-0.5, 0.5-0.10 and 0.10-0.20 m were collected, and nutrient analyzes (P, K, Ca, Mg, Na, Al) pH, H+Al, SB, CTC and V%. The dry phytomass obtained in the two evaluated seasons, the highest values for millet were close to and/or above the considered ideal for soil cover; the content and accumulation of nutrients obtained in 2021 higher values of N for C1, C2, FP and CJ, for the P the FP stood out with the highest accumulation value in the SPD and the content was in the M. The K presented the highest value of the content and accumulation in the two cocktails. In 2022, the cocktails had higher levels and accumulations of N and K, for the P o M had the highest content and accumulation. The decomposition showed a higher speed in FP and lower in M with confirmation through the half-life of FP was 63 days and for M was 77 days. Soil attributes in the pit were higher in relation to interrows due to residual organic fertilization; between the rows, the SPD had a higher H+Al and the SPC a higher V%. The PCA showed that in the pit the cover crops influenced the 0-5 and 5-10 cm layers and the NTS had no relationship with the CTC; between the lines, the NTS was more associated with K, H+Al and P. The use of cover crops provides the soil with nutrients that, through conservation management over time, will enhance soil fertility and the availability of nutrients for the succeeding crops.

**Keywords:** Utilization. Conservation. Soil quality.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O uso de adubo verde oferece proteção ao solo através da palhada sobre a superfície e disponibiliza nutrientes para o meio, com benefício sobre a redução da entrada de insumos externos. Conhecida como a principal técnica no sistema de plantio direto, a adubação verde é uma prática conservacionista em que as plantas são cultivadas e posteriormente são roçadas e acamadas ao solo com a função de aumentar o aporte de nutrientes e matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 2010).

As espécies para a adubação verde devem ser escolhidas de forma criteriosa em relação ao clima da região por apresentarem características diferentes. Principalmente o aspecto mais destacado é a relação C/N do material vegetal depositado ao solo, no caso das leguminosas em regiões mais quentes por apresentarem baixa relação C/N a sua decomposição é mais rápida e reduz a durabilidade da palhada no solo, por outro lado a capacidade de ciclagem e a liberação de nutrientes para as culturas principais, bem como a fixação biológica de nitrogênio tem sido mais explorada. Por outro lado, as gramíneas apresentam relação C/N mais elevada, em função disso a decomposição é mais lenta e a palhada permanece por mais tempo no solo. Uma alternativa para obter um material vegetal com relação C/N intermediária seria a utilização de coquetéis com a mistura de leguminosas e gramíneas ao invés do uso das espécies isoladas, para aumentar a eficiência no sistema e obter palhada por mais tempo e liberação de nutrientes ao solo (TEIXEIRA et al., 2009).

O conhecimento sobre a decomposição e mineralização dos nutrientes das plantas de cobertura é importante para que possam ser introduzidas nos sistemas de manejo, promovendo a proteção do solo pela palhada na superfície e o fornecimento de nutrientes via ciclagem ao solo (MALUF et al., 2015). Com a liberação de nutrientes da palhada espera-se que as culturas subsequentes aproveitem esses nutrientes oriundos das plantas de cobertura, para completar seu ciclo e garantir altas produtividades. Além disso, a melhoria da fertilidade do solo em aspecto de teores de nutrientes e matéria orgânica seja garantida através do uso da adubação verde e mudança de manejo do solo.

Desse modo, os objetivos do estudo apresentados neste capítulo são:

- i) avaliar a produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes das plantas de cobertura;
- ii) determinar a taxa de decomposição da liteira e liberação dos macronutrientes para o solo; e
- iii) avaliar as propriedades químicas do solo na cova e na entrelinha.

## 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.4.1 Histórico do experimento

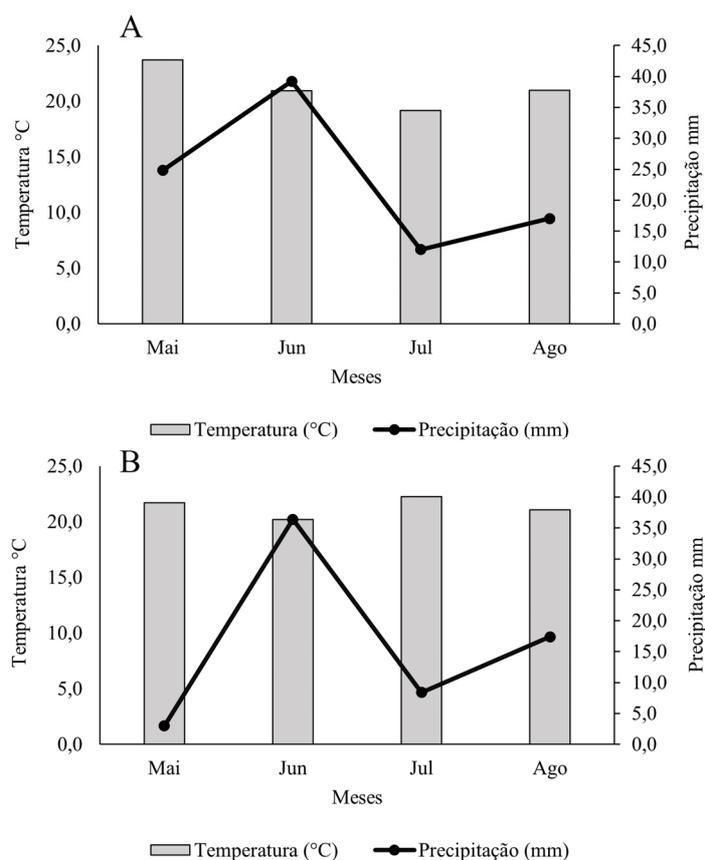
O experimento teve início em abril de 2018 em uma propriedade orgânica (Sítio do Sol), filiada à ABIO e cadastrada no CNPO. No início a área estava com pastagens e plantas invasoras que após análises química e física do solo foi procedido com a calagem (calcário dolomítico  $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , PRNT 85,6%,  $\text{CaO} = 40\%$ ,  $\text{Mg} = 10\%$ ). Em julho de 2018 foi semeada a aveia preta em toda a área e posteriormente ao corte e determinação da fitomassa seca, em novembro de 2018 foi cultivado milho verde até fevereiro de 2019. A área foi subdividida em 8 blocos de  $24 \times 6 \text{ m}$ , com quatro blocos para o sistema convencional e os outros quatro sistema plantio direto.

Em fevereiro de 2019 foi definido a disposição do experimento em blocos casualizados com três repetições em esquema de parcela subdividida  $2 \times 6$ , sendo dois sistemas de plantio distribuídos nas parcelas (sistema plantio direto – SPD e sistema convencional do solo – SPC) e seis plantas de coberturas distribuídas nas subparcelas cultivadas isoladas (Milheto – *Pennisetum glaucum*; Crotalária - *Crotalária juncea* e feijão de porco – *Canavalia ensiformis*; consórcio formado pela mistura de 100% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; consórcio formado pela mistura de 50% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; plantas espontâneas mantidas na área pousio). No mês de junho até setembro de 2019 foi realizado o plantio de repolho e após em dezembro do mesmo ano foi cultivado as plantas de coberturas para produção de palhada na área. Já no ano de 2020 após as plantas de cobertura foi transplantado mudas de jiló que ficou em campo até setembro de 2020.

Depois do jiló foi realizado um teste sem um ciclo das coberturas e foi semeado direto o milho, que ficou na área até março/abril de 2021, mas foi verificado que a ausência das plantas de cobertura em sistema orgânico aumento a presença de plantas daninhas que dificultou o controle. Devido a isso, foi cultivado as plantas de cobertura em maio até agosto de 2021, com a semeadura do quiabo posteriormente a partir de meados de agosto de 2021, em que ficou em campo até abril de 2022. Após o fim da colheita do quiabo, foi semeado novamente as plantas de cobertura em 2022. Então, o experimento ficou estabelecido no uso de plantas de cobertura após o corte delas, essas foram deixadas sobre a superfície do solo simulando o sistema plantio direto e nas parcelas do sistema convencional foi passado a enxada rotativa simulando o revolvimento do solo, sendo posteriormente semeado a cultura de interesse econômico, no caso o quiabo. A área total do experimento foi estabelecida em  $864 \text{ m}^2$  com parcelas dos sistemas de manejo de  $144 \text{ m}^2$  ( $24 \times 6$ ) e as sub parcelas com as plantas de cobertura totalizaram uma área de  $24 \text{ m}^2$  ( $6 \times 4 \text{ m}$ ).

### 3.4.2 Implantação e coleta das plantas de cobertura

As plantas de cobertura foram semeadas em estação igual no inverno, mas em épocas diferentes, sendo uma antes do quiabo em 2021 e outra após a cultura do quiabo em 2022. As condições climáticas durante as plantas de cobertura em campo no ano de 2021 apresentou maior índice da média de temperatura máxima e mínima no mês de junho/2021 em torno de  $23^\circ\text{C}$  e de precipitação nos meses de maio e junho  $24 \text{ mm}$  e  $12 \text{ mm}$  respectivamente (Figura 1A). No ano de 2022 foi marcado por temperatura e precipitação menores (Figura 1B) (INMET, 2023) De acordo com Köppen (1928) o clima é considerado Aw tropical com chuvas no período de novembro a março.



**Figura 1.** A. Temperatura e precipitação nos meses de maio a agosto de 2021. B. Temperatura e precipitação nos meses de maio a agosto de 2022. **Fonte:** Dados climáticos obtidos no site do INMET (2023) e elaborado pelo autor.

Antes do manejo das plantas de cobertura foi realizada a amostragem destas para a avaliação da produção de fitomassa seca (FS). Esta foi feita usando um gabarito de formato quadrado de 2,25 m<sup>2</sup> (1,5x1,5m). O gabarito foi lançado aleatoriamente dentro de cada parcela. Toda a fitomassa contida dentro do gabarito foi coletada e separou-se no tratamento de coquetel 1 e 2 as plantas de milho, crotalária e feijão de porco (Figura 2). O material vegetal contido dentro do gabarito foi levado para o laboratório, seco em estufa de circulação de ar forçada 65°C por 72 horas, sendo posteriormente pesado, obtendo-se assim a (FS). Os resultados foram expressos em kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Coleta das plantas de cobertura para avaliação da fitomassa seca. **Fotos:** Autor próprio, 2021.

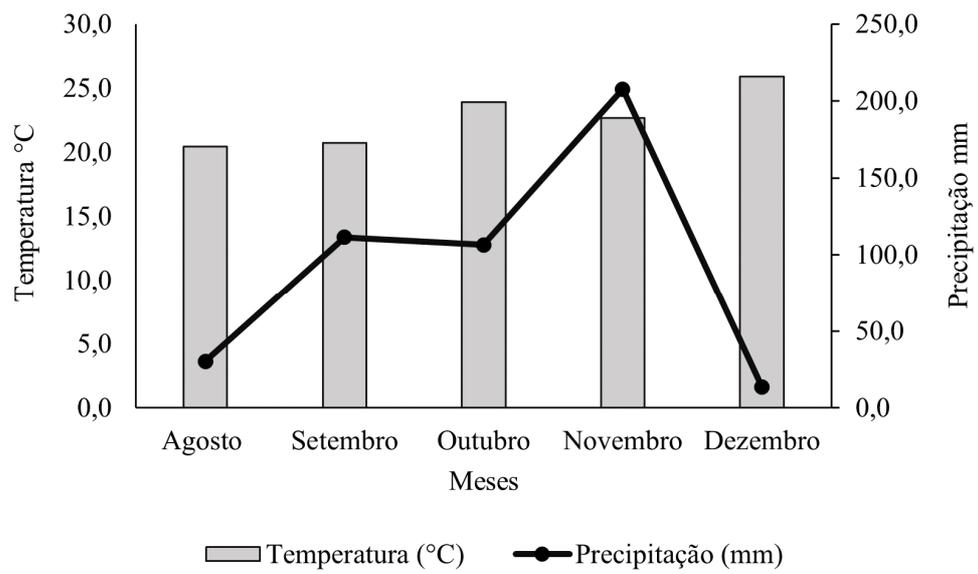
### 3.4.3 Avaliação da decomposição e liberação dos nutrientes das plantas de cobertura

Para avaliação da taxa de decomposição e liberação de nutrientes das plantas de cobertura de 2022, foi utilizado o método das bolsas de decomposição (litter bags) com malha de 2 mm de abertura, com dimensões de 0,20 x 0,20 m, conforme descrito por Santos & Whilford (1981). Em cada bolsa foram colocados 10 gramas da parte aérea das plantas de cobertura secas em estufa, a 65°C até massa constante.

Foram distribuídos quatro sacos de lixo (litter bags) na superfície do solo em cada parcela, para realização de quatro amostragens, a primeira aos 15 e a última com 120 dias (15, 30, 60, 120) após o manejo. Após a coleta das amostras, o resíduo vegetal de cada sacola foi limpo manualmente sobre peneira de malha de 0,053 mm, secado em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante, depois moído.

Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais e a liberação de nutrientes foi aplicado o modelo matemático exponencial descrito por Thomas & Asakawa (1993) conforme equação  $X = X_0 \cdot e^{-k \cdot t}$ , em que X é a quantidade de matéria seca remanescente após um período de tempo t, em dias;  $X_0$  é a quantidade de matéria seca ou nutriente inicial, e k é a constante de decomposição do resíduo. Com a aplicação do ln e reorganizando a equação 1; temos a segunda equação  $k = \ln (X / X_0) / t$ , que foi utilizada para encontrar a constante de decomposição.

A partir do resultado da K foi calculado o tempo de meia vida ( $T_{1/2}$ ) da matéria seca ou nutriente através da equação  $T_{1/2} = \ln (2) / k$ . Os valores obtidos expressarão o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha ou para que metade dos nutrientes contidos nesses resíduos seja liberada (ESPÍNDOLA et al., 2006). Para as curvas de decomposição e liberação dos nutrientes foram elaboradas equações matemáticas que melhor representa-se com auxílio do software SigmaPlot 14.0. É importante ressaltar as condições climáticas durante os litter bags na área dos meses de agosto a dezembro, dados que são fornecidos pelo INMET (2023) da estação meteorológica Seropédica Ecologia (Figura 3).



**Figura 3.** Condições climáticas durante os 120 dias de avaliação da decomposição e liberação dos nutrientes das plantas de cobertura. **Fonte:** Dados climáticos obtidos no site do INMET (2023) e elaborado pelo autor.

#### **3.4.4 Análise química das plantas de cobertura**

Para análise foliar das plantas de cobertura utilizou-se as amostras da fitomassa seca, em que foram secas a estufa de 65°C depois moídas em moinho tipo wiley em peneira de 2 mm. Após o preparo das amostras foram armazenadas para determinação dos macronutrientes fósforo (P) e potássio (K) através da digestão nítrica pela metodologia internacional USEPA – United States Environmental Protection Agency (2008). E para encontrar os teores de nitrogênio (N) nas plantas de cobertura foi realizado a digestão sulfúrica pela metodologia de Tedesco et al., (1995).

#### **3.4.5 Coleta e análise da fertilidade do solo**

A coleta de solo foi realizada nas profundidades de 0,0-0,5, 0,5-0,10 e 0,10-0,20 m com auxílio de um trado, em cada parcela foram coletadas três amostras simples para formar uma composta. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneira de 2mm para obter a terra fina seca ao ar - TFSA. Posteriormente, foram prosseguidas as análises químicas partir do manual da Embrapa (2017) para as análises de rotinas da fertilidade do solo como pH em água, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis (Ca, Mg e Al) extraídos com solução cloreto de potássio (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>) respectivamente. O fósforo, potássio e sódio (P, K e Na) foram extraídos com a solução de Melich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) respectivamente. E para a determinação da capacidade de troca catiônica do solo a pH 7,0 foi realizada a análise de acidez potencial (H+Al) através da extração com solução de (NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>).

#### **3.4.6 Análise estatística dos dados**

Os dados de teor e acúmulo dos nutrientes nas plantas de cobertura e no solo, foram submetidos ao teste de homogeneidade e normalidade dos dados, quando atendido os preceitos, foi realizado a análise de variância que quando significativo a 5% comparações das médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas no programa computacional R versão 4.2.2 (R Core Team, 2022).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Fitomassa seca das plantas de cobertura

A interação entre preparo do solo e plantas de cobertura foi significativa para fitomassa seca na avaliação em 2021 (Tabela 1). A avaliação das coberturas entre os sistemas mostrou que o SPC proporcionou maior produção de fitomassa aos tratamentos M e C2 comparado ao SPD, não houve diferença para as demais coberturas entre os sistemas (Tabela 1). Resultado similar foi encontrado por Scavazza et al. (2018) para o M sob SPC, no qual a produção foi de 8 t ha<sup>-1</sup> comparado a crotalária, feijão-guandu, feijão de porco e mucuna-preta na estação seca que compreende os meses de fevereiro a junho no estado de São Paulo.

Comparando as coberturas dentro de cada sistema observou-se que no SPC os tratamentos M e C2 obtiveram a maior produção de fitomassa comparados aos demais (Tabela 1). No SPD, os tratamentos C1, M e FP apresentaram maior produção comparado aos demais. A menor produção de fitomassa nos dois sistemas foi obtida em PE (Tabela 1). Nota-se que nos dois sistemas os coquetéis apresentaram valor de fitomassa próximo ao cultivo solteiro de algumas coberturas, com isso sugere-se que o cultivo associado de gramíneas e leguminosas pode ser uma alternativa quando o objetivo for produzir biomassa. Segundo GIACOMINI et al., 2003 é necessário selecionar espécies que se adaptem ao consórcio que forneçam produção de matéria seca, acúmulo de nutrientes principalmente nitrogênio, fósforo e potássio.

O resultado para fitomassa não se manteve na segunda avaliação feita em 2022 (Tabela 2), possivelmente, as condições climáticas influenciaram esse resultado. Observa-se que não houve diferença entre os sistemas de preparo do solo para todas as plantas de cobertura estudadas e a cultura que teve maior produção, independente do sistema, foi o FP.

De acordo com Alvarenga et al. (2001) e Menezes et al. (2009), valores próximos, acima ou entre 5 e 6 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca, são considerados adequados para manter a cobertura da superfície do solo. A maior produção de fitomassa pelo FP e M está relacionada com a rusticidade e resistência a seca e altas temperaturas (MAIA et al., 2013; MAGALHÃES et al., 2009), o que foi evidenciado no estudo em que no ano de 2022 foi menor a precipitação (Figura 1B). Santos et al. (2003) ressaltam que na produção de fitomassa seca das plantas de cobertura pode ocorrer diferenças em função das condições climáticas em determinada época.

**Tabela 1.** Fitomassa seca em kg ha<sup>-1</sup> das plantas de cobertura em 2021 e 2022, Seropédica - RJ.

Plantas de cobertura 2021						
Sistemas	M	C2	C1	CJ	FP	PE
SPC	5.669Aa	5.456Aa	4.716Aab	3.517Ab	3.348Ab	1.367Ac
SPD	3.749Ba	2.890Bab	4.039Aa	2.644Aab	3.635Aa	1.547Ab
Sis*cob	0,01130					
CV (%)	19,87					
Plantas de cobertura 2022						
Sistemas	M	C2	C1	CJ	FP	PE
SPC	5.602Aab	4.600Abc	4.427Abc	3.622Ac	6.662Aa	4.480Aabc
SPD	7299Aab	4.217Abc	3.740Abc	3.633Ac	8.461Aa	5.671Aabc
Sis*cob	0,4976					
CV (%)	27,07					

Médias de letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: Crotalária juncea; FP: feijão-de-porco; M: milho; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: p-valor da interação sistema e cobertura; CV%: coeficiente de variação.

### 3.5.2 Teor e acúmulo de nutrientes nas plantas de cobertura

Na avaliação de 2021, houve interação significativa entre os sistemas e as coberturas para o teor e acúmulo de P, porém, não houve interação para os teores N e K (Tabela 2). Para o P, no desdobramento da interação, FP teve os teores e acúmulos menores no SPC quando comparado ao SPD, as demais plantas de cobertura não tiveram seus valores dos teores alterados em função do sistema de preparo do solo, somente no acúmulo que foi maior no SPC para M e C2. O milho, independente do sistema, foi a cultura que teve maior teor e acúmulo de P. Esse resultado corrobora com o estudo de Menezes et al. (2004), o qual também encontraram maior teor e acúmulo de P em gramíneas como milho e braquiária.

O teor e acúmulo de N, apresentaram significância na variável cobertura com maior valor para FP. Plantas de cobertura pertencentes à família Fabaceae como feijão de porco notoriamente são reconhecidas pela sua capacidade de fazer simbiose com organismos fixadores de N, o que favorece a absorção do nutriente pelas plantas (DELGADO et al., 2021) e podem ser vantajosas quanto à redução da adubação nitrogenada na área e ciclagem do nitrogênio (BORGES et al., 2018). O acúmulo de N é importante principalmente no ponto de vista de cultivos orgânicos, onde a entrada de N no solo promovida pela incorporação de plantas com elevado teor do nutriente é uma fonte importante de N para a cultura subsequente (MANNA et al., 2021).

A interação entre o sistema e as coberturas foi significativa também para o acúmulo de K (Tabela 2). O desdobramento da interação em nível de sistema mostrou que o acúmulo de K em M, C2, C1 e CJ foi maior no SPC do que no SPD e o FP foi maior no SPD em relação ao SPC. O desdobramento da interação em nível de cobertura dentro de cada sistema mostrou que no SPC a maior média para esta variável foi obtida em M comparado aos demais tratamentos. No SPD, a maior média foi obtida em FP (Tabela 2). Esse resultado confirma o potencial das plantas de cobertura para ciclagem de nutrientes que consiste na transferência dos nutrientes acumulados na fitomassa para o solo através do processo de decomposição e liberação dos mesmos (DE ANDRADE et al., 1999). Em relação aos teores de K, os maiores valores foram verificados no SPC comparado ao SPD (Tabela 2).

**Tabela 2.** Teor e acúmulo dos nutrientes em plantas de cobertura avaliadas em 2021, Seropédica – RJ.

Teor N (g kg <sup>-1</sup> )						
Sistemas	M	C2	C1	CJ	FP	PE
SPC	11,60Ac	20,68Ab	19,71Ab	21,35Ab	29,13Aa	15,28Ac
SPD	9,97Ac	23,55Aab	24,20Ab	23,21Ab	28,64Aa	12,71Ac
Sis*cob	0,088					
CV (%)	11,32					
Teor P (g kg <sup>-1</sup> )						
Sistemas	M	C2	C1	CJ	FP	PE
SPC	4,84Aa	3,84Aab	2,84Ab	2,83Ab	3,01Bb	3,80Aab
SPD	4,56 Aa	3,39Ab	3,48Aab	3,38Ab	4,20Aab	3,63Aab
Sis*cob	0,0319					
CV (%)	12,45					

Continua...

Continuação da **Tabela 2.**

<b>Teor K (g kg<sup>-1</sup>)</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	34,83Aa	37,56Aa	34,65Aa	32,65Aa	39,20Aa	34,13Aa
SPD	23,36Ba	23,35Ba	26,28Ba	25,21Ba	29,27Ba	21,63Ba
Sis*cob	0,9912					
CV (%)	33,0					
<b>Acúmulo N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	66,02Abc	42,76Ac	34,04Abc	74,43Aab	98,01Aa	20,89Ac
SPD	37,51Abc	19,99Ac	33,90Abc	60,60Aab	104,04Aa	40,35Ac
Sis*cob	0,2548					
CV (%)	35,62					
<b>Acúmulo P (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	27,43Aa	9,67Ab	5,45Ab	9,88Ab	9,90Bb	5,20Ab
SPD	16,85Ba	3,26Bc	5,53Ac	9,06Abc	15,22Aab	8,29Abc
Sis*cob	0,0007					
CV (%)	27,29					
<b>Acúmulo K (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	342,96Aa	56,61Ac	52,49Ac	123,13Abc	76,41Bc	43,88Ac
SPD	87,94Bb	23,84Bc	41,43Bc	59,18Bbc	137,05Aa	31,11Ac
Sis*cob	0,0000					
CV (%)	18,55					

Médias de letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: Crotalaria juncea; FP: feijão-de-porco; M: milho; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: interação sistema e cobertura; CV%: coeficiente de variação.

No segundo ano, com exceção do acúmulo de P que apresentou interação entre os fatores sistema e cobertura, o restante dos teores e acúmulos dos nutrientes avaliados, variaram em nível de sistema e cobertura de forma isolada (Tabela 3). Os coquetéis apresentaram os maiores teores de N e K. Em relação ao acúmulo de N, esse foi maior para o FP. O acúmulo de K foi maior nas coberturas M e FP em que o SPC apresentou os maiores acúmulos de K. O maior teor e acúmulo de nutrientes nos coquetéis são alternativas promissoras para contribuição da fertilidade do solo e a sua proteção contra agentes erosivos, principalmente em solos arenosos, que apresentam vulnerabilidade a degradação devido a textura arenosa que torna o solo altamente permeável com baixa retenção de água, baixos teores de matéria orgânica e adsorção de íons (BOGIANI et al., 2020; SILVA et al., 2020; DONAGEMMA et al., 2016; CENTENO et al., 2017). Com isso faz necessário o investimento de sistemas conservacionista com adoção de cobertura ao solo parar reverter essa situação em solos arenosos como desse estudo.

Para o teor de P só houve diferença significativa no tratamento cobertura, em que a média do teor de P foi maior na cobertura M que foi 3,11 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 3). Para o acúmulo de P, o desdobramento da interação em nível de cobertura dentro de cada sistema mostrou que nos dois sistemas as maiores médias foram para o milho. E o desdobramento em nível de sistema mostrou que o acúmulo de P em M foi maior no SPD do que no SPC (Tabela 3). De acordo com Carvalho et al., (2021), o P foi o nutriente mais acumulado na fitomassa das gramíneas, o

que sugere que essas plantas possuem potencial para ciclagem do P (TANAKA et al., 2019). Além disso, Almeida et al (2018) reportou que espécies de gramíneas tropicais possuem a capacidade de solubilizar formas recalcitrantes de P orgânico, aumentando a concentração de P lábil.

**Tabela 3.** Teor e acúmulo dos nutrientes nas plantas de cobertura em 2022, Seropédica - RJ.

<b>Teor N</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	7,12Ab	17,81Aa	18,06Aa	17,09Aab	12,54Aab	10,73Ab
SPD	9,33Ab	17,42Aa	18,96Aa	11,20Aab	11,84Aab	7,47Ab
Sis*cob	0,5724					
CV (%)	30,6					
<b>Teor P</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	3,26Aa	3,04Aa	2,68Aab	2,48Aab	1,68Ab	2,02Aab
SPD	2,97Aa	3,01Aa	2,77Aab	2,62Aab	1,46Ab	2,03Aab
Sis*cob	0,9923					
CV (%)	27,5					
<b>Teor K</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	12,03Aab	11,23Aab	11,83Aa	8,31Ac	9,60Abc	6,06Ac
SPD	8,44Bab	9,03Bab	10,82Ba	5,71Bc	6,83Bbc	5,87Bc
Sis*cob	0,4278					
CV (%)	17,1					
<b>Acúmulo N</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	41,03Aab	26,06Ab	24,79Ab	61,24Aab	72,99Aa	47,37Aab
SPD	67,54Aab	23,24Ab	27,07Ab	35,45Aab	94,57Aa	39,22Aab
Sis*cob	0,3843					
CV (%)	48,31					
<b>Acúmulo P</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	17,03Ba	4,54Acd	4,34Ad	6,90Abcd	10,29Abc	11,74Aab
SPD	21,16Aa	4,88Ab	4,43Ab	8,47Ab	5,08Bb	8,63Ab
Sis*cob	0,0234					
CV (%)	25,21					
<b>Acúmulo K</b>						
<b>Sistemas</b>	<b>M</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>CJ</b>	<b>FP</b>	<b>PE</b>
SPC	84,63Aa	21,22Ab	18,75Ab	40,80Ab	62,91Aa	33,84Ab
SPD	48,64Ba	13,36Bb	16,73Bb	24,48Bb	57,78Ba	32,08Bb
Sis*cob	0,0927					
CV (%)	28,66					

Médias de letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: Crotalaria juncea; FP: feijão-de-porco; M: milho; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: interação sistema e cobertura; CV%: coeficiente de variação.

### 3.5.3 Relação C/N das plantas de cobertura

Para a relação C/N das plantas de cobertura cultivadas em 2021, a interação entre os sistemas e as coberturas foi significativa. O desdobramento da interação em nível de sistema mostrou maiores valores em M e PE no SPD comparado ao SPC. A comparação entre as plantas de cobertura em cada sistema mostrou que no SPC a maior média foi verificada no M e a menor média no FP. No SPD, a maior média também foi obtida no M comparado aos demais tratamentos (Tabela 4). Em 2022, não houve interação entre sistemas e cobertura, mas houve diferença significativa entre as coberturas, onde as maiores médias da relação C/N foram obtidas em M, PE e FP e as menores médias foram obtidas nos coquetéis (Tabela 4).

**Tabela 4.** Relação C/N das plantas de cobertura ano 2021 e 2022, Seropédica - RJ.

Relação C/N 2021						
Sistemas	M	C2	C1	CJ	FP	PE
SPC	34,01Ba	20,65Abc	21,56Ab	19,94Abc	13,92Ac	25,79Bb
SPD	40,37Aa	18,26Ac	18,22Ac	18,29Ac	14,26Ac	32,33Ab
Sis*cob	0,0119					
CV (%)	11,92					
Relação C/N 2022						
Sistemas	M	C2	C1	CJ	FP	PE
SPC	56,33Aa	23,87Ab	23,30 Ab	28,69 Aab	46,20Aab	36,74Aa
SPD	46,20Aa	24,19Ab	23,02 Ab	40,44Aab	40,59Aab	61,52Aa
Sis*cob	0,2883					
CV (%)	34,71					

Médias de letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: Crotalaria juncea; FP: feijão-de-porco; M: milho; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: interação sistema e cobertura; CV%: coeficiente de variação.

A relação C/N das plantas de cobertura, possivelmente, está refletindo o acúmulo de N (Tabela 2), por exemplo em 2021 a média do tratamento que mais acumulou nitrogênio foi o FP e isso se refletiu na menor relação C/N do mesmo; no entanto, em 2022 os tratamentos que mais acumularam N foram os coquetéis C1 e C2, o que também refletiu na menor relação C/N comparado aos demais tratamentos. De acordo com Doran e Smith (1991), plantas de cobertura com relações C/N <20 têm equivalentes fertilizantes de N mais altos do que plantas de cobertura com relações C/N >35, porque as plantas de cobertura leguminosas, geralmente, mostram uma taxa de decomposição e mineralização de N mais alta do que gramíneas.

No presente estudo as maiores médias para a relação C/N foram observadas nos tratamentos de milho e plantas espontâneas. Para o milho os valores encontrados estão bem acima comparados a outros estudos (SORATTO et al., 2012; TORRES et al., 2005). A relação C/N nos dois anos avaliados, apresentaram no consórcio das plantas de cobertura valores intermediários (2021) ou menores (2022) em relação ao cultivo solteiro das coberturas, resultado semelhante foi encontrado por Doneda et al., (2012) que afirma que menores e intermediários valores da relação C/N das plantas de cobertura produz uma cobertura mais duradoura na superfície do solo e simultaneamente promove o fornecimento de nutrientes de acordo com a demanda da cultura em sucessão.

### 3.5.4 Decomposição e liberação dos nutrientes das plantas de cobertura

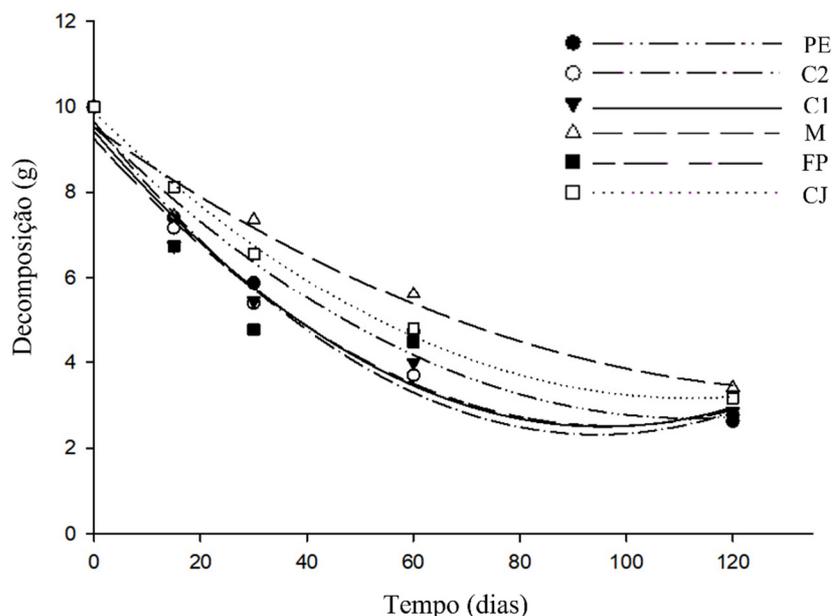
O ajuste do modelo exponencial dos resultados da massa remanescente proporcionou valores de regressão significativos, com coeficientes de determinação entre 95,3 e 99% (Tabela 5). Em geral, as curvas obtidas mostram uma inclinação maior em FP comparado aos demais tratamentos. A menor inclinação da curva foi observada para o M (Figura 4). Resultados semelhantes foram encontrados por Rocha et al. (2021) e Torres et al. (2014), nos quais as curvas de decomposição apresentaram o mesmo comportamento em relação as espécies de leguminosas e gramíneas.

A velocidade da taxa de decomposição do material vegetal é diretamente proporcional a relação C/N, uma vez que valores elevados, como no caso das gramíneas, causam um déficit de N no solo, o que retarda a degradação do material pelo metabolismo microbiano (PERIN et al., 2014; WEIL; BRADY, 2016). Portanto, gramíneas com maior relação C/N (sorgo, milho) apresentam decomposição inicial dos resíduos vegetais mais lenta em comparação ao uso de leguminosas como o feijão de porco, ou mix de plantas de cobertura (DORISSANT et al., 2022).

**Tabela 5.** Constante de decomposição e tempo de meia-vida das plantas de cobertura, Seropédica - RJ.

Plantas de cobertura	k	T 1/2	Equação	R <sup>2</sup>
	g g <sup>-1</sup>	dias		
PE	0,0111	62	9,5417+0,1222*x+0,0005*x <sup>2</sup>	0,9848*
C2	0,0107	64	9,6497+0,1551*x+0,0008*x <sup>2</sup>	0,9921*
C1	0,0104	66	9,4337+0,1451*x+0,0008*x <sup>2</sup>	0,9804*
M	0,0089	77	9,5260+0,0878*x+0,0003*x <sup>2</sup>	0,9789*
FP	0,0108	63	9,2551+0,1388*x+0,0007*x <sup>2</sup>	0,9532*
CJ	0,0095	72	9,8782+0,1201*x+0,0005*x <sup>2</sup>	0,9983*

A linha com maior inclinação dessa curva foi C2, C1, FP e PE, estes foram os tratamentos com os valores mais expressivos da constante k (0,0107 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, 0,0104 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, 0,0108 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, 0,0111 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente), enquanto os menores resultados foram verificados em M e CJ (Figura 4, Tabela 6). Esse mesmo padrão de variação foi verificado para a meia-vida, que foi de 62 dias para PE; 63 dias para FP; 64 dias para C2; 66 dias para C1; 72 dias para CJ e 77 dias para o M (Tabela 6). Torres et al., (2014) encontrou para o feijão de porco valor de T<sup>1/2</sup> de 52 dias próximo ao encontrado nesse estudo de 63 dias (Tabela 6). Outro estudo desenvolvido em Seropédica em condições climáticas similares, o T<sup>1/2</sup> para o milho foi de 70 dias próximo ao encontrado nesse estudo na mesma região, motivo que corrobora para a decomposição dos resíduos principalmente de leguminosas, com menor relação C/N, apresentarem maior velocidade de decomposição em regiões de clima tropical com elevadas temperaturas e precipitação (TEIXEIRA et al., 2012; DELAZERI et al., 2020).



**Figura 4.** Curvas ajustadas com equação quadrática, para representar a decomposição das plantas de cobertura até os 120 dias. **Fonte:** Elaborado pelo autor, 2022.

Neste estudo, ambos os mix de planta de cobertura apresentaram curvas de decomposição com maior inclinação aos encontrados no M. Este fator pode representar benefícios simultâneos quanto à manutenção da palha sobre o solo e a redução da imobilização de N. De acordo com este resultado, Fiorini et al. (2022) reportou que o uso de mix de plantas de cobertura é recomendado caso este seja capaz de produzir elevada quantidade de biomassa e produzir resíduos de menor relação C/N. Rocha et al. 2021, avaliando a taxa de decomposição em plantas de cobertura em Seropédica RJ, observaram que as parcelas cultivadas com coquetel apresentaram valores de taxa de decomposição (k) 0,0085 e tempo de meia vida ( $T_{1/2}$ ) 82 dias, valores maiores aos encontrados no presente estudo.

A decomposição é uma variável influenciada pelas condições climáticas que pode acelerar devido a umidade do solo, visto que a decomposição é paralela ao aumento das condições climáticas, que indiretamente aumenta os microrganismos decompositores no solo (BOER et al., 2008; PETRAGLIA et al., 2019). Nesse estudo, os dados fornecidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2023) mostram as condições climáticas durante os 120 dias de avaliação da decomposição, em que a temperatura e precipitação manteve-se alta entre meados de agosto à início de dezembro, consequentemente aumentou a velocidade de decomposição das plantas de cobertura (Figura 3).

Em relação a liberação dos nutrientes em cada planta de cobertura mostrou que o tempo de meia vida para o nitrogênio foi maior na cobertura M (151 dias) seguido da CJ, PE, FP, C1 e C2. A menor velocidade de decomposição do milho corroborou com a menor velocidade de liberação do N, que reforça a utilização da planta para a cobertura do solo.

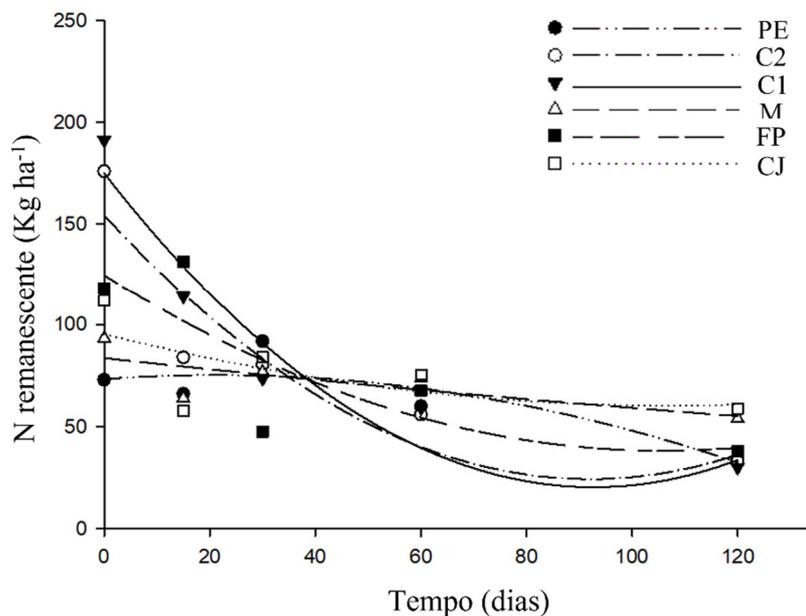
Para os tratamentos FP, C2 e C1 a liberação dos nutrientes ocorreu com maior velocidade aos 73, 49 e 44 dias, respectivamente. Situação que destaca a utilização dos coquetéis e da leguminosa para ciclagem de nutrientes, como uma ferramenta importante em solos com baixa fertilidade natural que pode reverter o cenário através da utilização de adubos verdes e promover a liberação de nutrientes para as culturas sucessoras (PEREIRA et al., 2017; INKOTTE et al., 2019).

Para o P o tempo de meia-vida foi maior para a leguminosa FP (280 dias) contra C2 (67 dias), esse padrão é explicado pela mistura de leguminosas e gramíneas terem o potencial de diminuição da relação C/N e ocorrer a decomposição e liberação de nutrientes com maior velocidade (ROCHA et al., 2021). A liberação do K obteve maior velocidade para a CJ com T ½ de 34 dias, seguido do M (31 dias), PE (31 dias), FP (27 dias), C2 (20 dias) e C1 (19 dias) (Tabela 7).

**Tabela 6.** Liberação dos nutrientes N, P e K das plantas de cobertura, durante os 120 dias no campo, Seropédica - RJ.

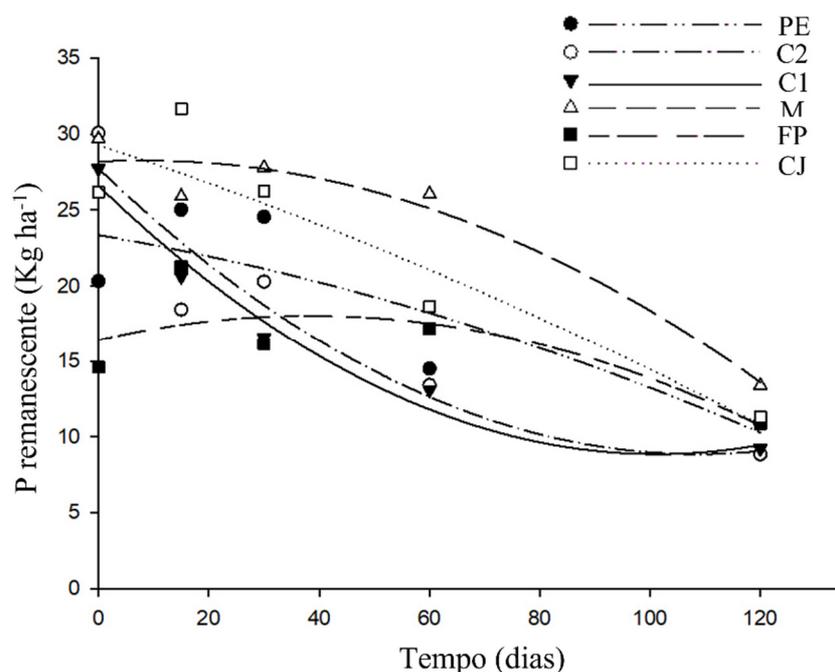
<b>N</b>				
<b>Plantas de cobertura</b>	<b>k g g<sup>-1</sup></b>	<b>T ½ dias</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
PE	0,00646	107	$73,3278+0,1890*x+0,0044*x^2$	0,8675
C2	0,01396	49	$154,3331+2,8260*x+0,0154*x^2$	0,9245
C1	0,01541	44	$175,0180+3,3351*x+0,0180*x^2$	0,9610
M	0,00457	151	$83,6200+0,2827*x+0,0004*x^2$	0,7564
FP	0,00945	73	$124,7127+1,6359*x+0,0077*x^2$	0,8201
CJ	0,00537	129	$95,4112+0,6537*x+0,0030*x^2$	0,6312
<b>P</b>				
<b>Plantas de cobertura</b>	<b>k g g<sup>-1</sup></b>	<b>T ½ dias</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
PE	0,00515	134	$23,3551+0,0062*x+0,0004*x^2$	0,8508
C2	0,01019	67	$27,7319+0,3479*x+0,0016*x^2$	0,9433
C1	0,00916	75	$26,6017+0,3504*x+0,0017*x^2$	0,9868
M	0,00663	104	$28,1865+0,0189*x+0,0012*x^2$	0,9738
FP	0,00247	280	$16,4345+0,0838*x+0,0011*x^2$	0,7917
CJ	0,00702	98	$29,2679+0,1191*x+0,0003*x^2$	0,9293
<b>K</b>				
<b>Plantas de cobertura</b>	<b>k g g<sup>-1</sup></b>	<b>T ½ dias</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
PE	0,02188	31	$58,3469*\exp(-0,0833*x)$	0,9793
C2	0,03452	20	$271,1453*\exp(-0,1570*x)$	0,9992
C1	0,03646	19	$324,7045*\exp(-0,1527*x)$	0,9993
M	0,02214	31	$62,7333*\exp(-0,0584*x)$	0,9856
FP	0,02522	27	$53,8001*\exp(-0,0415*x)$	0,9513
CJ	0,02029	34	$49,1343*\exp(-0,0576*x)$	0,9629

Para as curvas de liberação dos nutrientes N e P o modelo que melhor se ajustou foi o modelo quadrático, diferente do K que se ajustou melhor ao modelo exponencial, mas em todos os casos foi possível verificar a liberação do nutriente com passar do tempo. No caso da liberação do N no início foi rápida para os coquetéis em relação as outras plantas como M, CJ, PE e FP em que a liberação foi mais lenta confirmado pelo tempo de meia-vida na tabela anterior (Figura 5).



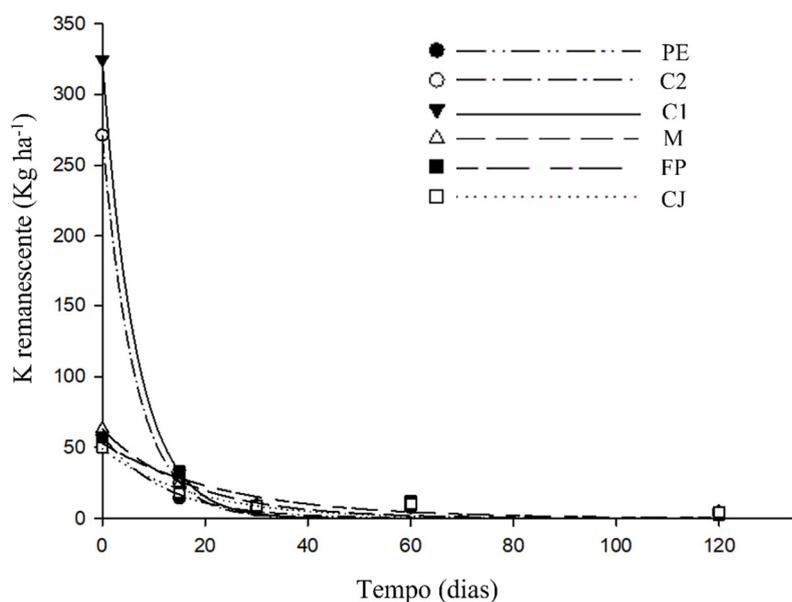
**Figura 5.** Curvas de liberação do nitrogênio para cada planta de cobertura ao longo do tempo.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2022.

As curvas mais inclinadas mostraram maiores velocidades de liberação dos nutrientes, comportamento atribuído ao nutriente P para os coquetéis, CJ e PE com maiores velocidades de liberação dos nutrientes. Na figura 6, é possível observar que o M e o FP tiveram comportamento similar com lenta liberação do nutriente, confirmado pelo tempo de meia-vida (Tabela 6). O P liberado dos resíduos vegetais que estão ligados a moléculas proteicas e em compostos ligados ao transporte de energia, pode tornar-se disponível para absorção pela cultura em sucessão ou ficar imobilizado em compostos minerais de difícil solubilidade (DE MENDONÇA et al., 2015).



**Figura 6.** Curvas de liberação do fósforo para cada planta de cobertura ao longo do tempo.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2022.

O K apresentou rápida liberação até os 40 dias, principalmente dos coquetéis, as outras coberturas apresentaram proximidade na velocidade da liberação dos nutrientes (Figura 7). Resultado semelhante foi encontrado por Teixeira et al., (2012) com liberação rápida até os 40 dias, essa rápida liberação está associada ao K não ser componente estrutural dos tecidos vegetais das plantas é um nutriente mais abundante no citoplasma participando de várias funções no metabolismo da planta (KERBAUY et al., 2004).



**Figura 7.** Curvas de liberação do potássio para cada planta de cobertura ao longo do tempo.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2022.

### 3.5.5 Atributos químicos do solo

Em todas as camadas na cova, não houve variação de nenhum dos parâmetros avaliados em nível de cobertura, somente em nível de sistema e para algumas variáveis a interação foi significativa. Na camada de 0-5 cm, as maiores médias para as variáveis Ca, H+Al e CTC foram verificadas no SPC. O V% apresentou maiores médias no SPD. Não houve variação dos parâmetros pH, Al, Na, SB, P e K. Para o Mg, a interação entre os fatores foi significativa, na qual o desdobramento em nível de sistema mostrou maiores médias em CJ e C1 no SPD comparado ao SPC. O desdobramento da interação em nível de cobertura dentro do SPC mostrou que a maior média foi verificada em PE e as menores médias em C1 e CJ. Para o P, o desdobramento em nível de cobertura dentro do sistema mostrou que no SPD o tratamento CJ obteve a maior média, as menores médias foram encontradas em FP e M. No SPC, os maiores teores de P foram encontrados em CJ, FP e PE (Tabela 7).

Na camada de 5-10, as variáveis SB e K não apresentaram variação nas médias sob nenhum dos fatores avaliados. Os parâmetros pH, Ca, H+Al e CTC variaram em nível de sistema e as maiores médias foram obtidas no SPC comparado ao SPD; por outro lado o Mg e o V% obtiveram as maiores médias no SPD comparado ao SPC. Houve interação entre sistema e cobertura somente para as variáveis Na e P, na qual o desdobramento da interação em nível de sistema para o Na mostrou que os tratamentos FP e Pe apresentaram maiores médias no SPC do que em SPD. Os coquetéis, juntamente com CJ e M obtiveram maiores médias no SPD comparado ao SPC. O desdobramento em nível de cobertura no SPC obteve as maiores médias para FP e PE. No SPD as maiores médias foram obtidas nos coquetéis (Tabela 7).

Em relação à camada 10-20 cm, as variáveis pH, Mg, Na, SB e K não apresentaram diferenças significativas para nenhum dos fatores avaliados. Houve interação entre os fatores sistema e cobertura para os parâmetros H+Al e P, sendo que para a H+Al o desdobramento do sistema dentro da cobertura obteve a maior média para o SPC em relação ao SPD e em relação ao nível cobertura dentro do SPD o tratamento CJ apresentou a maior média e no SPC os tratamentos M e C1 apresentaram as maiores médias. Analisando o desdobramento do P no nível sistema dentro de cobertura, no SPD o C2 apresentou menor valor, e no SPC as menores médias foram encontradas em CJ e C1. O desdobramento em nível de cobertura dentro do sistema, no SPC a cobertura C2 apresentou o maior teor de P, enquanto no SPD os maiores teores de P foram obtidos em C1 e CJ. Os parâmetros Ca e CTC variaram em nível de sistema, com maiores médias verificadas em SPC, o V% também variou e a maior média foi obtida no SPD comparado ao SPC (Tabela 7).

Os maiores valores dos atributos químicos na cova em relação a entrelinha são devido a aplicação da adubação orgânica ser realizada diretamente na cova, sendo que adubos orgânicos apresentam efeito residual que interferem na fertilidade do solo (HIGASHIKAWA et al., 2017).

**Tabela 7.** Atributos químicos do solo na cova, Seropédica - RJ.

Prof.	pH	COVA										
		Al	Ca	Mg	H+Al	Na	SB	CTC	P	K	V	
	0-5	H <sub>2</sub> O	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----					-----mg dm <sup>-3</sup> -----		---%---		
SPD	C1	6,75Aa	0	4,20Ba	2,11Aa	1,81Ba	0,12Aa	6,73Aa	8,9Ba	146,75Acd	199,9Aa	75,3Aa
	C2	6,70Aa	0	3,93Ba	1,85Aa	1,93Ba	0,19Aa	7,07Aa	9,0Ba	239,49Abc	202,2Aa	78,9Aa
	CJ	6,84Aa	0	4,30Ba	2,33Aa	2,09Ba	0,17Aa	8,53Aa	10,4Ba	649,19Aa	191,7Aa	81,9Aa
	FP	6,58Aa	0	3,86Ba	1,98Aa	2,47Ba	0,15Aa	7,73Aa	9,4Ba	93,36Bd	211,6Aa	81,8Aa
	M	6,91Aa	0	4,16Ba	2,16Aa	1,93Ba	0,12Aa	7,94Aa	9,9Ba	108,72Ad	138,3Aa	79,6Aa
	PE	6,99Aa	0	3,86Ba	2,21Aa	1,43Ba	0,19Aa	8,37Aa	10,1Ba	341,52Ab	263,0Aa	83,1Aa
SPC	C1	6,96Aa	0	7,06Aa	1,64Bb	5,22Aa	0,20Aa	6,59Aa	11,5Aa	56,13Bb	161,7Ba	58,4Ba
	C2	6,66Aa	0	4,86Aa	2,06Aab	3,30Aa	0,04Aa	6,69Aa	11,4Aa	45,75Bb	121,2Ba	60,3Ba
	CJ	7,38Aa	0	8,60Aa	1,64Bb	5,06Aa	0,13Aa	7,98Aa	12,0Aa	338,66Ba	123,2Ba	67,8Ba
	FP	6,75Aa	0	6,73Aa	1,76Aab	5,94Aa	0,08Aa	7,72Aa	11,7Aa	250,9Aa	201,1Ba	67,6Ba
	M	6,53Aa	0	6,26Aa	1,88Aab	6,05Aa	0,09Aa	6,75Aa	11,4Aa	89,51Ab	114,8Ba	60,6Ba
	PE	7,31Aa	0	5,33Aa	2,27Aa	1,52Aa	0,18Aa	7,98Aa	12,2Aa	241,68Ba	169,0Ba	67,3Ba
Sis*cob	0,9184	-	0,7331	0,0400	0,9987	0,100	0,9542	0,9763	0,0000	0,7445	0,995	
CV%	5,86	-	31,56	22,6	41,29	44,49	14,64	12,33	19,21	37,54	12,78	
Prof.	pH	Al	Ca	Mg	H+Al	Na	SB	CTC	P	K	V	
	5-10	H <sub>2</sub> O	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----					-----mg dm <sup>-3</sup> -----		---%---		
SPD	C1	6,03Ba	0	2,70Ba	1,86Aa	2,47Ba	0,14Aa	6,18Aa	8,54Ba	35,13Aabc	133,7Aa	71,4Aa
	C2	6,13Ba	0	3,00Ba	2,46Aa	2,36Ba	0,15Aa	5,27Aa	7,75Ba	67,04Aa	183,3Aa	68,7Aa
	CJ	5,94Ba	0	2,40Ba	1,56Aa	3,74Ba	0,04Ab	6,19Aa	8,39Ba	55,14Aa	111,0Aa	73,6Aa
	FP	6,19Ba	0	3,40Ba	2,06Aa	2,80Ba	0,05Bb	5,52Aa	8,60Ba	11,22Ac	129,9Aa	63,5Aa
	M	6,09Ba	0	3,13Ba	2,13Aa	2,69Ba	0,03Ab	5,41Aa	8,10Ba	17,27Abc	82,2Aa	66,5Aa
	PE	6,24Ba	0	2,70Ba	2,43Aa	2,47Ba	0,04Bb	5,87Aa	8,51Ba	49,13Aab	137,1Aa	69,1Aa

Continua...

Continuação da Tabela 7.

COVA												
Prof.		pH	Al	Ca	Mg	H+Al	Na	SB	CTC	P	K	V
		0-5	H <sub>2</sub> O	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				-----mg dm <sup>-3</sup> -----		---%---		
SPC	C1	6,08Aa	0	4,86Aa	1,40Ba	6,82Aa	0,04Bb	4,74Aa	10,4Aa	7,49Bb	104,9Aa	46,9Ba
	C2	6,74Aa	0	4,20Aa	2,16Ba	1,98Aa	0,06Bb	6,44Aa	11,5Aa	33,42Bab	95,96Aa	57,1Ba
	CJ	6,76Aa	0	6,46Aa	1,50Ba	5,61Aa	0,04Ab	5,76Aa	10,4Aa	23,71Bb	99,6Aa	56,7Ba
	FP	6,13Aa	0	5,33Aa	1,86Ba	6,71Aa	0,18Aa	5,33Aa	10,5Aa	33,28Aab	183,3Aa	52,2Ba
	M	6,11Aa	0	4,63Aa	1,86Ba	6,82Aa	0,04Ab	5,27Aa	10,5Aa	26,90Ab	127,3Aa	52,1Ba
	PE	6,46Aa	0	3,43Aa	2,20Ba	2,09Aa	0,16Aa	5,69Aa	10,8Aa	66,20Aa	195,0Aa	54,1Ba
Sis*cob		0,1749	-	0,7741	0,4713	0,9874	0,000	0,9542	0,8225	0,0039	0,7445	0,866
CV%		5,68	-	27,76	25,06	37,05	14,73	18,43	13,9	41,13	38,62	16,11
Prof.		pH	Al	Ca	Mg	H+Al	Na	SB	CTC	P	K	V
		10-20	H <sub>2</sub> O	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				-----mg dm <sup>-3</sup> -----		---%---		
SPD	C1	5,59Aa	0	1,77Ba	1,30Aa	3,4Bab	0,04Aa	4,20Aa	7,66Ba	23,07Aa	89,85Aa	55,3Aa
	C2	5,81Aa	0	2,37Ba	1,40Aa	2,6Ab	0,03Aa	3,10Aa	7,11Ba	6,30Bb	103,8Aa	43,7Aa
	CJ	5,07Aa	0	1,50Ba	0,93Aa	5,1Aa	0,04Aa	4,36Aa	7,66Ba	21,53Aa	87,5Aa	57,2Aa
	FP	5,40Aa	0	2,17Ba	1,40Aa	4,3Bab	0,04Aa	3,90Aa	7,80Ba	5,82Ab	99,6Aa	49,8Aa
	M	5,72Aa	0	2,57Ba	1,57Aa	2,9Bb	0,03Aa	3,80Aa	7,37Ba	6,07Ab	102,3Aa	51,5Aa
	PE	5,40Aa	0	1,50Ba	1,17Aa	3,4Aab	0,04Aa	3,62Aa	7,20Ba	8,54Ab	97,0Aa	49,8Aa
SPC	C1	5,20Aa	0	3,33Aa	1,33Aa	7,8Aa	0,03Aa	3,28Aa	9,77Aa	5,29Bb	84,9Aa	37,2Ba
	C2	5,97Aa	0	2,97Aa	1,60Aa	3,1Ac	0,04Aa	5,04Aa	10,3Aa	20,55Aa	103,4Aa	49,7Ba
	CJ	6,68Aa	0	5,50Aa	1,33Aa	5,3Ab	0,04Aa	4,69Aa	9,86Aa	6,04Bb	86,8Aa	48,0Ba
	FP	5,97Aa	0	4,30Aa	1,57Aa	6,8Aab	0,03Aa	3,97Aa	9,64Aa	5,31Ab	154,1Aa	43,5Ba
	M	5,37Aa	0	3,23Aa	1,40Aa	7,3Aa	0,04Aa	3,95Aa	9,78Aa	7,39Ab	84,1Aa	40,5Ba
	PE	5,95Aa	0	2,43Aa	1,80Aa	3,0Ac	0,03Aa	4,56Aa	9,95Aa	8,70Ab	122,8Aa	47,0Ba
Sis*cob		0,6846	-	0,5365	0,0570	0,0000	0,1878	0,1172	0,8478	0,000	0,6799	0,4466
CV%		9,13	-	34,44	26,99	17,06	18,51	20,47	11,5	25,14	40,11	20,9

Médias de letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: Crotalaria juncea; FP: feijão-de-porco; M: milho; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: interação sistema e cobertura; CV%: coeficiente de variação.

Na entrelinha, as variáveis pH, Na, SB e K não variaram em nenhuma das camadas e fatores avaliados. Na camada de 0-5 cm houve interação entre sistema e cobertura para o P. O desdobramento da interação em nível de sistema dentro da cobertura mostrou que o tratamento CJ apresentou maior média no SPD comparado ao SPC e o nível de cobertura dentro do sistema SPD, o tratamento CJ obteve a maior média também, não houve diferença entre as coberturas em SPC. A CTC variou em nível de sistema com maior média no SPC comparado ao SPD (Tabela 8).

Na camada de 5-10 cm para o parâmetro P a interação entre os fatores também foi significativa. O desdobramento da interação em nível de sistema dentro da cobertura mostrou que as maiores médias para FP e PE foram verificadas no SPC comparado ao SPD. Em nível de cobertura dentro do sistema não houve diferença entre as coberturas no SPD e para o SPC a cobertura FP apresentou a maior média de P. As variáveis Ca e V% variaram somente em nível de sistema com as maiores médias no SPC comparado ao SPD. O H+Al variou também em nível de sistema, onde a maior média foi encontrada no SPD comparado ao SPC (Tabela 8).

A camada de 10-20 cm não houve variação em nenhum dos parâmetros avaliados em nível de cobertura e não houve interação entre sistema e cobertura. Dentre as variáveis avaliadas, somente o Ca, Mg e CTC foram significativos a nível de sistema com maiores médias verificadas no SPC comparado ao SPD. O H+Al apresentou maior média no SPD comparado ao SPC (Tabela 8).

A integração da SB com a CTC fornece a saturação por bases (V%) ótimo indicativo para avaliar a situação da fertilidade do solo através da classificação em eutróficos (férteis -  $V\% \geq 50\%$ ) e distróficos (pouco férteis -  $V\% \leq 50\%$ ) (RONQUIM, 2020). Nesse sentido, o V% apresentado na tabela 8, obtém os maiores valores nas profundidades 5-10 e 10-20 no SPC. Sugere-se que o revolvimento do solo associado a incorporação das plantas de cobertura acelera o processo de decomposição e liberação de nutrientes, como consequência o maior V% e CTC foram encontrados em todas as profundidades do solo no SPC. Em contrapartida, a falta de revolvimento do solo e incorporação das plantas de cobertura no SPD, promovem uma decomposição mais lenta das plantas de cobertura e liberação gradual dos nutrientes. Por esta razão, os estudos mostram que o tempo é um fator relevante para avaliar a construção da fertilidade do solo no SPD (VALADARES et al., 2012; PASSOS et al., 2018). Vale ressaltar que os resultados apresentados no presente estudo são referentes a fase inicial após a adoção do plantio direto (5 anos). De acordo com Costa et al. (2006), os benefícios na qualidade do solo após a adoção do plantio direto podem ser vistos a partir de 10 anos da implantação do sistema.

No SPD foi observado maiores médias de H+Al, variável que indica maior poder tampão do solo, ou, seja, mais resistência as mudanças de pH. Esse resultado está correlacionado com maior teor de carbono orgânico total no SPD, grande aliado no aumento do poder tampão, principalmente em solos arenosos o que reafirma a necessidade da utilização de cobertura sobre o solo e adoção do SPD (CENTENO et al., 2017). Um solo com menor poder tampão influencia na disponibilidade de nutrientes as plantas, pois, variação no pH com aumento da acidez pode diminuir a disponibilidade dos nutrientes, como foi visto em um estudo com diferentes solos, o menor poder tampão do K foi conferido pelos teores baixos de K trocável e em solução, o que reflete na adubação com a necessidade de doses menores de K para não ocorrer perda por lixiviação (VILLA et al., 2004; WONG et al., 2013; RONQUIM et al., 2020).

**Tabela 8.** Atributos químicos do solo na entrelinha, Seropédica - RJ.

Prof.	P.C	pH	ENTRELINHA										
			Al	Ca	Mg	H+Al	Na	SB	CTC	P	K	V	
		H <sub>2</sub> O	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						-----mg dm <sup>-3</sup> -----	---%---			
SPD	C1	5,85Aa	0	2,97Aa	1,77Aa	2,09Aa	0,01Aa	4,96Aa	7,05Ba	20,88Ab	122,5Aa	69,5Aa	
	C2	6,14Aa	0	2,30Aa	1,93Aa	2,64Aa	0,01Aa	4,55Aa	7,19Ba	22,88Ab	171,2Aa	63,3Aa	
	CJ	6,21Aa	0	2,90Aa	1,77Aa	2,20Aa	0,02Aa	5,06Aa	7,26Ba	72,24Aa	148,3Aa	69,5Aa	
	FP	6,06Aa	0	2,67Aa	1,70Aa	2,64Aa	0,01Aa	4,87Aa	7,51Ba	21,58Ab	128,3Aa	64,0Aa	
	M	6,50Aa	0	3,17Aa	2,00Aa	2,04Aa	0,02Aa	5,49Aa	7,53Ba	30,98Ab	93,68Aa	72,8Aa	
	PE	5,94Aa	0	2,67Aa	1,83Aa	2,09Aa	0,01Aa	5,05Aa	7,14Ba	23,81Ab	210,7Aa	70,7Aa	
SPC	C1	6,15Aa	0	2,87Aa	1,70Aa	2,53Aa	0,02Aa	5,01Aa	7,54Aa	23,00Aa	165,1Aa	66,2Aa	
	C2	6,34Aa	0	2,93Aa	1,63Aa	2,09Aa	0,02Aa	5,38Aa	7,47Aa	22,06Aa	130,5Aa	71,9Aa	
	CJ	6,59Aa	0	2,90Aa	1,80Aa	2,15Aa	0,02Aa	5,82Aa	7,96Aa	29,40Ba	115,5Aa	72,8Aa	
	FP	6,21Aa	0	2,87Aa	1,63Aa	2,31Aa	0,02Aa	5,35Aa	7,66Aa	26,55Aa	156,6Aa	69,6Aa	
	M	6,18Aa	0	3,10Aa	1,63Aa	3,19Aa	0,02Aa	5,01Aa	8,20Aa	21,12Aa	102,0Aa	61,2Aa	
	PE	6,25Aa	0	3,13Aa	1,90Aa	2,37Aa	0,01Aa	5,42Aa	7,79Aa	27,52Aa	145,7Aa	69,6Aa	
Sis*cob		0,7685	-	0,2224	0,5935	0,1171	0,6930	0,7860	0,9585	0,0000	0,5049	0,2685	
CV%		7,01	-	10,46	14,11	22,4	47,46	16,71	8,28	22,06	39,23	11,0	
Prof.	P.C	pH	Al	Ca	Mg	H+Al	Na	SB	CTC	P	K	V	
		5-10	H <sub>2</sub> O	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						-----mg dm <sup>-3</sup> -----	---%---		
SPD	C1	5,91Aa	0	2,57Ba	1,23Aa	2,53Aa	0,00Aa	3,61Aa	6,14Aa	7,17Aa	53,25Aa	58,3Ba	
	C2	5,42Aa	0	1,93Ba	1,43Aa	3,69Aa	0,00Aa	3,58Aa	7,26Aa	7,65Aa	80,26Aa	49,4Ba	
	CJ	5,82Aa	0	2,60Ba	1,67Aa	3,30Aa	0,00Aa	4,47Aa	7,77Aa	9,17Aa	76,61Aa	56,9Ba	
	FP	5,67Aa	0	2,27Ba	1,43Aa	2,97Aa	0,01Aa	3,87Aa	6,84Aa	7,22Ba	58,36Aa	55,7Ba	
	M	6,21Aa	0	2,70Ba	1,57Aa	2,20Aa	0,00Aa	4,14Aa	6,34Aa	9,07Aa	105,0Aa	62,9Ba	
	PE	6,01Aa	0	2,50Ba	1,53Aa	2,70Aa	0,01Aa	5,42Aa	6,21Aa	10,35Ba	68,58Aa	64,7Ba	

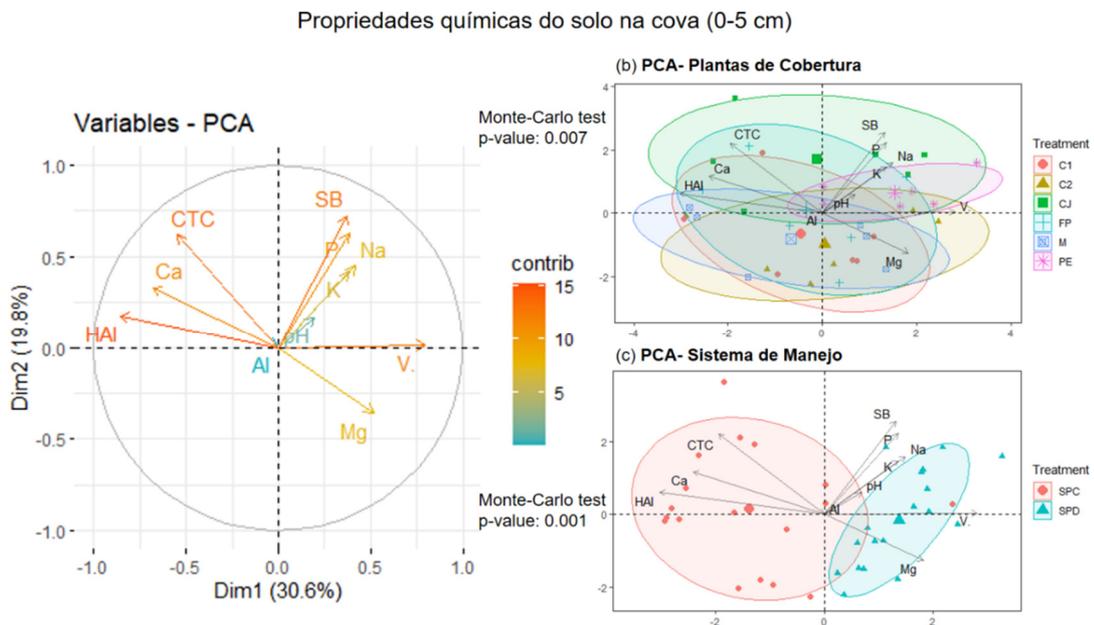
Continua...

Continuação da Tabela 8.

ENTRELINHA												
Prof.	P.C	pH	Al	Ca	Mg	H+Al	Na	SB	CTC	P	K	V
	0-5	H <sub>2</sub> O	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					-----mg dm <sup>-3</sup> -----		---%---		
SPC	C1	5,66Aa	0	2,50Aa	1,43Aa	2,97Ba	0,01Aa	4,09Aa	7,06Aa	5,91Ac	59,82Aa	56,9Aa
	C2	6,12Aa	0	3,10Aa	1,53Aa	2,15Ba	0,01Aa	4,82Aa	6,96Aa	8,37Ac	68,58Aa	69,6Aa
	CJ	6,16Aa	0	2,83Aa	1,10Aa	2,15Ba	0,01Aa	5,15Aa	7,30Aa	12,32Abc	64,57Aa	71,1Aa
	FP	5,93Aa	0	3,07Aa	1,53Aa	2,64Ba	0,01Aa	4,77Aa	7,41Aa	26,22Aa	61,65Aa	64,0Aa
	M	6,01Aa	0	2,77Aa	1,53Aa	2,75Ba	0,01Aa	4,49Aa	7,24Aa	12,76Abc	70,04Aa	61,7Aa
	PE	6,31Aa	0	3,10Aa	1,70Aa	1,82Ba	0,00Aa	5,04Aa	6,85Aa	18,29Aab	90,48Aa	73,1Aa
Sis*cob		0,0838	-	0,1944	0,4800	0,0539	0,338	0,8866	0,4153	0,0019	0,6136	0,2804
CV%		4,92	-	17,06	24,64	24,51	30,92	26,33	10,48	33,95	39,48	20,88
Prof.	P.C	pH	Al	Ca	Mg	H+Al	Na	SB	CTC	P	K	V
	10-20	H <sub>2</sub> O	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					-----mg dm <sup>-3</sup> -----		---%---		
SPD	C1	5,52Aa	0	1,90Ba	1,07Ba	3,1Aa	0,01Aa	3,09Aa	6,28Ba	6,87Aa	36,83Aa	49,1Ba
	C2	4,97Aa	0	1,30Ba	0,70Ba	4,1Aa	0,01Aa	2,32Aa	6,50Ba	6,80Bb	27,53Aa	35,5Ba
	CJ	5,51Aa	0	2,10Ba	1,23Ba	3,4Aa	0,01Aa	3,43Aa	6,84Ba	6,56Aa	34,28Aa	49,7Ba
	FP	5,13Aa	0	1,53Ba	1,07Ba	4,0Aa	0,01Aa	2,67Aa	6,68Ba	6,63Ab	25,15Aa	39,6Ba
	M	5,55Aa	0	2,13Ba	1,10Ba	3,6Aa	0,01Aa	3,44Aa	7,13Ba	6,87Ab	68,95Aa	48,4Ba
	PE	5,51Aa	0	1,77Ba	1,07Ba	3,4Aa	0,01Aa	3,02Aa	6,43Ba	6,95Ab	45,0Aa	47,0Ba
SPC	C1	5,19Aa	0	1,80Aa	1,10Aa	3,5Ba	0,01Aa	2,97Aa	6,54Aa	6,13Bb	21,51Aa	44,4Aa
	C2	5,87Aa	0	2,53Aa	1,07Aa	2,5Ba	0,01Aa	3,67Aa	6,26Aa	6,13Aa	25,15Aa	58,5Aa
	CJ	6,33Aa	0	2,80Aa	1,37Aa	2,0Ba	0,01Aa	4,26Aa	6,35Aa	6,17Bb	31,30Aa	67,3Aa
	FP	5,75Aa	0	2,43Aa	1,10Aa	2,6Ba	0,01Aa	3,63Aa	6,27Aa	6,07Ab	33,91Aa	57,6Aa
	M	5,82Aa	0	2,10Aa	1,40Aa	2,5Ba	0,01Aa	3,77Aa	6,30Aa	6,79Ab	52,16Aa	59,2Aa
	PE	6,13Aa	0	2,53Aa	1,67Aa	1,9Ba	0,01Aa	4,36Aa	6,29Aa	5,92Ab	61,65Aa	69,1Aa
Sis*cob		0,2623	-	0,3887	0,4703	0,1452	0,4194	0,5574	0,5557	0,4417	0,4787	0,2804
CV%		8,37	-	29,93	24,03	21,44	37,32	23,52	7,7	8,48	43,02	20,88

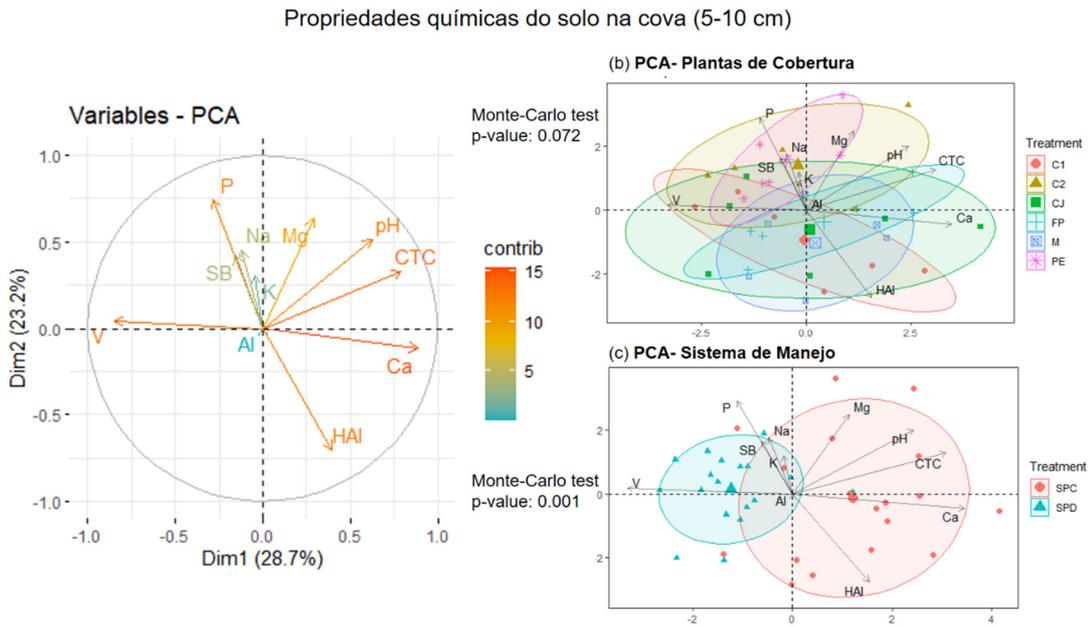
Médias das letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: Crotalaria juncea; FP: feijão-de-porco; M: milheto; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: interação sistema e cobertura; CV%: coeficiente de variação.

A análise de componentes principais mostrou que as propriedades químicas do solo da cova na camada de 0-5 cm se diferenciaram em função das plantas de coberturas (p-valor: 0,007; 24,5 % da variância explicada por esta classificação - Figura 8b) e dos sistemas (p-valor: 0,001; 21,1 % da variância explicada por esta classificação - Figura 8c). Os dois primeiros componentes do PCA explicaram 50,4% da variância total extraída (Figura 8a). Dentre as plantas de cobertura a leguminosa CJ esteve associada a maioria dos parâmetros de fertilidade do solo (SB, P, Na, CTC, Ca e H+AL). O pH e o K estiveram mais associados as PE. O M esteve mais associado a Al, Mg e pH. As variáveis que mais contribuíram para a separação entre as coberturas foram H+Al, Ca e CTC que esteve mais associado a C1, FP e CJ. Os sistemas estão claramente separados de acordo com as propriedades do solo. O Eixo 1 separou os tratamentos principalmente pelas variáveis H+Al, Ca, CTC, V%, Mg, pH, K e Na. O SPC esteve associado aos parâmetros H+Al, Ca e CTC do solo. As variáveis V%, Mg, pH, K e Na estiveram mais associadas ao SPD. O Eixo 2 esteve associado as variáveis SB, P (Fig. 8c).



**Figura 8.** Projeção das variáveis das propriedades do solo na cova (0-5 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. **Fonte:** Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022.

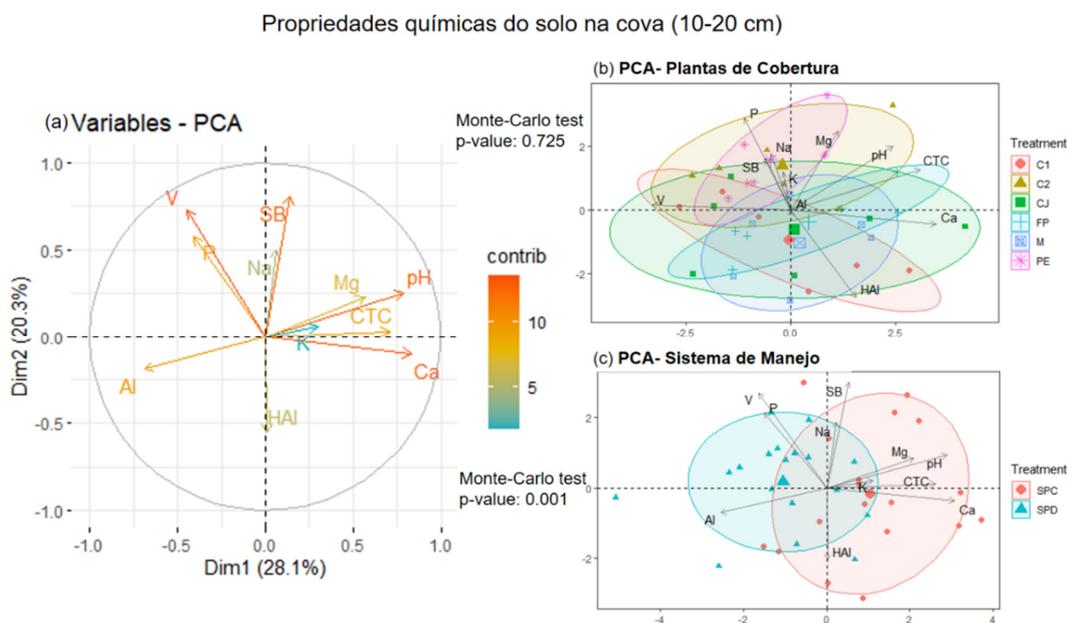
As propriedades químicas do solo da cova na camada de 5-10 cm se diferenciaram em função das plantas de coberturas (p-valor: 0,072; 19,4 % da variância explicada por esta classificação - Figura 9b) e dos sistemas (p-valor: 0,001; 16,7 % da variância explicada por esta classificação - Figura 9c). Os dois primeiros componentes do PCA explicaram 51,9% da variância total extraída (Figura 9a). Dentre as plantas de cobertura o tratamento PE esteve associado a SB, Na e Mg; essas variáveis foram comuns a C2, além do pH e do P. O C1 aparece separado dos demais tratamentos, principalmente em função de H+Al e no FP predomina a CTC. Os sistemas estão claramente separados de acordo com as propriedades do solo, nos quais as variáveis V% e SB separam o SPD do SPC (Fig. 9c).



**Figura 9.** Projeção das variáveis das propriedades do solo na cova (5-10 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. **Fonte:** Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022.

As propriedades químicas do solo da cova na camada de 10-20 cm não se diferenciaram em função das plantas de coberturas (p-valor: 0,725; 12,5 % da variância explicada por esta classificação - Figura 10b). O efeito das plantas de cobertura na cova está influenciando principalmente nas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm), possivelmente com o passar do tempo de adoção dos manejos este efeito será percebido também em camadas mais profundas. Por outro lado, os sistemas estão claramente separados (p-valor: 0,001; 13,5 % da variância explicada por esta classificação - Figura 10c). Os dois primeiros componentes do PCA explicaram 48,4% da variância total extraída (Figura 10a). Os sistemas estão separados de

acordo com as propriedades do solo, nos quais as variáveis V%, P e Al separam o SPD do SPC (Figura 10c).



**Figura 10.** Projeção das variáveis das propriedades do solo na cova (10-20 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. **Fonte:** Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022.

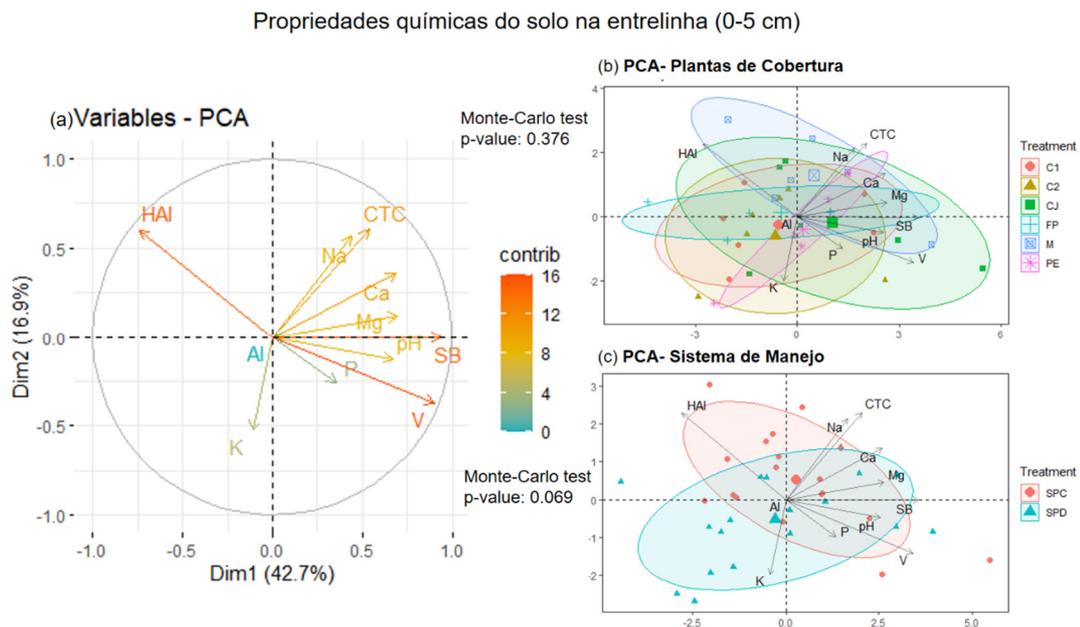
Nas camadas avaliadas na cova, observou-se que as plantas de cobertura apresentaram afinidade diferente com cada atributo do solo, sendo que as coberturas da família Fabaceae como CJ e FP apresentaram maior influência nos atributos químicos do solo (SB, P, Na, CTC, Ca e H+Al), já em relação as plantas que pertencem a família Poaceae está mais relacionada com os atributos pH, Al, K, Mg. Esse resultado está coerente com o descrito no estudo de Nascimento et al., (2021) que encontrou em solos arenosos tropicais diferentes resultados para os atributos da fertilidade do solo em relação ao uso de diferentes plantas de cobertura, por exemplo a V% e CTC foram favorecidas em parcela cultivadas com espécies da família Fabaceae, diferente dos atributos pH e K que foram maiores em espécies da família Poaceae. Dessa forma, o mix das plantas de cobertura pode garantir a melhoria das propriedades química dos solos arenosos como desse estudo.

Nos sistemas de manejo foi possível verificar que o status de fertilidade é maior no SPC do que SPD, isso pode estar relacionado a fase inicial na qual a adoção do SPD se encontra e por isso necessita de mais tempo para verificar resultados mais expressivos sobre a qualidade do solo. De acordo com Wulanningtyas et al. (2021), após 18 anos de estudo constatou o aumento de matéria orgânica provenientes do uso de plantas de cobertura vegetal e sistema plantio direto e conseqüentemente a CTC do solo.

Diferente do que os resultados mostraram para os efeitos das plantas de cobertura na cova; na entrelinha, praticamente não se observou efeito das plantas de cobertura, mas um efeito sutil do sistema. Isso pode ser explicado devido à adubação orgânica realizada na cova, ser uma fonte de contribuição para o aumento de microrganismos que vão atuar na decomposição e

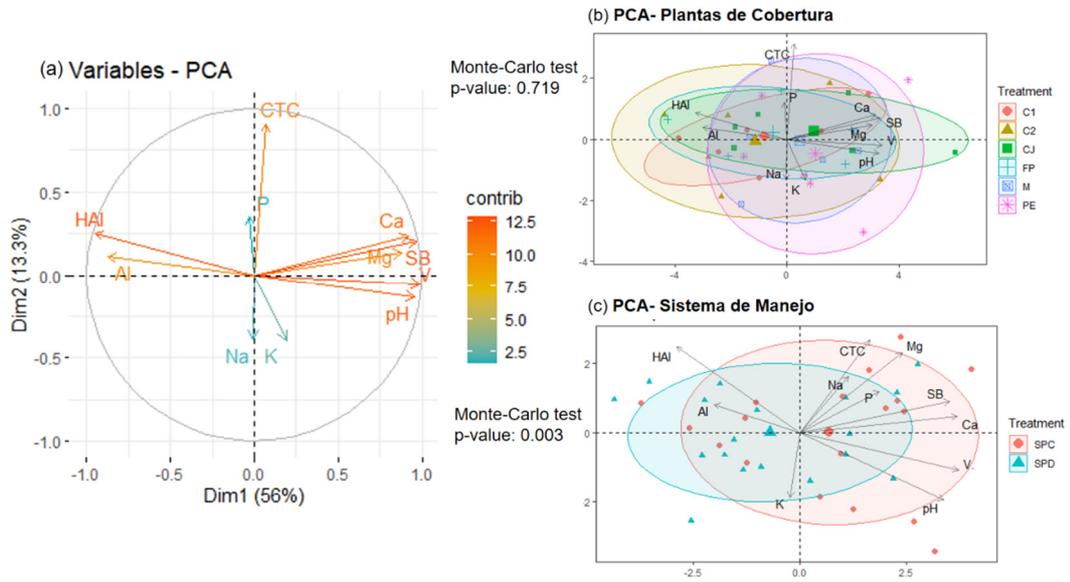
liberação dos nutrientes das plantas de cobertura, refletindo no aumento dos atributos químicos na cova e relação com as plantas de cobertura (TRANI et al., 2013). Na entrelinha por exemplo, na camada de 0-5 cm as propriedades químicas se diferenciaram somente em nível de sistema (p-valor: 0,069; 5,8 % da variância explicada por esta classificação - Figura 11c). Os dois primeiros componentes do PCA explicaram 59,6% da variância total extraída (Figura 11a). A variável que mais distinguiu o SPD do SPC foi o K (Figura 11c). Na camada de 5-10 e 10-20, somente os sistemas se diferenciaram (p-valor: 0,064; 6,01 % da variância explicada por esta classificação - Figura 12c; p-valor: 0,003; 14,2 % da variância explicada por esta classificação - Figura 13c, respectivamente), as variáveis mais associadas ao SPD foram H+AL e P, as demais variáveis se associaram ao SPC (Figura 12c, 13c).

Na camada de 0-5 o maior aporte de resíduos vegetais oriundo do SPD pode ter contribuído para a distinção do K quanto ao SPC, a palhada no SPD apresentou nesse estudo rápida liberação do potássio aos 40 dias, tal característica contribuiu para manter o equilíbrio do nutriente no solo através da rápida mineralização do K para o solo (CAMILO et al., 2020). Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm a maior associação do H+Al ao SPD vai de encontro ao estudo de Diniz et al., 2021 que os maiores valores da acidez potencial foram no sistema plantio direto na camada de 10-20 cm e que a deposição da matéria orgânica pode contribuir para complexação do  $H^+$  e  $Al^{3+}$ .



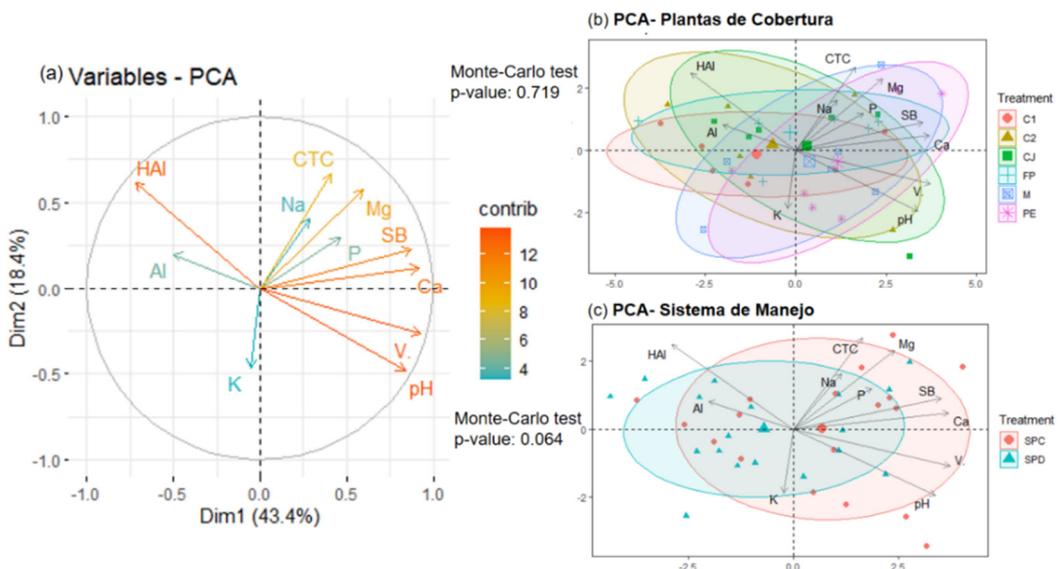
**Figura 11.** Projeção das variáveis das propriedades do solo na entrelinha (0-5 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. **Fonte:** Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022.

Propriedades químicas do solo na entrelinha (10-20 cm)



**Figura 13.** Projeção das variáveis das propriedades do solo na entrelinha (10-20 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. **Fonte:** Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022.

Propriedades químicas do solo na entrelinha (5-10 cm)



**Figura 12.** Projeção das variáveis das propriedades do solo na entrelinha (5-10 cm) num plano dimensional Dim 1/Dim 2 e dos sítios agrupados de acordo com as plantas de cobertura (b) e Sistemas de manejo (c). As cores dos vetores das figuras (a) representam notas na contribuição das variáveis. **Fonte:** Elaborado por Priscila Silva Matos, 2022.

### 3.6 CONCLUSÕES

A produção de fitomassa das plantas de cobertura, bem como o acúmulo de nutrientes e relação C/N variou nos diferentes anos possivelmente influenciados pelas variações climáticas. As gramíneas, possuem menor velocidade de decomposição e pode fornecer ao solo palhada por mais tempo e as leguminosas fornecem nutrientes através da sua rápida liberação dos elementos promotora da ciclagem de nutrientes. O uso de coquetéis com ambas as características são ferramentas promissoras para ciclagem de nutrientes, uma vez que a liberação dos macronutrientes (N, P e K) foi mais rápida pelos coquetéis.

A fertilidade do solo foi maior no SPC do que no SPD após 5 anos de adoção dos sistemas. Recomenda-se o monitoramento por mais tempo da qualidade do solo sob plantio direto, uma vez que o tempo é fator relevante para que a influência desse sistema de manejo possa ser evidenciada.

### 3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4.ed. Porto Alegre: UFRGS, 110p, 2004.
- ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 867-874, 2000.
- BEVILACQUA, H. E. C. R. Classificação das hortaliças. **CASTANHEIRO, ALM; BEVILACQUA, HECR; SHIRAKI, JN (Coords.). Horta: cultivo de hortaliças. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente**, p. 1039-1042, 2006.
- BERTOL, I. Conservação do solo no brasil: histórico, situação atual e o que esperar para o futuro. Sociedade brasileira de ciência do solo. 48p. 2016, (boletim informativo 42).
- BRANCO, R. B. F.; BLAT, S. F.; GIMENES, T. G.; NOWAKI, R. H.; ARAÚJO, H. S.; SALLES, F. A. Nitrogen fertilization of vegetables cultivated under no-tillage after cover crops. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 103-110, 2017.
- BOER, C. A.; DE ASSIS, R. L. SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; FILHO, A. C.; PIRES, F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 843-851, 2008.
- BOGIANI, J. C.; FERREIRA, A. C. B.; BORIN, A. L. D.; SOFIATTI, V.; PERINA, F. J. Sequestro de carbono em sistemas de produção de grãos e fibras em solo arenoso do Cerrado da Bahia. 2020.
- BORGES, W. L.; SOUZA, D. C. J.; RODRIGUES, D. M. S.; RIOS, R. M. Cobertura do solo, acúmulo de biomassa e de nutrientes em leguminosas para uso como adubo verde. 2018.
- BORTOLINI, C. G.; SILVA, PAULO, R. F.; ARGENTA, G. Efeito de resíduos de plantas jovens de aveia preta em cobertura de solo no crescimento inicial do milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.
- CALEGARI, A. Plantas de cobertura: Manual técnico. **Londrina: IAPAR**, 2016.
- CAMILO, E. L.; MULLER, M. M. L.; RAMPIM, L.; CAMILO, M. L.; GRAFFUNDER, W. R.; KULIK, J. L. Acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura em cultivo solteiro, consórcio e policultivo na Região Sul do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e779997870-e779997870, 2020.
- CARLOS, F. S.; SCHAFFER, N.; MARCOLIN, E.; FERNANDES, R. S.; MARIOT, R.; MAZZURANA, M.; ROESCH, L. F. W.; LEVANDOSKI, B.; CAMARGO, F. A. O. A long-

term no-tillage system can increase enzymatic activity and maintain bacterial richness in paddy fields. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 6, p. 2257-2268, 2021.

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. D.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Boletim Hortigranjeiro**, v.7, n. 2, 2021.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; DE SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1185-1191, 2006.

COUTINHO, L. C.; KOEFENDER, K.; DE MERA, C. P.; CAMERA, J. N. Produção de hortaliças orgânicas: estudo de caso em uma propriedade do interior de Ijuí, RS. **Multítemas**, p. 81-96, 2019.

DA SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; REBONATTI, M. D.; DOS SANTOS, C. H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107947, 2020.

DE ANDRADE, A. G.; CABALLERO, S. S. U.; DE FARIA, S. M. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. 1999.

DE CARVALHO, J. E. B.; XAVIER, FA da S.; DOS SANTOS, N. S. Decomposição e liberação de nutrientes por diferentes plantas de cobertura em um pomar de laranjeira. 2021.

DE MENDONÇA, V. Z.; DE MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 183-193, 2015.

DE MORAES, M. D.; DE OLIVEIRA, N. A. M. Produção orgânica e agricultura familiar: obstáculos e oportunidades. **Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, v. 3, n. 1, p. 19-37, 2017.

DE OLIVEIRA SILVA, M.; DOS SANTOS, M. P.; SOUSA, A. C. P.; DA SILVA, R. L. V.; DE MOURA, I. A. A.; DA SILVA, R. S.; COSTA, K. D. S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

DE OLIVEIRA, F. L.; GOSCH, C. I. L.; GOSCH, M. S.; MASSAD, M. D. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e decomposição de leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 503-508, 2010.

DE RESENDE, A. V. Análise foliar complementa adubação do milho. 2014.

DE SOUSA, A P.; DE GOIÁS, B. S. Agricultura orgânica no Brasil como uma alternativa para o desenvolvimento agrícola. **Revista Eletrônica de Economia da Universidade Estadual de Goiás–UEG ISSN**, p. 970X, 1809, 2015.

DELAZERI, J. V. S.; VALADÃO, F. C. A.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; HERKLOTZ, B.; BERTONCELLO, L. R.; DA SILVA, J. L.; VIEIRA, A. O. Desempenho agrônômico de milho e crotalária cultivados em sistemas solteiro e consorciado. **Ciência del suelo**, v. 38, n. 2, p. 212-223, 2020.

DINIZ, A. P. M. J.; ARAGÃO, M. C.; EL-HUSNY, J. C.; PEREIRA, G. M.; HUNGRIA, L. C.; DA SILVA, B. S. N. Atributos químicos do solo sob sistema plantio direto como indicador de sustentabilidade ambiental. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 3130-3152, 2021.

DONAGEMMA, G. K.; DE FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; FILHO, J. C. A.; DOS SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1003-1020, 2016.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

ECHER, M. M.; DALASTRA, G. M.; HACHMANN, T. L.; GUIMARÃES, V. F.; FIAMETTI, M. S. Desempenho de cultivares de berinjela em plantio direto e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 239-243, 2016.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G. & URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 30:321-328, 2006.

FAROOQ, M.; PISANTE, M. Innovations in sustainable agriculture. In: FAROOQ, M.; REHMAN, A.; PISANTE, M. **Sustainable agriculture and food security**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 36, p. 1355-1362, 2001.

FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P.; CHAVES, A. F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 33-38, 2012.

FERREIRA, N. T. M. Y.; SILVA, S. M.; SILVA, R. N.; PENA, G. G.; SILVA, C. L. A. S.; QUEIROZ, R. R. U. O que você deve saber sobre os alimentos orgânicos e a Segurança Alimentar e Nutricional. **Nutrição Brasil**, v. 14, n. 1, 2015.

FREITAS, R. S. Controle de plantas daninhas em sistemas de plantio direto e convencional e tolerância do algodoeiro ao trifloxysulfuron-sodium. 2005. 85f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003.

GAO, M.; XIONG, C.; GAO, C.; TSUI, C. K. M.; WANG, M. M.; ZHOU, X.; ZHANG, A.; CAI, L. Disease-induced changes in plant microbiome assembly and functional adaptation. **Microbiome**, v. 9, p. 1-18, 2021.

GOVERNO DO BRASIL. **População brasileira chega a 213,3 milhões de habitantes, estima IBGE**. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/08/populacao-brasileira-chega-a-213-3-milhoes-de-habitantes-estima-ibge>>. Acesso em: 22/08/2021.

KÖPPEN, W., GEIGER, R. 1928. Klimate der Erde. Gotha: VerlagJustus Perthes. Wall-map 150cmx200cm, p. 91-102.

HIGASHIKAWA, F. S.; DE MENEZES JÚNIOR, F. O. G. Adubação mineral, orgânica e organomineral: efeitos na nutrição, produtividade, pós-colheita da cebola e na fertilidade do solo. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 1-10, 2017.

HIRATA, A. C. S.; HIRATA, E. K.; GUIMARÃES, E. C.; RÓS, A. B.; MONQUERO, P. A. Plantio direto de alface americana sobre plantas de cobertura dessecadas ou roçadas. **Bragantia**, v. 73, p. 178-183, 2014.

INKOTTE, J.; MARTINS, R. C. C.; SCARDUA, F. P.; PEREIRA, R. S. Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado: uma revisão sistemática. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 988-1003, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Tabela 6652 número de estabelecimentos agropecuários por uso de agricultura orgânica**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6652>>. Acesso em: 25/08/2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Tabela de dados das estações**. Disponível em: < <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>>. Acesso em: 18/01/2023.

LAMAS, F. M. **Plantas de cobertura: O que é isto?** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/28512796/artigo---plantas-de-cobertura-o-que-e-isto>>. Acesso em: 25/08/2021.

LAZZARI, F. M.; SOUZA, A. S. Revolução Verde: impactos sobre os conhecimentos tradicionais, 2017. 2020.

LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. G.; DE ALMEIDA, D. L. Desempenho de crotalaria cultivada em diferentes épocas de semeadura e de corte. **Revista Ceres**, v. 59, p. 386-391, 2012.

LIMA, L. Efeito das plantas de cobertura em sistema de plantio direto. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 10, n. 18, 2014.

LIMA, M. A. C. **Segurança de alimentos**. Disponível em:<[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01\\_179\\_2411200511522\\_9.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01_179_2411200511522_9.html)>. Acesso em: 26/08/2021.

LOPES, O. M. N. Feijão-de-porco leguminosa para controle de mato e adubação verde do solo. **Recomendações técnicas**, n.12, Embrapa, 2000.

LOURENÇO, A. V.; SCHNEIDER, S.; GAZOLLA, M. A agricultura orgânica no Brasil: um perfil a partir do censo agropecuário 2006. **Extensão Rural**, v. 24, n. 1, p. 42-61, 2017.

MAAS, L.; MALVESTITI, R.; VERGARA, L. G. L.; GONTIJO, L. A. Agricultura orgânica: uma tendência saudável para o produtor. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 35, n. 1, p. 75-92, 2018.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Cultivo do milheto. **Embrapa milho e sorgo**, 2009.

MAIA, F. E. N.; MIRANDA, N. O.; MELO, I. G. C.; VIANA, M. G. P.; GÓIS, S. R. P. Biomassa de feijão de porco sob diferentes densidades de semeadura em Mossoró, RN. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, p. 43-49, 2013.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; DA SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, L. O. G. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1681-1689, 2015.

MATTOS L. M.; MORETTI C. L.; MOURA M. A.; MALDONADE I. R.; SILVA E. Y. Y. Produção segura e rastreabilidade de hortaliças. **Horticultura Brasileira** 27: 408-413, 2009.

MELO, R.; MADEIRA, N. R.; PEIXOTO, J. R. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. **Horticultura brasileira**, 28: 23-28, 2010.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; FERREIRA, A. C. B.; SANTANA, J. G.; BARROS, R. G. Produção de fitomassa de diferentes espécies, isoladas e consorciadas, com potencial de utilização para cobertura do solo. **Biosci. J.**, v. 25, n. 1, p. 7-12, 2009.

MOISINHO, I. S.; ANDRES, A.; SCHREIBER, F.; MARTINS, M. B.; BEHENCK, J. P. O.; CONCENÇO, G. Efeito da cobertura do solo sobre a incidência de plantas daninhas. In: **Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO UFPel, 19.; SEMANA INTEGRADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 3., 2016, Pelotas. Anais... Pelotas: UFPel, 2017., 2017.

MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R.; INÁCIO, E. M.; BRUNHARA, J. P.; BINHA, D. P.; SILVA, P. V.; SILVA, A. C. Efeito de adubos verdes na supressão de espécies de plantas daninhas. **Planta daninha**, v. 27, p. 85-95, 2009.

MORAES, E. R.; REIS, A. C.; SILVA, N. E. P.; FERREIRA, M.; MENEZES, F. G. Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 1, p.60-65, jan./mar, ISSN 2358-6303, 2018.

NASCENTE, A. S.; STONE, L. F.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil chemical properties affected by cover crops under no-tillage system. **Revista Ceres**, v. 62, p. 401-409, 2015.

NASCIMENTO, G. S.; DE SOUZA, T. A. F.; DA SILVA, L. J. R.; SANTOS, D. Soil physico-chemical properties, biomass production, and root density in a green manure farming system from tropical ecosystem, North-eastern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, p. 2203-2211, 2021.

OLIVEIRA, N. G.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. Plantio direto de alface adubada com cama de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura brasileira**, v. 24, p. 112-117, 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA – FAO. SOFI 2021: Relatório da ONU destaca impactos da pandemia no aumento da fome no mundo. Disponível em :< <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1415747/>> Acesso em: 03/11/2022.

PEREIRA, A. P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de ciências agrárias**, v. 40, n. 4, p. 799-807, 2017.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; CABALLERO, S. S. U.; GUERRA, J. G. M.; GUSMÃO, L. A. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milho solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, v. 57, p. 274-281, 2010.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

PESSOA, Y. S. R. Q.; ALCHIERI, J. C. Qualidade de vida em agricultores orgânicos familiares no interior Paraibano. **Psicologia: Ciência e Profissão**, v. 34, p. 330-343, 2014.

PETRAGLIA, A.; CACCIATORI, C.; CHELLI, S.; FENU, G.; CALDERISI, G.; GARGANO, D.; ABELI, T.; ORSENIGO, S.; CARBOGNANI, M. Litter decomposition: effects of temperature driven by soil moisture and vegetation type. **Plant and Soil**, v. 435, p. 187-200, 2019.

POTT, C. A.; FELTRIN, D. M. Adubação verde em tomateiro cultivado em sistema de agricultura orgânica. **Ambiência**, v. 4, n. 2, p. 209-220, 2008.

R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria.

REGANOLD, J. P.; WACHTER, J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. **Nature plants**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2016.

RESENDE, F. V.; VIDAL, M. C.; DE SOUZA, R. B. Plantio direto de tomate sobre coberturas vivas em sistema orgânico de produção. **Embrapa Hortaliças-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2020.

ROCHA, L. V.; BIASI, D.; RIBEIRO, J. C.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. No-tillage in organic production system: production parameters and biomass decomposition. **Comunicata Scientiae**, v. 12, p. e3157-e3157, 2021.

RUSU, T. Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 4, p. 42-49, 2014.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, M.; CARVALHO, P. C. F. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment international**, v. 98, p. 102-112, 2016.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N. Milheto, uma alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. **Revista Plantio Direto**, v.45, n. 1, p. 41-43, 1998.

SANTOS, P. F.; WHITFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem *Ecology*, p. 654-663, 1981.

SCAVAZZA, A. L.; SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C.; MEDEIROS, S. D. S.; DE SANTI, P. H. P. Produção de fitomassa e extração de macronutrientes por plantas de cobertura cultivadas na estação seca. **Nativa**, v. 6, n. 6, p. 619-624, 2018.

SCHULTZ, N.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; RODRIGUES, G. C. S.; COSTA, E. S. P.; PEREIRA, M. G.; SOBRINHO, N. M. B. A. Produção de couve-flor em sistema plantio direto e convencional com aveia preta como planta de cobertura do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30107-30122, 2020.

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

Sigmaplot for Windows, version 14.0. <http://www.systat.com/products/sigmaplot/>.

SILVA, M. O.; DOS SANTOS, M. P.; SOUZA, A. C. P.; DA SILVA, R. L. V.; DE MOURA, I. A. A.; DA SILVA, R. S.; COSTA, K. D. S. Michelangelo et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

SOMASUNDARAM, J.; SINHA, N. K.; DALAL, R. C.; LAL, R.; MOHANTY, M.; NAOREM, A. K.; HATI, K. M.; CHAUDHARY, R. S.; BISWAS, A. K.; PATRA, A. K.; CHAUDHARI, S. K. No-till farming and conservation agriculture in South Asia—issues, challenges, prospects and benefits. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 39, n. 3, p. 236-279, 2020.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; DA COSTA, C. H. M.; NETO, J. F.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1462-1470, 2012.

SOUZA FILHO, A. P. S. Atividade potencialmente alelopática de extratos brutos e hidroalcoolicos de feijão-deporco (*Canavalia ensiformis*). **Planta Daninha**, v. 20, n. 3, p. 357-364, 2002.

SOUZA, G. S.; GOMES, E. G.; GAZZOLA, R. Produção orgânica na renda bruta agropecuária: Estudo baseado nos dados do censo agropecuário de 2017. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 1, p. 60-70, 2021.

TANAKA, K. S.; CURSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; MOMESSO, L.; COSTA, C. H. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; JUNIOR, A. O.; CALONEGO, J. C. Nutrients released by Urochloa cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, p. 267-281, 2019.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995, (Boletim Técnico n° 5).

TEIXEIRA, C. M.; DE CARVALHO, G. J.; DE ANDRADE, M. J. B.; SILVA, C. A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto+crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 647-653, 2009.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia (Arica)**, v. 30, n. 1, p. 55-64, 2012.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I. POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.

TORRES, J. L. R.; SILVA, M. G. S.; CUNHA, M. A.; VALLE, D. X. P.; PEREIRA, M. G. Produção de fitomassa e decomposição de resíduos culturais de plantas de coberturas no cultivo da soja em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 247-253, 2014.

TIVELLI S. W.; PURQUERIO L. F. V.; KANO C. **Adubação verde e plantio direto em hortaliças**. Revista eletrônica Pesquisa e Tecnologia 7: 1-7, 2010. Disponível em: [http://www.apta regional.sp.gov.br/artigo.php?id\\_artigo=714](http://www.apta regional.sp.gov.br/artigo.php?id_artigo=714). Acessado em 28 de dezembro de 2011.

THOMAS, R.J. & ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biol. Biochem.**, 23:1351-1361, 1993.

TRANI, P. E.; TERRA, M. M.; TECCHIO, M. A.; TEIXEIRA, L. A. J.; HANASIRO, J. Adubação orgânica de hortaliças e frutíferas. **Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas**, 2013.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Acid extraction of sediments, sludges, and soils. EPA method 3050. 14p. 2008.

VALADARES, R. V.; DUARTE, R. F.; MENEZES, J. B. C.; FERNANDES, L. A.; SANTOS, L. D. T.; SAMPAIO, R. A.; MOTA, T. C.; ALMEIDA, R. M. Fertilidade do solo e produtividade de milho em sistemas de adubação verde no norte de Minas Gerais. **Planta Daninha**, v. 30, p. 505-516, 2012.

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

VARGAS, T. O.; DINIZ, E. R.; SANTOS, R. H. S.; LIMA, C. T. A.; URQUIAGA, S.; CECON, P. R. Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. **Horticultura Brasileira**. 29 (4), 562-568, 2011.

WILLER, H.; TRAVNICEK, J.; MEIER, C.; SCHLATTER, B. **The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2022**. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM-Organics International, 2022.

WULANNINGTYAS, H. S.; GONG, Y.; LI, P.; SAKAGAMI, N.; NISHIWAKI, J.; KOMATSUZAKI, M. A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104749, 2021.

## **4 CAPÍTULO II**

### **O EFEITO DOS SISTEMAS CONSERVACIONISTAS DE USO DO SOLO SOBRE O ESTOQUE TOTAL DE CARBONO E FRAÇÕES DE MATÉRIA ORGÂNICA**

#### 4.1 RESUMO

O solo considerado um recurso importante para manutenção da vida é necessário o estudo sobre como cuidar e preservar suas propriedades, em especial, a matéria orgânica e nutrientes que são atributos fundamentais para reverter a degradação, principalmente em solos arenosos. Com isso, o objetivo do estudo foi avaliar os estoques de carbono orgânico do solo; quantificar o armazenamento de carbono orgânico nas frações lábeis e recalcitrantes; identificar o melhor sistema de manejo, bem como as melhores plantas de cobertura que permitem o acúmulo de carbono orgânico do solo em dois períodos (2019 e 2022). O estudo foi realizado em dois anos 2019 e 2022 na propriedade orgânica Sítio do Sol em Seropédica estado do Rio de Janeiro. A disposição do experimento foi em blocos casualizados com três repetições em esquema de parcela subdividida 2 x 6, sendo dois sistemas de plantio distribuídos nas parcelas (sistema plantio direto – SPD e sistema convencional do solo – SPC) e seis plantas de coberturas distribuídas nas subparcelas cultivadas isoladas (Milheto – *Pennisetum glaucum*; Crotalária - *Crotalaria juncea* e feijão de porco – *Canavalia ensiformis*; consórcio formado pela mistura de 100% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; consórcio formado pela mistura de 50% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; plantas espontâneas mantidas na área pousio). A realização da coleta de solo foi na profundidade de 0-5, 5-10 e 10-20 cm para avaliação do carbono orgânico total (COT), fracionamento granulométrico com a determinação do carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (COam) e por último o fracionamento densimétrico para determinação da fração leve livre (FLL). Com a determinação do carbono em todas as frações da matéria orgânica foi calculado o estoque de carbono de cada fração (EstCOT). Nos dois anos avaliados o COT foi maior no SPD; o COP em 2019 obteve as maiores médias para o SPC, em 2022 não houve diferença entre os sistemas; COam maiores valores foi observado no SPD e para as coberturas C1, FP, M e PE. A FLL só foi significativa em 2019 com maior valor para SPC na camada de 5-10 cm, em 2022 não houve significância, mas apresentou maiores teores na camada de 0-5 cm. O EstCOT e EstCOam foram maiores no SPD nos dois anos avaliados; o EstCOP foi maior no SPD em 2019 nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm e em 2022 não houve significância; o EstFLL foi maior no SPC nos dois anos avaliados. O SPD influencia no estoque de carbono, devido ao aporte de resíduos na superfície sendo indicativo para manutenção da matéria orgânica ao longo do perfil do solo.

**Palavras-chave:** Agroecossistemas. Conservação. Mudanças climáticas. Reconstrução.

## 4.2 ABSTRACT

The soil is considered an important resource for the maintenance of life, it is necessary to study how to care for and preserve its properties organic matter and nutrients that are fundamental attributes to reverse degradation, especially in sandy soils. Thus, the objective of the study was to evaluate the stocks of organic carbon in the soil; quantify the storage of organic carbon in labile and recalcitrant fractions; identify the best management system, as well as the best cover crops that allow the accumulation of soil organic carbon in two periods (2019 and 2022). The study was carried out in two years 2019 and 2022 on the organic property Sítio do Sol in Seropédica state of Rio de Janeiro. The experiment was arranged in randomized blocks with three replications in a 2 x 6 split-plot scheme, with two planting systems distributed in the plots (no-tillage system - SPD and conventional soil system - SPC) and six cover crops distributed in the subplots. cultivated isolated (Milheto – *Pennisetum glaucum*; Crotalaria - *Crotalaria juncea* and jack bean – *Canavalia ensiformis*; consortium formed by mixing 100% of the recommended cover plant seeds; consortium formed by mixing 50% of the recommended seeds of cover; spontaneous plants kept in the fallow area). Soil collection was carried out at a depth of 0-5, 5-10 and 10-20 cm for the evaluation of total organic carbon (TOC), granulometric fractionation with the determination of organic carbon particulate (COP) and mineral-associated carbon (COam) and finally the densimetric fractionation for determination of the free light fraction (FLL). With the determination of carbon in all organic matter fractions, the carbon stock of each fraction (EstCOT) was calculated. In the two years evaluated, the TOC was higher in the SPD; the COP in 2019 had the highest averages for the SPC, in 2022 there was no difference between the systems; COam higher values were observed in the SPD and for the coverings C1, FP, M and PE. The FLL was only significant in 2019 with a higher value for SPC in the 5-10 cm layer, in 2022 there was no significance, but it showed higher levels in the 0-5 cm layer. EstCOT and EstCOam were higher in the SPD in the two years evaluated; EstCOP was higher in the SPD in 2019 at depths of 0-5 and 5-10 cm and in 2022 there was no significance; EstFLL was higher in the SPC in the two years evaluated. The NTS influences the carbon stock, due to the input of residues on the surface, being indicative for the maintenance of organic matter along the soil profile.

**Keywords:** Agroecosystems. Conservation. Climate change. Reconstruction.

### 4.3 INTRODUÇÃO

O solo é um ambiente fundamental para manutenção da vida dos seres que habitam e necessitam para sua sobrevivência, dentre eles estão as plantas que extraem do solo a quantidade ideal de nutrientes para completar o seu ciclo e desenvolver a sua função na terra. Esse cenário muitas vezes é revertido devido a acontecimentos como a degradação do solo, principalmente através da erosão que pode levar de 20 a 37 bilhões de toneladas de solo da superfície anualmente, na qual prejudica o rendimento das culturas e a capacidade de armazenar os nutrientes, carbono e água no solo. Estima-se que cerca de 33% do solo mundial está moderadamente a altamente degradado, situação que deve ser revertida através do uso de práticas que conservem o solo a fim de restaurar a biodiversidade (FAO, 2021).

O uso das plantas de cobertura aliada a sistemas conservacionistas são ferramentas propícias para diminuir a erosão dos solos consequentemente a degradação e melhorar a fertilidade dos agroecossistemas (ADETUNJI et al., 2020). A matéria orgânica é um fator limitante para o cultivo em alguns solos, principalmente os arenosos que apresentam baixos teores no perfil do solo (FONTANA et al., 2021). Na baixada fluminense, a presença de solos arenosos, reflete preocupação em relação ao indicador químico, pois, solos arenosos geralmente apresentam baixa capacidade de troca catiônica, saturação de bases e fertilidade devido ao seu material de origem. O uso e manejo dos solos arenosos também depende das concentrações de matéria orgânica no solo, esses fatores despertam uma maior atenção ao estudo desses solos que estão distribuídos em todo o mundo (HUANG et al., 2020; YOST et al., 2019).

Uma medida para aumentar a concentração de matéria orgânica em solos arenosos é a adoção do sistema plantio direto. Os resíduos das plantas de coberturas para contribuir com a construção da matéria orgânica e a restauração dos indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo (LI et al., 2018). O sistema plantio direto é composto por três pilares básicos para seu funcionamento, o mínimo revolvimento do solo, rotação de cultura e a manutenção da palhada sobre a superfície do solo. Então, sistemas de manejo podem influenciar na matéria orgânica do solo (DORTZBACH et al., 2020) e para atender a dinâmica do carbono orgânico total do solo (COT) o fracionamento físico da matéria orgânica é um método bastante útil (LAVELLE et al., 2020; COTRUFO et al., 2019).

Uma técnica bastante difundida, dentre as várias técnicas de fracionamento físico é o fracionamento granulométrico da matéria orgânica caracterizado pela separação das frações denominadas de carbono orgânico particulado associado a fração areia (CO<sub>p</sub>) e a fração carbono orgânico associado aos minerais silte e argila (CO<sub>am</sub>) (CARBARDELLA & ELLIOTT, 1992). Outra técnica é o fracionamento densimétrico que consiste no isolamento e quantificação dos compartimentos mais lábeis da MOS como a fração leve livre (FLL), fração constituída por materiais orgânicos derivados de restos vegetais, microbianos, microfauna com rápida taxa de transformação, motivo que é utilizada para estudar as mudanças que ocorrem quando submetida a diferentes sistemas de manejo do solo (PINHEIRO et al., 2004). Nesse sentido, os teores de carbono nas frações da matéria orgânica podem fornecer informações referentes a qualidade e os impactos dos sistemas de uso do solo (NANZER et al., 2019).

Os objetivos do estudo descrito neste capítulo foram: i) avaliar os estoques de carbono orgânico do solo; ii) quantificar o armazenamento de carbono orgânico nas frações lábeis e recalcitrantes; iii) identificar o melhor sistema de manejo e as melhores plantas de cobertura para permitir o acúmulo de carbono orgânico do solo em dois períodos (2019 e 2022).

## 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 Área de estudo

A área determinada para o estudo está localizada na propriedade orgânica Sítio do Sol filiada a Associação de Agricultores Biológicos, localizada na reta dos 800, Piranema - Seropédica Rio de Janeiro. O experimento foi composto por blocos casualizados com três repetições e esquema fatorial 2 x 6 com parcelas que obteve dois tratamentos (sistema de plantio direto – SPD e preparo convencional do solo – PCS) e seis sub parcelas que foram as plantas de cobertura cultivadas isoladas (Milheto, Crotalária juncea e Feijão de porco), cultivo em consorcio com dois coquetéis (100% e 50% da recomendação da semente) e sub tratamento com a manutenção das plantas espontâneas na área. A área total do experimento foi estabelecida em 864 m<sup>2</sup> com parcelas dos sistemas de manejo de 144 m<sup>2</sup> (24x6) e as sub parcelas com as plantas de cobertura totalizaram uma área de 24 m<sup>2</sup> (6x4m). O solo é classificado como Argissolo Amarelo, com predomínio da fração areia como observado na Tabela 9.

**Tabela 9.** Classificação granulométrica do solo da área experimental, Seropédica - RJ.

	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Areia %</b>	<b>Silte %</b>	<b>Argila %</b>
Área experimental	0-5	68	12	20
	5-10	67	9	25
	10-20	65	7	27
	20-40	62	7	31

### 4.4.2 Área de referência

Um fragmento de floresta secundária com predominância de espécies semidecíduais foi utilizado como área de referência, com cerca de aproximadamente 20 anos desde o desmatamento anterior. A área apresenta o mesmo tipo de solo, classe textural e declividade que a aquelas do experimento.

### 4.4.3 Amostragem de solo

A coleta de solo para analisar o carbono orgânico total (COT) e fracionamento granulométrico e densimétrico da matéria orgânica foi realizada nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm com auxílio de um trado, após a colheita da cultura principal. Em cada sub parcela foram coletadas três amostras e misturadas para conter uma amostra composta, que posteriormente foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Após preparadas as amostras foram prosseguidas as análises em laboratório para determinação do COT, COP, COam e FLL.

### 4.4.4 Análise de carbono orgânico total, fracionamento granulométrico e densimétrico da matéria orgânica

A análise de carbono orgânico total foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Yeomans & Bremner (1998) através da via de oxidação úmida da matéria orgânica com dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 0,167 mol L<sup>-1</sup> em meio sulfúrico e quantificado o carbono através da titulação com sulfato ferroso amoniacal (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(6H<sub>2</sub>O) 0,2 mol L<sup>-1</sup> e adição do indicador ferroin.

Outra análise desenvolvida foi o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo, que utilizou o método criado por Cambardella & Elliot (1992), consiste na separação do carbono das frações do solo de acordo com o diâmetro da partícula, o carbono orgânico particulado é relacionado a fração areia particulada maior que 53 $\mu$ m (COp), já o outro é o carbono orgânico associado aos minerais que corresponde ao silte (2-53 $\mu$ m) e a argila (0-2 $\mu$ m) (COam). O COp foi determinado a partir da análise proposta por Yeomans & Bremner (1998) e através da diferença entre o COp e COT foi obtido o COam.

Para o fracionamento densimétrico foi utilizado com modificações a metodologia proposta por Sohi et al. (2001). Primeiro em um tubo falcon foi adicionado 5 g de solo mais 35 mL da solução de iodeto de sódio (NaI) com densidade de 1,80 $\pm$ 0,02 g cm<sup>-3</sup> em cada amostra. Depois, os tubos falcon foram centrifugados por 5 minutos a uma rotação de 3000 rpm por minuto e iniciado a sucção com auxílio de uma bomba na qual depositou em um filtro a fração leve livre (FLL). Posteriormente, os filtros foram secos em estufa a 50°C por 48 horas e depois pesados, macerados e procedido a análise de carbono proposta por Yomans & Bremner (1998).

O estoque de carbono foi calculado com base na densidade do solo e o teor de carbono em cada camada, seguindo a equação proposta por Bayer et al. (2000) EstC = (CO x Ds x e)/10, na qual EstC é o estoque de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>), CO refere-se ao teor de carbono orgânico total (g kg<sup>-1</sup>), Ds é a densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>), e é igual a espessura da camada (cm).

#### **4.4.5 Análise estatística**

Os dados de COT, COp, COam, FLL e os estoques de cada fração em determinada profundidade foram submetidos ao teste de homogeneidade e normalidade dos dados e quando atendido os preceitos, foi realizado a análise de variância que quando significativo a 5% comparações das médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas no programa computacional R versão 4.2.2 (R Core Team, 2022).

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.2 Carbono orgânico total e fracionamento físico da matéria orgânica do solo

O carbono orgânico total (COT) variou somente em nível de sistema em todas as camadas e períodos avaliados. Em 2019 (1 ano após a instalação dos sistemas de manejo), as maiores médias foram verificadas no SPD comparado ao SPC em todas as camadas. Em 2022 (4 anos após a instalação dos sistemas de manejo) o COT variou somente na camada de 10-20 cm, com maior média no SPD do que no SPC (Tabela 10).

Verificou-se que os valores de COT na camada 0-5 cm em ambos os sistemas nos dois anos avaliados, apresentaram valores próximos ou até superiores aos verificados na área referência (Floresta). As áreas florestais são marcadas por constante deposição de serapilheira sobre o solo que influencia no acúmulo de carbono orgânico através da sua decomposição (ALVES et al., 2003). Resultado semelhante foi encontrado por Farias et al., (2022) com aumento de COT na camada de 0-5 no sistema plantio direto devido ao aporte de resíduos.

Observou-se um aumento percentual do COT de 2019 para 2022 em todas as camadas, o que confirma a importância e influência das plantas de cobertura ora incorporadas, ora como cobertura sobre o aumento da matéria orgânica do solo (Tabela 11). A adoção de sistemas conservacionistas de manejo é fundamental, principalmente, em solos arenosos que são caracterizados pela pouca capacidade de retenção de água e nutrientes devido à escassez de argila ou silte, necessitando do aporte de matéria orgânica no perfil do solo para o fornecimento de nutrientes via o aumento da capacidade de troca catiônica do solo (WANG et al., 2020; WULANNINGTYAS et al., 2021).

**Tabela 10.** Carbono orgânico total do solo em diferentes camadas nos anos de 2019 e 2022, Seropédica - RJ.

Sistema	P.C	COT 2019 (g kg <sup>-1</sup> )			
		Profundidade (cm)			
		0-5	5-10	10-20	
Área florestal		13,9	14,7	16,5	
	C1	13,6Aa	11,5Aa	12,0Aa	
	C2	9,7Aa	7,0Aa	8,9Aa	
	SPD	CJ	10,9Aa	7,9Aa	8,2Aa
		FP	13,4Aa	11,3Aa	10,3Aa
		M	11,6Aa	8,5Aa	8,4Aa
		PE	12,6Aa	9,1Aa	10,5Aa
SPC	C1	4,9Ba	6,6Ba	9,0Ba	
	C2	9,2Ba	6,2Ba	7,3Ba	
	CJ	6,0Ba	5,5Ba	7,3Ba	
	FP	7,9Ba	6,4Ba	8,6Ba	
	M	5,3Ba	4,3Ba	8,1Ba	
	PE	5,0Ba	4,8Ba	5,1Ba	
Sis*cob		0,1178	0,8363	0,1822	
CV (%)		27,09	42,61	19,86	

Continua...

Continuação da Tabela 10.

		COT 2022 (g kg <sup>-1</sup> )		
Sistema	P.C	Profundidade (cm)		
		0-5	5-10	10-20
SPD	C1	16,4Aa	13,3Aa	9,8Aa
	C2	14,3Aa	13,8Aa	10,9Aa
	CJ	17,1Aa	13,6Aa	12,1Aa
	FP	14,4Aa	11,6Aa	10,3Aa
	M	16,5Aa	13,7Aa	9,8Aa
	PE	16,1Aa	12,4Aa	10,8Aa
SPC	C1	13,5Aa	10,6Aa	8,9Ba
	C2	17,7Aa	12,4Aa	9,8Ba
	CJ	14,3Aa	12,0Aa	8,9Ba
	FP	14,2Aa	12,5Aa	9,6Ba
	M	15,6Aa	11,3Aa	8,9Ba
	PE	14,4Aa	12,4Aa	10,2Ba
Sis*cob		0,4053	0,6574	0,7369
CV (%)		17,92	16,12	16,36

Médias das letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: *Crotalaria juncea*; FP: feijão-de-porco; M: milho; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: interação sistema e cobertura; CV%: coeficiente de variação.

Tabela 11. Percentual de aumento de COT do ano de 2019 para 2022, Seropédica - RJ.

		COT 2019-2022 (%)		
Sistema	P.C	Profundidade (cm)		
		0-5	5-10	10-20
SPD	C1	20,6	17,2	18,5
	C2	49,5	98,4	28,1
	CJ	68,6	111,4	57,4
	FP	17,3	10,1	5,7
	M	45,3	70,3	28,8
	PE	29,3	51,8	4,7
SPC	C1	95,5	89,3	0,4
	C2	105,9	97,6	35,7
	CJ	146,0	83,0	20,2
	FP	92,9	140,4	12,5
	M	247,0	136,0	11,9
	PE	149,5	187,0	97,5

P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: *Crotalaria juncea*; FP: feijão-de-porco; M: milho; PE: plantas espontâneas; COT: carbono orgânico total.

Em 2019 o carbono orgânico particulado (COP) variou somente em nível de sistema, com maiores médias no SPC comparado ao SPD (Tabela 12). Isto pode estar relacionado a incorporação das plantas de cobertura e a incorporação das raízes através do revolvimento do solo principalmente em profundidade, visto que a coleta de solo no presente estudo é realizada

após o revolvimento do solo (JUNIOR et al., 2021) (Tabela 12). De modo geral espera-se maiores valores de COP nas camadas superficiais em função do aporte de resíduos em superfície proporcionado pelo SPD (BALIN et al., 2017), entretanto os efeitos do manejo no SPD são evidenciados a longo prazo. Além disso a fração COP está relacionada aos resíduos mais lignificados com maior relação C/N (COTRUFO et al., 2013), para aumentar os teores de COP nesses solos, seria necessária aumentar a densidade de gramíneas.

Em 2022 na camada de 0-5 cm, a interação entre sistema e cobertura foi significativa, onde o desdobramento em nível de sistema com a cobertura FP mostrou o maior teor de COP em SPD comparado ao SPC. O desdobramento em nível de cobertura dentro do SPD mostrou a maior média de COP em FP e a menor média em C2. Na camada de 5-10 cm o COP variou somente em nível de cobertura, onde a maior média foi verificada em PE e a menor média em C2. Na camada de 10-20 cm não houve variação nenhuma dos fatores avaliados (Tabela 12).

Para a variável COam em 2019 nas camadas de 0-5 cm e 10-20 cm, houve variação em nível de sistema, nas quais as maiores médias foram observadas no SPD comparado ao SPC. Na camada de 5-10 cm a interação entre o sistema e a cobertura foi significativa. O desdobramento em nível de sistema mostrou maiores médias para os tratamentos C1, FP, M e PE comparados ao SPC. O desdobramento em nível de cobertura no SPD mostrou que a maior média foi verificada em C1 e a menor média em C2 (Tabela 12). Em 2022 os valores de COam não foram significativos, mas observou maiores teores de COam em relação ao COP, isso significa que o carbono que está entrando no sistema está se estabilizando relativamente rápido, o que pode estar relacionado a baixa recalcitrância dos resíduos.

**Tabela 12.** COP e COam em diferentes profundidades no ano de 2019 e 2022, Seropédica - RJ.

Sistemas	P.C	COP 2019 (g kg <sup>-1</sup> )			COam 2019 (g kg <sup>-1</sup> )		
		Prof. (cm)			Prof. (cm)		
		0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
	AF	4,59	1,45	0,43	9,59	12,7	11,0
SPD	C1	4,5Ba	2,4Ba	3,1Ba	9,1Aa	10,3Aa	8,9Aa
	C2	6,2Ba	3,9Ba	4,6Ba	3,8Aa	1,3Ac	4,3Aa
	CJ	3,9Ba	2,6Ba	2,0Ba	7,2Aa	2,9Abc	6,2Aa
	FP	3,3Ba	2,7Ba	4,0Ba	10,1Aa	5,7Ab	6,3Aa
	M	4,0Ba	2,2Ba	2,8Ba	7,7Aa	6,3Ab	5,7Aa
	PE	2,0Ba	3,3Ba	3,4Ba	10,6Aa	4,0Abc	7,1Aa
SPC	C1	5,8Aa	4,8Aa	4,2Aa	1,2Ba	1,8Ba	4,8Ba
	C2	5,1Aa	5,8Aa	4,7Aa	4,2Ba	2,4Aa	2,6Ba
	CJ	3,7Aa	5,3Aa	3,5Aa	2,2Ba	1,2Aa	3,9Ba
	FP	5,4Aa	5,2Aa	4,8Aa	2,4Ba	1,2Ba	3,8Ba
	M	2,1Aa	6,0Aa	4,8Aa	3,2Ba	0,3Ba	3,4Ba
	PE	5,8Aa	4,8Aa	3,7Aa	0,4Ba	0,3Ba	2,4Ba
Sis*cob		0,4504	0,8138	0,8770	0,816	0,00020	0,4051
CV (%)		46,24	34,95	34,98	57,67	45,94	44,9

Continua...

Continuação da Tabela 12.

Sistemas	P.C	COP 2022 (g kg <sup>-1</sup> )			COam 2022 (g kg <sup>-1</sup> )		
		Prof. (cm)			Prof. (cm)		
		0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
	AF	4,59	1,45	0,43	9,59	12,7	11,0
SPD	C1	3,6Aab	1,3Aab	1,6Aa	12,8Aa	12,0Aa	8,2Aa
	C2	2,4Ab	1,8Ab	1,6Aa	11,9Aa	12,0Aa	9,3Aa
	CJ	3,6Aab	2,3Aab	1,8Aa	13,5Aa	11,3Aa	10,3Aa
	FP	5,9Aa	1,5Aab	1,3Aa	8,6Aa	10,1Aa	9,0Aa
	M	5,4Aab	1,4Aab	1,6Aa	11,1Aa	12,3Aa	8,7Aa
	PE	3,9Aab	2,8Aa	1,7Aa	12,2Aa	10,2Aa	9,1Aa
SPC	C1	4,5Aa	1,8Aab	1,2Aa	9,0Aa	8,8Aa	7,7Aa
	C2	3,7Aa	0,6Ab	1,9Aa	14,0Aa	11,7Aa	7,9Aa
	CJ	3,7Aa	1,5Aab	1,1Aa	10,6Aa	10,4Aa	7,8Aa
	FP	2,0Ba	1,1Aab	1,0Aa	12,2Aa	11,5Aa	8,6Aa
	M	3,2Aa	2,3Aab	1,4Aa	12,4Aa	8,9Aa	7,5Aa
	PE	3,2Aa	2,5Aa	1,4Aa	11,2Aa	9,8Aa	8,8Aa
Sis*cob		0,0191	0,2503	0,3567	0,1689	0,2778	0,8138
CV (%)		35,06	45,44	26,65	23,70	17,90	17,77

Médias das letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. COP: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: *Crotalaria juncea*; FP: feijão-de-porco; M: milho; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: interação sistema e cobertura; Prof.: profundidade; CV%: coeficiente de variação.

Para a fração leve livre da matéria orgânica em 2019 somente os valores de 5-10 cm variaram em nível de sistema com os maiores valores no SPC do que no SPD. Em 2022 não houve significância em nenhum nível (Tabela 13). A caracterização da fração leve livre é constituída de restos vegetais, resíduos microbianos e microfauna, faz com que apresente rápida taxa de transformação, motivo pelo qual essa fração é usada para avaliar os sistemas de manejos no solo (PINHEIRO et al., 2004).

Tabela 13. Fração leve livre da matéria orgânica do solo, Seropédica - RJ.

Sistema	P.C	FLL 2019 (g kg <sup>-1</sup> )		
		Profundidade cm		
		0-5	5-10	10-20
Área florestal		1,33	0,71	0,59
SPD	C1	1,12Aa	0,82Ba	0,33Aa
	C2	1,71Aa	0,54Ba	0,55Aa
	CJ	1,32Aa	0,64Ba	0,40Aa
	FP	1,37Aa	0,53Ba	0,69Aa
	M	0,88Aa	0,44Ba	0,65Aa
	PE	1,30Aa	0,55Ba	0,49Aa

Continua...

Continuação da Tabela 13.

FLL 2019 (g kg <sup>-1</sup> )				
Sistema	P.C	Profundidade cm		
		0-5	5-10	10-20
SPC	C1	1,14Aa	0,89Aa	0,51Aa
	C2	0,94Aa	1,00Aa	0,49Aa
	CJ	1,67Aa	0,76Aa	0,55Aa
	FP	0,98Aa	1,01Aa	0,55Aa
	M	1,01Aa	0,73Aa	0,50Aa
	PE	1,23Aa	0,65Aa	0,53Aa
Sis*cob		0,4107	0,3585	0,7429
CV (%)		39,23	29,31	45,71
FLL 2022 (g kg <sup>-1</sup> )				
Sistema	P.C	Profundidade cm		
		0-5	5-10	10-20
SPD	C1	1,50Aa	1,05Aa	0,39Aa
	C2	1,96Aa	0,81Aa	0,75Aa
	CJ	1,59Aa	0,60Aa	0,41Aa
	FP	1,22Aa	0,58Ba	0,27Aa
	M	1,62Aa	1,45Aa	0,71Aa
	PE	1,51Aa	1,13Aa	0,66Aa
SPC	C1	1,42Aa	1,71Aa	0,73Aa
	C2	1,83Aa	1,24Aab	0,56Aa
	CJ	2,04Aa	0,69Ab	0,69Aa
	FP	2,01Aa	1,61Aab	0,58Aa
	M	1,40Aa	1,07Aab	0,55Aa
	PE	2,64Aa	0,80Aab	0,80Aa
Sis*cob		0,2414	0,03488	0,0678
CV (%)		32,54	37,54	31,87

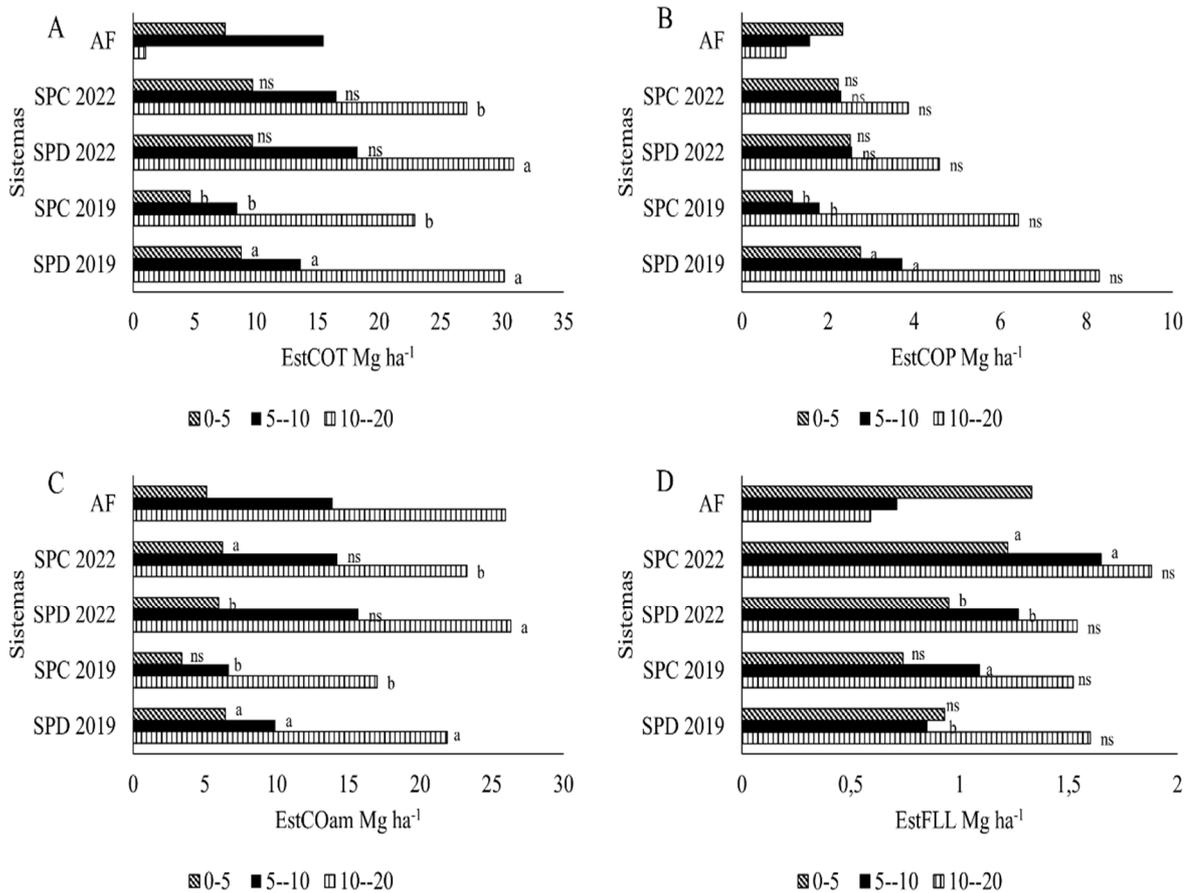
Médias das letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: *Crotalaria juncea*; FP: feijão-de-porco; M: milho; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: interação sistema e cobertura; CV%: coeficiente de variação.

O estoque de carbono em todas as frações da matéria orgânica variou somente em nível de sistema (Figura 14). O estoque de carbono orgânico total (EstCOT) no ano de 2019, variou em todas as camadas com os maiores valores no SPD comparado ao SPC, fato que não foi observado no ano de 2022 em que apresentou variação somente na camada de 10-20, com maior média no SPD comparado ao SPC (Figura 14A). O menor estoque de COT em camadas mais profundas vai de encontro ao estudo de Ogle et al. (2019), que encontraram estoque de carbono no sistema plantio direto de forma mais expressiva em camadas menores que 20 cm, em contrapartida o sistema convencional apresenta estoque de carbono em profundidades maiores que 20 cm. A mesma autora retrata a importância da adoção do SPD para promover políticas de mudança climática através da mitigação dos gases de efeito estufa.

O estoque de carbono particulado (EstCOP) em 2019 apresentou variação somente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, com maiores valores para o SPD comparado ao SPC. Em 2022 não houve variação (Figura 14B). A fração COP é mais sensível ao manejo devido sua proteção ser

a recalcitrância bioquímica que não oferece proteção a decomposição por longo tempo, sendo uma fração contribuinte para indicação da qualidade do solo e que reflete no EstCOP (ROSSI et al., 2012; LUGATO et al., 2021). O estoque de carbono associado aos minerais (EstCOam) apresentou maiores valores no SPD nos dois anos, com significância na profundidade de 10-20 em 2022, e em todas as profundidades em 2019 (Figura 14C). No SPC o menor valor nos dois anos avaliados, é atribuído ao uso da técnica de revolvimento do solo que através da gradagem ocorre a quebra dos agregados e expõem a matéria orgânica a mineralização (COURTIER-MURIAS et al., 2013).

O estoque de carbono da fração leve livre (EstFLL) apresentou diferença entre os sistemas com maior valor para o SPC na camada de 5-10 cm no ano de 2019. Em 2022, o maior valor foi atribuído ao SPC nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Figura 14D). Esse resultado sugere que possivelmente o tempo de adoção do SPD (5 anos) não foi suficiente para aumentar o EstFLL, devido ser uma fração que representa os resíduos de plantas, raízes e hifas que apresentam estruturas celulares reconhecíveis (CONCEIÇÃO et al., 2007).



**Figura 14.** Estoque de carbono das frações da matéria orgânica do solo comparando as camadas em cada período avaliado, na qual <sup>ns</sup> não houve diferença entre os sistemas no ano e letras diferentes houve significância entre os sistemas no ano de acordo com teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Elaborado pelo autor, 2022.

## 4.6 CONCLUSÕES

O sistema plantio direto promoveu as maiores médias de COT em 2019 em todas as camadas, o que não foi observado em 2022, que apenas a camada de 10-20 cm apresentou a maior média de COT para o SPD em relação ao SPC. O COam apresentou maiores médias para o SPD nas camadas de 0-5 e 10-20 cm em 2019, já em 2022 não foi significativo o COam. Essas frações da matéria orgânica possibilitaram ótimas indicações para o aumento de carbono devido ao uso de plantas de cobertura. O COP e FLL devido serem frações mais lábeis da matéria orgânica, são mais sensíveis ao manejo e por isso apresentaram maiores valores ao SPC, o tempo de estudo nessa área pode ser considerado pouco para aumentar a palhada na área e contribuir para o aumento de carbono nessas frações. O mesmo ocorreu para os estoques de carbono, situação que indica a necessidade de manter mais tempo o sistema plantio direto na área para construção da matéria orgânica e conseguir estocar carbono para mitigar os gases de efeito estufa.

#### 4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADETUNJI, A. T.; NCUBE, B.; MULIDZI, R.; LEWU, F. B. Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. **Soil and Tillage Research**, v. 204, p. 104717, 2020.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T. J. C., MARTIN NETO, L., FERNANDES, S. A. Organic matter storage in a sandy loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, 54: 101-109, 2000.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, 56: 777-783, 1992.
- CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. Efficiency of sodium polytungstate in density fractionation of soil organic matter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1301-1310, 2007.
- COURTIER-MURIAS, D.; SIMPSON, A. J.; MARZADORI, C.; BALDONI, G.; CIAVATTA, C.; FERNÁNDEZ, J. M.; LÓPEZ-DE-SÁ, E. G.; PLAZA, C. Unraveling the long-term stabilization mechanisms of organic materials in soils by physical fractionation and NMR spectroscopy. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 171, p. 9-18, 2013.
- COTRUFO, M. F.; RANALLI, M. G.; HADDIX, M. L.; SIX, J.; LUGATTO, E. Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. **Nature Geoscience**, v. 12, n. 12, p. 989-994, 2019.
- COTRUFO, M. F.; WALLENSTEIN, M. D.; BOOT, C. M.; DENEFF, K.; PAUL, E. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter?. **Global change biology**, v. 19, n. 4, p. 988-995, 2013.
- DE ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- DORTZBACH, D.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; DOS SANTOS, O. A. Q. Compartimentos da matéria orgânica do solo em vinhedos altomontanos de Santa Catarina. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10677-10691, 2020.
- FAO, 2021. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point. Synthesis report. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>.
- FARIAS, P. G. S.; SOUZA, C. B. S.; ROSSET, J. S.; OZÓRIO, J. M. B.; PANACHUKI, E.; SCHIAVO, J. A.; LIMA, P. R.; MARRA, L. M. Physical fractions of organic matter and mineralizable soil carbon as quality indicators in areas under different forms of use in the Cerrado-Pantanal Ecotone. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 7, p. 517, 2022.
- FONTANA, A. PEREIRA, M. G.; DOS SANTOS, J. J. S.; DONAGEMMA, G. K.; DOS SANTOS, O. A. Q. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de textura arenosa com fertilidade construída. **Revista Agrogeambiental**, v.13, n.3, p. 606-614, 2021.
- HUANG, J.; HARTEMINK, A. E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, v. 208, p. 103295, 2020.

- JUNIOR, C. R. P.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; BEUTLER, S. J.; SILVA, C. F. Fertilidade do solo e dinâmica da matéria orgânica em áreas no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi, CE. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 17, n. 1, p. 1-6, 2021.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A.; FONTE, S.; BEDANO, J. C.; BLANCHART, E.; GALINDO, V.; GRIMALDI, M.; JIMENEZ, J. J.; VELASQUEZ, E.; ZANGERLÉ, A. Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. **Acta Oecologica**, v. 105, p. 103561, 2020.
- LI, Z.; SCHNEIDER, R. L.; MORREALE, S. J.; XIE, Y.; LI, C.; LI, J. Woody organic amendments for retaining soil water, improving soil properties and enhancing plant growth in desertified soils of Ningxia, China. **Geoderma**, v. 310, p. 143-152, 2018.
- LUGATO, E.; LAVALLEE, J. M.; HADDIX, M. L.; PANAGOS, P.; COTRUFO, M. F. Different climate sensitivity of particulate and mineral-associated soil organic matter. **Nature Geoscience**, v. 14, n. 5, p. 295-300, 2021.
- NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; DE OLIVEIRA, T. P.; DA SILVA, J. R. M.; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.
- OGLE, S. M.; ALSAKER, C.; BALDOCK, J.; BERNOUX, M.; BREIDT, F. J.; MCCONKEY, B.; REGINA, K.; VAZQUEZ-AMABILE, G. G. Climate and soil characteristics determine where no-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 11665, 2019.
- PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, J. 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, p. 731-737, 2004.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria.
- ROSSI C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.7, n.2, p.233- 241, 2012.
- 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. American Journal**, v. 65, p. 1121-1128, 2001.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. **Brasília: Embrapa**, p. 573, 2017.
- WANG, Y.; LIU, Y. New material for transforming degraded sandy land into productive farmland. **Land Use Policy**, v. 92, p. 104477, 2020.
- WOOD, S. A.; TIRFESSA, D.; BAUDRON, F. Soil organic matter underlies crop nutritional quality and productivity in smallholder agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 266, p. 100-108, 2018.

WULANNINGTYAS, H. S.; GONG, Y.; LI, P.; SAKAGAMI, N.; NISHIWAKI, J.; KOMATSUZAKI, M. A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104749, 2021.

YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19:1467-1476, 1988.

YOST, J. L.; HARTEMINK, A. E. Soil organic carbon in sandy soils: A review. **Advances in Agronomy**, v. 158, p. 217-310, 2019.

## **5 CAPÍTULO III**

### **PRODUTIVIDADE DO QUIABO E BALANÇO DE NUTRIENTES DO SOLO EM SISTEMA DE AGRICULTURA ORGÂNICA**

## 5.1 RESUMO

A produção de alimentos mais saudáveis está atribuída às exigências do consumidor e ao mercado. Frente a isso, está a agricultura orgânica que se adequa às exigências de produção segura, sustentável com proteção dos recursos naturais, como o solo. O objetivo deste capítulo foi determinar os teores, acúmulos, exportação dos nutrientes no quiabo e balanço dos nutrientes no solo e avaliar a produtividade do quiabo em sistema orgânico. O estudo foi realizado no município de Seropédica, RJ, com disposição do experimento em blocos casualizados com três repetições em esquema de parcela subdividida 2 x 6, sendo dois sistemas de plantio distribuídos nas parcelas (sistema plantio direto – SPD e sistema convencional do solo – SPC) e seis plantas de coberturas distribuídas nas subparcelas cultivadas isoladas (Milheto – *Pennisetum glaucum*; Crotalária - *Crotalaria juncea* e feijão de porco – *Canavalia ensiformis*; consórcio formado pela mistura de 100% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; consórcio formado pela mistura de 50% da recomendação das sementes das plantas de cobertura; plantas espontâneas mantidas na área pousio). A semeadura do quiabo foi realizada em maio/agosto de 2021 com o fim da colheita em abril de 2022. Para avaliação dos teores, acúmulos e exportação dos nutrientes no quiabo, foram coletados as folhas e os frutos, secos, moídos e procedido a análise em laboratório dos macronutrientes N, P e K. Para avaliação da produtividade foram coletados os frutos pesados e obtida a produtividade em kg ha<sup>-1</sup>. A exportação foi maior na seguinte ordem K>N>P e obteve no balanço nutricional do solo o N e K valores negativos e o P positivos. O teor e acúmulo de N foi maior no SPD para as coberturas C2, FP, PE e no SPC foi o C1. O P não foi significativo em nenhum tratamento e o K as maiores médias do teor e acúmulo foram para o SPD. A produtividade foi maior no SPC devido ao maior estande de plantas e melhor desenvolvimento da cultura. O fornecimento de nutrientes via sistema de plantio direto para o quiabo é uma alternativa promissora para os produtores orgânicos.

**Palavras-chave:** Agricultura familiar. Alimento. Saúde. Tempo.

## 5.2 ABSTRACT

The production of healthier foods is attributed to consumer and market demands. Opposite this, there is organic agriculture that suits the requirements of safe, sustainable production with protection of natural resources, such as the soil. The objective of this chapter was to determine the contents, accumulation, export of nutrients in okra and balance of nutrients in the soil and to evaluate the productivity of okra in an organic system. The study was carried out in the municipality of Seropédica, RJ, with the experiment arranged in randomized blocks with three replications in a 2 x 6 split-plot scheme, with two planting systems distributed in the plots (no-tillage system - SPD and conventional soil system - SPC) and six cover crops distributed in the isolated cultivated subplots (Milheto – *Pennisetum glaucum*; Crotalaria - *Crotalaria juncea* and jack bean – *Canavalia ensiformis*; consortium formed by mixing 100% of the recommendation of cover plant seeds; consortium formed by mixing of 50% of the seed recommendation for cover crops; wild plants kept in the fallow area). Okra sowing was carried out in May, August 2021, with the harvest ending in April 2022. To assess the levels, accumulation and export of nutrients in okra, leaves and fruits, dried, ground, were collected and analyzed in laboratory of the macronutrients N, P and K. To evaluate the productivity, the weighed fruits were collected and the productivity in kg ha<sup>-1</sup> was obtained. The export was greater in the following order K>N>P and obtained negative N and K values and positive P in the nutritional balance of the soil. The content and accumulation of N was higher in the NT for the coverings C2, FP, PE and in the SPC it was the C1. The P was not significant in any treatment and the K the highest means of content and accumulation were for the SPD. Productivity was higher in SPC due to the larger plant stand and better crop development. The supply of nutrients via no-tillage system for okra is a promising alternative for organic producers.

**Keywords:** Family farming. Food. Health. Time

### 5.3 INTRODUÇÃO

Atualmente a população brasileira encontra-se em 215 bilhões de pessoas, um número que aumenta junto com a necessidade de alavancar a produção de alimentos mais saudáveis para abastecer a todos (IBGE, 2022). Uma alternativa que surgiu para a produção de alimentos saudáveis é a agricultura orgânica, de acordo com o Panorama do consumo de orgânicos no Brasil 2021, realizada pela Associação de Promoção dos orgânicos (Organis) em parceria com a consultoria Brain e com a iniciativa UnirOrgânicos, nos últimos 30 dias que antecederam a pesquisa, a região Centro-Oeste cresceu de 17% para 39%, depois o Sul, Nordeste, Sudeste e Norte do Brasil, com destaque para o hortifruti 75% e grãos 12% como os produtos orgânicos mais consumidos.

No ramo da horticultura orgânica o quiabo *Abelmoschus esculentus* é uma hortaliça que se adapta bem a adubação orgânica e cultivada principalmente pela agricultura familiar (SANTOS et al., 2019). Pertencente à família Malvacea o quiabo é considerado como boa fonte de vitaminas em especial as vitaminas A, C, B1 e cálcio, caracterizada como planta arbustiva, anual, com caule ereto esverdeado que pode atingir de 0,5 m até 3,0 m de altura. As suas hastes, folhas e frutos apresentam pêlos duros e ásperos, seus frutos são tipo cápsula com coloração verde-clara e suas flores são grandes e vistosas de coloração amarelo-clara (LANA et al., 2016; MINAMI et al., 1998).

A produção orgânica da horticultura está ganhando destaque e espaço no mercado devido aos seus benefícios como segurança alimentar, sustentabilidade e efeitos positivos na proteção ambiental (OKTEM et al., 2020). No aspecto de proteção ambiental está vinculado o uso de sistemas que conservam o solo e a água, principalmente o sistema de plantio direto caracterizado pelo uso de plantas de cobertura, mínimo revolvimento do solo e rotação de culturas. O manejo orgânico prioriza a qualidade e o equilíbrio da fertilidade do solo como a atividade biológica, reciclagem de nutrientes e manutenção da matéria orgânica, isso faz com que a produtividade e a qualidade dos produtos orgânicos estejam ligadas à saúde do solo (FRIEDRICH et al., 2022).

Na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro com o acontecimento de um evento climático catastrófico em 2011, cerca de 400 agricultores passaram a utilizar plantas de cobertura como a aveia preta para contornar a situação desastrosa na região e reconstruir a fertilidade do solo, através da redução de processos erosivos causado pelas fortes precipitações (ANTONIO et al., 2022).

Com isso, espera-se que os sistemas de manejo conservacionistas e uso de plantas de cobertura contribuem para fornecimento de nutrientes a cultura sucessora com respectivo aumento da produtividade em sistema orgânico de produção.

Portanto, os objetivos da pesquisa foram: i) determinar os teores, acúmulos, exportação dos nutrientes pelo quiabo e balanço nutricional no solo; e ii) avaliar a produtividade do quiabo em sistema orgânico.

## 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.4.1 Área de estudo

A área determinada para o estudo está localizada na propriedade orgânica Sítio do Sol filiada a Associação de Agricultores Biológicos, localizada na reta dos 800, Piranema - Seropédica Rio de Janeiro. O experimento foi composto por blocos casualizados com três repetições e esquema fatorial 2 x 6 com parcelas que obteve dois tratamentos (sistema de plantio direto – SPD e preparo convencional do solo – PCS) e seis subparcelas que foram as plantas de cobertura cultivadas isoladas (Milheto, *Crotalária juncea* e Feijão de porco), cultivo em consorcio com dois coquetéis (100% e 50% da recomendação da semente) e tratamento com a manutenção das plantas espontâneas na área. A área total do experimento foi estabelecida em 864 m<sup>2</sup> com parcelas dos sistemas de manejo de 144 m<sup>2</sup> (24x6) e as sub parcelas com as plantas de cobertura totalizaram uma área de 24 m<sup>2</sup> (6x4m).

### 5.4.2 Semeadura do quiabo

Após o corte das plantas de cobertura e instalado os sistemas de plantio direto e convencional, foi realizada a semeadura do quiabo em agosto de 2021 com a cultivar Colher Bem da Empresa Sakata, colocou-se duas plantas por cova e posteriormente realizada a instalação da irrigação por gotejamento, para suprir a necessidade de água para a cultura. Durante a cultura no campo nos primeiros dias, foi observado o ataque de grilos e formigas que prejudicaram o arranque inicial das plantas, cortando a base das plantas recém germinadas. Identificado esse problema foi iniciado o controle com uso de produtos biológicos liberados para produção orgânica como óleo de Neem e Dipel (Figura 15).



**Figura 15.** Ataque de formigas no quiabo. **Foto:** Autor próprio, 2021.

Devido a isso, foi necessário o preparo de mudas para substituição das plantas que foram comprometidas, com objetivo de manter o estande de plantas. No total foram preparadas 440 mudas de quiabo para o replantio, com 30 dias foram replantadas uma muda por cova (Figura 16).



**Figura 16.** Preparo de mudas de quiabo. **Foto:** Autor próprio, 2021.

Após o replantio foi realizada a adubação na cova baseada na recomendação de adubação para o estado do Rio de Janeiro, com torta de mamona como fonte de nitrogênio (60 kg/ha), termofosfato como fonte de fósforo (100 kg/ha) e sulfato de potássio como fonte de potássio (60 kg/ha). O sulfato de potássio foi aplicado por fertirrigação em que se adicionou 13,82 kg de sulfato de potássio mais 1,2 L de turfa max como fonte de substâncias húmicas em 300 L de água. Após sete meses da sementeira foi realizada mais uma adubação de sulfato de potássio na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> com o método de fertirrigação mais 5 L de substâncias húmicas (Figura 17) (FREIRE et al., 2013).



**Figura 17.** Adubação orgânica diretamente na cova e com auxílio da fertirrigação. **Fotos:** Autor próprio, 2021.

### 5.4.3 Análise foliar e do fruto

Para a cultura do quiabo a coleta das folhas foi realizada com cinco meses após a semeadura. Coletou-se a terceira e quarta folha no total de 60 folhas por tratamento para atingir quantidade ideal de material vegetal para posteriormente realizar as análises. Após a coleta as folhas foram secas em estufa de 65°C depois moídas em moinho tipo wiley em peneira de 2 mm. Após o preparo das amostras essas foram armazenadas para determinação dos macronutrientes P e K através da digestão nítrica pela metodologia internacional USEPA – United States Environmental Protection Agency (2008). Para encontrar os teores de N nas plantas foi realizado a digestão sulfúrica pela metodologia de Tedesco et al., (1995).

### 5.4.4 Teor, exportação e balanço nutricional dos nutrientes

A média do teor encontrado no fruto do quiabo foi usado para quantificar a extração total (folha + fruto) e com isso determinar a exportação dos nutrientes pelo fruto caracterizada como a retirada dos nutrientes da área. A partir da exportação foi calculado o balanço nutricional de nutrientes no solo através da diferença entre a adubação realizada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e a exportação dos nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

### 5.4.5 Colheita do quiabo

A colheita era realizada três vezes por semana durante quatro meses, depois da última colheita em abril de 2022, foi realizado o corte da planta com intuito de ocorrer a rebrota e obter maior produtividade com frutos de qualidade. Esse manejo nas plantas é devido as últimas colheitas apresentarem quiabos menores e com pouca quantidade por planta. Mas devido a necessidade da continuação do experimento, foi encerrado o quiabo e preparado o solo para implantação das coberturas e cultura subsequente (Figura 18).



**Figura 18.** Colheita do quiabo e corte das plantas. **Fotos:** Autor próprio, 2021.

### 5.4.6 Análise estatística

Os dados de teor e acúmulo dos nutrientes na folha do quiabo e a produtividade, foram submetidos ao teste de homogeneidade e normalidade dos dados, quando atendido os preceitos, foi realizado a análise de variância que quando significativo a 5% comparações das médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas no programa computacional R versão 4.2.2 (R Core Team, 2022).

## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.5.1 Análise do teor e acúmulo de nutrientes no quiabo e fruto

A média do teor e exportação de nutrientes nos grãos seguiram a ordem de K>N>P (Tabela 14), isso devido o K ser essencial para o crescimento, desenvolvimento e maturação dos frutos, seguido pelo N que são os nutrientes mais exigidos em maiores quantidades (MEURER et al., 2018; FERREIRA et al., 2019). Através do cálculo do balanço nutricional foi obtido valores negativos para o N e K que indicam que a quantidade exportada superou a fornecida via adubação, situação que gera prejuízos na reserva no solo e necessita do abastecimento via adubação e/ou adição de adubos verdes que irão reequilibrar o sistema (DE RESENDE et al., 2019). Para o P os valores foram positivos, situação encontrada em grande parte das lavouras, resultado que significa que a quantidade de fósforo fornecida via adubação é maior do que a exportada, por isso os teores de P são altos nas camadas de 0-10 cm pela ocorrência da saturação dos sítios de troca e forma de aplicação, principalmente em sistema plantio direto (Tabela 14), (DE OLIVEIRA JUNIOR et al., 2013).

**Tabela 14.** Teor, exportação e balanço nutricional dos nutrientes, Seropédica - RJ.

	Teor e exportação do fruto		
	N	P	K
Teor (g kg <sup>-1</sup> )	28,17	7,09	35,24
Exportação (kg ha <sup>-1</sup> )	140,875	35,49844	176,22
Balanço Nutricional (kg ha <sup>-1</sup> )	-80,87	64,50	-76,22

O teor de N na cultura do quiabo apresentou significância na interação sistema e cobertura, mas as variáveis isoladas não foram significativas (Tabela 15). A partir do desdobramento da interação sistema e cobertura os maiores teores e acúmulos de N no quiabo a nível de sistema dentro da cobertura foram; para as coberturas C2, FP e PE apresentaram as maiores médias no SPD e para o C1 a maior média foi no SPC representando pela letra maiúscula, as demais coberturas não apresentaram diferença entre sistemas. Para o nível cobertura dentro do sistema, o C1 foi maior no SPC representado pela letra minúscula; no SPD as plantas de coberturas não se diferenciaram (Tabela 15).

O maior teor e acúmulo de N encontrado no mix de coberturas é uma ferramenta para aumentar a disponibilização de nutrientes para o quiabo, que a partir da sua maior velocidade de liberação dos nutrientes encontrada nesse estudo, pode ter disponibilizado mais nutrientes ao quiabo.

**Tabela 15.** Teor e acúmulo de N no quiabo, Seropédica - RJ.

Sistemas	Plantas de cobertura					
	Teor N (g kg <sup>-1</sup> )					
	M	C2	C1	CJ	FP	PE
SPC	41,0Ab	36,80Bb	52,32Aa	40,6Ab	36,34Bb	35Bb
SPD	42,7Aa	44,39Aa	41,12Ba	44,68Aa	45,26Aa	47,43Aa
Sis*cob	0,00175					
CV (%)	10,14					

Continua...

Continuação da **Tabela 15**.

Sistemas	Plantas de cobertura					
	Acúmulo N (kg ha <sup>-1</sup> )					
	M	C2	C1	CJ	FP	PE
SPC	205,04Ab	184,04 Bb	261,62Aa	203,0Ab	181,70Bb	175Bb
SPD	213,50Aa	221,95Aa	205,62Ba	223,41Aa	226,33Aa	237,12Aa
Sis*cob	0,00175					
CV (%)	10,14					

Médias das letras maiúsculas iguais não diferiram entre sistemas e letras minúsculas iguais não diferiram entre cobertura pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P.C: plantas de cobertura; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; C1: coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: Crotalária juncea; FP: feijão-de-porco; M: milheto; PE: plantas espontâneas. Sis\*cob: interação sistema e cobertura; Prof.: profundidade; CV%: coeficiente de variação.

O teor e acúmulo de P não foi significativo na interação sistema e cobertura e o mesmo para as variáveis isoladas. O K não foi significativo na interação sistema e cobertura e na variável cobertura, só foi significativo no sistema de manejo (Tabela 16). O teor e acúmulo de K pelo quiabo mostrou maiores valores provenientes do SPD, o que ressalta a importância do uso do SPD para o fornecimento dos nutrientes para as culturas sucessoras, na qual sugere-se o aumento de carbono orgânico no solo como responsável pelo suprimento dos nutrientes as culturas subsequentes na área (TIVELLI et al., 2010).

**Tabela 16.** Teor e acúmulo de P e K no quiabo, Seropédica - RJ.

Sistemas	Teor (g kg <sup>-1</sup> )	
	P	K
SPD	7,95a	22,81a
SPC	7,94a	19,82b
sistema	0,9499	0,00354
CV (%)	8,55	12,88
Sistemas	Acúmulo (kg ha <sup>-1</sup> )	
	P	K
SPD	75,27a	290,27a
SPC	75,20a	275,33b
sistema	0,9499	0,00354
CV (%)	4,51	4,86

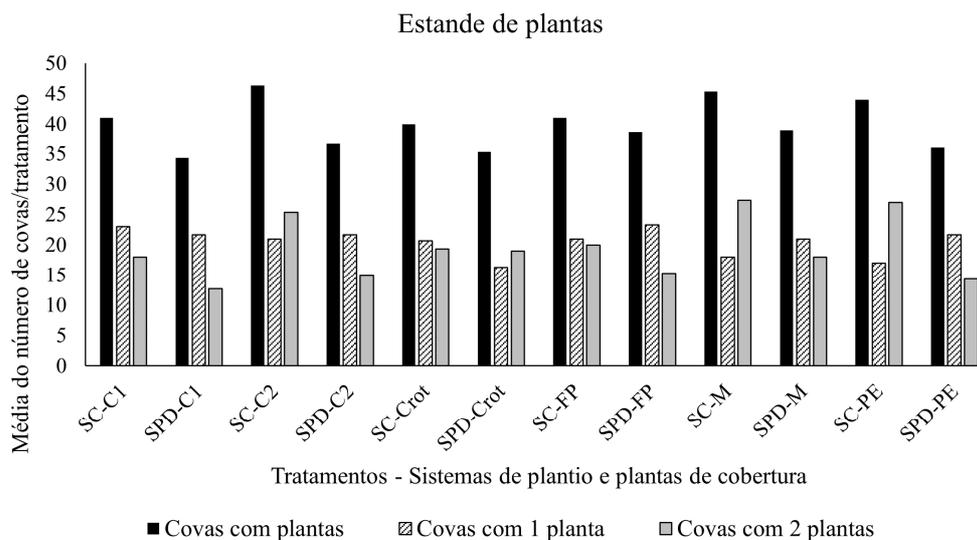
Médias seguidas de letras iguais não foi significativo; médias seguidas de letras diferentes apresentou significância pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; CV (%): coeficiente de variação.

### 5.5.2 Produtividade do quiabo em sistema orgânico

Os resultados encontrados referente a produtividade do quiabeiro foram significativos somente a variável sistema (CV de 24,59% e p-valor de 0,00003), não foi encontrado interferência da cobertura utilizada na produtividade do quiabo e manteve-se o mesmo na interação entre sistema de plantio e cobertura.

O SPC obteve maior produtividade em torno de 14,76 t ha<sup>-1</sup> em relação ao SPD de 9,56 t ha<sup>-1</sup>. Esses resultados aproximaram da produtividade esperada de 15 a 25 t ha<sup>-1</sup> citada no

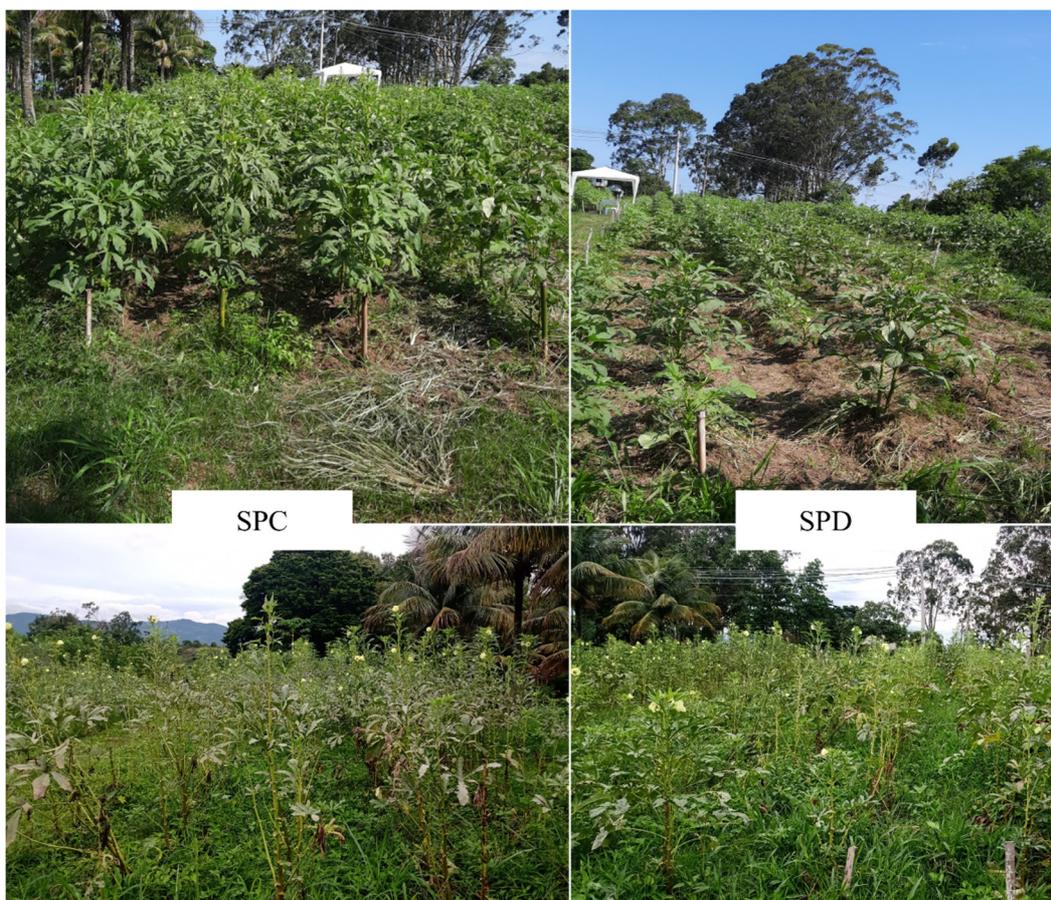
Manual de calagem e adubação do estado do Rio de Janeiro e são próximos com encontrado na literatura de  $13,26 \text{ t ha}^{-1}$  (FREIRE et al., 2013; MORAES et al., 2018). A maior produtividade no SPC pode ser explicada pelo alto estande de plantas no sistema (Figura 19). Através da contagem de cova com plantas por parcela dos sistemas de manejo do solo, obteve-se o maior número de covas com plantas no SPC e o mesmo ocorreu na observação de covas com duas plantas, na qual ressalta uma influência na maior produtividade do SPC. De acordo com Tourino et al. (2002) a expressão do potencial produtivo depende das condições em que as plantas irão se desenvolver e alterações na população de plantas pode refletir em ganhos ou perda de produtividade.



**Figura 19.** Média do número de covas por tratamento com plantas de quiabo. SC-C1: sistema convencional coquetel 1; SC-C2: sistema convencional coquetel 2; SC-Crot: sistema convencional crotalária; SC-FP: sistema convencional feijão de porco; SC-M: sistema convencional milho; SC-PE: sistema convencional plantas espontâneas; SPD-C1: sistema plantio direto coquetel 1; SPD-C2: sistema plantio direto coquetel 2; SPD-Crot: sistema plantio direto crotalária; SPD-FP: sistema plantio direto feijão de porco; SPD-M: sistema plantio direto milho; SPD-PE: sistema plantio direto plantas espontâneas. **Fonte:** Elaborado pelo autor, 2021.

Então, a ocorrência de pragas no início do desenvolvimento do quiabeiro pode ter afetado o estande de plantas, principalmente no SPD que contém a cobertura sobre o solo, fator que beneficia o aumento de pragas, como consequência menor produtividade. Essa afirmação é relatada por Jasrotia et al. (2021) em que o preparo do solo e o manejo de resíduo de culturas encaminha para mudanças não apenas na matéria orgânica do solo, umidade e nutrientes, mas também a vida biológica que habita no solo.

Outra observação durante o experimento em campo, foi o desenvolvimento da cultura em que apresentaram no mesmo dia altura diferente de um sistema para o outro, com maior altura observada no SPC do início até o fim da cultura em campo (Figura 20). Situação que pode justificar a maior produtividade do quiabo no SPC, pois, é uma cultura que apresenta sistema radicular profundo com raiz pivotante, o que facilita através da gradagem e aração proporcionada pelo manejo convencional no início do experimento, expandir mais o sistema radicular podendo chegar até 1,9 m de profundidade e absorver mais nutrientes para o seu desenvolvimento (GALATI, 2010).



**Figura 20.** Comparação visual da altura de plantas do quiabo nos dois sistemas de manejo.  
**Fotos:** Autor próprio, 2021.

## 5.6 CONCLUSÕES

A exportação pelo fruto do quiabo ocorreu pela ordem  $K > N > P$  (176,22; 140,87; 35,49  $\text{kg ha}^{-1}$  respectivamente) e o balanço nutricional no solo dos nutrientes N e K foram negativos e P positivos, necessita do fornecimento via adubação dos nutrientes N e K que são mais exportados pela cultura do quiabo.

O teor e acúmulo de N e K foram provenientes do SPD, principalmente N oriundo das coberturas C2, FP e PE. O que ressalta a recomendação do uso de coquetel como fonte de nutrientes para as culturas sucessoras. A cultura do quiabo mostrou-se sensível ao ataque de pragas o que levou a redução da produtividade em sistema plantio direto orgânico.

## 5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIO, G. J. Y.; DE ASSIS, R. L.; DE AQUINO, A. M. **Caracterização dos sistemas de produção e da agricultura familiar em Nova Friburgo (Rio de Janeiro, Brasil), após evento climático extremo: fragilidades e potencialidades**. In: DIAS, A.; ARAÚJO, F. C. D. Ensino, pesquisa e extensão em agroecologia e agricultura orgânica: dez anos do Programa de Pós-graduação em Agricultura Orgânica. Seropédica: PPGA, 2022.

ASSOCIAÇÃO DE PROMOÇÃO DOS ORGÂNICOS - ORGANIS. Panorama do consumo de orgânicos no Brasil. Disponível em: < <https://www.organicnet.com.br/site/wp-content/uploads/2022/01/Pesquisa-Organis-2021-Amostra.pdf>>. Acesso em: 10/12/2022.

DE OLIVEIRA JUNIOR, A. CASTRO, C.; DE OLIVEIRA, F. A.; JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. **International Plant Nutrition Institute**, 2013.

FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; DOS ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; DE CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica: Universidade Rural, 2013.

FRIEDRICH, J. C. C.; FEIDEN, A.; FULBER, V. M. Agricultura orgânica—Uma discussão sobre mercado de orgânicos na perspectiva local e internacional. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p. e417111234745-e417111234745, 2022.

GALATI, V. C. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em quiabeiro ‘Santa Cruz 47’**. 2010, 26p. Dissertação (mestrado) - Jaboticabal: UNESP. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>>. Acesso em: 09/09/2022.

JASROTIA, P.; BHARDWAJ, A.K.; KATARE, S.; YADAV, J.; KASHYAP, P.L.; KUMAR, S.; SINGH, G.P. Tillage Intensity Influences Insect-Pest and Predator Dynamics of Wheat Crop Grown under Different Conservation Agriculture Practices in Rice-Wheat Cropping System of Indo-Gangetic Plain. **Agronomy** 2021, 11, 1087.

LANA, M. M.; DOS SANTOS, F. F.; MATOS, M. J. L. F.; TAVARES, S. A.; MELO, M. F. Quiabo. **Embrapa Hortaliças**. 2º edição, 2016.

MINAMI, K.; MODOLO, V. A.; ZANIN, A. C. W.; NETO, J. T. Cultura do quiabeiro: técnicas simples para hortaliça resistente ao calor. ESALQ, 39p. 1998.

MORAES, E. R.; REIS, A. C.; SILVA, N. E. P.; FERREIRA, M.; MENEZES, F. G. Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 1, p.60-65, jan./mar, ISSN 2358-6303, 2018.

OKTEM, A. G.; OKTEM, A. Effect of Farmyard Manure Application on Yield and Some Quality Characteristics of Popcorn (*Zea mays* L. Everta Sturt) at the Organic Farming. **Journal of Agriculture and Ecology Research International**, v. 21, n. 9, p. 35-42, 2020.

R CORE TEAM. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria.

DE RESENDE, A. V.; BORGHI, E.; NETO, M. M. G.; FONTOURA, S. M. V.; BORIN, A, L. D. C.; JUNIOR, A. C.; CARVALHO, M. C. S.; KAPPES, C. Balanço de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída. 2019.

SANTOS, H. C.; PEREIRA, E. M.; DE MEDEIROS, R. L. S.; COSTA, P. M. A.; PEREIRA, W. E. Production and quality of okra produced with mineral and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 97-102, 2019.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995, (Boletim Técnico n° 5).

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M. de; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1071-1077, 2002.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Acid extraction of sediments, sludges, and soils. EPA method 3050. 14p. 2008.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

O uso do mix de plantas de cobertura no presente estudo mostrou-se eficaz para a liberação dos nutrientes ao solo e, conseqüentemente, disponibilizou mais nutriente ao quiabo, principalmente os macronutrientes N, P e K. Fica evidente a necessidade dessa prática associada ao sistema de plantio direto, que disponibilizou melhorias na manutenção da matéria orgânica no presente estudo em solos arenosos, mas requer mais tempo para influenciar na fertilidade do solo.

Em vista disso, as frações COT e COam contribuíram com aumento de matéria orgânica e estoque de carbono em solos arenosos, através da adoção do sistema plantio direto. Em contrapartida, as frações COP e FLL ainda não se expressaram com variação significativa. Pode-se inferir que necessitam de mais tempo de adoção do sistema para aumentar a deposição de resíduos vegetais e fornecer mais carbono ao solo, mas são essenciais para indicar se o sistema está sendo eficaz. Desta forma, nesse estudo, que está no seu quinto ano de experimento, necessita-se mais tempo para avaliação de eventual aumento do carbono lábil no solo.

O quiabo, mesmo com a maior produtividade no sistema plantio convencional por limitações no manejo orgânico, obteve os nutrientes através do sistema plantio direto e dos coquetéis, o que afirma o potencial dessas ferramentas para o uso na agricultura orgânica.

É necessário levar esse conhecimento ao produtor orgânico através da extensão rural e mostrar que a produção orgânica em sistema de plantio direto traz efeitos benéficos para a manutenção dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, que no futuro vão refletir no aumento da produtividade das lavouras.